

مدلی به منظور مسیریابی حرکت وسایط نقلیه با مبدا مشخص با استفاده از الگوریتم فراابتکاری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴

کد مقاله: ۹۰۶۲۲

مارال ثابتیان^۱

چکیده

یکی از مباحث مهم که در چند دهه اخیر کاربرد بسیار بالایی در عمل داشته و برای افزایش کارایی و بهره‌وری سیستم‌های حمل و نقل مطرح شده است بحث مساله مسیریابی وسایط نقلیه (VRP) است. مساله مسیریابی وسایط نقلیه به مجموعه‌ای از مسایل اطلاق می‌گردد که در آن تعدادی خودرو متمرکز در یک یا چند قرارگاه بایستی به مجموعه‌ای از مشتریان مراجعه نموده و خدمتی را ارائه دهند که هر یک دارای تقاضای معینی می‌باشند. این مساله درصدد است تا با مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی به گونه‌ای عمل کند که مسافت طی شده، زمان کل سفر، تعداد وسایل حمل و نقل، جریمه‌های دیرکرد و در نهایت تابع هزینه حمل و نقل حداقل گردد و در نهایت رضایت مشتریان به حداکثر برسد. الگوریتم پیشنهادی ما در این تحقیق فراابتکاری می‌باشد که حالت بهینگی بهتری نسبت به سایر مسیریابی‌های حرکت وسایط نقلیه با مبدا مشخص را داراست. با استفاده از این الگوریتم به حالت کاهش زمان و هزینه‌ای حداقلی و نیز کارایی و بهره‌وری با راندمان بالاتری را ارائه داد.

واژگان کلیدی: مسیریابی وسایط نقلیه- مبدا مشخص- الگوریتم فراابتکاری

۱- کارشناسی مهندسی کامپیوتر نرم افزار، کارشناسی ارشد شبکه‌های کامپیوتری

یافتن مسیرهای وسایط نقلیه یک مسئله لجستیک می باشد که اخیراً مطالعات زیادی در این بابت صورت گرفته است و نوعاً هدف یک مسئله مسیریابی وسایط نقلیه جهت پیدا کردن مجموعه ای از مسیرها برای چندین وسیله نقلیه از یک مبدا مشخص به تعدادی مشتری و برگشتن به انبار، بدون این که محدودیت ظرفیت هر وسیله نقلیه نقض شود، با حداقل هزینه است. ترکیب مشتری ها به انتخاب مسیرهای حمل و نقل محدود نیست،^۱ بعنوان یک مسئله بهینه سازی ترکیباتی مورد توجه است به طوری که تعداد جواب های شدنی برای مسئله به طور نمایی با رشد تعداد مشتری ها زیاد می شود. (کومار^۲ و همکاران، ۲۰۱۳)

امروزه با توسعه صنایع و ظهور بازارهای رقابتی، مدیران مراکز صنعتی و خدماتی به دنبال کاهش هزینه های عملیاتی و در نتیجه کاهش قیمت تمام شده ی محصولات و خدمات هستند. کاهش هزینه های حمل و نقل میتواند در صرفه جویی هزینه ها بسیار اهمیت دارد. از جمله مسائلی که در زمینه بهینه یابی هزینه های حمل و نقل در واقع مسئله مسیریابی خودروها می باشد. مسئله مسیریابی وسایط نقلیه وابسته به زمان^۳ یکی از انواع مسیریابی های وسایط نقلیه پویا می باشد. این مسئله در شکل پایه ای خود یک مسئله مسیریابی وسیله نقلیه است که در ناوگانی از وسایط نقلیه از یک یا چند انبار مرکزی در جهت خدمت دهی به مجموعه ای از مشتریان توزیع می شوند و پس از اتمام عملیات به انبار مربوطه باز می گردند. (کوک^۴ و همکاران، ۲۰۱۲) هدفی اصلی این مسئله حداقل کردن کل زمان سفر و هزینه های ناشی از آن می باشد، که با این شرایط زمان سفر بین مشتریان و نیز بین مشتریان و انبار و به تبع آن هزینه های سفر، وابسته به زمانی از دوره می باشد که سفر طی آن انجام می شود.

افزایش کارایی و بهره وری سیستم های حمل و نقل یکی از مهمترین مباحثی می باشد که امروزه بایستی بیشتر به آن پرداخته شود تا بتوانیم با ترافیک کمتری برخورد و از افزایش هزینه های زیادی جلوگیری کنیم، به همین دلیل مسئله مسیریابی وسایط نقلیه VRP به وجود می آید. (ستاک و همکاران، ۱۳۹۲)

