فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۳، شماره ۳، بهار ۱۴۰۱، ص. ۱۵۸۶-۱۵۵۹
مقاله پژوهشی

مسئله مکان‌یابی- مسیریابی سبز چند هدفه به منظور بهبود در شبکه پول‌رسانی بانک: مطالعه موردی

مصطفی مزینانی، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، پردیس البرز، دانشگاه تهران، کرج، ایران
رضا توکلی مقدم (مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
E-mail: tavakoli@ut.ac.ir
علی بزرگی امیری، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۴ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴

چکیده

عملیات پول‌رسانی از خزانه به شعب و خودپردازهای موجود در سطح شهر، از فرآیندهای کلیدی در سیستم بانکداری می‌باشد. عوامل متعددی مانند محل خزانه، ناوگان حمل، مسیرهای انتقال و پراکندگی جغرافیایی شعب و خودپردازها، توزیع تقاضای پول، رضایت مشتریان، در انجام بهینه فرآیند انتقال پول مؤثر است. همچنین امروزه مسائل زیست‌محیطی به‌خصوص مبحث انتشار گازهای گلخانه‌ای موردتوجه قرار گرفته است. در این مقاله، یک مدل جدید از مسئله مکان‌یابی - مسیریابی وسایل نقلیه برای شبکه پول‌رسانی بانک توسعه داده شده است به‌طوری‌که هم‌زمان سه هدف کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش هزینه‌های مکان‌یابی و مسیریابی و افزایش رضایت مشتریان را در نظر می‌گیرد. با توجه به NP-hard بودن مسائل مکان‌یابی - مسیریابی جهت حل مدل، یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه جدید مبتنی بر روش پرومته ارائه شده و نتایج حل برای مسائل واقعی بانک سامان با الگوریتم‌های ژنتیک برمبنای مرتب‌سازی نامغلوب و رقابت استعماری چند هدفه مقایسه شده است. مقایسه نتایج الگوریتم‌ها، کارایی الگوریتم پیشنهادی را برای مسئله مورد نظر نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شبکه پول‌رسانی بانک، مکان‌یابی- مسیریابی سبز، روش پرومته، الگوریتم ژنتیک

۱. مقدمه

یکی از مسائل پرکاربرد در حوزه‌ی شبکه‌های توزیع، مسئله‌ی مکان‌یابی- مسیریابی (LRP) می‌باشد. در مسائل مکان‌یابی- مسیریابی همان‌طور که از نامش پیداست، تصمیم‌گیری در محل قرار گرفتن انواع تسهیلات (کارخانه‌ها، انبارها، مراکز توزیع و غیره) به‌طور مشترک با تصمیم‌گیری در مسیریابی وسایل نقلیه ادغام‌شده است [Prodhon and Prins, 2014]. واضح است که اگر هریک از این مسائل، به‌صورت مستقل از یکدیگر بررسی شوند، ممکن است به نتایج غیر بهینه منجر شود. مسئله‌ی مکان‌یابی- مسیریابی با تعیین مکان تسهیلات و مسیرهای وسایل نقلیه برای خدمت‌دهی به مشتریان تحت شرایطی مانند ظرفیت‌های تسهیل و وسیله‌ی نقلیه، طول مسیر و غیره سروکار دارد [Salhi and Rand, 1989]. هدف این مسئله برآورد ساختن تقاضای تمام مشتریان و حداقل کردن هزینه کل شامل هزینه‌های مسیریابی، هزینه‌های ثابت وسیله نقلیه، هزینه‌های ثابت تسهیل و هزینه‌های عملیاتی تسهیل می‌باشد. مسئله‌ی مکان‌یابی- مسیریابی، در شکل عمومی خود، فرض می‌کند که مشتری‌ها یا کالاها را تحویل می‌گیرند و یا تحویل می‌دهند و موضوع چگونگی توزیع محموله‌ها بین مشتری‌ها توسط ناوگانی از وسایل نقلیه است. مسئله مکان‌یابی – مسیریابی به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی ریاضی که در آن به دو نوع از تصمیم‌های زیر وابسته است، تعریف می‌شود:

- کدام تسهیلات از یک مجموعه متناهی یا نامتناهی تسهیلات برای یک هدف خاص استفاده می‌شود.
- مسیرهای هر خودرو و توالی سرویس‌دهی خودرو به مشتریان چگونه می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر، هر خودرو به چه مشتریانی و با چه توالی سرویس می‌دهد.

در بانک‌ها یکی از فرآیندهای محوری انجام مؤثر فرآیند پول‌رسانی از خزانه به مشتریان (شعب بانک، خودپردازها و مراکز فروش) می‌باشد. در بانک‌های بزرگ به دلیل گستردگی شعب در کلان‌شهرها، پول‌رسانی از چند خزانه به تعدادی شعبه انجام می‌شود. بنابراین انتخاب محل خزانه‌ها یکی از مهم‌ترین تصمیم‌گیری‌ها در مسائل پول‌رسانی می‌باشد. محل خزانه از بین نقاط کاندید که مکان شعب بانک می‌باشند، انتخاب می‌شود. هر خزانه تعدادی خودرو و امکانات مستقل در اختیار دارد. خزانه‌ها و خودروها با توجه به کم‌حجم بودن پول ازنظر ظرفیت محدودیتی ندارند. اما ازنظر بیمه‌گذار تا سقف مشخصی می‌توانند با خود پول حمل کنند. مشتریان خزانه به سه دسته شعب، خودپردازها و مراکز فروش تقسیم‌بندی می‌شوند. خودپردازها تقاضای درخواست پول، مراکز فروش تقاضای تحویل مازاد پول و شعب می‌توانند هر دو درخواست را از خزانه داشته باشند. لازم به ذکر است در یک روز یک شعبه یا می‌تواند تقاضای درخواست پول یا تحویل مازاد پول را داشته باشد.

محدودیت اصلی شبکه پول‌رسانی در تحویل و جمع‌آوری پول در بازه زمانی تعیین‌شده می‌باشد. شعب بانک زمان محدودی در روز مشغول به سرویس دهی می باشند و قوانین امنیتی بانک مرکزی فعالیت پول‌رسانی را در یک بازه زمانی مشخص محدود می‌کند. به‌طورمعمول تحویل پول باید قبل از ساعت ۱۲:۳۰ و جمع‌آوری آن قبل از ساعت ۳:۰۰ به اتمام برسد. بنابراین با یک مساله با پنجره زمانی سخت مواجه هستیم. از سوی دیگر چنانچه در زمان مناسب وجه مورد نیاز تامین نگردد، علاوه بر از دست رفتن سود کارمزدی، رضایت مشتری نیز از خدمات بانک کاهش می‌یابد. پس با یک مساله با پنجره زمانی نرم نیز مواجه هستیم. در این مقاله با ترکیب پنجره زمانی نرم و سخت در قالب یک تابع فازی ذوذنقه ای سعی بر آن داریم که رضایت مشتری را به عنوان اصل مشتری مداری در نظر بگیریم.

هدف اکثر بانک‌ها تا به امروز حداقل کردن ریسک، هزینه و زمان می باشد. روزانه حجم بالایی وجه نقد توسط خودروهای پول‌رسان جابه جا می شوند، که این امر همیشه دارای ریسک

های متعددی از جمله سرقت می باشد. به منظور کنترل این ریسک، استانداردهای خاص امنیتی برای حمل وجه نقد در قوانین ملی، منطقه ای و محلی وضع شده است. به عبارتی دیگر فرآیند پول‌رسانی می‌بایست از معابر مورد تایید نیروی انتظامی و توسط خودروهای پول‌رسان با یک سری استانداردهای خاص صورت گیرد. بانک‌ها به منظور کنترل این ریسک، با بیمه کردن خودروهای پول‌رسان، این ریسک را به شرکت پول‌رسان منتقل کرده‌اند. از این رو بانک‌ها می‌بایست عملیات پول‌رسانی را توسط خودروهای با استاندارد تعیین شده و از طریق مسیر های مورد تایید در زمان مناسب و ایمن انجام دهند. لازم به ذکر است در طی این فرآیند حجم پول حمل شده، نباید از سقف مجاز تعیین شده توسط بیمه گذار تجاوز نماید. لذا چنانچه اتفاقی در فرآیند پول‌رسانی رخ دهد، ریسک ناشی از آن بر عهده بیمه گذار می‌باشد. با توجه به مطالب بیان شده و به دلیل برون‌سپاری ریسک فرایند پول‌رسانی به شرکت بیمه گذار در این تحقیق، بر خلاف بیشتر تحقیقات، از تابع هدف ریسک استفاده نشده است.

در سال های اخیر مطالبه اجتماعی در خصوص مسائل زیست محیطی زیاد شده است. در ایران مهمترین معضل در بحث آلودگی هوا ذرات معلق کمتر از ۲,۵ میکرون است که بیشتر روزهای آلوده نتیجه افزایش غلظت این آلاینده است، بیشترین سهم را در آلودگی هوا نیز منابع متحرک و خودروها دارند بویژه خودروهایی که فرسوده و نیازمند نوسازی هستند. اخیرا سازمان محیط زیست قانون هوای پاک را تصویب کرده است که بخش‌هایی از آن تاکنون به اجرا در نیامده است مانند ارتقا خودرو به استاندارد یورو ۵ و نوسازی ناوگان حمل و نقل فرسوده کشور که خیلی می‌توانست در کاهش آلودگی هوا موثر باشد. همچنین با گسترش روزافزون آلودگی هوا و همچنین تاثیر آن بر سلامت جامعه تدوین استانداردهای سختگیرانه تر در آینده نزدیک، دور از ذهن نمی باشد. بنابراین توسعه و بهبود ناوگان پول‌رسانی علاوه بر مسئولیت اجتماعی، یک آینده نگری نسبت به وضع قوانین جدید می باشد. بنابراین در این مقاله مساله پول‌رسانی با توجه به مشکلات زیست‌محیطی موجود بازنگری شده و اهداف سبز نیز در این حوزه وارد شده‌اند. علاوه بر نگاه آینده نگر بانک سامان به مسئولیت اجتماعی، بیانیه ماموریت این بانک بر سه اصل راحتی، اعتماد و سرعت تکیه دارد بنابراین مشتری مداری و سرعت در ارائه خدمات از اصلی ترین اهداف بانک در فرآیند پول‌رسانی است. در این مقاله هدف از طراحی شبکه پول‌رسانی، کاهش هزینه‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین افزایش رضایت مشتریان (کاهش زمان پول‌رسانی) می‌باشد که منجر به بهینه‌سازی چندهدفه مساله پول‌رسانی می‌گردد.

۲. مرور ادبیات موضوع

اگرچه مفهوم مسئله‌ی مکان‌یابی - مسیریابی (LRP) در دهه ۱۹۶۰ توسط وب [Webb, 1968] معرفی شد، اما این مسئله از مسائلی است که در سال‌های اخیر به‌طور گسترده در ادبیات مطالعه و بررسی شده است. LRP استاندارد به‌عنوان مسئله قطعی، استاتیک، گسسته، تک هدفه تعریف می‌شود که در آن هر یک از مشتریان دقیقاً یک‌بار از مکان بهینه تسهیلات سرویس دریافت می‌کند همچنین تصمیم‌گیری در خصوص موجودی در آن دخیل نمی‌باشد. درکسل و اشنایدربه بررسی مقالات در حوزه‌ی LRP پرداختند. که شامل مسائل با داده‌های قطعی یا تصادفی، مسائل تک‌هدفه یا چندهدفه، مکان‌یابی در فضای گسسته یا پیوسته، و ساختار مسیر می‌باشد [Drexl and Schneider, 2015]. بیشتر مقالات موجود در ادبیات موضوع یک هدف واحد مانند به حداقل رساندن مجموع هزینه‌های ثابت مکان‌یابی تسهیلات و هزینه‌های متغیر مسیریابی، را در نظر می‌گیرند. برخی از مقالات به‌طور هم‌زمان چند هدف مانند هزینه، زمان، کیفیت و غیره را در نظر می‌گیرند. در تمامی این مدل‌های چندهدفه، هدف اولیه (غالب) کمینه کردن هزینه‌ها (اعم از هزینه‌های مکان‌یابی، استفاده از

وسایل نقلیه، تحویل و پردازش کالاها) می‌باشد. اهداف دیگر می‌توانند بیشینه کردن سطح خدمت (ازنظر خدمت‌رسانی به‌موقع و یا تعداد مشتریان پوشش یافته)، کمینه کردن ریسک (در مسیریابی مواد خطرناک و یا نامطلوب) [Alumur and Kara, 2007]، و کمینه نمودن عدم تعادل در بارکاری وسایل حمل‌ونقل باشد. لین و کوک، سه هدف به حداقل رساندن هزینه‌های ثابت راه‌اندازی تأسیسات و هزینه‌های متغیر مسیریابی وسایل نقلیه، عدم تعادل حجم کار با توجه به زمان، و عدم تعادل حجم کار با توجه به بار را در نظر گرفتند [Lin and Kwok, 2006]. همچنین برای حل آن یک روش سه مرحله ای تکرار شونده توسعه داده‌شده است که به‌تناوب از الگوریتم‌های فراابتکاری TS و SA استفاده می‌کند. کابالرو و همکاران مسئله نصب و راه‌اندازی تسهیلات سوزاندن زباله در جنوب اسپانیا را با پنج هدف به حداقل رساندن هزینه‌های ثابت راه‌اندازی تأسیسات، هزینه‌های مسیریابی وسایل نقلیه، درجه رد مرکز سوزاندن زباله توسط شهرهایی که وسایل نقلیه از آن‌ها عبور می‌نماید، حداکثر درجه رد اجتماعی مربوط به شهری که تحت تأثیر بیشترین حمل‌ونقل زباله قرار می‌گیرد، و درجه رد اجتماعی توسط شهرهای نزدیک به تسهیلات سوزاندن زباله، در نظر گرفته‌اند [Caballero et al., 2007]. توکلی مقدم و همکاران یک مسئله با مشتریان اختیاری را موردمطالعه قرار داده‌اند که دو هدف ۱) به حداقل رساندن مجموع هزینه‌های ثابت راه‌اندازی تسهیلات، هزینه‌های متغیر تسهیلات و هزینه‌های مسیریابی وسایل نقلیه و ۲) حداکثر کردن تقاضای مشتری را در نظر می‌گیرد [Tavakkoli-Moghaddam et al., 2010]. حسن‌پور و همکاران مسئله مکان‌یابی و مسیریابی تسهیلات که در آن دسترس بودن تسهیلات تصادفی است را مورد مطالعه قرار دادند و برای آن دو هدف ۱) حداقل کردن هزینه کل، متشکل از هزینه ثابت و متغیر تسهیلات و هزینه‌های مسیریابی وسایل نقلیه و ۲) حداکثر کردن تعداد مشتریان سرویس داده‌شده، را در نظر گرفتند [Hassan-Pour et al., 2009]. مارتینز و سالازار یک مسئله مکان‌یابی- مسیریابی دو هدفه که هدف اول در خصوص حداقل کردن مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر تسهیلات و هدف دوم به حداقل رساندن اختلاف بین طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین مسیر است را در نظر گرفتند [Martínez-Salazar et al., 2014].

