International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

December 2017, Volume 28, Number 4
Pp 559 - 571

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Multi-Depot, Multi-Product Bi-Objective Vehicle Routing Problem with Fuzzy Time Windows, and Flexibility in Determining Last Depot

Leila Taghva, Hassan Khademi zare*& Mohamad Mehdi Lotfi

Leila Taghva, *M.Sc. in industrial engineering, university of Yazd*
Hassan Khademi zare, *Associate Professor in faculty of Engineering, university of Yazd*
Mohamad Mehdi Lotfi, *Assistant Professor in faculty of Engineering, university of Yazd*

Keywords

Vehicle routing problem;
Multi-product;
Flexibility in determining last depot;
Fuzzy time windows;
Multi- dep

ABSTRACT

Transportation have important place in economic systems including the manufacturing and servicing. In recent decades, vehicle routing problem (VRP) has been used to increase the productivity and efficiency of transportation systems. In this study, a new linear integer programming model for multi depot, multi product vehicle routing problem with fuzzy time window is formulated that routes start at a depot, although they do not end necessarily at the primary one. In this paper, flexible assignment of last depot impact on transportation costs and customer satisfaction is measured simultaneously. The objectives of the problem include minimizing the distance traveled by vehicle and concurrently maximizing customer satisfaction and service. fuzzy time window is used to deliver products to customers.Since MD_MPVRPFTW is Np-Hard, the non dominate sorting genetic algorithm (NSGA_II) was used to solve the model. Experiments indicate that flexible model leads to an average of 15% cost reduction and 18% increase in customer satisfaction.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 4, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۸، زمستان ۱۳۹۶

صفحـــه ۵۶۰- ۵۷۱

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی و چند محصولی با پنجره زمانی فازی، اهداف چندگانه و انعطاف‌پذیری در تعیین قرارگاه

لیلا تقوا، حسن خادمی زارع* و محمد مهدی لطفی

کلمات کلیدی

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه،
چند محصولی،
انعطاف‌پذیری در تخصیص قرارگاه،
پنجره زمانی فازی،
اهداف چندگانه.

چکیده:

حمل‌ونقل در سیستم‌های اقتصادی اعم از تولیدی و خدماتی از جایگاه مهمی برخوردار است.. یکی از مباحثی که در چند دهه اخیر کاربرد بالایی داشته و برای افزایش کارایی و بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل مطرح‌شده، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه است. در این پژوهش مدل جدیدی از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح فرموله می‌شود که در آن برخلاف مدل‌های متداول مسئله مسیریابی لزومی به بازگشت وسیله نقلیه بعد از اتمام سرویس‌دهی به انبار اولیه وجود ندارد.در این مقاله تأثیر تخصیص انعطاف‌پذیر انبار پایانی در هزینه حمل‌ونقل و رضایت مشتری به‌طور همزمان سنجیده می‌شود. اهداف این مدل شامل حداقل سازی مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه و حداکثر سازی سطح سرویس تأمین‌کنندگان به مشتریان است. برای تأمین رضایت مشتریان از پنجره زمانی فازی برای تحویل کالا به مشتریان استفاده‌شده است. با توجه به ***Np-Hard*** بودن مسئله مسیریابی در حالت چند قرارگاهی و چند محصولی با پنجره زمانی فازی برای حل مدل از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نا مغلوب استفاده‌شده است. نتایج حاصل از حل مثال‌های متعدد نشان می‌دهد با بکار گیری مدل انعطاف‌پذیر بجای مدل‌های متداول مسیریابی هزینه‌های توزیع به‌طور میانگین ۱۵ درصد کاهش‌یافته است همچنین رضایت مشتری به‌طور میانگین ۱۸ درصد افزایش پیدا می‌کند.

۱. مقدمه

امروزه با توجه به افزایش جمعیت، تقاضا برای دریافت خدمات و کالا نیز افزایش می‌یابد. محدود بودن منابع باعث شده تا سازمان‌ها افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از منابع را در سیاست‌های کلان خود جای دهند. افزایش بهره‌وری، کاهش قیمت تمام‌شده کالا را به همراه دارد. یکی از مباحثی که در چند دهه اخیر کاربرد بالایی داشته و برای افزایش کارایی و بهره‌وری سیستم‌های حمل‌ونقل مطرح‌شده، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه است.

تاریخ وصول: ۹۴/۱۲/۱۱

تاریخ تصویب: ۹۵/۱۲/۱۵

لیلا تقوا، دانشجو ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشکده صنایع، دانشگاه یزد.

محمد مهدی لطفی، استادیار گروه مهندسی صنایع ، دانشکده صنایع، دانشگاه یزد

***نویسنده مسئول مقاله: حسن خادمی زارع**، دانشیار گروه مهندسی صنایع ، دانشکده صنایع، دانشگاه یزد hkhademiz@yazd.ac.ir

به‌طورکلی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، یعنی تعیین مسیر حمل کالا از حداقل یک مبدأ به چند مقصد، به‌گونه‌ای که وسایل نقلیه در مجموع کمترین مسیر را در کمترین زمان ممکن طی کنند. از زمان معرفی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، حالت‌های مختلفی از آن مطالعه شده و انواع مفروضات و محدودیت‌ها موردبررسی قرارگرفته است. در مسائل متداول مسیریابی معمولاً یکی از محدودیت‌های مسئله این است که هر خودرو بعد از سرویس‌دهی به انبار ابتدایی بازگردد. نوعی دیگر از مسائل مسیریابی مسأله مسیریابی وسیله نقلیه باز است. در این نوع مسائل وسایل نقلیه مجبور نیستند که به انبار بازگردند. یوسفی –خوشبخت[۱] این نوع مسأله مسیریابی را در مقاله خود مورد بررسی قراردادند.در این مقاله یک روش مؤثر رقابتی فراگیر به عنوان یک الگوریتم جدید فرا ابتکاری برای حل این مسأله ارائه می‌کند.محاسبات نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی با دیگر نتایج روش‌های فرا ابتکاری برای حل مسائل وسیله نقلیه باز قابل‌رقابت است. اکسن و همکاران[۲] در مقاله خود

یک نوع دیگر از حل مسیریابی وسایل نقلیه باز که در آن وسایل نقلیه پس از ترک انبار و بازدید مجموعه از مشتریان و پایان مسیر در گره خاص به نام گره راننده متوقف می‌شوند.

نوعی از مسأله مسیریابی وسایل نقلیه وجود دارد که وسیله نقلیه مجاز به بارگیری مجدد در بین مسیر است. این نوع مسأله مسیریابی با توجه به سرعت شارژ وسایل نقلیه الکتریکی در مسائل کمتر از ظرفیت در مناطق شهری کاربرد دارد. کانراد و همکاران[۳] در مقاله‌ای ابتدا مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با شارژ در بین مسیر را مدل‌سازی کردند.در این مقاله تحلیل حساسیت روی اندازه ناوگان و مسافت طی شده انجام‌شده است.در این مقاله تأثیر پنجره زمانی تحویل در محدود کردن زمان سفر درحالی‌که تعداد وسیله نقلیه محدود است بررسی‌شده است. کریور و همکاران [۴] مسأله مسیریابی وسایل نقلیه را در حالتی بررسی کردند که هر وسیله نقلیه می‌توانست بین مسیر برای بارگیری مجدد به یک قرارگاه غیر از قرارگاه اولیه مراجعه کند. انجلیلی و اسپرانزا [۵] حالتی از مسیریابی دوره‌ای را بررسی کردند که هر وسیله نقلیه برای بارگیری مجدد می‌توانست به یک سری انبار میانی مراجعه کند.

در این مقاله محدودیت بازگشت به انبار ابتدایی آزاد می‌شود درواقع همه ی مسیرهای مربوطه از انبار شروع می‌شوند اما وسایل نقلیه لزومی ندارد به انبار ابتدایی بازگردند. آزاد شدن این محدودیت علاوه بر اینکه در هزینه‌های مسیریابی تأثیرگذار است درزمان سرویس‌دهی نیز تأثیرگذار است.