مسیریابی مربوط به پیدا کردن یک مسیر ایده‌آلی که اهداف مدل را تامین کرده و از مشتری تبعیت کند در حالیکه برنامه ریزی خودروها، زمانی که باید به هر مشتری خدمت داده شود را معین می کند. بر همین اساس بحث زمان هزینه کلی مسیر نه تنها شامل هزینه مسافت کل و زمان خدمت و سایر هزینه های وابسته می‌شود. بلکه هزینه ی کلی توقفات و انتظارها نیز محاسبه می گردد. محیط های شهری پیچیدگی ساختاری گسترده ای را دارند. همین مسئله سبب شده امکان دسترسی به نقاط مختلف از طریق بیش از یک مسیر وجود داشته باشد. در چنین شرایطی، مقررات ترافیکی برای مسیرها از جمله تعیین حداکثر سرعت مجاز و محدودیتهای ترافیکی وسایط حمل و نقل، در انتخاب مسیر برای ادامه سفر وسایط نقلیه تأثیرگذار است. (اسپنیدر^۵ و همکاران، ۲۰۱۴) انتخاب مسیر مناسب، برای شرکتهای توزیع کالا و نیز شرکتهای حمل و نقل کرایه ای میتواند بسیار مهم باشد، به ویژه آنگاه که دریافت سفارشات در زمان مشخص برای مشتریان دارای اهمیت است، که میتوان از طریق الگوریتم های متفاوت آنها را بهینه و انتخاب کرد. لذا ما در این تحقیق ارائه یک مدلی به منظور مسیریابی حرکت وسایط نقلیه با مبدا مشخص با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ارائه خواهیم داد و مسئله ارائه یک مدلی در جهت مسیریابی را بهینه خواهیم کرد. مسائل حمل و نقل امروزه مورد توجه اکثر محققان و مسئولان مربوطه قرار گرفته است، به این دلیل که حل این مسئله کمک زیادی به اکثر عرصه های مختلف می کند. هزینه حمل و نقل یک مولفه ی موثر در قیمت تمام شده ی کالا و همچنین سطح رضایت مشتری خواهد شد. مسئله ی VRP از دهه ۶۰ میلادی به آن پرداخته شده است و روشهای گوناگونی برای حل آن و گسترش هایی از جمله مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با دریافت و تحویل همزمان کالا مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با پنجره های زمانی و غیره ارائه شده است. (یوسفی خوشبخت و همکاران، ۱۳۹۰) این مقوله تنها به چند رشته دانشگاهی که این حوزه را تنها برای مدیریت ترافیک به کار می برند محدود نمی شود، بلکه در برگیرنده همه ی حوزه ها نیز می شود. لذا پرداختن به این موضوع جهت حل درست مسئله مسیریابی حرکت وسایط نقلیه با مبدا مشخص و نیز ارائه یک مدل، از اهمیت زیادی برخوردار است. سرگردان و همکاران در سال ۱۳۹۴ مطالعه ای را تحت عنوان مدل سازی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با در نظر گرفتن چند انبار، تحویل و باربرداری همزمان، پنجره زمانی سخت و نرم، هزینه و استهلاک وابسته به میزان بار موجود در وسیله نقلیه و نوع مسیر ارائه دادند. متغیرهای این تحقیق شامل: مسئله مسیریابی حمل و نقل، چند انبار، تحویل و باربرداری هم زمان، پنجره زمانی، هزینه وزن بار وسیله نقلیه می باشد که در این تحقیق آمده است: مسئله مسیریابی وسیله نقلیه یکی از مهمترین مسائل NP-hard می باشد که روش دقیقی برای حل آن در ابعاد بزرگ وجود ندارد. مسئله VRP کلاسیک دارای یک وسیله نقلیه می باشد که مسیر خود را از انبار شروع کرده و در طول مسیر به مشتری سرویس دهی کرده و دوباره به

1 Vehicle Routing Problem

2 Kumar

3 Time Dependent Vehicle Routing Problem

4 Kok

5 Schneider

همان انبار باز می گردد. در هر مسیر تقاضای مشتری معلوم و ظرفیت وسیله نقلیه محدود می باشد. در این پژوهش برای اولین بار چندین محدودیت و شرایط خاص به مسئله اضافه شده تا مسئله به دنیای واقعی نزدیکتر گردد. در مسئله ما چند انبار، به مشتری سرویس دهی کرده و زمان سرویس دهی به مشتری دارای دو پنجره زمانی سخت و نرم می باشد، و هر مشتری دارای تقاضای تحویل بار و تقاضای باربرداری به منظور ارائه کالا به وسیله نقلیه به منظور بازگرداندن به انبار می باشد. هدف از مسئله VRP، کمینه کردن هزینه سفر شامل مسافت یا زمان سفر می باشد. در این پژوهش علاوه بر هزینه مسافت سفر انواع دیگر هزینه ها شامل هزینه نوع مسیر، هزینه ثابت تعداد وسایط نقلیه، هزینه رعایت نکردن پنجره زمانی نرم و هزینه سوخت و استهلاک ناشی از میزان بار موجود بر روی وسیله نقلیه نیز در نظر گرفته شده است. در پژوهشهای قبلی میزان وزن بار بر روی وسیله نقلیه تأثیری در هزینه ها نداشته است ولی واضح است که میزان وزن باری که وسیله نقلیه جابجا می کند بر روی هزینه سوخت و استهلاک وسیله نقلیه موثر می باشد. همچنین سعی شده تا انواع هزینه های مطرح در مسئله بیان شود. پس از شرح مسئله، مدل سازی مسئله انجام شده و با یک مثال عددی صحت مدلسازی تأیید میشود. رحمانی و همکاران در سال ۱۳۹۵ مطالعه ای را تحت عنوان استفاده از الگوریتم نیروی گرانشی بهبود یافته جهت حل مساله مسیریابی وسایط نقلیه باز ارائه دادند. در این تحقیق آمده است: مساله مسیریابی وسیله نقلیه باز یکی از پرکاربردترین گسترش های مساله مسیریابی وسیله نقلیه است که امروزه به علت کاربردهای فراوانی که در مسائل حقیقی بهینه سازی ترکیباتی دارد، بسیار مورد توجه قرار می گیرد. به همین علت روشهای زیادی برای حل این مساله در سالهای اخیر ارائه شده است. تعریف این مساله همانند مساله مسیریابی وسیله نقلیه است با این تفاوت که هر وسیله نقلیه بعد از ملاقات کردن تعدادی گره دیگر به انبار باز نمیگردد و مسیر آن در آخرین گره ملاقات شده به پایان میرسد. در این مقاله، یک الگوریتم نیروی گرانشی بهبود یافته بنام Modified GELS برای حل مساله فوق ارائه شده است که نوعی مساله بهینه سازی میباشد که با استفاده از ناوگان همگنی از وسایط نقلیه که لزوماً به انبار اولیه بر نمیگردند، میتواند مساله سرویس دهی به مجموعه ایی از مشتریان را حل نماید. روش ارائه شده با انواع الگوریتمهای مختلف مقایسه شده است که نتایج به دست آمده، کارایی و برتری روش پیشنهادی را برای حل مساله فوق تأیید مینماید. سلامت بخش و همکاران در سال ۱۳۹۵ مطالعه ای را تحت عنوان مساله مسیریابی وسایط نقلیه باز با در نظر گرفتن رضایت رانندگان: الگوریتم تکاملی چند هدفه بر مبنای تجزیه بررسی کردند، که در این تحقیق آمده است: یک مدل مسیریابی وسایط نقلیه باز جدید با دو هدف متمرکز بر بیشینه کردن رضایت توزیع کنندگان و کمینه کردن اندازه ناوگان به طور همزمان ارائه می شود. با توجه به دنیای واقعی، با توجه به خصوصی بودن توزیع کنندگان، درآمد توزیع کنندگان به دلیل آن که تابعی از تعداد کالاهای حمل شده است، با ظرفیت وسیله نقلیه ارتباط مستقیم دارد و از طرف دیگر کمینه کردن تعداد ناوگان با استفاده از وسایط نقلیه با ظرفیت های متفاوت باعث هزینه های غیرمستقیم می گردد. علاوه بر آن، با توجه به خصوصی بودن ناوگان و نظر به شرایط دنیای واقعی، وسایط نقلیه پس از سرویس رسانی به دیو باز نمی گردند. به دلیل کاربرد فراوان این مدل در توزیع محصولات توسط بخش خصوصی، مسیریابی وسایط نقلیه در حالت باز در این مقاله بررسی شده است. مساله مسیریابی وسایط نقلیه مورد بررسی از نوع مسایل NP-hard است، از همین رو به منظور حل این نوع مدل از روش فوق ابتکاری تکاملی چند هدفه بر مبنای تجزیه (MOEA/D) استفاده و نتایج حاصل با جوابهای حاصل از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات چند هدفه (MOPSO) مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به طور میانگین از نظر زمانی الگوریتم (MOPSO) تقریباً ۱۰ درصد کند تر از الگوریتم (MOEA/D) عمل می کند، علاوه بر آن کیفیت جوابهای الگوریتم (MOEA/D) در میانگین تعداد ناوگان حمل و نقل حدود ۱۶٪ بهتر از الگوریتم (MOPSO) است که نشان دهنده عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی است.