یکی دیگر از حوزه های که در مسائل مکان یابی – مسیریابی مورد بررسی قرار گرفته است در نظر گرفتن پنجره زمانی سرویس دهی می باشد. در مسائل با پنجره زمانی سرویس به هر مشتری باید در یک بازه زمانی معین صورت گیرد. این مسئله با توجه به اهمیت بالایی که به بحث زمان در حل مسائل می‌دهد در عمل از کاربرد بیشتری برخوردار بوده و لذا توجه بیشتری را در محافل علمی به خود اختصاص داده است. این مسئله با توجه به‌صورت گرفتن سرویس در یک بازه زمانی خاص پیچیدگی‌های زیادی دارد که در صورت اضافه شدن محدودیت طول مسیر و هزینه پنجره زمانی در عین پیچیدگی بسیار بالا به یک مبحث کاربردی در عمل بسیار نزدیک می‌شود. از کاربردهای آن می‌توان به تقسیم پول نقد به شعب بانک‌ها، جمع‌آوری زباله‌ها و ضایعات صنعتی، تقسیم سوخت به جایگاه‌های پخش و سرویس مدارس و غیره اشاره کرد. کوک و همکاران مسئله‌ی مکانیابی – مسیریابی با در نظر گرفتن پنجره زمانی و اندازه ناوگان معرفی کردند که هدف اصلی آن به حداقل رساندن مجموع هزینه ثابت حمل‌ونقل، انبار و مسیریابی می‌باشد [Koc et al., 2015]. آن‌ها یک فرمولاسیون برنامه‌ریزی عدد صحیح برای این مسئله توسعه دادند و از یک الگوریتم جستجو تکاملی ترکیبی (HESA) برای حل آن استفاده کردند.

مسئله آلایندگی – مسیریابی (PRP) ، توسط بکتاس و لاپورته معرفی شد [Bektas and Laporte, 2011]. این مسئله توسعه‌یافته VRP کلاسیک با پنجره زمانی می‌باشد که شامل مسیریابی وسایل نقلیه برای خدمت‌دهی به مجموعه‌ای از

مشتریان، تعیین سرعت آن‌ها در هر مسیر به‌منظور حداقل رساندن هزینه سوخت، راننده و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. دمیر و همکاران الگوریتم ALNS را برای حل مسئله PRP توسعه دادند [Demir et al., 2012]. در مطالعات بعدی، دمیر و همکاران یک مسئله PRP با دو هدف کاهش مصرف سوخت و زمان سرویس‌دهی را ارائه و برای حل آن از الگوریتم ALNS استفاده کردند [Demir et al., 2014]. جاویدان و همکاران درزمینه‌ی بهینه‌سازی زنجیره تأمین از یک تولیدکننده مواد غذایی فاسدشدنی، دو هدف به حداقل رساندن از مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر تسهیلات و هزینه‌های مسیریابی وسایل نقلیه و تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای بر محیط‌زیست را دنبال می‌کنند [Govindan and et al., 2014].

میرمحمدی و همکاران، مسئله‌ی مسیریابی سبز با در نظر گرفتن بازه‌ی زمانی برای ارائه‌ی خدمات به مشتری را مورد بررسی قرار دادند [Mirmohamadi and et al. 2017]. هدف آن‌ها حداقل کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط وسیله نقلیه و همچنین کمینه سازی هزینه ی دیرکرد و تعجیل در ارائه خدمات و استفاده از وسایل نقلیه عمومی می‌باشد. آن‌ها فرض کردند که ترافیک شهری، زمان خدمت دهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کوک تأثیر مشترک مکان‌یابی و مسیریابی سبز وسایل نقلیه را در یک ناوگان حمل‌ونقل شهری با در نظر گرفتن پنجره زمانی بررسی کرد و برای حل آن از الگوریتم ALNS استفاده کرد [Koc, 2016]. اشتهادی و همکاران مسئله‌ی مسیریابی سبز با در نظر گرفتن عدم قطعیت درتقاضا و زمان سفر را مورد بررسی قرار دادند و به منظور حل آن چندین تکنیک بهینه سازی استوار پیشنهاد دادند. [Eshtehadi et al. 2017]

در زمینه سیستم پول‌رسانی بانک‌ها تحقیقات اندکی انجام‌شده است که اغلب آن‌ها فقط به مسئله مسیریابی خودروهای پول‌رسان می‌پردازند [Suthikarnnarunai et al., 2013; Boonsam et al., 2011]. موضوع ریسک جابه‌جایی وجوه نقد در دو مقاله [Kahfi and Tavakkoli-Moghaddam 2015] و [Kahfi and et al., 2018] مورد بررسی قرار گرفته است.

کهفی و توکلی مقدم یک مدل مسیریابی چند انباره با دو هدف کمینه‌سازی زمان حمل‌ونقل و ریسک به‌شرط اتمام پول رسانی به شعب در زمان معین ارائه کرده‌اند. جهت حل مدل، از یک الگوریتم خفاش چندهدفه برای مسائل واقعی یک بانک استفاده شده است در این مقاله برای محاسبه ریسک جابجایی پول بین شعب و خزانه ها در یک مسئله مسیریابی، از شاخص هایی مانند نوع خیابان، نوع تردد مجاز و متوسط ترافیک خیابان استفاده شده است [Kahfi and Tavakkoli-Moghaddam 2015]. قنادپور و زندیه، رویکردی موثر برای کاهش ریسک مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره زمانی جهت حمل کالاهای ارزشمند ارائه دادند. مدل در نظر گرفته شده برای حمل این نوع کالا دارای دو تابع هدف کمینه سازی مسافت و ریسک است. تابع هدف کاهش ریسک وابسته به مقدار کالای حمل شدد، احتمال سرقت و احتمال موفقیت آن است. احتمال سرقت با استفاده از نظریه بازیها و تعیین احتمال انتخاب استراتژی های مختلف آن است. برای حل این مساله از یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی چند هدفه استفاده شده است [Ghanadpour and Zandiyeh, 2018]. یان و همکاران در سال ۲۰۱۲ مدلی تک هدفه برای حمل پول نقد در شرایط ریسک با مفهموم جدیدی به نام شبکه زمان–حجم ارائه کردن. آن ها به منظور کاهش ریسک حمل و نقل، با تغییر توالی مشتریان مسیرهای غیر یکسان ولی با زمان و تقاضای یکسان تولید کردند و مسیرهای خدمت دهی را در دوره های متوالی تغییر دادند [Yan et al., 2012]. تالاریکو و همکاران، یک نمونه از مسئله VRP با پنجره زمانی و محدودیت مرتبط با ریسک حمل‌ونقل پول را مدل و با دو الگوریتم فرا ابتکاری حل کرده‌اند. محدودیت مرتبط با ریسک تضمین می کند که

ریسک کلی از آستانه ریسک تجاوز نکند [Talarico et al., 2013]. تالاریکو و همکاران برای مساله حمل و نقل پول، یک تابع هدف پیشنهاد کردند و از محدودیت ریسک برای کنترل ریسک هر مسیر استفاده نمودند [Talarico et al., 2015 a].

تالاریکو و همکاران، یک مدل CVRP با محدودیت ریسک ارائه داده اند که ریسک وابسته به مقدار پول جابه جاشده و فاصله پیموده شده است [Talarico et al., 2015 b]. مدل با استتفاده از CPLEX برای مثال کوچک حل شده و برای مثالهای بزرگتر از دو روش فراابتکاری استفاده شده است. تالاریکو و همکاران، یک مدل VRP دوهدفه با اهداف حداقل سازی هزینه و حداقل سازی بیشینه ریسک با محدودیت های مشابه با مقاله [Talarico et al., 2013] توسعه داده اند. برای حل مدل از ترکیب یک روش فراابتکاری با یا روش تصمیم گیری چندمعیاره استفاده شده است [Talarico et al., 2017]. تپالوگو و همکاران، [Topaloglu et al., 2016] مطالعه ای انجام دادند که درآن تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملی سیستم مدیریتی پول‌رسانی یک بانک را باهم ترکیب کرد هدف از این مقاله مکان‌یابی مراکز پول، تعداد و مسیر وسایل نقلیه و سیاست های اداره‌ی موجودی برای حداقل کردن هزینه و اجرای یک سیستم پولی با سطح سرویس مشخص است. بزکایا و همکاران [Bozkaya et al., 2017] نیز مدلی برای کاهش ریسک حمل کالای با ارزش با در نظر گرفتن دو معیار ریسک اجتماعی و اقتصادی و ریسک مبتی بر میزان استفاده از لینک ارائه دادند و با بهره گیری از الگوریتم ابتکاری جستجوی همسایگی بزرگ انطباقی مدل خود را حل نمودند. رادوجی و همکاران برای حل مسئله مسیریابی حمل پول تحت محدودیت ریسک از الگوریتم فراابتکاری فازی GRASP استفاده نمودند [Radoji et al., 2018]. در جدول ۱، تحقیقات اخیر در زمینه سیستم پول‌رسانی دسته بندی شده اند.

بر اساس مطالعات انجام‌شده در پیشینه تحقیق، مسئله مکان‌یابی – مسیریابی چندهدفه با اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتری تاکنون به‌صورت یکپارچه بررسی نشده است. بنابراین از مهم‌ترین نوآوری‌های این مقاله می‌توان به مدل‌سازی این مسئله و ارائه یک الگوریتم فراابتکاری جدید چندهدفه به‌منظور حل آن اشاره کرد. در این مقاله، سه تابع هدف شامل کمینه‌سازی هزینه کل، کمینه‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای و بیشینه‌سازی رضایت مشتریان در نظر گرفته شده‌اند. اولین تابع هدف میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را حداقل می‌کند. تابع هدف دوم به‌صورت مجموع هزینه‌های ثابت ایجاد خزانه، هزینه‌های عملیاتی مزد راننده‌ها و پول‌رسان‌ها و هزینه‌ی ثابت و متغیر به‌کارگیری خودرو پول‌رسان می‌باشد، که می‌بایست حداقل شود. تابع هدف سوم رضایت مشتریان را در نظر می‌گیرد که می‌بایست بیشینه گردد.

جدول ۱. دسته بندی تحقیقات اخیر در زمینه سیستم پول رسانی بانک‌ها

روش حل	هدف		پنجره زمانی		آلایندگی	در نظر گرفتن ریسک	مکانیابی	مسیریابی	مرجع
	چند هدفه	تک هدفه	سخت	نرم					
فراابتکاری	☑		☑			☑		☑	[Ghanadpour and Zandiyeh 2018]
فراابتکاری	☑		☑			☑	☑	☑	[Kahfi et al., 2018]
فراابتکاری		☑				☑		☑	[Radoji et al., 2018]
فراابتکاری	☑					☑		☑	[Bozkaya et al., 2017]
فراابتکاری	☑					☑		☑	[Talarico et al., 2017]
فراابتکاری	☑						☑	☑	[Topaloglu et al., 2016]
فراابتکاری	☑		☑			☑		☑	[Kahfi and Tavakkoli-Moghaddam 2015]
فراابتکاری		☑				☑		☑	[Talarico et al., 2015a]
فراابتکاری	☑					☑		☑	[Talarico et al., 2015b]
فراابتکاری		☑	☑					☑	[Talarico et al., 2013]
فراابتکاری		☑						☑	[Suthikarnnarunai et al., 2013]
ابتکاری		☑	☑					☑	[Yan et al., 2012]
ابتکاری		☑						☑	[Boonsam et al., 2011]
فراابتکاری	☑		☑	☑	☑		☑	☑	**این مقاله**

۳. مفروضات مسئله

- مسئله به‌صورت یک شبکه گسسته طراحی‌شده است که مکان خزانه‌ها می‌بایست در محل یکی از شعب قرار گیرد. شعب، خودپردازها و مراکز فروش به‌عنوان گره‌های آن هستند.
- مشتریان خزانه، شامل سه دسته شعب بانک، خودپردازها و مراکز فروش می‌باشند.
- دو فعالیت شامل عملیات پول‌رسانی و جمع‌آوری پول توسط خودروهای پول‌رسانی انجام می‌شود.
- تقاضای مشتریان مشخص و قطعی فرض شده است.
- هر خودرو پول‌رسان از یک خزانه حرکت و پس از طی مسیر به همان خزانه باز می‌گردد. لازم به ذکر است کمبود جایز نیست و تقاضای هرکدام از مشتریان باید توسط یک خودرو پول‌رسان و طی یک بازدید برآورده شود.خودروهای پول‌رسان یکسان بوده و هر خودرو در هنگام استفاده علاوه بر هزینه‌های سوخت و هزینه استهلاک دارای هزینه‌ای از نوع نیروی انسانی می‌باشد. به طور معمول وقتی از یک خودرو پول‌رسان استفاده می‌شود، یک راننده، دو پول‌رسان و دو مأمور نیروی انتظامی می‌بایست در خودرو حضور داشته باشند.
- خزانه‌ها و خودروها با توجه به کم‌حجم بودن پول ازنظر ظرفیت محدودیتی ندارند. اما با توجه به مسائل امنیتی و سقف بیمه تعریف‌شده از طرف بیمه‌گذار، حداکثر میزان وجه نقدی که توسط هر خودرو پول‌رسان قابل‌حمل می‌باشد، مشخص است.