کک و همکاران [۶]برای اولین بار مسئله تخصیص انعطاف‌پذیر انبار ابتدایی و انتهایی را موردبررسی قراردادند. در این مسئله به وسایل نقلیه اجازه داده می‌شود سفر خود را از انبارهای متفاوت شروع کرده و انبارهای متفاوتی را برای بارگیری انتخاب کنند. فرض‌های زیر این مقاله را از سایر مقالات کارشده در زمینه مسیریابی متمایز می‌کند:

۱) هر وسیله سفر خود را از انبار شروع می‌کند ولی لزومی ندارد به همان انبار بازگردد.

۲) هر وسیله از هر انبار و ازهر انبار چند بار می‌تواند عبور کند.

۳) مجموع تقاضای مشتریان در هر بخش مسیر نباید از ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز کند.

آن‌ها برای حل این مسئله مدل شبکه ترسیم کردند و مسئله را به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح فرموله کردند. با توجه به مطالعه موردی و مقایسه نتایج ۴۹,۱٪ صرفه‌جویی در هزینه به‌دست‌آمده است. این مقدار صرفه‌جویی قابل‌توجه است و نشان می‌دهد با تمرکز روی انعطاف‌پذیری می‌شود گام‌های جدیدی در زمینه کاهش هزینه حمل‌ونقل شرکت‌های توزیع برداشت.

عیدی و عبدالرحیمی[۷] مدل جدیدی از مسئله مسیریابی چند قرارگاهی و برای چند دوره متوالی به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح فرموله کرده‌اند که قرارگاه ابتدایی و انتهایی برای هر مسیر در هر دوره با توجه به مشتریان سایر دوره‌ها مشخص می‌گردد و در آن الزامی به بازگشت وسایل نقلیه به قرارگاه اولیه نیست. آن‌ها از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک برای حل مدل استفاده کرده‌اند. این مقاله هم، به کاهش مجموعه هزینه‌های مسیریابی با لحاظ نمودن ویژگی انعطاف‌پذیری در تعیین قرارگاه پایانی هر مسیر اشاره‌کرده است.

در تحقیقات پیشین، مسائل انعطاف‌پذیر مطرح‌شده فاقد موعد تحویل و یا پنجره زمانی بوده‌اند درنتیجه تأثیر انعطاف‌پذیری بر رضایت مشتری و میزان دیرکردها یا زودکردها بررسی نشده است. دراین تحقیق پنجره زمانی فازی برای خدمت رسانی در نظر گرفته‌شده است و با توجه به فازی بودن پنجره زمانی سنجش رضایت مشتری و میزان تأثیر انعطاف‌پذیری در تحویل به‌موقع کالا به شکل منطقی امکان‌پذیر است. در این مقاله تأثیر تخصیص انعطاف‌پذیر انبار پایانی در هزینه حمل‌ونقل و رضایت مشتری به‌طور همزمان سنجیده می‌شود. اهداف این مدل شامل حداقل سازی مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه و حداکثر سازی سطح سرویس تأمین‌کنندگان به مشتریان است. با توجه به تناقض اهداف مسئله باید بین اهداف توازن برقرار شود.

در صنعت حمل‌ونقل، بازه‌های زمانی همیشه به‌طور کامل و دقیق برآورده نشده و انحراف زمان سرویس از بازه‌های زمان مشتری تعیین‌کننده میزان عدم رضایت مشتری است. با توجه به فازی بودن پنجره زمانی سنجش رضایت مشتری در تحویل به‌موقع کالا به شکل منطقی امکان‌پذیر است. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با بازه‌های زمانی فازی به صورت یک مدل دوهدفه شامل حداقل سازی مسافت طی شده و بهینه‌سازی سطح سرویس تأمین‌کننده به مشتریان در این مقاله بررسی می‌شود.

تاس و همکاران[۸] مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی انعطاف‌پذیر را مطرح کردند. در این مقاله امکان سرویس‌دهی در خارج از پنجره زمانی سخت وجود دارد، در این صورت برای هر واحد سرویس‌دهی خارج از بازه زمانی میزانی جریمه در تابع هدف در نظر گرفته می‌شود.دهباری و همکاران[۹] مسیریابی وسایل نقلیه چند هدفه با زمان سرویس احتمالی و تقاضای فازی تحت محدودیت‌های پنجره زمانی را مطالعه کردند. هدف این تحقیق کمینه کردن هزینه و سوخت مصرفی است همچنین برای تجاوز از پنجره زمانی هزینه‌ای در تابع هدف در نظر گرفته‌شده است. تانگ و همکاران [۱۰]برای حل مسئله مسیریابی با پنجره زمانی فازی یک الگوریتم ابتکاری دومرحله‌ای ارائه دادند. بریتو و همکاران[۱۱] مساله مسیریابی وسایل نقلیه را در حالتی که ظرفیت وسایل نقلیه و پنجره زمانی فازی به شکل محدودیت های فازی هستند به صورت برنامه ریزی خطی مدلسازی کردند.قنادپور و همکاران[۱۲]مسئله حمل‌ونقل پویا را با اهداف چندگانه و پنجره زمانی فازی موردبررسی قراردادند.. اهداف مقاله شامل حداقل

کردن کل فاصله سفر و زمان انتظار وسایل نقلیه و همچنین حداکثر کردن رضایت مشتری است. در این مقاله به تناقض اهداف مسئله و لزوم ایجاد توازن بین اهداف اشاره‌شده است.

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی نیز یکی از شاخه‌های پرکاربرد مسئله مسیریابی است که در آن بیش از یک قرارگاه به مشتریان سرویس‌دهی می‌کند. اگر تعداد محصولات بیشتر از یکی باشد مسئله مسیریابی چند محصولی حاصل می‌شود. با توجه به اینکه تاثیر تحصیص انعطاف پذیر انبار پایانی بر رضایت مشتری و هزینه حمل و نقل در این تحقیق بررسی می شود لازم است که مساله در حالت چند قرارگاهی بررسی شود همچنین میزان اهمیت محصولات متفاوت برای مشتریان متفاوت است در نتیجه در این تحقیق مساله مسیریابی در حالت چند قرارگاهی و چند محصولی بررسی می شود.ژانگ و چن [۱۳] مسئله مسیریابی چند محصولی را برای مواد غذایی منجمد بررسی کردند. هدف این مقاله پیدا کردن مسیرها با کمترین هزینه تحویل با وسایل نقلیه یکسان است. صالحی و همکاران[۱۴] مسئله حمل‌ونقل چند قرارگاهی با وسایل نقلیه متفاوت را بررسی کردند.

آن‌ها مسئله را به شکل ریاضی بیان کرده و برای مسئله حد پایین به دست آوردند.مهدوی اصل و همکاران[۱۵] برای حل مسئله مسیریابی چند قرارگاهی و چند محصولی با وسیله نقلیه متفاوت یک مدل ریاضی و روش ابتکاری ارائه دادند. سپهری و کارگری [۱۶] یک مدل برنامه ریزی خطی صفر ویک (BLP) برای بهینه یابی سبد سرو یس درمسایل مسیریابی وسایل نقلیه چند ایستگاهی – چند محصولی و چند سطحی با هدف حداقل نمودن هزینه های توزیع ارائه دادند و برای حل این مدل یک الگوریتم کارا ارائه دادند. مونتیا تورس و همکارانش یک مقاله مروری درزمینه مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی انجام دادند. در این مقاله، مقالات منتشرشده از سال ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۱۴ درزمینه مسیریابی چند قرارگاهی در حالت‌های مختلف پنجره زمانی، ناوگان ناهمگن، تحویل دوره‌ای و توزیع و تحویل مورد بررسی قرارگرفته‌اند همچنین مسائل مسیریابی بر اساس تابع اهداف یگانه یا چندگانه تقسیم‌بندی شده‌اند. در این مقاله همچنین اشاره‌شده است که یکی از مشکلات زنجیره تأمین در اغلب موارد مقابله با چند هدف به‌طور همزمان است که معمولاً این اهداف ضد و نقیض هستند (به‌عنوان‌مثال: به حداقل رساندن تعداد خودروها و حداکثر کردن سطح خدمت دهی) و برای بهبود یکی باید در تابع هدف دیگر هزینه پرداخت. در این مقاله اشاره‌شده است که تعداد مقالات کمی درزمینه مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی وجود دارد که در آن اهداف چندگانه در نظر گرفته‌شده باشد. در این مقاله با بررسی روش‌های حل مسائل مسیریابی وسیله نقلیه چند قرارگاهی میزان استفاده از روش‌های حل دقیق، ابتکاری و فرا ابتکاری مشخص‌شده است. با توجه به مقالات بررسی‌شده میزان ۲۵٪ از مقالات از روش‌های حل دقیق ازجمله شاخه و کران و برنامه‌ریزی ریاضی استفاده کرده‌اند. این روش‌ها برای مسائل بهینه‌سازی ترکیبی ساده و مسائل با ابعاد کوچک کارایی خوبی دارد؛ اما با توجه بهNP-HARD بودن مسائل مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی روش‌های ابتکاری زیادی برای حل این نوع مسائل استفاده‌شده است. این روش ۳۳٪ مقالات کارشده درزمینه مسیریابی چند قرارگاهی را شامل می‌شود.۴۲٪ باقی‌مانده از مقالات مرور شده در این مقاله از روش‌های فرا ابتکاری برای حل مسائل مسیریابی چند قرارگاهی استفاده کرده‌اند. ازجمله الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده‌شده در مقالات الگوریتم جست جوی ممنوع (TS)، الگوریتم ژنتیک (GA) و شبیه‌سازی تبرید (SA) انداز دیگر روش‌های فرا ابتکاری استفاده‌شده در مقالات می‌توان به الگوریتم کلونی مورچگان و جست جوی همسایگی اشاره کرد. واضح است که درزمینه روش‌های فرا ابتکاری شکاف‌های زیادی برای تحقیق وجود دارد، همچنین در تحقیقات پیشین کارا بودن این نوع الگوریتم‌ها در مسائل مسیریابی اثبات‌شده است[۱۷].