هاشیموتو و همکاران (۲۰۰۸) مدل هایی را بر مبنای مسیرهای امکان پذیر از پیش تعیین شده طراحی نمودند و راهکارهایی مبتنی بر الگوریتم جستجوی محلی تکرار شونده برای حل آن به کار گرفتند. ونسل^۲ و همکاران (۲۰۰۸) فاکتور تراکم ترافیک را در مسئله TDVRP را در نظر گرفتند و برای حل آن از تئوری صف استفاده کردند. وانگ و وانگ^۳ (۲۰۰۹) برای حل یک مسئله مسیریابی وسیله حمل و نقل با بار بازگشت که در آن سرعت صفر وابسته به زمان است، از یک روش ابتکاری دو مرحله ای استفاده نمودند. سولر^۴ و همکاران (۲۰۰۹) یک مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره های زمانی را که شامل زمان و هزینه های سفر وابسته به زمان می شود، طی چند مرحله به یک مسئله مسیریابی وسیله حمل و نقل ظرفیت دار متقارن تبدیل کرده است و با استفاده از روش های موجود آن را حل نمودند. کیو^۵ و همکاران (۲۰۰۹) یک روش بهینه سازی مبتنی بر جستجو ممنوع را برای مسئله تخصیص کالا و مسیریابی وسیله حمل و نقل وابسته به زمان به کار گرفتند. کیو^۶ (۲۰۱۰) مسئله مسیریابی وسیله حمل و

- 1 Hashimoto
- 2 Woensel
- 3 Wang
- 4 Soler
- 5 Kuo
- 6 Kuo

نقل را با هدف حداقل کردن میزان سوخت مصرفی مورد بررسی قرار داد و از شبیه سازی تبرید برای حل آن استفاده کرد. کوک^۱ و همکاران(۲۰۱۰) دستورالعمل ساعت کاری را برای رانندگان را در TDVRP در نظر گرفتند و با یک روش ابتکاری بر اساس برنامه ریزی پویا آن را حل کردند. فیگلیوتزی^۲(۲۰۱۰) اثرات تراکم ترافیک را بر خصوصیات و هزینه های سفر وسیله نقلیه مورد مطالعه قرار داد. چن^۳ و همکاران(۲۰۰۶) مسئله ی مذکور را با در نظر گرفتن پنجره های زمانی و تقاضاهای بی درنگ بررسی کردند. باک^۴(۲۰۱۰) مسئله ی مسیریابی وسیله حمل و نقل با زمان واقعی را با حمل و نقل مرکب و امکان انتقال چند باره بین وسایط حمل و نقل مختلف ترغیب نمودند. همچنین یک چارچوب تکاملی شی گرا توسط لیائو و هو^۵(۲۰۱۱) برای این دسته از مسائل ارائه گردید. لورینی^۶ و همکاران (۲۰۱۱) رانندگان و دفتر مرکزی توزیع، روش حلی را برای مسئله مسیریابی نقلیه با زمان واقعی توسعه دادند.