۳-۱ تخمین مصرف سوخت (میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای)

در سال‌های اخیر توجه به مسائل زیست‌محیطی ناشی از تردد وسایل نقلیه، از سوی دولت‌ها، کارخانه‌ها، شرکت‌ها و همچنین مشتریان افزایش‌یافته است. حدود ۲۲ ٪ از CO_2 منتشرشده توسط بخش حمل‌ونقل بریتانیا در سال ۲۰۰۷ مربوط به حمل‌ونقل باری بوده است [McKinnon, 2007]. انتشار گاز CO_2 منجر به پدیده‌ی گرمایش زمین می‌شود و به‌طور مستقیم به میزان سوخت مصرفی وسیله نقلیه مرتبط است. میزان مصرف سوخت وسیله نقلیه به فاکتورهایی از قبیل سرعت، شتاب، میزان بار، نوع جاده، نوع وسیله نقلیه و مسائل ترافیکی بستگی دارد. مدل‌های بسیاری بر پایه شبیه‌سازی و تحلیل پارامتریک برای پیش‌بینی مقدار مصرف سوخت و نرخ‌های انتشار ارائه‌شده است. برای نیل به هدف کاهش CO_2 در محیط و کاهش مصرف انتشار سوخت ابتدا نیاز به روشی برای محاسبه میزان مصرف سوخت وسایل نقلیه به طرز دقیق می‌باشد. یکی از روش‌های دقیق و کارآمد برای تخمین مصرف سوخت، مدل میکروسکوپیکی تحت عنوان مدل یکپارچه انتشار (CMEM) است. مدل یکپارچه انتشار وسایل نقلیه توسط بارث و همکاران توسعه یافت [Barth et al, 2005 and 2008]. این مدل شامل سه ماژول توان موتور، دور موتور و نرخ مصرف سوخت است.

توان موتور: ماژول توان موتور به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{tract} = (Ma + Mg\sin\theta + 0.5C_d\rho Av^2 + MgC_r\cos\theta)v/1000 \quad (۱)$$

P_{tract} توان رانشی (کیلوژول بر ثانیه) موردنیاز برای حرکت وسیله نقلیه بوده که از مجموع چهار نوع توان حرکتی (حرکت روبه‌جلو، مقابله با شیب جاده، مقابله با نیروی مقاومت هوا و مقابله با نیروی مقاومت غلتشی) تشکیل می‌شود. در معادله بالا v سرعت وسیله نقلیه (متر بر ثانیه)، a شتاب وسیله نقلیه (متر بر مجذور ثانیه)، M وزن کل وسیله نقلیه (کیلوگرم) می‌باشد که از مجموع وزن وسیله نقلیه خالی (M^w) با وزن بار وسیله نقلیه (M^f) به دست می‌آید. $g = 9.81\ \mathrm{m/s^2}$ ثابت گرانشی زمین، $\rho = 1.2041\ kg/\mathrm{m^3}$ چگالی هوا، θ شیب جاده

(رادیان)، A سطح جلوی وسیله نقلیه (مترمکعب) می‌باشد. C_d ثابت مقاومت آئرودینامیک وسیله نقلیه بوده که به نوع طراحی بدنه وسیله نقلیه بستگی دارد و مقدار آن تقریباً معادل ۰/۷ است. و C_r ثابت مقاومت غلتشی چرخ‌ها است که معمولاً بین ۰/۰۱۰ تا ۰/۰۱۵ قرار می‌گیرد. درنهایت توان خروجی موتور با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P = P_{tract}/\eta_{tf} + P_{acc} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق P_{acc} توان موتور موردنیاز برای تجهیزات جانبی خودرو مانند کولر، η_{tf} بازده زنجیره انتقال قدرت می‌باشد.

دور موتور: ماژول دیگر در محاسبه میزان سوخت مصرفی دور موتور می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$N = \frac{n_d n_g v}{R} \qquad (۳)$$

N دور موتور (در واحد دور بر ثانیه، معمولاً بین ۱۶ و ۴۸)، n_g نسبت دنده، n_d نسبت دیفرانسیل و R شعاع چرخ می‌باشد.

نرخ مصرف سوخت: با استفاده از روابط فوق، نرخ مصرف سوخت به‌صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$FR(t) = \lambda\psi(KNV + P/\eta) \qquad (٤)$$

که در آن K فاکتور اصطکاک موتور (کیلوژول بر دور بر ثانیه)، V فاکتور جابجایی موتور (لیتر، معمولاً بین ۲ و ۸)، η پارامتر بازده، ψ فاکتور تبدیل واحد از گرم بر ثانیه به لیتر بر ثانیه و λ (گرم بر کیلوژول) مصرف سوخت ویژه می‌باشد که به مقدار دور موتور وابسته است. در نهایت کل مصرف سوخت (لیتر) برابر است با:

$$F = \int_0^T FR(t)dt \qquad (۵)$$

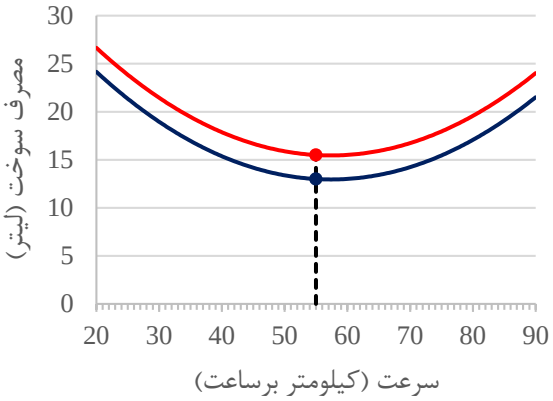
با اعمال تغییرات $\alpha = a + g\sin\theta + gC_r\cos\theta$، $\gamma = 1/1000\eta_{tf}\eta$ و $\beta = 0.5C_d\rho A$ خواهیم داشت:

$$F(v,M) = \lambda(KNV + M^w\gamma\alpha v + M^f\gamma\alpha v + \beta\gamma v^3)d/v \qquad (٦)$$

این معادله مصرف سوخت به ازای سرعت و میزان بار را نشان می‌دهد. شکل (۱) میزان تغییرات مصرف سوخت به ازای سرعت‌های متفاوت را نشان می‌دهد. به جهت حفظ مسئله در حالت خطی (MILP)، همانند بکتاس و لاپورته [Bektas and Laporte, 2011]، متغیر سرعت به r قسمت گسسته شده که $R = \{1,2,3...r\}$ و $V = \{v_r; r \in R\}$ تقسیم‌شده و در مدل به‌طوری محدود گشته که فقط یک متغیر سرعت (v_r) به یک وسیله نقلیه‌ی خاص که یک کمان معین را می‌پیماید تخصیص داده شود. بنابراین تابع هدف مصرف سوخت به شکل زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned}\min OF_1 = &\sum_{(i,j)\in A} KNV\lambda d_{ij}\sum_{r\in R} z_{ij}^r/\bar{v}_r \\ &+ \sum_{(i,j)\in A} M^w\gamma\lambda\alpha_{ij}d_{ij}x_{ij} \\ &+ \sum_{(i,j)\in A} M_{ij}^f\gamma\lambda\alpha_{ij}d_{ij} \\ &+ \sum_{(i,j)\in A} \beta\gamma\lambda d_{ij}\sum_{r\in R} z_{ij}^r\bar{v}_r^2\end{aligned} \qquad (۷)$$

در فرموله‌ای فوق M_{ij}^f نشان‌دهنده وزن بار در کمان (i,j) است. d_{ij} فاصله‌ی هر کمان بوده که می‌تواند متقارن یا نامتقارن باشد.



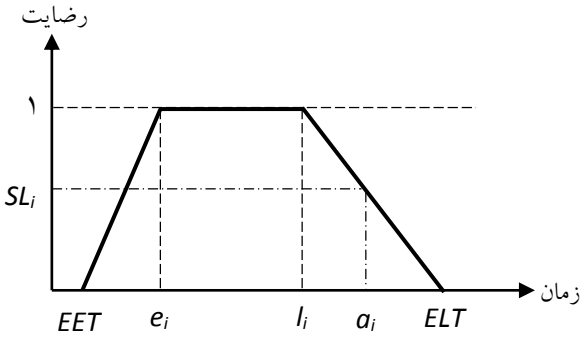
شکل .۱Error! No text of specified style in document.

نمودار رابطه سرعت با مصرف سوخت

۳-۲ رضایت مشتری

در این مسئله سرویس‌دهی به هر یک از مشتری‌ها (شعب، خودپردازها و مراکز فروش) می‌بایست در یک بازه زمانی

خاص صورت گیرد. انجام به‌موقع سرویس‌دهی سطح رضایت مشتریان بالابرده و زیان از دست دادن مشتریان به‌اندازه قابل‌توجه ای کاهش می‌یابد. بدین منظور هر مشتری پنجره‌های زمانی سخت و نرم خود را تعریف نموده که با یک بردار چهاربعدی معلوم می‌گردد $[EET_i, e_i, l_i, ELT_i]$. بردار $[e_i, l_i]$ پنجره‌ی زمانی نرم (مطلوب) را توضیح می‌دهد که تخطی از آن موجبات عدم رضایت مشتری را فراهم می‌آورد و بردار $[EET_i, ELT_i]$ پنجره‌ی زمانی سخت (قابل‌تحمل) را توضیح داده که تخطی از آن غیرموجه است. نظر به اینکه عبارت رضایت یک مفهوم انتزاعی است تئوری فازی ابزاری ارزشمند جهت توضیح و ترجمه‌ی تابع ذهنی سطح رضایت می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲. تابع سطح رضایت برای پنجره‌ی زمانی فازی

تابع سطح خدمت یک تابع مقعر خطی قطعه‌ای با شکل مستطیل، مثلث یا ذوزنقه ی معکوس بوده که نوعِ شکل تابع منوط بر میزان تراکم زمان بین دو نقطه ی مجاور از بردار می‌باشد. از آنجا که رویکرد ما برای مدل سازی برنامه‌ریزی خطی می‌باشد شایسته است که نمایش خطی قطعه‌ای را بکار گیریم. این روش از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط جهت نمایش یک تابع خطی بجای غیر خطی استفاده می‌کند. در این روش زمان ورود (a_j) را به‌عنوان ترکیب خطی دو نقطه‌ی مجاور هم در نظر می‌گیرد و در ادامه از متغیرهای وزنی (w_j) که از مدل به‌دست‌آمده‌اند جهت محاسبه‌ی تابع عضویت سطح خدمت استفاده می‌کند، یعنی: $SL_j = f(a_j)$.

SL_j یک تابع عضویت روی مجموعه‌ی $U_j = \{a_j; EET_j < a_j < ELT_j\}$ بوده و B_j یک مجموعه‌ی فازی می‌باشد:

$$B_j = \{(a_j, SL_j); EET_j < a_j < ELT_j\}$$

حال با به‌کارگیری توابع خطی قطعه‌ای (PLFs) مجموعه‌ی فازی ذکرشده بدین شکل نمایش داده می‌شود:

$$B_j = \{(a_j, w_{j2} + w_{j3}); EET_j < a_j < ELT_j\} \quad (۸)$$

s.t.

$$a_j = EET_j \times w_{j1} + e_j \times w_{j2} + l_j \times w_{j3} + ELT_j \times w_{j4} \quad \forall j \in N_c \quad (۹)$$

$$w_{j1} + w_{j2} + w_{j3} + w_{j4} = 1 \quad \forall j \in N_c \quad (۱۰)$$

$$o_{j1} + o_{j2} + o_{j3} + o_{j4} = 1 \quad \forall j \in N_c \quad (۱۱)$$

$$w_{j1} \le o_{j1} \quad \forall j \in N_c \quad (۱۲)$$

$$w_{j2} \le o_{j1} + o_{j2} \quad \forall j \in N_c \quad (۱۳)$$

$$w_{j3} \le o_{j2} + o_{j3} \quad \forall j \in N_c \quad (۱٤)$$

$$w_{j4} \le o_{j3} + o_{j4} \quad \forall j \in N_c \quad (۱۵)$$

$$w_{jl} \ge 0 \quad \forall j \in N_c, l \in \{1,2,3,4\} \quad (۱٦)$$

$$o_{jl} \in \{0,1\} \quad \forall j \in N_c, l \in \{1,2,3,4\} \quad (۱۷)$$

در مدل فوق، N_c مجموعه‌ی همگی مشتریان می‌باشد.