در این تحقیق ابتدا سعی بر فرموله کردن مسئله با مفروضات در نظر گرفته‌شده داریم و ابتدا مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند محصولی، چند قرارگاهی با پنجره زمانی فازی و اهداف چندگانه به شکل متداول مدل‌سازی می‌شود سپس مدل ریاضی مسئله برای حالت انعطاف‌پذیر تعمیم داده خواهد شد. برای حل هر دو مدل با توجه به Np-Hard بودن مسئله مسیریابی از الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نا مغلوب استفاده‌شده است. الگوریتم ژنتیک چند هدفه با بهره‌گیری از تکنیک‌های مرتب‌سازی نا مغلوب و فاصله ازدحامی به خوبی فضای مسئله را برای مسئله مسیریابی که یک مسئله چند هدفه با قیود چندگانه است، مورد جستجو قرار می‌دهد. مزیت استفاده از این الگوریتم در این است که به جای ارائه یک پاسخ بهینه به عنوان جواب نهایی مسئله، تعدادی نقاط را تحت عنوان پارتو فرانت به عنوان پاسخ‌های مسئله ارائه می‌کند. همچنین سایر الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه از پیچیدگی $O(MN^3)$ برخوردارند که N تعداد جمعیت اولیه و M تعداد اهداف است اما الگوریتمNSGA-II از پیچیدگی کمتر$O(MN^2)$ برخوردار است[۱۸].

بیکر و ای چیو[۱۹] کاربرد الگوریتم ژنتیک در حل مسائل مسیریابی پایه در حالتی که تقاضا قطعی است و یک انبار برای توزیع کالا وجود دارد، موردبررسی قراردادند. بهترین نتایج شناخته‌شده برای مسائل مسیریابی پایه با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع و شبیه‌سازی تبرید به‌دست‌آمده است. الگوریتم ژنتیک کاربرد گسترده‌ای برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی دارد به خصوص برای حل مسائل مسیریابی در حالتی که پنجره زمانی تحویل وجود داشته باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این مقاله؛ ترکیب الگوریتم ژنتیک با روش جست جوی همسایگی

جواب‌های قابل‌قبولی هم از لحاظ کیفیت و هم از لحاظ زمان حل در مقایسه با الگوریتم جست جوی ممنوع و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، نتیجه می‌دهد. ظفری و همکاران [۲۰] نوعی روش فرا ابتکاری ترکیبی بر پایه الگوریتم ژنتیک برای حل مساله کلاسیک مسیریابی وسیله نقلیه پیشنهاد دادند مقایسه این روش با روش‌های دیگر فراابتکاری کارایی روش پیشنهادی را اثبات می‌کند.

لاو همکاران[۲۱] از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در حالت چند قرارگاهی و چند محصولی استفاده کردند. رشیدی-بیژن و نهضتی [۲۲] مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی فازی و اهداف چندگانه را موردبررسی قراردادند. در این مقاله اهداف مسئله شامل حداقل کردن هزینه‌های سفر و حداکثر کردن سطح سرویس مشتریان است. در این مقاله یک الگوریتم ژنتیک چند هدفه ارائه‌شده است که برای کاهش پیچیدگی حل، مسئله چند هدفه را به مسئله تک هدفه تبدیل می‌کند.لوپز و همکاران[۲۳] مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی فازی و اهداف چندگانه را در مقاله خود موردبررسی قراردادند. اهداف مسئله شامل حداقل کردن مسافت طی شده و حداکثر کردن سطح سرویس‌دهی است.

در ادامه ساختار مقاله شامل بخش‌های زیر است. در بخش ۲ فرضیات و چگونگی فرموله نمودن مسئله تحقیق موردمطالعه قرار خواهد گرفت در بخش ۳ روش حل مسئله با الگوریتم ژنتیک چند هدفه با مرتب‌سازی نا مغلوب ارائه خواهد شد در بخش ۴ مثال‌های حل‌شده با استفاده از نرم‌افزار متلب ارائه‌شده است. بخش ۵ جمع‌بندی، طرح نتایج مهم و برخی افق‌های تحقیقات اتی در ارتباط با موضوع تحقیق بیان گردیده است.

۲. مدل ریاضی

در این قسمت مدل ریاضی برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در حالتی که انعطاف‌پذیری در تخصیص قرارگاه ابتدا و انتهای مسیر وجود دارد و همچنین در حالت برآورده کردن چند کالا برای مشتریان پرداخته شود. در این مسئله پنجره زمانی فازی برای تحویل کالا به مشتری در نظر گرفته‌شده است تا سنجش میزان رضایت مشتری به شکل واقعی‌تری امکان‌پذیر باشد برای مدل کردن مسئله مفروضات زیر در نظر گرفته‌شده است.

۱-تعداد قرارگاه‌ها مشخص است.

۲-تعداد و ظرفیت خودروها مشخص و ثابت است.

۳-تقاضای هر مشتری برای هر کالا مشخص و ثابت است.

۴-مسیر هر وسیله نقلیه از قرارگاه شروع‌شده، اما قرارگاه پایانی بر حسب نزدیک‌ترین فاصله یا کمترین هزینه انتخاب می‌شود و لزومی به بازگشت به قرارگاه ابتدایی نیست.

۵-موعد تحویل (پنجره زمانی) به صورت اعداد فازی ذوزنقه‌ای است.

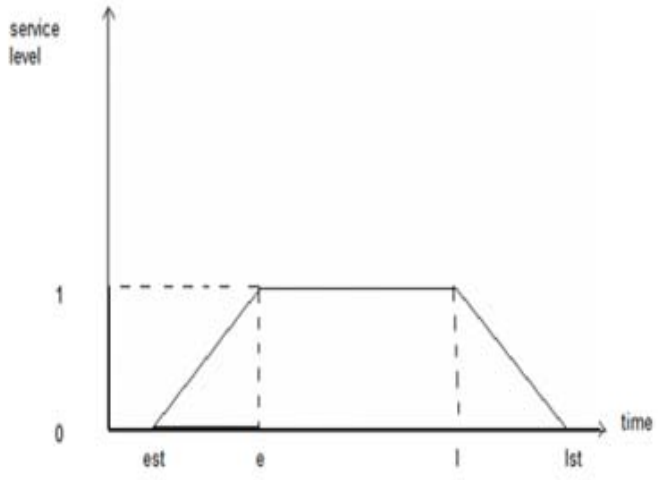
در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی با پنجره زمانی فازی دو پنجره زمانی مشخص می‌شود. یکی پنجره زمانی مطلوب در بازه زمانی (e_i , l_i) و یک پنجره زمانی قابل‌قبول در بازه (est_i , lst_i) قرار دارد. سطح سرویس تأمین‌کنندگان برای هر مشتری می‌تواند با یک تابع عضویت فازی مانند تابع (1) توضیح داده شود.

$$s_i(t)\begin{cases} 0 & t \prec est_i \\ e_i(t) & est_i \le t \prec e_i \\ 1 & e_i \le t \prec l_i \\ l_i(t) & l_i \le t \prec lst_i \\ 0 & lst_i \le t \end{cases} \quad (۱)$$

در ساده‌ترین حالت پنجره زمانی $e_i(t)$ و $l_i(t)$ به صورت رابطه خطی (2) هستند.

$$e_i(t) = \frac{t - est_i}{e_i - est_i}$$
$$l_i(t) = \frac{lst_i - t}{lst_i - l_i} \quad (۲)$$

توابع سطح سرویس مطابق شکل (۱) می‌باشند.