جدول ۱ مرور ادبیات و پیشینه

نویسنده	سال	نتیجه گیری
سرگردان	۱۳۹۴	چند انبار، به مشتری سرویس دهی کرده و زمان سرویس دهی به مشتری دارای دو پنجره زمانی سخت و نرم می باشد، وهر مشتری دارای تقاضای تحویل بار و تقاضای باربرداری به منظور ارائه کالا به وسیله نقلیه به منظور بازگرداندن به انبار می باشد. علاوه بر هزینه مسافت سفر انواع دیگر هزینه ها شامل هزینه نوع مسیر، هزینه ثابت تعداد وسایط نقلیه، هزینه رعایت نکردن پنجره زمانی نرم و هزینه سوخت و استهلاک ناشی از میزان بارموجود بر روی وسیله نقلیه نیز در نظر گرفته شده است.
رحمانی	۱۳۹۵	یک الگوریتم نیروی گرانشی بهبود یافته بنام Modified GELS برای حل مساله فوق ارائه شده است که نوعی مساله بهینه سازی می باشد که با استفاده از ناوگان همگنی از وسایط نقلیه که لزوماً به انبار اولیه بر نمیگردند، میتواند مساله سرویس دهی به مجموعه ایی از مشتریان را حل نماید.
سلامت بخش	۱۳۹۵	یک مدل مسیریابی وسایط نقلیه باز جدید با دو هدف متمرکز بر بیشینه کردن رضایت توزیع کنندگان و کمینه کردن اندازه ناوگان به طور همزمان ارائه می شود. مدل از روش فوق ابتکاری تکاملی چند هدفه بر مبنای تجزیه (MOEA/D) استفاده و نتایج حاصل با جوابهای حاصل از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات چند هدفه (MOPSO) مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.
هاشیموتو	۲۰۰۸	مدل هایی را بر مبنای مسیر های امکان پذیر از پیش تعیین شده طراحی نمودند و راهکارهایی مبتنی بر الگوریتم جستجوی محلی تکرار شونده برای حل آن به کار گرفتند.
ونسل	۲۰۰۸	فاکتور تراکم ترافیک را در مسئله TDVRP را در نظر گرفتند و برای حل آن از تئوری صف استفاده کردند.
وانگ	۲۰۰۹	برای حل یک مسئله مسیریابی وسیله حمل و نقل با بار بازگشت که در آن سرعت صفر وابسته به زمان است، از یک روش ابتکاری دو مرحله ای استفاده نمودند
سولر	۲۰۰۹	یک مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره های زمانی را که شامل زمان و هزینه های سفر وابسته به زمان می شود، طی چند مرحله به یک مسئله مسیریابی وسیله حمل و نقل ظرفیت دار متقارن تبدیل کرده است و با استفاده از روش های موجود آن را حل نمودند.
کیو	۲۰۰۹	یک روش بهینه سازی مبتنی بر جستجو ممنوع را برای مسئله تخصیص کالا و مسیریابی وسیله حمل و نقل وابسته به زمان به کار گرفتند
کیو	۲۰۱۰	مسئله مسیریابی وسیله حمل و نقل را با هدف حداقل کردن میزان سوخت مصرفی مورد بررسی قرار داد و از شبیه سازی تبرید برای حل آن استفاده کرد.
کوک	۲۰۱۰	دستورالعمل ساعت کاری را برای رانندگان را در TDVRP در نظر گرفتند و با یک روش ابتکاری بر اساس برنامه ریزی پویا آن را حل کردند
فیگلیوتزی	۲۰۱۰	اثرات تراکم ترافیک را بر خصوصیات و هزینه های سفر وسیله نقلیه مورد مطالعه قرار داد
چن	۲۰۰۶	مسئله ی مذکور را با در نظر گرفتن پنجره های زمانی و تقاضاهای بی درنگ بررسی کردند.
باک	۲۰۱۰	مسئله ی مسیریابی وسیله حمل و نقل با زمان واقعی را با حمل و نقل مرکب و امکان انتقال چند باره بین وسایط حمل و نقل مختلف ترغیب نمودند
لیائو	۲۰۱۱	یک چارچوب تکاملی شی گرا توسط لیائو و هو (۲۰۱۱) برای این دسته از مسائل ارائه گردید.
لورینی	۲۰۱۱	رانندگان و دفتر مرکزی توزیع، روش حلی را برای مسئله مسیریابی نقلیه با زمان واقعی توسعه دادند.
پژوهش حاضر	۱۴۰۰	الگوریتم پیشنهادی ما در این تحقیق فراابتکاری می باشد که حالت بهینگی بهتری نسبت به سایر مسیریابی های حرکت وسایط نقلیه با مبدا مشخص را داراست. با استفاده از این الگوریتم به حالت کاهش زمان و هزینه ای حداقلی و نیز کارایی و بهره وری با راندمان بالاتری را ارائه داد.