٤. مدل پیشنهادی

در این بخش یک مدل مکان یابی- مسیریابی با اهداف کاهش هزینه‌ها، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش رضایت مشتریان (کاهش زمان پول‌رسانی) برای شبکه پول‌رسانی بانک سامان ارائه شده است. بدین منظور محدودیت های ظرفیت، و پنجره زمانی نرم و سخت برای هر یک از مشتریان خرانه بانک در نظر گرفته شده است. مشتریان خزانه، شامل سه دسته شعب بانک، خودپردازها و مراکز فروش می‌باشند. دو عملیات پول‌رسانی و جمع‌آوری پول توسط خودروهای پول‌رسانی به طور هم زمان انجام می‌شود.

٤-١ مجموعه‌ها

$N_\circ = \{1,...,m\}$	مجموعه‌ی خزانه‌های در دسترس
$N_c = \{1,...,n\}$	مجموعه‌ی همه مشتریان
$N_T = N_\circ \bigcup N_c$	مجموعه‌ی همه گره‌ها
$K = \{1,...,k\}$	مجموعه‌ی خودرو پول‌رسان در دسترس در محل خزانه
$V = \{v_r ; r \in R\}$ $R = \{1,...,r\}$	مجموعه‌ی سرعت مجاز گسسته شده
$A = \{(i,j): i,j \in N, i \neq j\}$	مجموعه‌ی کلیه‌ی کمان‌های واقع در شبکه

٤-٢ پارامترها

G_i	هزینه ثابت احداث خزانه i
C_i	ظرفیت خزانه i
Q_k	ظرفیت خودرو پول‌رسان نوع k (میلیون ریال)
q_j	تقاضای مشتری j ام (میلیون ریال)
$\left[e_j, l_j\right]$	پنجره‌ی زمانی نرم برای هر مشتری (ثانیه)
$\left[EET_j, ELT_j\right]$	پنجره‌ی زمانی سخت برای هر مشتری (ثانیه)
s_j	مدت زمان ارائه‌ی سرویس در محل مشتری (ثانیه)
d_{ij}	فاصله بین گره‌ی i تا j (متر)
PR	مجموع مزد راننده، پول‌رسان و مامورانتظامی (برای هر ثانیه)
H_k	هزینه‌ی متغیر خودرو پول‌رسان نوع k برای هر ثانیه
F_k	هزینه‌ی ثابت خودرو پول‌رسان نوع k
M_k^w	وزن خودرو پول‌رسان نوع k
M^f	وزن یک میلیون ریال پول
PLDT	حداکثر ممکن زمان حرکت (عزیمت)
ET	زودترین زمان شروع حرکت هر خودرو پول‌رسان از هر خزانه (ثانیه)
LT	دیرترین زمان بازگشت هر خودرو پول‌رسان به هر خزانه (ثانیه)

٤-٣ متغیرهای کمکی

a_j	زمان ورود در مشتری j ام (ثانیه)
p_{ij}^k	زمان حرکت از گره i به گره j توسط خودرو پول‌رسان نوع k
f_{ij}^k	مقدار جریان بار بین دو مشتری مجاور i و j توسط خودرو پول‌رسان نوع k
t^k	زمان سپری شده در یک تور توسط خودرو پول‌رسان نوع k
SL_j	رضایت مشتری j
w_{il} و o_{il}	متغیرهای نمایش خطی قطعه‌ای

٤-٤ متغیرهای تصمیم

y_i	متغیر صفر ویک که معین می‌سازد، آیا خزانه در محل i ام احداث شده است.
x_{ij}^k	متغیر صفر و یک که معین می‌سازد، آیا کمان(i,j) توسط خودرو پول‌رسان k پیموده شده است.
z_{ij}^{kr}	متغیر صفر ویک که معین می‌سازد، آیا کمان(i,j) توسط خودرو پول‌رسان k با سرعت r پیموده شده است.
u_{ij}	متغیر صفر ویک که معین می‌سازد، آیا مشتری j ام به خزانه i ام تخصیص داده‌شده است.

٤-٥ توابع هدف

$$\min OF_1 = \sum_{i\in N_T}\sum_{j\in N_T} KNV\lambda d_{ij}\sum_{r\in R} z_{ij}^r / \overline{v}_r + \sum_{k\in K}\sum_{i\in N_T}\sum_{j\in N_T} M_k^w \gamma\lambda\alpha_{ij} d_{ij} x_{ij}^k + \sum_{k\in K}\sum_{i\in N_T}\sum_{j\in N_T} M^f \gamma\lambda\alpha_{ij} d_{ij} f_{ij}^k + \sum_{i\in N_T}\sum_{j\in N_T} \beta\gamma\lambda d_{ij}\sum_{r\in R} z_{ij}^r \overline{v}_r^2 \quad (18)$$

$$\min OF_2 = \sum_{i\in N_\circ} G_i y_i + \sum_{k\in K}(PR+H_k)t^k + \sum_{k\in K}\sum_{j\in N_c}\sum_{i\in N_\circ} F_k x_{ij}^k \quad (۱۹)$$

$$\max OF_3 = \sum_{j\in N_c} SL_j \quad (۲۰)$$

در مدل ریاضی مسئله، اولین تابع هدف میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را حداقل می‌کند. تابع هدف دوم به‌صورت مجموع هزینه‌های ثابت احداث خزانه، هزینه‌های عملیاتی مزد تیم پول‌رسانی و هزینه‌ی ثابت و متغیر به‌کارگیری خودرو پول‌رسان می‌باشد، که می‌بایست حداقل شود. تابع هدف سوم رضایت مشتریان را در نظر می‌گیرد که می‌بایست بیشینه گردد.

٤-٦ محدودیت ها

$$SL_j = w_{j2} + w_{j3} \quad \forall j \in N_c \quad (۲۱)$$

$$a_j = EET_j \times w_{j1} + e_j \times w_{j2} + l_j \times w_{j3} + ELT_j \times w_{j4} \quad \forall j \in N_c \quad (۲۲)$$

$$\sum_{l=1}^{4} w_{jl} = 1 \quad \forall i \in N_c \quad (۲۳)$$

$$\sum_{l=1}^{4} o_{jl} = 1 \quad \forall j \in N_c \quad (۲٤)$$

$$w_{j1} \le o_{j1} \quad \forall j \in N_c \quad (۲۵)$$

$$w_{j2} \le o_{j1} + o_{j2} \quad \forall j \in N_c \quad (۲٦)$$

$$w_{j3} \le o_{j2} + o_{j3} \quad \forall j \in N_c \quad (۲۷)$$

$$w_{j4} \le o_{j3} + o_{j4} \quad \forall j \in N_c \quad (۲۸)$$

$$\sum_{i\in N_\circ} u_{ij} = 1 \quad \forall j \in N_c \quad (۲۹)$$

$$\sum_{j\in N_c}\left(\frac{q_j + |q_j|}{2}\right) u_{ij} \le C_i y_i \quad \forall i \in N_\circ \quad (۳۰)$$

$$\sum_{j\in N_c}\left(\frac{|q_j| - q_j}{2}\right) u_{ij} \le C_i y_i \quad \forall i \in N_\circ \quad (۳۱)$$

$$\sum_{j\in N_c}\left(\frac{q_j + |q_j|}{2}\right) u_{ij} = \sum_{k\in K}\sum_{j\in N_c} f_{ij}^k \quad \forall i \in N_\circ \quad (۳۲)$$

$$\sum_{j\in N_c}\left(\frac{|q_j| - q_j}{2}\right) u_{ij} = \sum_{k\in K}\sum_{j\in N_c} f_{ji}^k \quad \forall i \in N_\circ \quad (۳۳)$$

$$\sum_{k\in K} x_{ij}^k \le u_{ij} \quad \forall i \in N_\circ, j \in N_c \quad (۳٤)$$

$$\sum_{k\in K} x_{ji}^k \le u_{ij} \quad \forall i \in N_\circ, j \in N_c \quad (۳۵)$$

$$\sum_{k\in K} x_{ij}^k + u_{kj} + \sum_{m\in N_\circ, m\ne k} u_{mj} \le 2 \quad \forall k \in N_\circ, \; i,j \in N_c, i \ne j \quad (۳٦)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{i\in N_T} x_{ji}^k = 1 \quad \forall j \in N_c \quad (۳۷)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{i\in N_T} x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in N_c \quad (۳۸)$$

$$\sum_{j\in N_c}\sum_{i\in N_\circ} f_{ij}^k = \sum_{m\in N_T, m\ne j}\sum_{j\in N_c} x_{mj}^k \left(\frac{q_j + |q_j|}{2}\right) \quad \forall k \in K \quad (۳۹)$$

$$\sum_{j\in N_c}\sum_{i\in N_\circ} f_{ji}^k = \sum_{m\in N_T, m\ne j}\sum_{j\in N_c} x_{mj}^k \left(\frac{|q_j| - q_j}{2}\right) \quad \forall k \in K \quad (٤۰)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{i\in N_T} f_{ij}^k - \sum_{k\in k}\sum_{i\in N_T} f_{ji}^k = q_j \quad j \in N_c \quad (٤۱)$$

$$\left(\frac{q_j + |q_j|}{2}\right) x_{ij}^k \le f_{ij}^k \quad \forall i \in N_T, j \in N_c, k \in K \quad (٤۲)$$

$$\left(\frac{|q_j| - q_j}{2}\right) x_{ji}^k \le f_{ji}^k \quad \forall i \in N_T, j \in N_c, k \in K \quad (٤۳)$$

$$\left(Q_k - \left(\frac{q_j + |q_j|}{2}\right)\right) x_{ji}^k \ge f_{ji}^k \quad \forall j \in N_c, i \in N_T, k \in K \quad (٤٤)$$

$$\left(Q_k - \left(\frac{|q_j| - q_j}{2}\right)\right) x_{ij}^k \ge f_{ij}^k \quad \forall j \in N_c, i \in N_T, k \in K \quad (٤۵)$$

$$Q_k x_{ij}^k \ge f_{ij}^k \quad \forall i \in N_\circ, j \in N_c, k \in K \quad (٤٦)$$

$$Q_k x_{ji}^k \ge f_{ji}^k \quad \forall i \in N_\circ, j \in N_c, k \in K \quad (٤۷)$$

$$x_{ij}^k + \sum_{h\in K, h\ne k}\sum_{m\in N_T, m\ne j} x_{jm}^h \le 1 \quad \forall i \in N_\circ, j \in N_c, i \ne j, k \in K \quad (٤۸)$$

$$\sum_{r\in R} z_{ij}^{kr} = x_{ij}^k \quad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (٤۹)$$

$$a_j \ge \sum_{r\in R}\sum_{k\in K}\sum_{i\in N_T} \frac{d_{ij}}{v^r} z_{ij}^{kr} + \sum_{k\in K}\sum_{i\in N_T} p_{ij}^k \quad \forall j \in N_c \quad (۵۰)$$

$$a_j + s_j \le \sum_{k\in K}\sum_{i\in N_T} p_{ji}^k \quad \forall j \in N_c \quad (۵۱)$$

$$p_{ij}^k \ge ET \times x_{ij}^k \quad \forall i \in N_\circ, j \in N_c, k \in K \quad (۵۲)$$

$$EET_j \le a_j \le ELT_j \quad \forall j \in N_c \quad (۵۳)$$

$$p_{ij}^k \le PLDT \times x_{ij}^k \quad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (۵٤)$$

$$t^k \geq \sum_{r\in R}\sum_{i\in N_\circ}\frac{d_{ji}}{v^r}z_{ji}^{kr} + \sum_{i\in N_\circ} p_{ji}^k \qquad \forall j \in N_c, \forall k \in K \quad (۵۵)$$

$$t^k \leq LT \qquad \forall k \in K \quad (۵۶)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (۵۷)$$

$$z_{ij}^{kr} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A, k \in K, r \in R \quad (۵۸)$$

$$y_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in N_\circ \quad (۵۹)$$

$$u_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in N_\circ, j \in N_c \quad (۶۰)$$

$$f_{ij}^k, p_{ij}^k \geq 0 \qquad \forall (i,j) \in A, k \in K \quad (۶۱)$$

$$a_j \geq 0 \qquad \forall j \in N_c \quad (۶۲)$$

$$t^k \geq 0 \qquad \forall k \in K \quad (۶۳)$$

$$w_{jl} \geq 0 \qquad \forall j \in N_c, l \in \{1,2,3,4\} \quad (۶۴)$$

$$o_{jl} \in \{0,1\} \qquad \forall j \in N_c, l \in \{1,2,3,4\} \quad (۶۵)$$

محدودیت (۲۱) الی (۲۸) محدودیت‌های خطی‌سازی تابع رضایت مشتری می‌باشد. محدودیت (۲۹) تضمین می‌کند هر مشتری فقط به یک خزانه اختصاص یابد. محدودیت (۳۰) و (۳۱) بیان می‌کند تقاضای مشتریانی که پول آن‌ها توسط یک خزانه تامین می‌شود، باید از ظرفیت آن خزانه کمتر باشد همچنین پول جمع آوری شده از شعب نیز می‌بایست از ظرفیت خزانه کمتر باشد. در این دو محدودیت با توجه به اینکه تقاضای مثبت پول بیانگر تقاضای دریافت پول از خزانه و مقادیر منفی تقاضای پول بیانگر درخواست تحویل مازاد پول به خزانه می‌باشد، مجموع تقاضای دریافت پول برابر $\sum_{j\in N_c}\max(0,q_j)$ و مجموع تقاضای تحویل مازاد پول برابر $\sum_{j\in N_c}\min(0,q_j)$ می‌باشد. حداقل و حداکثر دو عدد با توجه به روابط (٦٦) و (٦٧) قابل محاسبه می‌باشد [Mazinani et al., 2011].