شکل ۱. تابع خطی سطح سرویس پنجره زمانی فا

برای اینکه امکان مقایسه مدل در حالت انعطاف‌پذیر با مدل متداول وجود داشته باشد ابتدا باید مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی و چند محصولی با پنجره زمانی فازی در حالت متداول مدل شود. در این حالت تمام مفروضات بالا برقرار است به جز اینکه مسیر هر وسیله نقلیه از قرارگاه شروع‌شده و قرارگاه پایانی لزوماً با قرارگاه ابتدایی یکسان است.

تعداد انبارهاB:

در حالت انعطاف‌پذیر انبار واقعی با H_0 نشان داده می‌شود؛ و هر گره انبار به صورت یک متغیر صفر و یک تعریف می‌شود که با H_1 تا H_B نمایش داده می‌شود که B تعداد کل انبارها است.

۲-۱-۳. متغیرهای تصمیم

۲-۱. اندیس‌ها و متغیرهای تصمیم

۲-۱-۱. اندیس‌ها

i,j: مجموعه مشتریان و قرارگاه‌ها:

قرارگاه‌ها (و $(H \dots . . 1 \dots$ مشتریان $(H+1 \dots . . H+N)$

a: محصول

K: وسایل نقلیه

۲-۱ -۲. پارامترها

c_{ij}: هزینه مسافرت از گره I به گره J

t_{ij}: زمان سفر بین از گره I به گره J

d_{ia}: تقاضای مشتری i برای کالای a

q_k: ظرفیت وسیله نقلیه

ss_i:: مدت زمان تخلیه بار مشتری I

p_a: حجم محصول a

v_{ia}: ظرفیت انبار I برای ارائه محصول a

پایین‌ترین سطح سرویس مربوط به مشتری I:α_i

مجموعه انبارهاH:

:مجموعه انبارهای واقعیH_0

مجموعه گره‌های صفر و یک از انبارهاH_{1-B}:

x_{ijk}: اگر توسط وسیله K بلافاصله بعد از نقطه I به نقطه J بروید یک و در غیر این صورت صفر است

z_{ij}: اگر مشتری I به قرارگاه‌ها J اختصاص یابد مقدار یک و در غیر این صورت صفر است.

y_k: اگر وسیله نقلیه K مورداستفاده قرار گیرد مقدار یک می‌گیرد و در غیر این صورت صفر

w_{ik}:: زمان رسیدن وسیله نقلیه K به مشتری I

۲-۴. مدل‌سازی مسئله در حالت متداول

$$MINZ_1 = \sum_{I=0}^{n+H}\sum_{\substack{J=0\\I\neq J}}^{n+H}\sum_{k=1}^{K} c_{ij} \ . \ X_{ijk} + \sum_{k} y_k .m \quad (۳)$$

$$MaxZ_2 = \sum_{i=1}^{n} s_i(t)\left(\sum_{k=1}^{k} x_{ijk}.w_{ik}\right) \quad (۴)$$

$$\sum_{j}^{N+H}\sum_{K}^{k} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in \mathrm{N} \quad (۵)$$

$$\sum_{i}^{H}\sum_{i=1}^{n+H} X_{ijk} - y_k = 0 \quad (۶)$$

$$\left[\sum_{j}\left(\sum_{a} d_{ja}.p_a\right)\right]\left[x_{ijk}\right] \le q_k \quad (۷)$$

$$\sum_{i=1}^{n+H} X_{ijk} - \sum_{i=1}^{n+H} X_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K,\ j \in N,H \quad (۸)$$

$$\sum_{j}^{n} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in H, k \in K \quad (۹)$$

$$\sum_{i}^{n} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in H, k \in K \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i}^{n+h}\sum_{a} d_{ja}.z_{ij} \le v_{ia} \forall j \in n, k \in K \quad (۱۱)$$

$$\sum_{g}(x_{igk} - x_{gjk}) - z_{ij} \le 1 \forall j \in N, \mathrm{i} \in H, k \in K \quad (۱۲)$$

$$w_{ik} + ss_i + t_{ij} - w_{jk} \le (1 - X_{ijk}).M \quad \forall i \in N \cup H, j \in \{N,H\}, k \in K, i \neq j \quad (۱۳)$$

$$w_{ik} + ss_i + t_{ij} - w_{jk} \ge -(1 - X_{ijk}).M \quad \forall i \in N \cup H, j \in \{N,H\}, k \in K, i \neq j \quad (۱۴)$$

$$w_{ik} \ge 0 \quad \forall i \in N, k \in K \quad (۱۵)$$

$$\sum_{i=1}^{n} s_i(t)\left(\sum_{k=1}^{k} x_{ijk}.w_{ik}\right) \ge \alpha_i \quad (۱۶)$$

$$x_{ijk} = 0,1 \quad (۱۷)$$

$$y_k = 0,1 \quad (۱۸)$$

رابطه (۳) مربوط به تابع هدف اول و به منظور حداقل کردن کل هزینه توزیع یا حمل‌ونقل است. رابطه (۴) مربوط به تابع هدف دوم حداکثر کردن سطح سرویس به مشتریان است. بعد از تعیین مسیر توسط تابع هدف اول، سطح سرویس مشتریان توسط تابع هدف دوم بهبود می‌یابد.رابطه (۵) الزام می‌کند که هرمشتری یک‌بار و توسط یک وسیله نقلیه سرویس بگیرد. رابطه (۶) هر وسیله که از انبار بگذرد y_k مقدار یک می‌گیرد و ماهیت این محدودیت باعث می‌شود باعث می‌شود هر وسیله از هر انبار فقط یک‌بار عبور کند. رابطه(۷) بیان می‌کند که حجم کل کالایی که در هر مسیر به یک وسیله نقلیه اختصاص می‌یابند، نباید از ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر باشد. محدودیت (۸) تعادل جریان بین گره‌های مشتری و انبار را برقرار می‌کند. محدودیت (۹) باعث می‌شود که هر مسیر، توسط هر وسیله نقلیه از یک انبار شروع شود. محدودیت (۱۰) باعث می‌شود که هر مسیر، توسط هر وسیله نقلیه به یک انبار ختم شود. محدودیت (۱۱) سبب می‌شود تا حداکثر کالایی که از هر قرارگاه خارج می‌شود از ظرفیتان قرارگاه تجاوز نکند. محدودیت (۱۲) بیان می‌کند که مشتری می‌تواند به یک قرارگاه اختصاص یابد اگر و تنها اگر مسیری وجود داشته باشد. محدودیت (۱۳) و (۱۴) زمان رسیدن کالا به هر مشتری زودتر از زمان رسیدن به مشتری قبلی بعلاوه زمان تخلیه بار و طی مسیر تا رسیدن به مشتری فعلی نباشد. این رابطه درواقع خطی شده رابطه زیر است.