- 1 Kok
- 2 Figliozzi
- 3 Chen
- 4 Bock
- 5 Hu and Liao
- 6 Liorini

۲- مدل‌سازی ریاضی

مجموعه $V = \{2, 3, \dots, n\}$ نشان دهنده شهرهایی است که باید از آنها گذر صورت پذیرد. ایستگاه مرکزی را که باید سفر را از آن شروع و به آن ختم کرد دوگانه در نظر می‌گیریم؛ ایستگاه مبدأ و ایستگاه مقصد که به ترتیب با 1 و $n+1$ شناخته می‌شوند. بنابراین، تور تبدیل به یک مسیر همیلتنی می‌شود که از 1 شروع و در $n+1$ خاتمه می‌یابد. مسیر همیلتنی مسیری است که در آن از هر گره دقیقاً یک بار گذر صورت پذیرد. به منظور راحتی کار دو مجموعه $V^o = V \cup \{1\}$ و $V^d = V \cup \{n+1\}$ را تعریف می‌کنیم. برای هر زوج i و j از شهرها، t_{ij} نشان دهنده زمان سفر و c_{ij} نشان دهنده هزینه (مسافت) سفر از شهر i به شهر j است. بازه $[a_i, b_i]$ بیانگر پنجره زمانی شهر i است. دو مجموعه مهم از متغیرها چنین اند: مجموعه $\{S_i | i = 1, \dots, n\}$ چنان که $S_i \in \{2, \dots, n+1\}$ نشان دهنده شهرهای بلافاصله بعد از شهر i در مسیر است و مجموعه $\{T_i | i = 1, \dots, n\}$ چنان که T_i نشان دهنده زمان آغاز سرویس در شهر i است. یک تور شدنی، به هر شهر یک S مشخص اختصاص می‌دهد و از دور جزئی جلوگیری می‌کند. مادامی که مقادیر به S_i ها تعلق می‌گیرد، مسیرهای مستقیم جزئی در راستای آن‌ها شکل می‌گیرند. β_i و ε_i به ترتیب نشان دهنده آغاز و پایان مسیر جزئی فعلی در طول i است که در ابتدا $\beta_i = \varepsilon_i = i$. تابع هدف:

$$\min \sum_{i \in V^o} c_{i, S_i} \quad (1)$$

که تلاش می‌کند هزینه کل تور را مینیمم نماید. c_{i, S_i} نشان دهنده هزینه سفر از i به S_i است. محدودیت های مدل شامل:

محدودیت های هماهنگی:

$$S_i \neq S_j \quad \forall i, j \in V^o, \quad i \neq j \quad (2)$$

$$S_i \in \{2, \dots, n+1\} \quad \forall i \in V^o = \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

به منظور اطمینان از اینکه از هر شهر دقیقاً یکبار گذر صورت می‌گیرد. محدودیت‌های حذف دور جزئی:

$$S_i \neq i \quad \forall i \in V^o \quad (4)$$

$$S_i = j \Rightarrow S_j \neq \beta_i \quad \forall i \in V^o \text{ (Provided } \varepsilon_j \neq n+1) \quad (5)$$

تا بدین جا، مدل بیانگر یک مسأله TSP است. برای دخالت دادن پنجره های زمانی در مدل و تبدیل مدل به یک مدل استاندارد برای مسأله TSPTW محدودیت های زمان بندی به مدل اضافه می‌شوند:

$$a_i \leq T_i \leq b_i \quad \forall i \in V^d = \{2, 3, \dots, n, n+1\} \quad (6)$$

$$S_i = j \Rightarrow T_i + t_{ij} \leq T_j \quad \forall i \in V^o \quad (7)$$

به منظور محدود کردن زمان سرویس به پنجره زمانی مربوطه و همچنین تضمین شدنی بودن زمان بندی، یک محدودیت موقت به هر کمان واقع در مسیر تحمیل می‌کنیم.

جهت تبدیل مدل از TSPTW به TSPmTW، از تمام محدودیت های اصلی مدل (۱ الی ۷)، فقط معادله (۶) نیاز به کمی تغییرات دارد. محدودیت ها می‌توانند از طریق عملگرهای منطقی از قبیل "و" (\wedge)، "یا" (\vee)، "منفی (به غیر از)" (\neg)، با

یکدیگر ترکیب شوند. عدم پیوستگی در پنجره زمانی را با اضافه کردن محدودیت ($6'$) به مدل اصلی می‌توان چنین بیان کرد:

$$\bigwedge_{k=1}^{m_i} \neg (a_i^k < T_i < b_i^k) \quad \forall i \in V \quad (6')$$

	d1						d2
	6	5	3	2	1	4	
d1							
d2		5	3	2	1	4	

شکل ۳ نتایج مثال دوم

در شکل ۳ وسیله نقلیه اول هیچ مسیری را نپیموده است. وسیله نقلیه دوم نیز از انبار شروع شده و سپس مسیر مشتری پنجم، سوم، دوم، اول و چهارم $[5 > 3 > 2 > 1 > 4]$ را طی نموده و در انتها به انبار برگشته است. مطابق شکل زیر:

						d2
	5	3	2	1	4	

برای مشاهده بهتر نیز شکل ۴ مسیر هر کدام را به صورت تفکیک شده نشان می دهد.

d1						
d2		5	3	2	1	4

شکل ۴ مسیر های پیموده شده توسط وسایل نقلیه

مثال سوم: با اجرای سوم برنامه بردار زیر تولید می شود.

						d1	d2
	4	1	2	5	3	6	
d1							
d2		4	1	2	5	3	

شکل ۵ نتایج مثال سوم

در شکل ۵ وسیله نقلیه دوم هیچ مسیری را نپیموده است. وسیله نقلیه اول نیز از انبار شروع شده و سپس مسیر مشتری $[4 > 1 > 2 > 5 > 3]$ را طی نموده و در انتها به انبار برگشته است. مطابق شکل زیر:

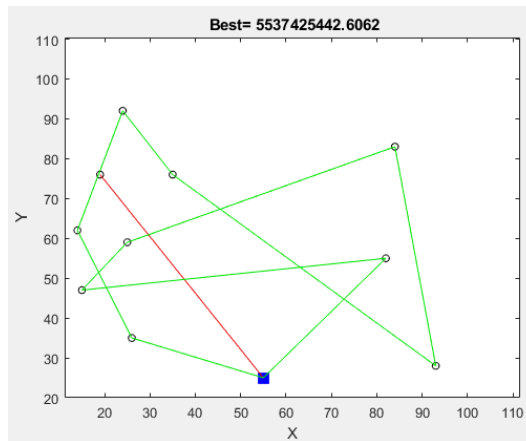
						d1
	4	1	2	5	3	6

برای مشاهده بهتر نیز شکل ۶ مسیر هر کدام را به صورت تفکیک شده نشان می دهد.