$$\min(b_1,b_2) = \frac{b_1+b_2-|b_1-b_2|}{2} \quad (٦٦)$$

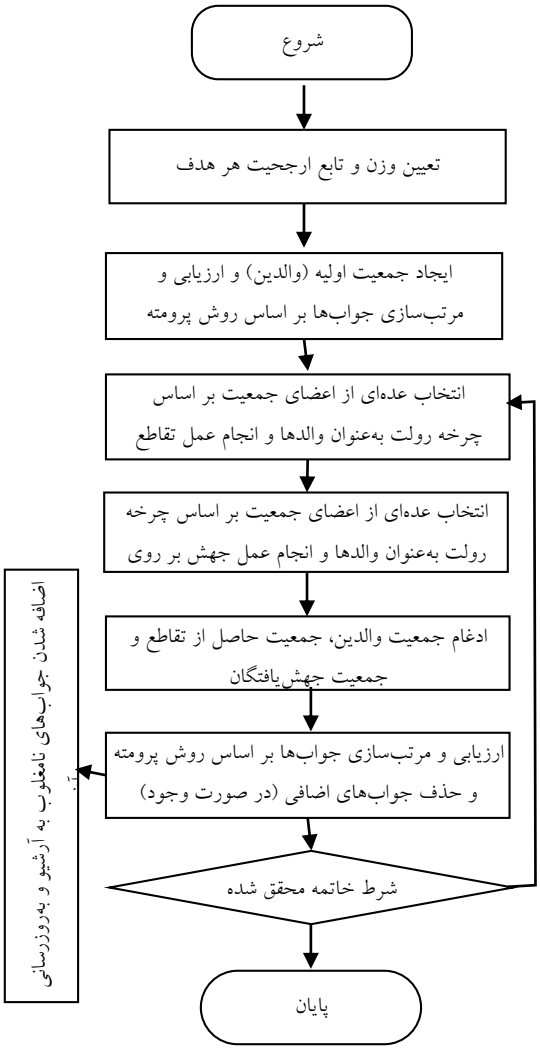
$$\max(b_1,b_2) = \frac{b_1+b_2+|b_1-b_2|}{2} \quad (٦٧)$$

در محدودیت های این مدل، از روابط فوق برای ساده‌سازی حداقل و حداکثر دو عدد، در محاسبه تقاضای پول استفاده شده است. محدودیت (۳۲) نشان می‌دهد پولی که از یک خزانه توسط همه‌ی خودروهای تخصیص یافته به آن خارج می‌شود، برابر با تقاضای کل مشتریان تخصیص‌یافته به آن خزانه است که درخواست دریافت پول نموده‌اند، همچنین محدودیت (۳۳) نشان می‌دهد پولی که به یک خزانه توسط همه‌ی خودروهای تخصیص‌یافته به آن وارد می‌شود، برابر با تقاضای کل مشتریان تخصیص یافته به آن خزانه است که درخواست تحویل پول مازاد نموده‌اند. محدودیت‌های (٣٤) الی (٣٦) بیان می‌کنند که عملیات پول‌رسانی از یک خزانه آغاز شده و به همان خزانه ختم می‌شود. محدودیت‌های (۳۷) و (۳۸) اطمینان حاصل می‌کند که هر گره تنها یکبار ملاقات شود، به‌عبارت دیگر تقاضای مشتری یکجا و توسط یک خودرو تحویل داده می‌شود. محدودیت‌های (۳۹) و (٤٠) نشان می‌دهند کل باری که از هر خزانه خارج می‌شود برابر است با مجموع تقاضای تمام مشتریانی که درخواست دریافت پول نموده‌اند و توسط آن خودرو سرویس داده می‌شوند. محدودیت (٤١) اختلاف بین ورودی و خروجی به گره برابر تقاضاست به عبارت دیگر این محدودیت جریان کالا را در هر گره بالانس کرده و در این راستا زیر تورها را نیز حذف می‌نماید، در واقع اطمینان حاصل می‌کند که تقاضای مشتری برآورده شود. محدودیت‌های (٤٢) و (٤٣) بیان می‌کند چنانچه مشتری درخواست دریافت پول داشته باشد می‌بایست پول حمل شده توسط خودرو قبل از رسیدن به آن مشتری بزرگتر یا مساوی تقاضای آن مشتری باشد و چنانچه مشتری درخواست تحویل پول مازاد داشته باشد می‌بایست پول حمل شده توسط خودرو در مسیر بعدی بزرگتریا مساوی مقدار پول تحویلی باشد. محدودیت‌های (٤٤) الی (٤٧) اطمینان حاصل می‌کند که هیچ‌گاه میزان پول حمل شده توسط خودرو از سقف بیمه تعریف شده برای آن خودرو تجاوز نکند. محدودیت (٤٨) بیانگر این مسئله است که هر

مشتری تنها به یک خودرو تخصیص داده می‌شود. محدودیت (٤٩) بیان می‌کند هر کمان تنها از یک سطح سرعت استفاده می‌کند. محدودیت (٥٠) بیان می‌کند اگر گره‌ی j ام بعد از گره ی i ام ملاقات شود، زمان ملاقات گره‌ی jام برابر است با مجموع زمان حرکت از گره‌ی i به گره‌ی jو مدت زمان سپری شده در حرکت از گره‌ی i به گره‌ی j. محدودیت (٥١) نشان می‌دهد که زمان حرکت از گره‌ی i به گره‌ی jبزرگتر از مجموع زمان ورود به گره‌ی i و مدت زمان ارائه‌ی سرویس در گره‌ی i می‌باشد. محدودیت (٥٢) بیان می‌کند زمان ترک هر خودرو پول‌رسان از خزانه می‌بایست بزرگتر از زودترین زمان سرویس‌دهی خزانه باشد. محدودیت (٥٣) محدودیت پنجره‌ی زمانی سخت است به عبارتی زمان ارائه‌ی سرویس به مشتری باید بین بازه‌ی سخت زمانی باشد. محدودیت (٥٤) تضمین می‌کند که زمان حرکت (عزیمت) از i به j توسط خودرو k مقداری غیر صفر دارد اگر متغیر متناظر تعیین‌کننده‌ی آن برابر یک باشد و کران بالای زمان حرکت برابر مقدار ثابت $PLDT$ می‌باشد. محدودیت (٥٥) بیانگر این مسئله است که زمان طی مسیر توسط خودرو k برابر است با مجموع زمان حرکت از آخرین مشتری به سمت خزانه و مدت زمان سپری‌شده در این مسیر می‌باشد. محدودیت (٥٦) اطمینان حاصل می‌کند که زمان بازگشت هر خودرو به خزانه قبل از دیرترین زمان سرویس‌دهی خزانه باشد. محدودیت‌های (٥٧) الی (٦٥) نیز تعیین‌کننده‌ی نوع متغیرهای به کار رفته در مسئله می‌باشند.

٥. الگوریتم ژنتیک چند هدفه مبتنی بر پرومته

مسئله‌ی مکانیابی- مسیریابی تحت شرایط آلودگی (LPRP) یک مسئله NP-hard است و از روش‌های بهینه‌سازی معمولی نمی‌توان آن را حل کرد. حتی برای نمونه‌های کوچک و ساده نیز این شرایط برقرار است. بنابراین باید از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل آن استفاده کرد. ماهیت الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه می‌باشد. برخی از محققان، الگوریتم ژنتیک را برای مسائل چندهدفه، توسعه دادند که می‌توان به الگوریتم‌های NSGA-II، NRGA و AFDGA اشاره کرد. در این مقاله برای اولین بار با تلفیق الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با روش پرومته به دنبال جواب‌های نامغلوبی هستیم که برخی از ویژگی‌های موردنظر تصمیم‌گیر را در خود جای‌داده باشد. این ویژگی‌ها شامل وزن اهداف و تابع ارجحیت آن‌ها می‌باشد. در روش پیشنهادی همانند الگوریتم ژنتیک ابتدا جواب‌هایی به‌صورت تصادفی تولید می‌شوند که آن‌ها را والدهای نسل اول می‌نامیم. با توجه به اینکه مسئله از نوع چندهدفه می‌باشد، والدین با روش پرومته ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. سپس بر مبنای چرخه رولت تعدادی از والدها به‌منظور ایجاد جمعیت فرزندان و برای انجام عملیات تقاطع و جهش انتخاب می‌شوند انتخاب والدین در چرخه رولت بر مبنای ارزیابی به روش پرومته می‌باشد. پس از تولید جمعیت فرزندان، جمعیت والدین با فرزندان ادغام شده، و جمعیت نامغلوب به آرشیو اضافه شده و آرشیو به‌روزرسانی می‌گردد. همچنین جمعیت ادغام شده بر اساس روش پرومته رتبه بندی می‌گردند و بهترین‌ها و به اندازه جمعیت اولیه به نسل بعد منتقل می‌شوند. این فرآیند تا محقق شدن شرط خاتمه ادامه می‌یابد. این الگوریتم به‌اختصار MOGPA نام‌گذاری شده است. مراحل الگوریتم MOGPA در شکل (٣) نشان داده شده است.



شکل .Error! No text of specified style in document۳.

فلوچارت الگوریتم

۵-۱ روش پرومته

روش پرومته به‌عنوان یک روش کارا و با استفاده از دو واژه ترجیح و بی‌تفاوتی به دنبال انتخاب بهترین گزینه می‌باشد. این روش برای اولین بار توسط استاد بلژیکی به نام ژان پیر برنز ارائه شد [Brans, 1982]. روش پرومته دارای نسخه هی مختلفی می‌باشد که در این مقاله از روش پرومته II، که گزینه‌های گسسته را به‌صورت کامل رتبه‌بندی می‌کند، استفاده شده است.

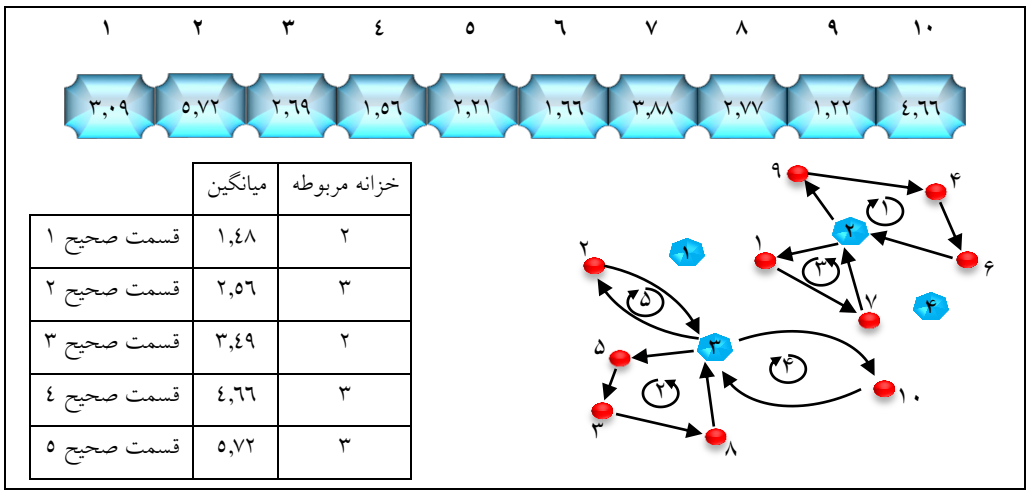
۵-۲ به‌روز رسانی آرشیو

جهت به روز رسانی آرشیو، در هر نسل جواب‌هایی نامغلوب شناسایی شده و به جمعیت آرشیو اضافه می‌گردند. به جوابی نامغلوب گفته می‌شود که در هیچ یک از توابع هدف از سایر جواب‌ها بدتر نباشد. جمعیت داخل آرشیو از نظر چیرگی بررسی شده و جواب‌هایی که توسط دیگران مغلوب می‌گردند حذف می‌شوند. علاوه بر این در جمعیت آرشیو عملیات حذف جواب‌های مشابه نیز انجام می‌گردد. درصورتی‌که سایز آرشیو بزرگتر از سایز تعریف شده برای آرشیو بود، جواب‌ها بر اساس روش پرومته در داخل آرشیو مرتب می‌شوند و جواب‌های مازاد حذف خواهند گردید. دراین الگوریتم سایز تعریف شده برای آرشیو به‌وسیله *nArchive* نشان داده می‌شود.