رابطه (۳) مربوط به تابع هدف اول و به منظور حداقل کردن کل هزینه توزیع یا حمل‌ونقل است. رابطه (۴) مربوط به تابع هدف دوم حداکثر کردن سطح سرویس به مشتریان است. بعد از تعیین مسیر توسط تابع هدف اول، سطح سرویس مشتریان توسط تابع هدف دوم بهبود می‌یابد.رابطه (۵) الزام می‌کند که هرمشتری یک‌بار و توسط یک وسیله نقلیه سرویس بگیرد. رابطه (۶) هر وسیله که از انبار بگذرد y_k مقدار یک می‌گیرد و ماهیت این محدودیت باعث می‌شود باعث می‌شود هر وسیله از هر انبار فقط یک‌بار عبور کند. رابطه(۷) بیان می‌کند که حجم کل کالایی که در هر مسیر به یک وسیله نقلیه اختصاص می‌یابند، نباید از ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر باشد. محدودیت (۸) تعادل جریان بین گره‌های مشتری و انبار را برقرار می‌کند. محدودیت (۹) باعث می‌شود که هر مسیر، توسط هر وسیله نقلیه از یک انبار شروع شود. محدودیت (۱۰) باعث می‌شود که هر مسیر، توسط هر وسیله نقلیه به یک انبار ختم شود. محدودیت (۱۱) سبب می‌شود تا حداکثر کالایی که از هر قرارگاه خارج می‌شود از ظرفیتان قرارگاه تجاوز نکند. محدودیت (۱۲) بیان می‌کند که مشتری می‌تواند به یک قرارگاه اختصاص یابد اگر و تنها اگر مسیری وجود داشته باشد. محدودیت (۱۳) و (۱۴) زمان رسیدن کالا به هر مشتری زودتر از زمان رسیدن به مشتری قبلی بعلاوه زمان تخلیه بار و طی مسیر تا رسیدن به مشتری فعلی نباشد. این رابطه درواقع خطی شده رابطه زیر است.

$$x_{ijk}(w_{ik} + ss_i + t_{ij} - w_{jk}) \le 0 \quad (۱۹)$$
$$\forall i \in N \cup H, j \in N, k \in K$$

محدودیت (۱۵) نشان می‌دهد که زمان شروع خدمت گیری برای گره‌های مشتری نامنفی است. محدودیت(۱۶) سطح سرویس قابل‌قبول هریک از مشتریان را نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۷) و (۱۸) مربوط به ماهیت دودویی متغیرها است.

۲-۵. مدل‌سازی مسئله در حالت انعطاف‌پذیر

در مدل‌های متداول حمل‌ونقل محدودیت (۸) به ازای تمام مشتری‌ها و انبارها نوشته می‌شود و تعادل جریان بین گره‌های مشتری و انبار را برقرار می‌کند اما در مدل انعطاف‌پذیر تعادل جریان به سه محدودیت (۲۰) (۲۱) (۲۲)شکسته می شود.

انعطاف‌پذیر

$$\sum_{i=1}^{n+H} X_{ijk} - \sum_{i=1}^{n+H} X_{ijk} = 0 \quad (۲۰)$$
$$\forall k \in K, \ j \in N$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ijk} - \sum_{i=1}^{n} X_{ijk} >= 0 \quad (۲۱)$$
$$\forall k \in K, \ j \in \{H_1, ..., H_{b-1}\}$$

$$\sum_{i \in H_{b-1}} \sum_{j \in N} X_{ijk} - \sum_{i \in H_b} \sum_{j \in N}^{n} X_{ijk} = 0 \quad (۲۲)$$
$$\forall k \in K, \ H_b \in \{H_1, ..., H_b\}$$

که درواقع این سه محدودیت به‌طور مجزا تعادل جریان بین انبارها و مشتری را برقرار می‌کنند. محدودیت (۲۰)تعادل جریان بین گره‌های مشتری را برقرار می‌کند سپس محدودیت (۲۱) جریان برای گره‌های میانی H_1-H_B را تعدیل می‌کند و درنهایت محدودیت (۲۲) با جلوگیری از خروج وسایل نقلیه از گره H_B محدودیت جریان را کامل می‌کند. برای اعمال این محدودیت‌ها لازم است که انبارها که با H نمایش داده می‌شوند با اندیس‌هایی به تعداد انبارها تفکیک شوند درواقع به ازای هر انبار یک متغیر صفر و یک به مسئله اضافه می‌شود.

محدودیت (۱۵) نشان می‌دهد که زمان شروع خدمت گیری برای گره‌های مشتری نامنفی است. این محدودیت در مدل انعطاف‌پذیر به دو محدودیت (۲۱)و (۲۲) شکسته می‌شود.

$$w_{ik} = 0$$
$$\forall i \in H_0 \{= depots\}, k \in K \quad (۲۳)$$
$$w_{ik} \ge 0$$
$$\forall i \in \{N, H_1 .... H_b\}, k \in K \quad (۲۴)$$

محدودیت (23) بیان می‌کند که زمان شروع خدمت گیری برای گره‌های انبار صفر است و محدودیت (24) نشان می‌دهد که زمان شروع خدمت گیری برای گره‌های مشتری نامنفی است. درواقع چون به ازای هر انبار یک متغیر صفر و یک داریم لازم است که زمان شروع خدمت گیری برای انبارها هم اضافه شود.در ادامه به منظور سنجش میزان بهبود در هزینه‌ها و رضایت مشتری هر دو مدل متداول و انعطاف‌پذیر با الگوریتم ژنتیک حل‌شده است.

۳. الگوریتم ژنتیک

در بهینه‌یابی چندهدفه، چند تابع هدف مختلف وجود دارند که تمایل به یافتن کمینه یا بیشینهٔ آن‌ها به‌طور هم‌زمان وجود دارد. اغلب این توابع هدف در نقطهٔ مقابل یکدیگر قرار دارند، به طوری که بهبود یکی از آن‌ها، با بدتر شدن دیگری مواجه می‌شود. الگوریتم ژنتیک چند هدفه با بهره‌گیری از تکنیک‌های مرتب‌سازی نا مغلوب و فاصله ازدحامی به خوبی فضای مسئله را برای مسئله مسیریابی که یک مسئله چند هدفه با قیود چندگانه است، مورد جستجو قرار داده است. مزیت استفاده از این الگوریتم در این است که به جای ارائه یک پاسخ بهینه به عنوان جواب نهایی مسئله، تعدادی نقاط را تحت عنوان پارتو فرانت به عنوان پاسخ‌های مسئله ارائه می‌کند. برای حل هر دو مدل با توجه به Np-Hard بودن مسئله مسیریابی از الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نا مغلوب (NSGA-II) استفاده‌شده است. سدر ادامه به توضیحات گام‌های الگوریتم ژنتیک برای حل دو مدل متداول و انعطاف‌پذیر پرداخته می‌شود.

۳-۱. نحوه نمایش جواب:

برای نمایش جواب‌های اولیه از کروموزوم‌های سه‌بخشی به شکل زیر استفاده خواهد شد. نحوه نمایش پاسخ به شکل دو ماتریس (یکی یک سطری و دیگری دو سطری) که در ماتریس اول مشتری‌هایی که هر وسیله نقلیه باید رسیدگی کند، از سایر وسایل نقلیه مجزا شده است.

برای مسائل با n مشتری و m وسیله نقلیه، یک ترتیب به‌هم‌ریخته از اعداد 1 تا n+m-1 می‌تواند یک پاسخ شدنی از مسئله موردنظر باشد. به‌عنوان‌مثال برای ۷ مشتری و ۳ وسیله نقلیه اعداد به‌هم‌ریخته از ۱ تا ۹ نشان داده‌شده در شکل (2)می‌تواند یک پاسخ شدنی از مسئله موردنظر باشد:

Vehicle1			Vehicle2				Vehicle3	
2	5	9	4	1	7	8	3	6

شکل ۲. نمونه‌ای از نمایش جواب تخصیص مشتری‌ها به وسایل نقلیه

بطوریکه عددهای (۸،۹) که بزرگ‌تر از شماره مشتری‌ها هستند به عنوان جداکننده مشتری‌ها می‌باشند که تخصیص مشتری‌ها به وسایل نقلیه را نشان می‌دهند. مشتری‌های قبل از هر جداکننده نیز ترتیب خدمت دهی به مشتری‌های مربوط به آن وسیله نقلیه را نشان می‌دهد، به‌عنوان‌مثال در اینجا به ترتیب مشتری‌های (۲،۵) با وسیله نقلیه اول، مشتری‌های (4,1,7) با وسیله نقلیه دوم و مشتری‌های (3,6) با وسیله نقلیه سوم خدمت داده می‌شوند. (توجه به این نکته ضروری است که اگر جداکننده در آخر رشته قرار گیرد نشانگر این است که وسیله سوم فعال نیست). به این ترتیب می‌توان هم تخصیص مشتری‌ها به وسایل نقلیه و ترتیب خدمت دهی به هر مشتری توسط هر وسیله نقلیه را نشان داد.