d1						
d2		4	1	2	5	3

شکل ۶ مسیر های پیموده شده توسط وسایل نقلیه

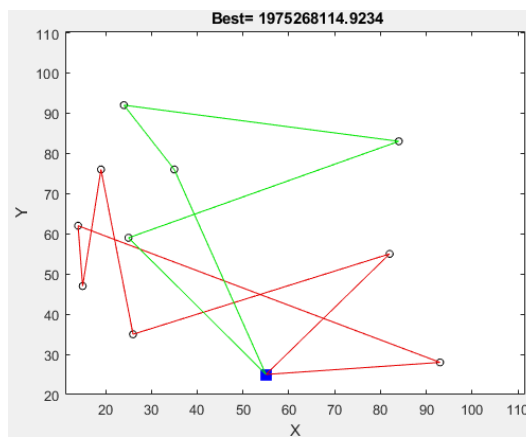
پس از شبیه سازی نتایج زیر برای سه بار تکرار ارائه می شوند. تمام سه حالت تکرار بصورت Infeasible می باشند و نمی توان حالت عملی برای آنها در نظر گرفت.



	Distacne	Used Capacity	Customer								
vehicle 1	124.851912	522	10								
vehicle 2	429.431058	4519	3	1	7	9	8	4	5	2	6
vehicle 3											
vehicle 4											

شکل ۷ تکرار اول

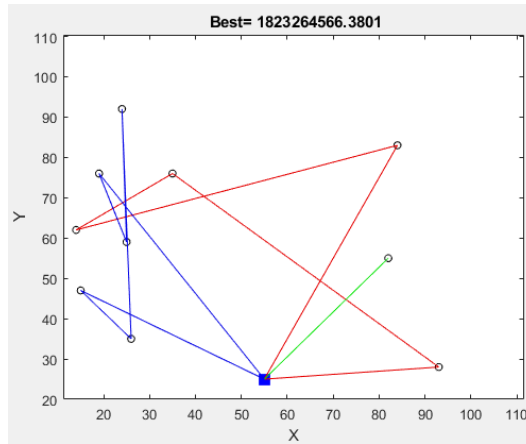
در تکرار اول از سه خودرو یکی اصلا شرکت داده نشده است، خودرو دومی نیز نزدیک چهار برابر بیشتر از خودرو دیگر مسیر را طی کرده است که نشان از تقسیم ناعادلانه بارها بین خودروها می باشد.



	Distacne	Used Capacity	Customer								
vehicle 1	309.850325	2762	8	1	2	10	3	6			
vehicle 2	243.906837	2279	5	4	7	9					
vehicle 3											
vehicle 4											
vehicle 5											

شکل ۸ تکرار دوم

در حالت دوم نیز مانند حالت اول یک خودرو بیکار مانده و دو خودروی دیگر کمی نزدیک هم مسافت طی نموده اند ولی با این حال نیز حالت Infeasible را دارا می باشند.



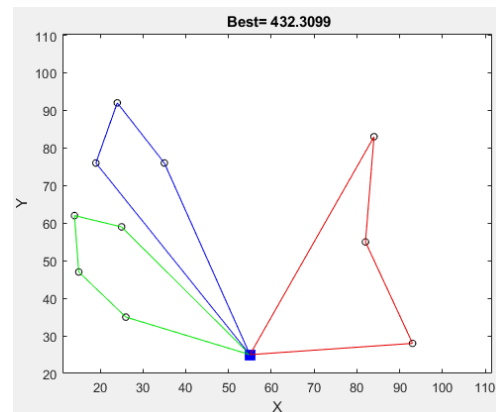
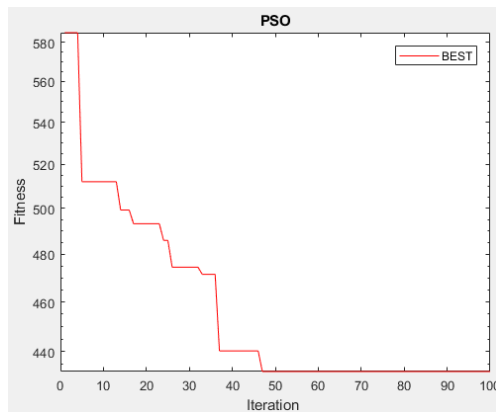
	Distacne	Used Capacity	Customer			
vehicle 1	276.571334	1419	8	9	1	4
vehicle 2	80.7217443	802	6			
vehicle 3	232.433607	2820	2	3	7	5
vehicle 4						
vehicle 5						

شکل ۹ تکرار سوم

حالت سوم بهتر از دو حالت دیگر عمل نموده است، با این حال نمی توان نتیجه Infeasible آن را نادیده گرفت زیرا مسافت پیموده شده و بار حمل شده بین خودروها اختلاف فاحشی دارند. برای بهینه سازی بهتر باید با الگوریتم MOPSO آن را بهینه کنیم.

نتایج بهینه شده

در این حالت نیز تعداد سه بار تکرار را برای شبیه سازی در نظر گرفته و نتایج را باهم مقایسه می کنیم.