۵-۳ نمایش جواب اولیه

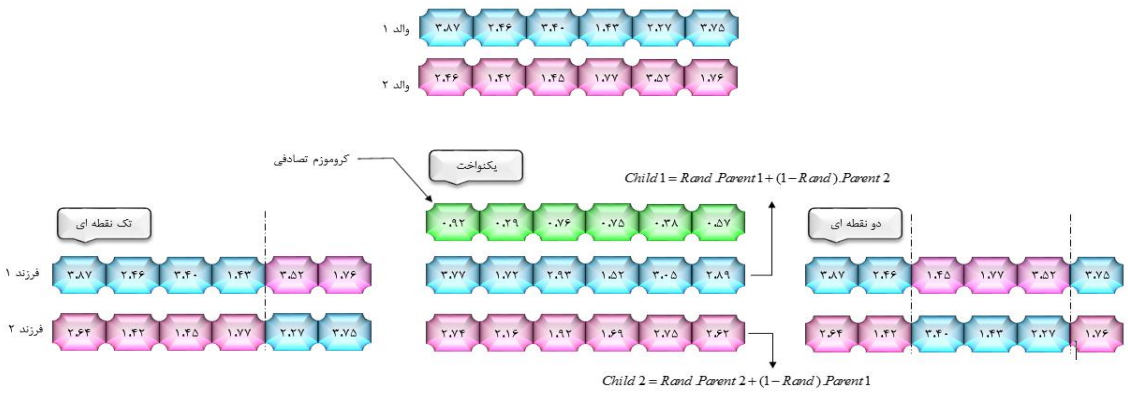
همانگونه که مشخص است، کارایی یک الگوریتم و کیفیت جواب‌های خروجی به طور کامل وابسته به نحوه نمایش جواب در فضای جواب است. همچنین نمایش جواب باید به گونه‌ای باشد که بتوان به راحتی و تقریباً وسیع فضای جواب را جستجو کند. در این مقاله از یک نمایش پیوسته برای مسئله مکان‌یابی – مسیر یابی استفاده شده است. در نمایش جواب پیوسته، معمولا اعداد حقیقی مثبت ساختار جواب را می‌سازند. از مزایای نمایش جواب پیوسته قابلیت انعطاف بالای آن در بکارگیری در الگوریتم‌های فراابتکاری می‌باشد. با توجه به اینکه اکثر الگوریتم‌های فراابتکاری برای مسائل پیوسته ارائه‌شده اند، بنابراین استفاده از نمایش جواب پیوسته آزادی عمل بیشتری را به دنبال دارد. در این نمایش هم‌زمان مکان خزانه ها، نحوه تخصیص مشتری به خزانه ها، و همچنین مسیر سرویس‌دهی هر مشتری توسط خودروهای پول‌رسان نشان داده می‌شود. بدین منظور فرض کنید N_c مشتری، N_v مکان کاندید برای خزانه و K خودرو پول‌رسان موجود باشد. در این صورت نمایش جواب به‌صورت یک رشته N_c جزئی از اعداد

حقیقی در بازه $[1, K+1)$ می‌باشد. قسمت صحیح هر عدد بیانگر این است که هر مشتری توسط کدام وسیل نقلیه سرویس داده می‌شود و قسمت اعشاری آن توالی سرویس‌دهی را مشخص می‌کند به طوری که اعداد کوچکتر اولویت بالاتری دارند. در خصوص نحوه احداث خزانه‌ها و این نکته که هر خودرو پول‌رسان از کدام خزانه حرکت می‌کند، ابتدا میانگین تمام اعدادی که قسمت صحیح آن‌ها یکسان می‌باشد محاسبه شده و سپس قسمت اعشاری عدد حاصله جایگاه خزانه مود نظر را نشان می‌دهد. چنانچه قسمت اعشاری در بازه $[0, \frac{1}{N_\circ})$ باشد، خزانه اول و چنانچه بین $[\frac{1}{N_\circ}, \frac{2}{N_\circ})$ باشد؛ خزانه دوم و به همین ترتیب چنانچه بین $[\frac{N_\circ - 1}{N_\circ}, 1)$ باشد خزانه $N_\circ$ام، محل شروع حرکت خودرو پول‌رسان موردنظر می‌باشد.



	میانگین	خزانه مربوطه
قسمت صحیح ۱	۱,٤۸	۲
قسمت صحیح ۲	۲,٥٦	۳
قسمت صحیح ۳	۳,٤۹	۲
قسمت صحیح ٤	٤,٦٦	۳
قسمت صحیح ٥	٥,۷۲	۳

شکل .٤Error! No text of specified style in document. نمایش جواب و شکل شماتیک آن



شکل ۵. نحوه انجام عملیات تقاطع

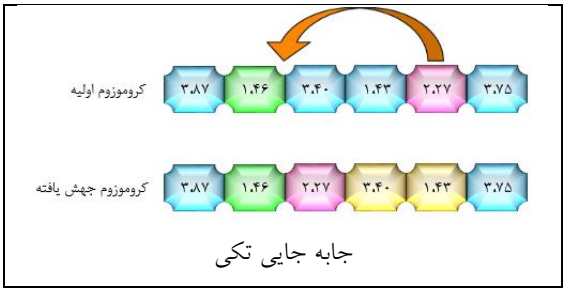
در شکل (٤) نمایش جواب و شکل شماتیک آن برای مسئله‌ای با ۱۰ مشتری، ٤ نقطه کاندید برای خزانه و ۵ خودرو پول‌رسان، نشان داده شده است.

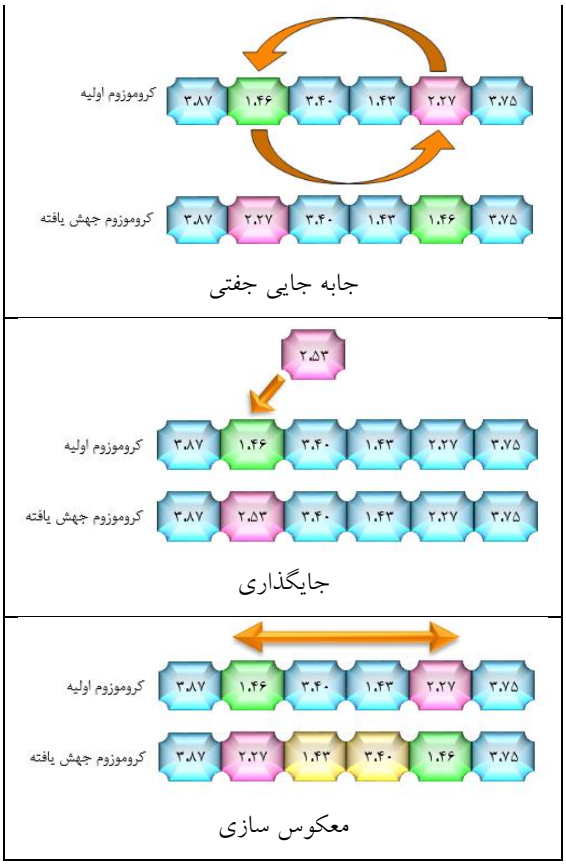
٥-٤ عملگرهای تقاطع

در الگوریتم پیشنهادی، به‌منظور حل مسئله سه عملگر تقاطع، تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و یکنواخت ارائه‌شده است. در عملگر تک نقطه‌ای، یک نقطه تصادفی روی کروموزوم‌های مربوط به والدین انتخاب می‌شود، 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 و قسمت سمت راست خود را از قسمت سمت راست والد دوم به ارث می‌برد. عکس این موضوع برای فرزند دوم رخ می‌دهد. در عملگر دو نقطه‌ای، دو نقطه تصادفی روی کروموزوم‌های والدین انتخاب شده و ژن‌های بین این دو نقطه جابه‌جا می‌شوند. و در نهایت در عملگر یکنواخت، یک کروموزوم تصادفی بین صفر و یک ایجاد شده و فرزندان با استفاده از این کروموزموم، از میانگین وزنی کروموزم‌های والدین ایجاد می‌شوند. شکل (۵) به‌صورت شماتیک، نحوه تولید فرزندان توسط سه عملگر فوق را نشان می‌دهد.

٥-٥ جهش ژنتیکی

در الگوریتم پیشنهادی، به چهار روش جابه‌جایی تکی، جابه‌جایی جفتی، جایگذاری و معکوس سازی جهش ژنتیکی انجام می‌شود. شکل (٦) به‌صورت شماتیک نحوه جهش ژنی را توسط این چهار روش را نشان می‌دهد.





شکل ٦. نحوه انجام عملیات جهش

٥-٦ معیار توقف

شرط توقف الگوریتم رسیدن به تعداد مشخصی ارزیابی جواب (NFE) در نظر گرفته شده است.

٦. بررسی عملکرد الگوریتم‌ها

بررسی عملکرد الگوریتم‌های چندهدفه از عملکرد الگوریتم‌های یک هدفه بسیار پیچیده‌تر است و یک شاخص ارزیابی نمی‌تواند برای بررسی جواب‌های حاصل از الگوریتم‌های ارائه شده کافی باشد. از این رو در این مقاله، برای بررسی کیفیت جواب‌های الگوریتم پیشنهادی، جواب‌های پارتو به‌دست‌آمده از الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های NSGA-II و MOICA در شش شاخص کیفیت، فاصله از نقطه ایده‌آل، فاصله، تنوع، تحلیل پوششی داده‌ها و پرومته، مقایسه شدند.

٦-١ شاخص کیفیت (QM)

اولین و متداول‌ترین معیار مقایسه کیفیت جواب‌های پارتو به‌دست‌آمده از هر یک از الگوریتم‌ها می‌باشد. برای محاسبه این شاخص کل جواب‌های پارتو حاصل از الگوریتم‌ها را باهم ادغام کرده و سپس عملیات ناچیرگی را روی آن‌ها انجام می‌شود. سپس درصد جواب‌هایی ناچیره که متعلق به هر الگوریتم می‌باشد محاسبه می‌گردد. هر چه این درصد بزرگتر باشد، نشان دهنده کارایی بیشتر الگوریتم می‌باشد.

٦-٢ شاخص میانگین فاصله از نقطه ایده‌آل (MID)

فاصله بین جواب‌های پارتو و نقطه ایده‌آل با استفاده از MID محاسبه می‌گردد. رابطه محاسبه MID به‌صورت زیر می‌باشد.

$$MID = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\sum_{j=1}^{3}\left(\frac{f_{ji} - f_j^{best}}{f_{j,total}^{\max} - f_{j,total}^{\min}}\right)^2}}{n} \qquad (٦٨)$$

که در آن n تعداد نقاط پارتو و همچنین $(f_1^{best}, f_2^{best}, f_3^{best})$ مختصات نقطه ایده‌آل می‌باشد. با توجه به تعریف فوق، الگوریتم با کمترین مقدار MID کاراتر می‌باشد.

٦-٣ شاخص تنوع (DM)

این شاخص پراکندگی جواب‌ها را اندازه گیری می‌کند و هر چه مقدار آن بزرگتر باشد، الگوریتم بهتر است.

$$DM = \sqrt{\sum_{j=1}^{3}\left(\frac{\max(f_{ji}) - \min(f_{ji})}{f_{j,total}^{\max} - f_{j,total}^{\min}}\right)^2} \qquad (٦٩)$$

٦-٤ شاخص فاصله (SM)

این شاخص یکنواختی توزیع جواب‌های پارتو در فضای حل را نشان می‌دهد.

$$SM = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}\left|\bar{d} - d_i\right|}{(n-1)\bar{d}} \qquad (٧٠)$$

که در رابطه فوق d_i فاصله بین دو جواب پاتو مجاور و $\bar{d}$ میانگین فواصل d_i ها می‌باشد. هر چه این شاخص کمتر باشد، الگوریتم کارایی بهتری دارد.

٦-٥ شاخص تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

یکی از معروف ترین ابزارها در زمینه تصمیم گیری چند معیاره، تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد. اخیراً مدل‌های جدید تحلیل پوششی داده‌ها مطرح شده‌اند که توانایی شناسایی کاراترین DMU را دارد. در این مقاله، از مدل تحلیل پوششی داده‌ها که مزینانی و همکاران ارائه کرده اند، استفاده شده است [Mazinani and et al, 2011]. این مدل به گونه‌ای عمل می‌کرد که DMU ها را بر اساس کارایی شان رتبه بندی می‌کند میانگین کارایی جواب‌های پارتو هر الگوریتم نسبت به جواب‌های پارتو کلیه الگوریتم‌ها مقدار این شاخص را مشخص می‌کند.

٦-٦ شاخص پرومته (PM)

این شاخص با محاسبه میانگین برتری خالص جواب‌های پارتو هر الگوریتم نسبت به جواب‌های پارتو کلیه الگوریتم‌ها محاسبه می‌شود و هر چه مقدار بزرگتری داشته باشد، نشان دهنده این است که الگوریتم کاراتر است.

$$PM = \frac{\sum_{i=1}^{n}\varphi(i)}{n} \qquad (٧١)$$

٧. تنظیم پارامترها

کارایی یک الگوریتم به شدت وابسته به طراحی و تنظیم پارامترهای آن می‌باشد. به طوری که مقادیر متفاوت پارامترهای الگوریتم ممکن است جواب‌های کاملاً متفاوتی با کیفیت‌های متفاوت تولید کنند. بنابراین اگر پارامترها به طور صحیح تنظیم نشوند، نمی‌توانیم به جواب بهینه دست یابیم. در این مقاله برای تنظیم پارامترها از روش سطح پاسخ (RSM) استفاده می‌شود. این روش برای تخمین بهینه پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر یک فرآیند بکار می‌رود. دراین روش، از روش معادله

رگرسیونی برای ارزیابی سطوح مختلف پارامترها استفاده می‌شود. روش کار بدین گونه است که یکسری از سطوح مختلف پارامترهای مؤثر الگوریتم بر مبنای شاخصهای ورودی (معمولا از مقدار تابع هدف استفاده می‌شود) مورد بررسی قرار گرفته و با برازش بهترین معادله رگرسیونی بر سطوح مختلف پارامترها، مقادیر مطلوب برای تنظیم پارامترها پیشنهاد می‌شود. در ابتدا، پارامترهای هر الگوریتم که از لحاظ آماری تاثیری فراوانی بر روی الگوریتم دارند شناسایی می‌شوند. سپس برای هر پارامتر مؤثر، برای دو سطح در نظر گرفته می‌شود. زمانی که پارامتر در سطح پایین خود قرار دارد با عدد ۱- و زمانی که پارامتر در سطح بالای خود قرار با عدد ۱+ کد می‌شوند. نحوه کدگذاری سطوح مختلف پارامترها را می‌توان به‌صورت رابطه زیر محاسبه نمود.

$$X_i = \frac{r_i - \left(\frac{r_{Upper} + r_{Lower}}{2}\right)}{\left(\frac{r_{Upper} - r_{Lower}}{2}\right)} \qquad (۷۲)$$

به طوری که r_{Upper} و r_{Lower} به ترتیب سطوح بالا و پایین پارامترها و X_i و r_i به ترتیب مقدار کدبندی شده و مقدار واقعی برای پارامترها هستند. سپس، الگوریتم را برای ترکیبهای مختلف از پارامترها و سطوح مختلف آنها، اجرا می‌کنیم. یکی دیگر از ورودی های روش RSM شاخصی است که بتواند الگوریتم را برای ترکیب‌های مختلف پارامترها، مقایسه کند. با توجه به اینکه مسئله ارائه شده در این مقاله چندهدفه می‌باشد، بنابراین باید از یک شاخص واحد به نام شاخص کیفیت استفاده کرد.