در ماتریس دوم برای تخصیص وسایل نقلیه به انبارها از رشته دو سطری به‌هم‌ریخته از اعداد استفاده شد (شکل (3)). به‌طور مثال تخصیص تصادفی این سه وسیله نقلیه به ۵ انبار به صورت زیر خواهد بود:

Vehicle1	Vehicle2	Vehicle3
۲	۲	۱
۳	۴	۳

شکل ۳. تخصیص وسایل نقلیه به انبارها

که در این حالت سطر اول نشانگر انبارهای مبدأ و سطر دوم نشانگر انبارهای مقصد است بدین ترتیب وسایل نقلیه ۱ از انبار ۲ شروع به حرکت کرده و پس از طی مسیر تخصیص داده‌شده به انبار ۳ ختم می‌شود و انبار شماره ۵ غیرفعال است.

۲-۳. گام‌های الگوریتم ژنتیک:

الگوریتم ژنتیک به‌طور خلاصه دارای گام‌های زیر است

گام ۱: تولید جواب‌های اولیه

گام ۲: برازش جواب‌های اولیه

گام ۳: تعیین جواب‌های نا مغلوب

گام ۴: محاسبه فواصل ازدحامی

گام ۵: مرتب‌سازی

گام ۶: ایجاد جمعیت فرزندان به وسیله توابع ایجاد همسایگی

گام ۷: ادغام جمعیت والدین و فرزندان و انتخاب نسل جدید

گام ۸: رسیدن به شرط توقف (در صورتی که شرط توقف ارضا نگردیده بود به گام ۳ بازگردد)

در ادامه گام‌های الگوریتم شرح داده‌شده است.

گام ۱: تولید جواب اولیه:

متداول‌ترین روش برای تولید جواب اولیه، تولید جواب تصادفی به دلیل سرعت اجرا و نیز ایجاد تنوع در جواب‌ها است. به این ترتیب که در ابتدای اجرای الگوریتم یک جواب تصادفی تولید و مقدار تابع هدف را نیز برای آن محاسبه می‌کنیم. نحوه تولید جمعیت اولیه همان‌طور که در بخش قبل ذکر گردید شامل سه رشته عددی است. فرض کنید که ۵ مشتری ۲ انبار و ۳ وسیله نقلیه داریم. جهت تولید جواب‌های اولیه که می‌بایست ماهیت تصادفی داشته باشند از به هم ریختن اعداد ۱ تا ۵ (تعداد مشتری) به اضافه اعداد ۶ و ۷ (تعداد وسیله نقلیه منهای یک ۲=۱-۳) تشکیل می‌گردد. رشته‌های مربوط به مبدأ و مقصد نیز از به هم ریختن اعداد ۱ تا ۲(تعداد انبارها) در سه خانه (تعداد وسایل نقلیه) ایجاد خواهد شد. اندازه جمعیت در این تحقیق ۱۵با روش سعی و خطا در نظر گرفته‌شده است.

گام ۲: برازش جواب

تابع برازش(Fitness) : یک تابع شایستگی را برای هر کروموزوم به دست می‌آورد. که این خود معیاری برای مناسب بودن فرد در جمعیت اولیه است

گام ۳ و ۴: تعیین جواب‌های نا مغلوب و محاسبه فاصله ازدحامی

زمانی که تعداد اهداف مسئله بیش از یکی باشد دیگر الگوریتم تک هدفه جواب‌گو نخواهد بود. با اضافه شدن سه عملگر ضروری به الگوریتم ژنتیک تک هدفه معمولی، به یک الگوریتم چند هدفه به دست می‌آید که به جای یافتن بهترین جواب، دسته‌ای از بهترین جواب‌ها را می‌دهد که با نام پارتو فرانت شناخته می‌شوند. در ادامه این سه عملگر به‌طور مختصر شرح داده‌شده است.

۱-مرتب‌سازی نا مغلوب:: Non Dominate Sorting

هنگامی‌که بیش از دو هدف‌داریم در بعضی از موارد نمی‌توانیم در مقایسه دو جواب تعیین نماییم که کدام‌یک بهتر است (هر یک از جواب‌ها دریکی از توابع هدف بهتر است). در این بخش جواب‌ها در جبهه‌های مختلف قرار می‌گیرد. بدین ترتیب که جوابی دیگری را مغلوب خواهد کرد که دارای مقادیر بهتر در همه توابع هدف نسب به دیگری باشد. در اینجا بجای یک جواب مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه راداریم که به آن پارتو بهینه میگویند. در این مرتب‌سازی جواب‌هایی که بتوانند در همه توابع هدف بهتر از دیگری باشند دیگری را مغلوب نموده‌اند و جواب‌هایی که نتوانند دیگری را مغلوب نمایند و یا مغلوب شوند در یک پارتو قرار می‌گیرند.

۲-محاسبه فاصله ازدحامی: Crowding Distance

فاصله ازدحامی برای هر عضو بدین صورت است که یک عضو مشخص‌شده سپس، تفاضل مقدار تابع هدف عضو بعدی از عضو قبلی بر تفاضل مقدار مینیمم و ماکزیمم تابع تقسیم می‌شود و نسبت به‌دست‌آمده مشخص‌کننده فاصله ازدحامی است. حال برای مشخص شدن رتبه‌بندی اول پارتو فرانت اول لحاظ می‌شود سپس همین طور رتبه‌بندی در بین پارتو فرانت های دیگر ادامه است حال اگر نیاز به رتبه‌بندی جزئی‌تر در یک پارتو فرانت باشد هر

عضوی که دارای فاصله ازدحامی بیشتر باشد دارای رتبه بیشتر می‌گردد. در ژنتیک چند هدفه شاخص فاصله ازدحامی برای دو به دوی جواب‌ها در هر پارتو محاسبه می‌گردد.

$$D_{ij} = \frac{c_j - c_i}{c_{j\max} - c_{j\min}} \quad for\ i:1.....n, j:1.....n$$
$$CD_i = \sum_{j=1}^{n} D_{ij} \quad for\ i:1.....n, \qquad (۲۵)$$

علت ایجاد این دو اپراتور در الگوریتم ژنتیک چند هدفه، به مرحله انتخاب برمی‌گردد که از بین کروموزوم‌های والدین و فرزندان باید تعدادی را برای آغاز مرحله بعد انتخاب و تعدادی از جواب‌ها را حذف کرد.

گام ۵: مرتب‌سازی:Sorting

در این بخش جواب‌ها بر اساس دو معیار قبل از خوب به بد مرتب می‌شوند.

گام ۶: ایجاد جمعیت فرزندان به وسیله توابع ایجاد همسایگی

جستجوی همسایگی درواقع مکانیسم جستجو در اطراف جواب فعلی برای یافتن جواب جدید و مناسب‌تر است. یک ساختار جستجوی همسایگی مناسب می‌تواند بر کیفیت جواب و فرار از نقاط بهینه محلی تأثیر بگذارد. انواع مختلفی از ایجاد همسایگی وجود دارد که در این مقاله به دلیل کاربرد زیاد و کیفیت پاسخ مناسب در الگوریتم ژنتیک صرفاً از سه عملگر تعویض جفتی (جابجایی)، معکوس سازی و جایگذاری استفاده‌شده. عملگرهای ذکرشده برای ایجاد همسایگی در قسمت مسیریابی استفاده‌شده است که یکی از آن‌ها به تصادف انتخاب و بر روی جواب مربوطه اعمال می‌شود.

گام ۷: ادغام جمعیت والدین و فرزندان و انتخاب نسل جدید

پس از ایجاد فرزندان و تولید نسل جدید تعداد جمعیت اولیه دو برابر می‌شود که با کمک معیار مرتب‌سازی نا مغلوب و فاصله ازدحامی به تعداد جمعیت اولیه نسل جدید انتخاب می‌شود.