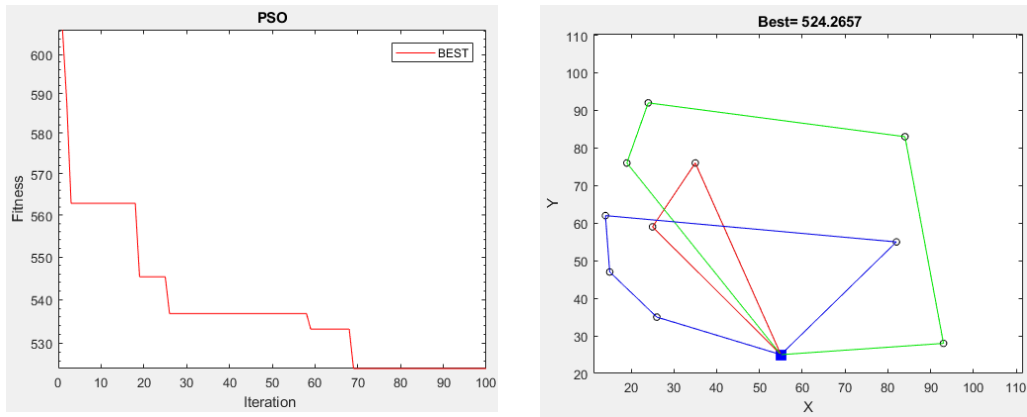


	Distacne	Used Capacity	Customer			
vehicle 1	160.190306	1167	8	6	4	
vehicle 2	118.732731	1799	3	2	1	5
vehicle 3	153.386882	2075	10	7	9	
vehicle 4						
vehicle 5						

شکل ۱۰ تکرار اول

در حالت اول که کاملاً feasible می باشد، مسیر حرکت هر خودرو دارای مسافت نزدیک به هم و ظرفیت تقریباً برابر می باشند، همچنین در این شکل قابل مشاهده هست که پس از انجام ۴۷ بار تکرار خروجی به حالت پایدار و کشف بهترین نتایج رسیده است، در این حالت خودروها مسیرهای زیر را پیموده اند:

خودر اول: انبار ← مشتری ۸ ← مشتری ۶ ← مشتری ۴ ← انبار
 خودر دوم: انبار ← مشتری ۳ ← مشتری ۲ ← مشتری ۱ ← مشتری ۵ ← انبار
 خودر سوم: انبار ← مشتری ۱۰ ← مشتری ۷ ← مشتری ۹ ← انبار

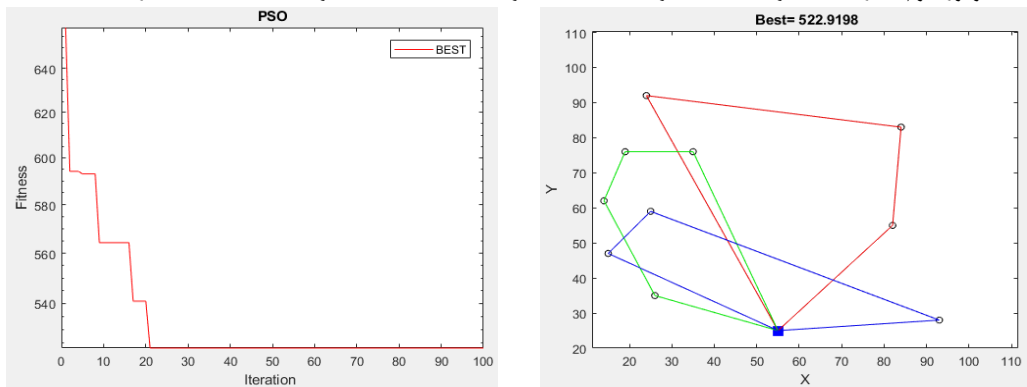


	Distacne	Used Capacity	Customer
vehicle 1	119.847603	1190	5 9
vehicle 2	233.709992	1828	8 4 7 10
vehicle 3	170.708057	2023	3 2 1 6
vehicle 4			
vehicle 5			
vehicle 6			
vehicle 7			

شکل ۱۱ تکرار دوم

در این حالت نیز قابل مشاهده هست که نتایج feasible بوده و پس از انجام ۶۹ بار تکرار خروجی به حالت پایدار و کشف بهترین نتایج رسیده است، در این حالت خودروها مسیرهای زیر را پیموده اند:

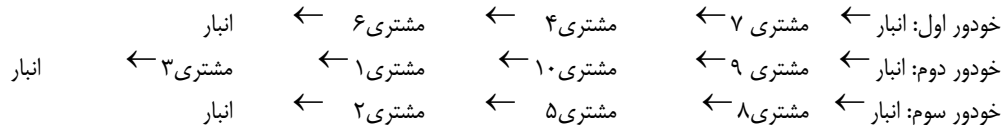
خودر اول: انبار ← مشتری ۵ ← مشتری ۹ ← انبار
 خودر دوم: انبار ← مشتری ۸ ← مشتری ۴ ← مشتری ۷ ← مشتری ۱۰ ← انبار
 خودر سوم: انبار ← مشتری ۳ ← مشتری ۲ ← مشتری ۱ ← مشتری ۶ ← انبار



	Distacne	Used Capacity	Customer
vehicle 1	202.92757	1891	7 4 6 3
vehicle 2	145.869749	1744	9 10 1 8
vehicle 3	174.122443	1406	8 5 2 6
vehicle 4			
vehicle 5			
vehicle 6			

شکل ۱۲ تکرار سوم

در حالت آخر نیز قابل مشاهده هست که نتایج feasible بوده و پس از انجام ۲۱ بار تکرار خروجی به حالت پایدار و کشف بهترین نتایج رسیده است، در این حالت خودروها مسیرهای زیر رایج بوده اند:



نتیجه گیری

در این مقاله به ارائه روشی برای مسیریابی بهینه با الگوریتم بهینه شده MOPSO پرداخته شد. نتایج شبیه سازی ها نشان داد که اگر الگوریتم فراابتکاری به آن اعمال نشود، نتایج مناسب نبوده و در عمل نمی توان آن را اجرا نمود. در ضمن برای شبیه سازی به تعداد ۱۰ مشتری، و سه خودرو با ظرفیت متفاوت در نظر گرفتیم.