۷-۱ تنظیم پارامترهای الگوریتم MOGPA

پارامترها و سطوح آن‌ها به‌منظور تنظیم پارامترها در جدول (۲) و پارامترهای تنظیم شده در جدول (۳) نشان داده شده است.

۷-۲ تنظیم پارامترهای الگوریتم MOICA

پارامترهای الگوریتم MOICA با توجه به مقادیر جدول (٤) تنظیم شده‌اند.

۷-۳ تنظیم پارامترهای الگوریتم NSGA-II

پارامترهای الگوریتم NSGA-II با توجه به مقادیر جدول (۵) تنظیم شده‌اند.

جدول .Error! No text of specified style in document.۲. سطوح در نظر گرفته شده پارامترهای الگوریتم MOGPA در روش RSM

نام پارامتر	نماد پارامتر	متغیر متناظر	سطوح کد شده		
			−۱	۰	۱
تعداد جواب‌های ارزیابی شده	*NFE*	X_1	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰
تعداد جواب‌های اولیه	*nPop*	X_2	۸۰	۱۰۰	۱۲۰
احتمال تقاطع	p_c	X_3	۰/٦	۰/۷	۰/۸
احتمال جهش	p_m	X_4	۰/۳	۰/۳۵	۰/٤
اندازه آرشیو	*nArchive*	X_5	۸۰	۱۰۰	۱۲۰

جدول .Error! No text of specified style in document.۳. پارامترهای تنظیم شده الگوریتم MOGPA

نام پارامتر	نماد پارامتر	متغیر متناظر	ارزش عددی کد شده	مقدار بهینه پارامتر
تعداد جواب‌های ارزیابی شده	*NFE*	X_1	۰/٦۰	۲٦۰۰۰۰
تعداد جواب‌های اولیه	*nPop*	X_2	۰/۰٦۱	۱۰۱
احتمال تقاطع	p_c	X_3	۰/۰٤۹	۰/۷۰۵
احتمال جهش	p_m	X_4	۰/۱۱	۰/۳۵۵
اندازه آرشیو	*nArchive*	X_5	۰/۰۷۲	۱۰۱

جدول ٤. پارامترهای تنظیم شده الگوریتم MOICA

نام پارامتر	نماد پارامتر	مقدار تنظیم‌شده
تعداد جواب‌های ارزیابی شده	*NFE*	۲٦۰۰۰۰
تعداد کشورها	*nPop*	۱۲۰
تعداد استعمارگرها اولیه	$n\,\mathrm{Im}\,p$	۱۰
پارامتر تأثیر قدرت مستعمره‌ها بر امپراطوری	ξ	۰/۱۵
پارامتر تشابه	β	۰/۳۵
احتمال تقاطع بین مستعمره ها	p_c	۰/۷
احتمال انقلاب	p_r	۰/۳۵
اندازه آرشیو	*nArchive*	۱۰۰

جدول ۵. پارامترهای تنظیم شده الگوریتم NSGA-II

نام پارامتر	نماد پارامتر	مقدار تنظیم شده
تعداد جواب‌های ارزیابی شده	*NFE*	۲٦۰۰۰۰
تعداد جواب‌های اولیه	*nPop*	۱۰۰
احتمال جهش	p_m	۰/۷
احتمال تقاطع	p_c	۰/۳۵

۸. نتایج محاسباتی

جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، از ۳ مسئله با ابعاد مختلف بر اساس مسایل واقعی بانک سامان (جدول ٦)، منطبق با داده های واقعی آن بانک استفاده شده است. تمامی این مسائل مربوط به پول‌رسانی به شعب ریالی شهرهای اصفهان، مشهد و

تبریز می‌باشد. در کلیه مسائل از نقشه شهرهای مذکورکه کلیه اطلاعات مورد نیاز مانند مکان‌های بالقوه برای احداث خزانه، مکان شعب، خودپردازها و مراکز فروش بانک موردنظر و مسیر های بین هر گره در آن مشخص می‌باشد، استفاده شده است.به طور کلی موجودی وجه نقد شعب و خودپردازها به طور سیستمی مانیتور می شوند. چنانچه در پایان روز موجودی یکی از مراکز از حداقل موجودی مورد نیاز، کمتر شود سفارش تامین وجه در ابتدای روز کاری بعد ارسال می گردد. همچنین پول مازاد شعب و مراکز فروش، می بایست جمع آوری گردد. با توجه به مسایل امنیتی حمل پول، بانک مورد بررسی اجازه انتشار سایر جزییات داده ها را در این مقاله نداده است. جهت حل این مسایل، الگوریتم‌های پیشنهادی در نرم افزار متلب ۸,۵ برنامه‌نویسی شده‌اند. همچنین مسائلی نمونه ای در یک کامپیوتر با پردازنده Core i5 ۱/۸ گیگا هرتز و حافظه اصلی ٦ گیگا بایت در سیستم عامل ویندوز ۱۰ آزمایش گردیده‌اند.

در صنعت بانکداری مهم‌ترین هدف، رضایت مشتری می‌باشد، بنابراین در روش پرومته از تابع معمولی برای این هدف استفاده شده است و این بیانگر این است که بهبود بسیار جزئی در این هدف از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین برای هزینه از تابع U شکل و برای انتشار گازهای گلخانه‌ای از تابع V شکل استفاده شده است. زیرا در مسائل پول‌رسانی اختلاف ناچیز هزینه به شرط آنکه سایر اهداف بهبود چشمگیری داشته باشند، قابل چشم پوشی می‌باشد. در این مقاله به‌منظور اینکه الگوریتم‌های حل، قابل مقایسه باشند، وزن اهداف یکسان فرض شده است. پس از اجرای الگوریتم‌ها برای مسائل موردنظر، شش شاخص ذکر شده برای الگوریتم‌ها محاسبه گردید که در جدول های (۷)، (۸) و (۹) ارائه گردیده است

. **جدول ٦. اطلاعات کلی مسائل نمونه ای**

شماره مسئله	شهر	تعداد مکان کاندید برای احداث خزانه	تعداد شعب	تعداد خودپرداز	تعداد مراکز فروش
۱	اصفهان	۵	٦	۵۳	٦
۲	مشهد	۵	۵	٤۹	۵
۳	تبریز	۵	۵	٤۷	۳

جدول ۷. نتایج عددی مسائل نمونه بر اساس دو شاخص QM و MID

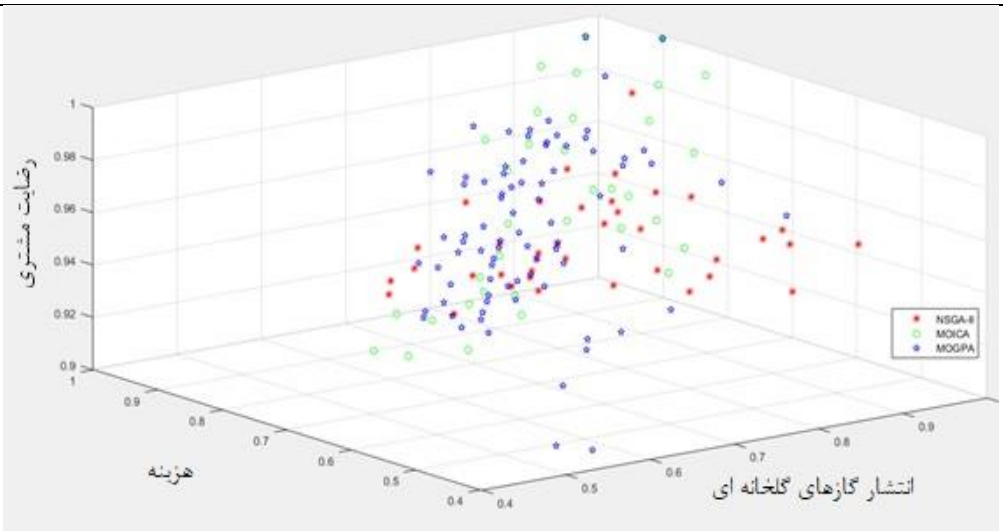
شماره مسئله	شاخص کیفیت			شاخص متوسط فاصله از نقطه ایده آل		
	NSGA-II	MOICA	MOGPA	NSGA-II	MOICA	MOGPA
۱	۰/۰۹۰	۰/۱٦۹	۰/۷٤۱	۰/٦٦۲	۰/٤۹۳	۰/۳۰۷
۲	۰	۰/۰۵۸	۰/۹٤۲	۰/۷۲۸	۰/۵٤۷	۰/۲۵٤
۳	۰/۰۱۹	۰/۱۰۸	۰/۸۷۳	۰/۸۹۱	۰/۷٤۹	۰/۳۸۵

جدول ۸. نتایج عددی مسائل نمونه بر اساس دو شاخص DM و SM

شماره مسئله	شاخص تنوع			شاخص فاصله		
	NSGA-II	MOICA	MOGPA	NSGA-II	MOICA	MOGPA
۱	۰/۸۵٤	۰/۹۰۹	۱/۳۷۲	۰/۸٦٥	۰/٦۱۳	۰/٤۹۷
۲	۱/۰۹٥	۰/۹۳۱	۱/۰٦۷	۰/۸۲۱	۰/٥۷٤	۰/۳٦۷
۳	۰/۸۳۹	۰/۸۷٦	۱/۲٤۳	۰/۷۸۲	۰/٦۳۹	۰/٥۰٦

جدول ۹. نتایج عددی مسائل نمونه بر اساس دو شاخص DEA و PM

شماره مسئله	شاخص تحلیل پوششی داده ها			شاخص پرومته		
	NSGA-II	MOICA	MOGPA	NSGA-II	MOICA	MOGPA
۱	۰/۸٥٦	۰/۹٦٤	۰/۹۷۳	۰/۳۲۷	۰/٤۱۲	۰/۷۳٦
۲	۰/۸۱٤	۰/۹۲٦	۰/۹۸۱	۰/۲۱۸	۰/۳۹۳	۰/۷۸۸
۳	۰/۸۹٥	۰/۹۳۱	۰/۹٥۷	۰/۳۰۲	۰/۳۱۳	۰/٦٥٤



شکل ۷. مقایسه مرز پارتوی الگوریتم‌ها

با توجه به نتایج ارائه‌شده، مشاهده می‌گردد که الگوریتم MOGPA نسبت به الگوریتم‌های NSGA-II و MOICA کاراتر می‌باشد. نکته مهم درباره این مسئله این است که مرز پارتوی الگوریتم MOGPA در تمام مسایل نمونه بهتر از سایر الگوریتم‌های مقایسه شده است که نشان دهنده کیفیت بهتر جواب‌های الگوریتم MOGPA است. به طور نمونه مقایسه مرز پارتوی سه الگوریتم که در شکل (۷) نشان داده شده است، به خوبی این موضوع را به تایید می‌کند.

مهمترین قابلیت های الگوریتم MOGPA، در نظر گرفتن مفروضات مدیریتی است که سایر الگوریتم ها آن را در نظر نمی گیرند. به عبارت دیگر با تلفیق الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با روش پرومته جواب‌های نامغلوبی حاصل می شوند که برخی از

ویژگی‌های موردنظر تصمیم‌گیر را در خود جای‌داده است. این ویژگی‌ها شامل وزن اهداف و تابع ارجحیت آن‌ها می‌باشد. در این مساله رضایت مشتری و هزینه اولویت بالاتری نسبت به آلودگی و اهداف سبز دارد. همچنین بهبود اندک در هزینه، برای بانک اولویت خاصی ندارد. به عنوان مثال وقتی هزینه حمل و نقل بالا می باشد، جواب هایی با اختلاف کمتر از ۱۰۰ هزار تومان هزینه از دید بانک یکسان می باشند و برتری خاصی نسبت به هم ندارند در صورتی که در رتبه بندی نامغلوب حتی بهبود یک ریال در هزینه می‌تواند جوابی را مغلوب کند. به عبارت دیگر استفاده از روش پرومته در رتبه بندی جواب ها سبب شده است که فرار از بهینگی محلی بهتر انجام شود و همچنین از نظر مدیریت نزدیک تر به حالت واقعی باشد. (در نظر گرفتن آستانه بی تفاوتی در تابع ارجحیت اهداف هزینه ای). به همین دلیل نتایج حاصل از الگوریتم MOGPA، کاراتر می باشند.