گام ۸: رسیدن به شرط توقف (در صورتی که شرط توقف ارضا نگردیده بود به گام ۳ بازگردد). شرط توقف در این مسئله تعداد تکرار است که ۵۰۰ در نظر گرفته‌شده است.

۳-۳. نحوه انتخاب جواب بهینه از بین مجموعه جواب‌های پارتو:

ازآنجایی‌که تابع هزینه از نوع کمینه سازی و تابع رضایت از نوع بیشینه سازی است و دو تابع هدف در تناقض هستند، باید روشی انتخاب شود تا از میان مجموعه جواب‌های نا مغلوب جوابی که در هر دو تابع هدف بهتر است انتخاب شود. با توجه به تناقض اهداف نحوه رتبه‌بندی باید به‌گونه‌ای باشد که جواب نا مغلوبی که هزینه بیشتری دارد از لحاظ تابع هزینه رتبه کمتری داشته باشد جواب نا مغلوبی که رضایت بیشتری دارند رتبه بالاتری داشته باشند. همان‌طور که از رابطه ((24 مشخص است جوابی که هزینه کمتری دارد (f_i^k) تابع عضویت بیشتری را نتیجه می‌دهد همچنین در معادله (25) جوابی که رضایت بیشتری (f_i^k) داشته باشد تابع عضویت بیشتری نتیجه می‌دهد. درواقع با روابط (24) و (25) توابع هدف نرمالیزه می‌شوند. بعد از محاسبه μ^k_i برای تابع هزینه و تابع رضایت برای تک‌تک جواب‌های نا مغلوب با توجه به درجه اهمیت هر کدام از اهداف دو تابع عضویت رضایت و هزینه جمع می‌شوند. با توجه به اینکه در این تحقیق تابع هزینه از اهمیت بیشتری برخوردار است برای تابع هزینه طبق رابطه (26) از ضریب ۶. و برای تابع رضایت از ضریب ۴. استفاده‌شده است. از میان مجموع توابع عضویت جوابی که بزرگ‌ترین تابع عضویت را داشته باشد انتخاب می‌شود.

f_i^k: جواب‌های نا مغلوب

$f_i^{\min}$: کوچک‌ترین جواب نا مغلوب

$f_i^{\max}$: بزرگ‌ترین جواب نا مغلوب

$\mu c_i^k , \mu s_i^k$: رتبه تابع عضویت

$$\mu c_i^k = \frac{f_i^{\max} - f_i^k}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} \qquad (۲۶)$$

$$\mu s_i^k = \frac{f_i^k - f_i^{\min}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} \qquad (۲۷)$$

$$.6 * \mu c_i^k + .4 * \mu s_i^k \qquad (۲۸)$$

به‌عنوان‌مثال در جدول(1) جواب حاصل از حل مدل انعطاف‌پذیر با ۴۰ مشتری ۵ انبار و ۳ وسیله نقلیه نمایش داده‌شده است.

جدول ۱.مجموعه جواب‌های نا مغلوب مربوط به حل مدل انعطاف‌پذیر با الگوریتم ژنتیک

انعطاف‌پذیر	هزینه	رضایت مشتری	هزینه نرمال (رابطه ۲۷)	رضایت نرمال (رابطه ۲۸)	جمع هر دو (رابطه ۲۹)
۱	۱۳۶۹/۹	۳۹/۳	۰	۱	۰/۴
۲	۷۹۷/۳۸۵	۳۵/۷۳۲	۱	۰	۰/۶
۳	۹۷۰/۴۸۷	۳۸/۴۷۵	۰/۶۹۷۶۴	۰/۷۶۸۸۴	۰/۷۲۶۱۲۴
۴	۸۲۰/۷۰۸	۳۷/۴۰۹	۰/۹۵۹۲۶	۰/۴۷۰۲۲	۰/۷۶۳۶۴۴
۵	۸۰۳/۸۰۳	۳۵/۹۷۸	۰/۹۸۸۷۸	۰/۰۶۸۸۷	۰/۶۲۰۸۲
۶	۱۱۴۳/۷	۳۸/۶	۰/۳۹۵۰۹	۰/۸۰۳۸	۰/۵۵۸۵۷۷

همان‌طور که از نتیجه جدول (۱) قابل‌مشاهده است از بین جواب‌های نا مغلوب مدل انعطاف‌پذیر جواب ۴ انتخاب‌شده است.

۴. آزمایش‌ها مدل

در مثال‌های حل‌شده تعداد ۵ محصول با حجم متفاوت در نظر گرفته‌شده است و همچنین پارامتر α برای تمام مثال‌ها ۵. در نظر گرفته‌شده است. سایر پارامترهای مدل همانند داده‌های مقاله کک و همکاران [۶] در نظر گرفته‌شده است.

در جدول (۲) جواب‌های حاصل از حل دو مدل انعطاف‌پذیر و متداول در نرم‌افزار متلب با الگوریتم ژنتیک مقایسه شده است.

جدول ۲. نتایج الگوریتم ژنتیک

افزایش رضایت مشتری	کاهش هزینه	رضایت مشتری	هزینه انعطاف‌پذیر	رضایت مشتری	هزینه متداول	وسیله نقلیه	انبار	مشتری
۶/۰۷۰۰۵	۱۳/۲۸۴۸	۳۷/۴۰۹	۸۲۰/۷	۳۵/۱۳۹	۹۴۶/۴۴۲	۳	۵	۴۰
۳/۰۷۱۶۷	۱۷/۳۸۶۳	۵۸/۶	۳۴۳۸/۳	۵۶/۸	۴۱۶۱/۹	۳	۵	۸۰
۱۸/۰۶۱۲۲	۱۲/۱۳۹۴	۹۸	۵۹۷۲/۵	۸۰/۳	۶۷۹۷/۷	۱۰	۲۰	۱۰۰
۳/۰۳۰۳	۱۵/۵۲۱۱	۱۳۲	۱۵۳۷۶	۱۲۸	۱۸۲۰/۱	۱۵	۲۰	۱۵۰
۲۱/۵۱۱۶۲	۱۷/۱۲۲۵۵	۱۷۲	۱۸۵۴۳	۱۳۵	۲۲۳۷۴	۱۰	۲۰	۲۰۰
۲۵/۸۰۶۵	۱۱/۴۶۸۱	۱۸۶	۲۱۶۸۵	۱۳۸	۲۴۴۹۴	۱۵	۲۰	۲۰۰
۱۸/۳۷۶۱	۱۸/۶۳۷۳	۱۳۴	۳۳۳۵۳	۱۹۱	۴۰۹۹۳	۱۵	۲۰	۳۰۰

در جدول (۲) نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم ژنتیک نمایش داده‌شده است. در مثال‌های حل‌شده میزان تقاضای محصولات برای همه مشتری‌های ۲۰ واحد و تعداد ۵ محصول با حجم متفاوت در نظر گرفته‌شده است. پارامتر آلفا در همه مثال‌ها.۵ در نظر گرفته‌شده است. در جدول (3)دامنه جواب‌ها بیان‌شده است.

جدول ۳. مقایسه جواب‌ها

مقایسه	کاهش هزینه	افزایش رضایت
حداقل	۱۱/۴۶۸۱۱۴۶۴	۳/۰۳۰۳۰۳۰۳
متوسط	۱۵/۵۲۱۱۲۵۲۱	۱۸/۰۶۱۲۲۴۴۹
حداکثر	۱۸/۶۳۷۳۲۸۳۲	۲۵/۸۰۶۴۵۱۶۱

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه مدل انعطاف‌پذیر پیشنهادی کاهش هزینه و افزایش رضایت مشتری را نتیجه می‌دهد. با توجه به مثال‌های حل‌شده مدل انعطاف‌پذیر، حداقل به میزان ۱۱,۴ درصد کاهش هزینه و ۳ درصد افزایش رضایت، به‌طور میانگین ۱۵,۵ درصد کاهش هزینه و ۱۸ درصد افزایش رضایت و حداکثر ۱۸,۶ درصد کاهش هزینه و ۲۵,۸ درصد افزایش رضایت مشتری را نتیجه می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده تخصیص انعطاف‌پذیر علاوه بر کاهش هزینه افزایش رضایت مشتریان را نیز به همراه دارد. با افزایش ابعاد مسئله صرفه‌جویی در هزینه و بهبود سطح سرویس‌دهی به مشتریان چشمگیرتر خواهد بود.