منابع

۱. سرگردان فردآرانی، وحید؛ رضا کیا و مهدی غفاری، ۱۳۹۴، مدل سازی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با در نظر گرفتن چند انبار، تحویل و بار برداری همزمان، پنجره زمانی سخت و نرم، هزینه و استهلاک وابسته به میزان بار موجود در وسیله نقلیه و نوع مسیر، کنفرانس بین المللی پژوهشهای نوین در مدیریت و مهندسی صنایع، تهران، شرکت مدیران ایده پردازان پایتخت ایلیا.
۲. ستاک، مصطفی؛ مجید حبیبی؛ حسین کریمی و مصطفی عابدزاده، ۱۳۹۲، مدلسازی و حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه وابسته به زمان با پنجره های زمانی نیمه نرم در گراف های چندگانه، پژوهشنامه حمل و نقل ۱۰ (۳)
۳. یوسفی خوشبخت، م. و رحمتی، ف. (۱۳۹۰)، "یک الگوریتم بهبودیافته جمعیت مورچگان برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با دریافت و تحویل همزمان کالا"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هشتم، شماره دوم، صفحه 183-198.
۴. سلامت بخش، علیرضا؛ رضا توکلی مقدم و نرگس نوروزی، ۱۳۹۵، مسأله مسیریابی وسایل نقلیه باز با در نظر گرفتن رضایت رانندگان؛ الگوریتم تکاملی چندهدفه بر مبنای تجزیه، فصلنامه مهندسی حمل و نقل ۷ (۳).
۵. رحمانی حسین آبادی، علی اصغر و کوروش کیانی، ۱۳۹۵، استفاده از الگوریتم نیروی گرانشی بهبود یافته جهت حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه باز، دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی برق و علوم کامپیوتر، رامسر، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی کسری رامسر.
6. Androutsopoulos, K. N., Zografos, K. G. (2009) "Solving the multi-criteria time-dependent routing and scheduling problem in a multimodal fixed scheduled network", *European Journal of Operational Research*, No. 192, pp. 18–28.
7. Bock, S. (2010) "Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains", *European Journal of Operational Research*, No. 200, pp. 733-746.
8. Chen, H. K., Hsueh, C. F., and Chang, M. S. (2006) "The real-time time-dependent vehicle routing problem", *Transportation Research Part E*, No. 42, pp. 383-408.
9. Figliozzi, M. A. (2010) "The impacts of congestion on commercial vehicle tour characteristics and costs", *Transportation Research Part E*, No.46, pp. 496-506
10. Kok, A. L., Hans, E. W., Schutta, J. M. J., and Zijm, W. H. M. (2010) "A dynamic programming heuristic for vehicle routing with time-dependent travel times and required breaks", *Flexible Services and Manufacturing journal*, No. 22, pp. 83-108.
11. Hashimoto, H., Yagiura, M., and Ibaraki, T. (2008) "An iterated local search algorithm for the time-dependent vehicle routing problem with time windows", *Discrete Optimization*, No. 5, pp. 434-456
12. Wang, Z. and Wang, Z. (2009) "A novel twophase heuristic method for vehicle routing problem with backhauls", *Computers and Mathematics with Applications*, No. 57, pp. 1923_1928.
13. Kuo, Y., Wang, C. C., and Chuang, P. Y. (2009) "Optimizing goods assignment and the vehicle routing problem with time-dependent travel speeds", *Computers & Industrial Engineering*, No. 57, pp. 1385-1392

14. Kuo, Y. (2010) "Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem", *Computers & Industrial Engineering*, No. 59, pp. 157-165.
15. Liorini, S., Potvin, J. Y., and Zufferey, N. (2011) "Online vehicle routing and scheduling with dynamic travel times", *Computers & Operations Research*, No. 38, pp. 1086-1090.
16. Liao, T. Y., Hu, T. Y. (2011) "An object-oriented evaluation framework for dynamic vehicle routing problems under real-time information", *Expert Systems with Applications*, No. 38, pp. 12548-12558.
17. Woensel, T. V., Kerbache, L., Peremans, H., and Vandale, N. (2008) "Vehicle routing with dynamic travel times: A queuing approach", *European Journal of Operational Research*, No. 186, pp. 990-1007.
18. Soler, D., Albiach, J., and Martinez, E. (2009) "A way to optimally solve a time-dependent vehicle routing problem with time windows", *Operations Research Letters*, No. 37, pp. 37-42.
19. Kumar, M, Narasimha, K. V., Kivelevitch, E., Sharma, B., &. (2013). An ant colony optimization technique for solving min-max multi-depot vehicle routing problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 13, 63-73.
20. Kok, A. L., Hans, E. W., & Schutten, J. M. J. (2012). Vehicle routing under time-dependent travel times: the impact of congestion avoidance. *Computers & Operations Research*, 39(5), 910-918.
21. Schneider, M., Stenger, A., & Goeke, D. (2014). The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations. *Transportation Science*, 48(4), 500-520.
22. Shi, Yuhui. "Particle swarm optimization: developments, applications and resources." *evolutionary computation, 2001. Proceedings of the 2001 Congress on*. Vol. 1. IEEE, 2001.