۹. نتیجه‌گیری

مدل ارائه‌شده در این مقاله، یک مدل یکپارچه در پول‌رسانی بانک می‌باشد که هر دو مسئله‌ی مکان‌یابی و مسیریابی را به‌صورت یکپارچه و مرتبط در نظر می‌گیرد. در مدل ارائه‌شده ما علاوه بر حداقل کردن هزینه‌های شبکه پول‌رسانی به دنبال حداقل کردن حداقل کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش رضایت مشتریان هستیم. همچنین در این مدل برای اولین بار، تحویل کسری پول و دریافت مازاد پول در یک تور به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته شده است. در نظر گرفتن رضایت مشتریان که به‌موجب آن زمان‌های تحویل به‌صورت پارامترهای فازی ذوزنقه‌ای در نظر گرفته می‌شوند بر کیفیت ارائه خدمت تأثیرگذار است. همان‌گونه که پیش‌تر هم گفته شد این مسئله از نوع مسائل NP-hard است بنابراین حل آن برای مسائل بزرگ از طریق نرم‌افزارهای بهینه‌سازی دقیق غیرممکن است، لذا یک الگوریتم فراابتکاری چند هدفه جدید با ترکیب الگوریتم ژنتیک و روش پرومته به‌منظور حل مدل پیشنهادی ارائه گردید. جهت ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی، جواب‌های پارتو به‌دست‌آمده از الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های NSGA-II و MOICA در شش شاخص کیفیت، فاصله از نقطه ایده‌آل، فاصله، تنوع، تحلیل پوششی داده‌ها و پرومته، باهم مقایسه شدند و مشاهده شد که در پنج شاخص کیفیت و فاصله از نقطه ایده‌آل، فاصله، تحلیل پوششی داده ها و پرومته الگوریتم پیشنهادی کاملاً برتر و در شاخص تنوع، الگوریتم پیشنهادی، در بیشتر موارد نتایج بهتری را ارائه داده است.

برای تحقیقات بالقوه‌ی آتی مسئله می‌توان مسئله را از دید شبیه‌سازی بررسی کرد. در نظر گرفتن فاکتور ترافیک و تأثیر تعیین‌کننده آن بر سرعت می‌تواند به‌عنوان تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد. اهمیت ترافیک زمانی بیشتر خواهد شد که در ساعات مختلف شبانه‌روز مقادیر متفاوتی از جریان ترافیک در هر مسیر رخ دهد. این جریان متفاوت سبب سرعت‌های متفاوت در شبانه‌روز خواهد شد که خود بر برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و تخصیص مسیر به خودروهای پول‌رسان اثر می‌گذارد. با در نظر گرفتن تقاضای مشتریان در شرایط عدم قطعیت می‌توان مسئله را هر چه بیشتر به شرایط واقعی نزدیک‌تر کرد. همچنین بر اساس نظرات خبرگان بانکی، پارامترهای مهم و تاثیر گذار می تواند، هزینه حمل و نقل پول، هزینه احداث خزانه، ظرفیت مجاز حمل پول خودروهای پولرسان و پنجره زمانی نرم هر مشتری باشد. بنابراین با تغییراتی در مقادیر این پارامترها، می توان، میزان اعتبار و مقدار حساسیت پارامترهای مهم مدل را سنجید.

۱۰. پی‌نوشت‌ها

1- Location-Routing Problem
2- Tabu Search
3- Simulated Annealing

2- Hybrid Evolutionary Search Algorithm
3- Pollution Routing Problem
4- Adaptive Large Neighborhood Search
5- Piece Linear Functions
6- Location and Pollution Routing Problem
7- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
8- Non-dominated Ranking Genetic Algorithm
9- Adjusted Fuzzy Dominance Genetic Algorithm
10- Multi Objective Genetic- Promethee Algorithm
11- Number Function Evaluation
12- Multi Objective Imperialistic Competitive Algorithm
13- Quality Metric
١4- Mean ideal distance
15- Diversification metric
16- Spacing Metric
17- Data Envelopment Analysis
18- Decision Making Unit
19- PROMETHEE Metric
20- Response Surface Methodology
21- MATLAB R2015

۱۱. منابع

– سید فرید قنادپور، فاطمه زندیه، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه مبتنی بر نظریه بازی با هدف کاهش ریسک حمل کالای ارزشمند، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل/ سال یازدهم/ شماره اول/پاییز ۱۳۹۸

– عاطفه کهفی، رضا توکلی مقدم، حل مدل مسیریابی وسایل نقلیه چند انباره مبتنی بر کاهش ریسک با استفاده از یک الگوریتم خفاش چندهدفه، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال ششم / شماره سوم / بهار ١٣٩٤.

– عاطفه کهفی، سیدمحمد سیدحسینی، رضا توکلی مقدم، ارائه و حل مدل دوهدفه مکانیابی– مسیریابی کمانمحور چند دورهای با پنجره زمانی مبتنی بر کاهش ریسک سرقت کالای ارزشمند (مطالعه موردی خزانه بانک)، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل /۱۳۹۷.

– مزینانی، مصطفی.، عبادی، محسن.، ربیعی، میثم.، (۱۳۸۹). مبانی تحقیق در عملیات، جلد ۱، چاپ اول، تهران: نشر پیوند نو.

- Alumur, S. and Kara, B.Y. (2007) "A new model for the hazardous waste location-routing problem", Computers and Operations Research, Vol. 34, pp. 1406-1423.

- Barth, M., Younglove, T. and Scora, G. (2005) "Development of a heavy-duty diesel modal emissions and fuel consumption model", Technical Report, UC Berkeley: California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH).

- Barth, M. and Boriboonsomsin, K. (2008) "Real-world CO2 impacts of traffic congestion", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2058, No. 1, pp. 163-171.

- Bektas, T. and Laporte, G. (2011) "The pollution-routing problem", Transportation Methodological, Vol. 45, No. 8, pp. 1232–1250.

- Boonsam, Prat, Suthikarnnarunai, Nanthi, Chitphaiboon, Whetisak. (2011) "Assignment problem and vehicle routing problem for an improvement of cash distribution", Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, pp. 19-21.

- Bozkaya, B., Salman, F. S. and Telciler, K. (2017) "An adaptive and diversified vehicle routing approach to reducing the security risk of

- Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R. and Devika, K. (2014) "Two-echelon multiplevehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food", International Journal of Production Economics, Vol. 152, pp. 9-28.

- Hassan-Pour, H., Mosadegh-Khah, M. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2009) "Solving a multi-objective multi-depot stochastic location-routing problem by a hybrid simulated annealing algorithm", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 223, pp. 1045-1054.

- Koc, C. (2016) "A unified-adaptive large neighborhood search metaheuristic for periodic location-routing problems", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 68, pp. 265-284.

- Koc, C. and Karaoglanb, I. (2016) "The green vehicle routing problem: A heuristic based exact solution approach", Applied Soft Computing, Vol. 39, pp. 154-164.

- Koc, C., Bektas, T., Jabali, O. and Laporte, G. (2015) "The feet size and mix location-routing problem with time windows: Formulations and a heuristic algorithm", European Journal of Operational Research, vol. 248, No. 1, pp. 33-51.

- Martínez-Salazar, I.A., Molina, J., Ángel-Bello, F., Gómez, T. and Caballero, R. (2014) "Solving a bi-objective transportation location routing problem by metaheuristic algorithms", European Journal of Operational Research, Vol. 234, pp. 25-36.

cash-in-transit operations", Networks, Vol. 69 , No. 3, pp. 256-269.

- Brans, J.P. L'ingénierie de la decision. (1982) "Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. In: Nadeau, R., Landry, M. (eds.) L'aide à la décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir, pp. 183–213. Presses de l'Université Laval, Québec.

- Caballero, R. González, M. Guerrero, F. Molina, J. and Paralera, C. (2007) "Solving a multi objective location routing problem with a metaheuristic based on tabu search Application to a real case in Andalusia", .European Journal of Operational Research, Vol. 177, pp.1751-1763.

- Demir, E., Bekta¸ T. and Laporte, G. (2012) "An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem", European Journal of Operational Research, Vol. 223, No. 2, pp. 346-359.

- Demir, E., Bekta¸ T. and Laporte, G. (2014) "The bi-objective pollution-routing problem", European Journal of Operational Research, Vol. 232, No. 3, pp. 464-478.

- Drexl, M. and Schneider, M. (2015) "A survey of variants and extensions of the location-routing problem", European Journal of Operational Research, Vol. 241, pp. 283-308.

- Eshtehadi, R., Fathian, M., Demir, E., (2017) "Robust solutions to the pollution-routing problem with demand and travel time uncertainty", Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 51, pp. 351-363.

- Mazinani, M., Ghazi, S.E., Ghazi, N.E. and Ghaseminejad, A. (2011) "Proposing new models for finding the most efficient DMUs in DEA", International Journal of Management Science and Engineering Management, Vol. 6, No. 6, pp. 403-407.

- McKinnon, A. (2007) "CO2 Emissions from Freight Transport in the UK., Report prepared for the Climate Change Working Group of the Commission for Integrated Transport", London.

- Mirmohammadi, S.H., Babaee Tirkolaee, E., Goli, A. and Dehnavi-Arani, S. (2017) "The periodic green vehicle routing problem with considering of time-dependent urban traffic and time windows", International Journal of Optimization in Civil Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 143-156.

- Prodhon, C. and Prins, C. (2014) "A survey of recent research on location-routing problems", European Journal of Operational Research, Vol. 238, pp. 1-17.

- Radoji˘ci´c, N. Djeni´c, A. Mari´c, M. (2018). "Fuzzy GRASP with Path Relinking for the risk-constrained cash-in-transit vehicle routing problem". Applied Soft Computing, Vol. 72, pp.486-497.

- Salhi, S. and Rand, G. (1989) "The effect of ignoring routes when locating depots", European Journal of Operational Research, Vol. 39, pp. 150-156.

- Suthikarnnarunai, N., Boonsam, P., Wattanalertrak, W., Engchuan, K. and Taprab, C. (2013) "Cash distribution using skip concept for heuristics vehicle routing methodology", Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, Vol. 2, pp. 23-25.

- Talarico, L., Sörensen, K., and Springael, J. (2013). "The risk-constrained cash-in-transit vehicle routing problem with time window constraints", In 14th Workshop of the EURO Working Group "EU/ME: the Metaheuristics Community," Hamburg, Germany, pp.104-109.

- Talarico, L., Sörensen, K. and Springael, J. (2015 a). "Metaheuristics for the risk-constrained cash-in-transit vehicle routing problem", European Journal of Operational Research, Vol. 244, pp. 457-470.

- Talarico, L., Sörensen, K. and Springael, J. (2015 b). "A biobjective decision model to increase security and reduce travel costs in the cash-in-transit sector", International Transactions in Operational Research, Vol. 24, No. 1-2, pp. 59- 76.

- Talarico, L., Springael, J., Sörensen K. and Talarico, F. (2017) "A large neighbourhood metaheuristic for the risk-constrained cash-in-transit vehicle routing problem", Computers and Operation Research, Vol. 78, pp. 547-556.

- Tavakkoli-Moghaddam, R., Makui, A. and Mazloomi, Z. (2010) "A new integrated mathematical model for a bi-objective multi-depot location-routing problem solved by a multi-objective scatter search algorithm", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 29, pp. 111-119.

- Tavakkoli-Moghaddam, R., Gazanfari, M., Alinaghian, M., Salamatbakhsh, A. and Norouzi, N. (2011) "A new mathematical model for a competitive vehicle routing problem with time

windows solved by simulated annealing", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 30, No. 2, pp. 83-92.

- Topaloglu, E., Dasci, A. and Eken, M.H. (2015) "A hierarchical model for cash transfer system design problem", Computer Science, Vol. 9335, pp. 31-45.

- Webb, M. (1968) "Cost functions in the location of depots for multi-delivery journeys" Operational Research Quarterly, Vol. 19, No. 3, pp. 311-320.

- Yan, Sh., Wang, S.S., Wu, M.W., (2012) "A model with a solution algorithm for the cash transportation vehicle routing and scheduling problem", Computers & Industrial Engineering, Vol 63, pp. 464-473.

مصطفی مزینانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۸٦ از دانشگاه آزاد اسلامی و درجه کارشناسی ارشد را در همان رشته در سال ۱۳۸۹ از دانشگاه صنعتی خواجه النصیر الدین طوسی اخذ نمود. در حال حاضر دانشجوی دکتری مهندسی صنایع در پردیس البرز دانشگاه تهران است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مکانیابی و استقرار تسهیلات، مسیریابی وسایل حمل ونقل و الگوریتم های فراابتکاری در بهینه سازی می‌باشد.

رضا توکلی مقدم، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳٦۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران ودرجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۷۲ را از دانشگاه ملبورن – استرالیا اخذ نمود. در سال ۱۳۷٦ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه سوئینبرن – استرالیا گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان طراحی سیستم‌های صنعتی (مکانیابی و استقرار تسهیلات)، مسیریابی وسایل حمل ونقل، لجستیک و طراحی شبکه زنجیره تامین، زمانبندی و توالی عملیات، الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه سازی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد تمام در دانشگاه تهران است.

علی بزرگی امیری، درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۸ و ۱۳۸۳ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۹۰ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع – سیستمهای اقتصادی-اجتماعی از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان لجستیک امداد بشردوستانه، مکانیابی و کاربرد تکنیکهای تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه تهران است.