این بهبود در رضایت و هزینه با افزایش تعداد مشتری به شرط ثابت ماندن همه پارامترها ازجمله انبار وسیله نقلیه، افزایش خواهد داشت. به‌طور مثال در جدول (۲) برای ۱۰۰ و ۲۰۰ مشتری در حالتی که ۲۰ انبار و ۱۰ وسیله نقلیه موجود است با افزایش تعداد مشتری میزان کاهش هزینه و افزایش رضایت بیشتر شده است. این نتیجه نشان می‌دهد که کارایی مدل انعطاف‌پذیر با افزایش تعداد مشتری بیشتر می‌شود.

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات آتی:

در این مقاله مسئله مسیریابی با پنجره زمانی فازی در حالت چند قرارگاهی و چند محصولی با حذف محدودیت بازگشت به قرارگاه ابتدایی موردبررسی قرارگرفته است. در این مقاله علاوه بر بررسی تابع هزینه حمل‌ونقل در حالت متداول و انعطاف‌پذیر، با وجود در نظر گرفتن پنجره زمانی نرم، سنجش میزان تغییر در رضایت مشتری و تحویل به‌موقع کالا امکان‌پذیر شد. از نتایج مهم تحقیق ارائه‌شده می‌توان به کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و افزایش رضایت مشتری با لحاظ نمودن ویژگی انعطاف‌پذیری اشاره کرد. با توجه به مثال‌های حل‌شده مدل انعطاف‌پذیر به‌طور میانگین ۱۵,۵ درصد کاهش هزینه و ۱۸ درصد افزایش رضایت مشتری را نتیجه می‌دهد به علاوه تخصیص انعطاف‌پذیر با افزایش تعداد مشتری کاهش هزینه بیشتری را به همراه دارد. نتایج عددی نشان می‌دهد که همچنین با افزایش تعداد انبارها تخصیص انعطاف‌پذیر کاهش چشمگیری در هزینه‌های مسیریابی

خواهد داشت. توسعه مدل انعطاف‌پذیر برای حالت چند سطحی و یا چند دوره‌ای همچنین تعمیم مدل انعطاف‌پذیر برای حالات توزیع و تجمیع می‌تواند در تحقیقات آتی موردمطالعه قرار گیرد.

مراجع

[۱] یوسفی خوشبخت، مجید.، دیده ور، فرزاد.، رحمتی، فرهاد.، صدیق پور، محمد.، << الگوریتم موثر رقابتی فراگیر برای حل مساله مسیریابی وسیله نقلیه باز >>،پژ.هش نامه حمل و نقل،شماره۱،صفحه ۸۳-۹۵،۱۳۹۱.

[2] Aksen D., Özyurt Z., & Aras N., "Open vehicle routing problem with driver nodes and time deadlines," Journal of the Operational Research Society, Vol. 58, No. 9, pp. 1223-1234, 2007.

[3] Conrad R. G., & Figliozzi M. A., "The recharging vehicle routing problem.". Proceedings of the 2011 Industrial Engineering Research Conference.

[4] Crevier B., Cordeau J.-F., and & Laporte G., "The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes," European Journal of Operational Research, Vol. 176, No. 2, pp. 756-773, 2007.

[5] Angelelli E., & Speranza M. G., "The periodic vehicle routing problem with intermediate facilities," European Journal of Operational Research, Vol. 137, No. 2, pp. 233-247, 2002.

[6] Kek A. G. H., Cheu R. L., & Meng Q., "Distance-constrained capacitated vehicle routing problems with flexible assignment of start and end depots," Mathematical & Computer Modelling, Vol. 47, No. 1–2, pp. 140-152, 2008.

[7] Eydi A. R., & Abdorahimi H., "Model and Solution Approach for Multi-Period and Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Flexibility in Specifying the Last Depot of Each Route," International Journal of Industrial Engineering & Production Management (IJIE), Vol. 23, pp. 15, 2012.

[8] Taş D., Jabali O., & Van Woensel T., "A Vehicle Routing Problem with Flexible Time Windows," Computers & Operations Research, Vol. 52, Part A, No. 0, pp. 39-54, 2014.

[۹] دهباری، صالح.، پور روستا،علیرضا.،نادری بنی، مهدی.، قبادیان، احسان.، توکلی مقدم ،رضا. << مسیریابی وسایل حمل و نقل چندهدفه با زمان سرویس احتمالی و تقاضای فازی تحت محدودیت های پنجره زمانی >>، تحقیق در عملیات در کاربردهای آن ریاضیات کاربردی،شماره ۹، صفحه ۱۳۹۱،۲۱

[10] Tang J., Pan Z., Fung R. Y., & Lau H., "Vehicle routing problem with fuzzy time windows," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 160, No. 5, pp. 683-695, 2009.

[11] Brito J., Martínez F. J., Moreno J. A., & Verdegay J. L., "An ACO hybrid metaheuristic for close–open vehicle routing problems with time windows and fuzzy constraints," *Applied Soft Computing,* Vol. 32, pp. 154-163, 2015.

[12] Ghannadpour S. F., Noori S., Tavakkoli-Moghaddam R., & Ghoseiri K., "A multi-objective dynamic vehicle routing problem with fuzzy time windows: Model, solution and application," Applied Soft Computing, Vol. 14, Part C, No. 0, pp. 504-527, 2014.

[13] Zhang Y., & Chen X., "An Optimization Model for the Vehicle Routing Problem in Multiproduct Frozen Food Delivery," Journal of Applied Research and Technology, Vol. 12, No. 2, 2014.

[14] Salhi S., Imran A., & Wassan N. A., "The multi-depot vehicle routing problem with heterogeneous vehicle fleet: Formulation and a variable neighborhood search implementation," Computers & Operations Research, Vol. 52, Part B, No. 0, pp. 315-325, 2014.

[۱۵] مهدوی اصل،وحید.، << مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی و چند محصولی با وسایل نقلیه متفاوت >>،دانشکده مهندسی صنایع, دانشگاه یزد، ۱۳۹۰.

[۱۶] سپهری،محمد مهدی.، کارگری, مهرداد.، << بهینه یابی سبد سرویس در مسائل مسیریابی چند سطحی – چند محصولی – چند قرارگاهی وسایل نقلیه >>، نشریه بین المللی مهندسی

صـنایع و مـدیریت تولیـد،شـماره ۱،جلـد۲۱ صـفحه۴۹-۱۳۸۹،۶۱.

[17] Montoya-Torres J. R., Franco J. L., Isaza S. N., Jiménez H. F., & Herazo-Padilla N., "A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots," Computers & Industrial Engineering, Vol. 79, pp. 115-129, 2015.

[18] Deb K., Pratap A., Agarwal S., & Meyarivan T., "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, Vol. 6, No. 2, pp. 182-197, 2002.

[19] Baker B. M., & Ayechew M., "A genetic algorithm for the vehicle routing problem," Computers & Operations Research, Vol. 30, No. 5, pp. 787-800, 2003.

[۲۰] ظفری،علـی،، تشـکری هاشمی،سـید مهـدی،، یوسـفی-خوشبخت،مجید،، <<الگوریتم ترکیبی موثر ژنتیک برای حـل مساله مسیریابی وسیله نقلیه>>،نشریه بین المللی مهندسـی صـنایع و مـدیریت تولید،شـماره ۲،جلـد،۲۱صـفحه۶۳-۷۶، ۱۳۸۹.

[21] Lau H. C., Chan T., Tsui W., & Pang W., "Application of genetic algorithms to solve the multidepot vehicle routing problem," Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on, Vol. 7, No. 2, pp. 383-392, 2010.

[22] Rashidi-Bajgan H., &Nehzati T., "A Multiobjective Genetic Algorithm for Fuzzy Time Windows Vehicle Routing Problem," 2010.

[23] López-Castro L. F., & Montoya-Torres J. R., "Vehicle routing with fuzzy time windows using a genetic algorithm." pp. 1-8.