فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۳، شماره ٤، تابستان ۱٤۰۱، ص. ۲۰٤۲-۲۰۰۹
مقاله علمی-پژوهشی

ارائه و حل مدل مسیریابی وسیله نقلیه در مسافت طولانی با درنظر گرفتن الزامات راننده و فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات

سحر عنبری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
سید فرید قنادپور (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail: ghannadpour@iust.ac.ir

دریافت: ۱٤۰۰/۰۲/۰۵ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۵/۰۹

چکیده

در این پژوهش، مدل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در مسافت طولانی با درنظر گرفتن الزمات راننده و فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه ارائه می‌شود. هدف مطالعه حاضر انتخاب بهترین مسیر، با درنظر گرفتن حداقل تاخیرات در تحویل تقاضای مشتریان و زمانبندی حرکت وسایل نقلیه با تخصیص تعداد رانندگان به مسیر و توجه به الزامات رانندگی و استراحت‌های رانندگان در مسافت طولانی و برآورده شدن محدودیت‌های عملیاتی سیستم حمل‌ونقل می‌باشد. با توجه به ماهیت NP-Hard بودن مسئله، برای حل مدل در ابعاد بزرگ از الگوریتم فراابتکاری ترکیبی استفاده می‌شود. الگوریتم پیشنهادی توسعه‌ای از الگوریتم جستجوی بزرگ همسایگی انطباقی می‌باشد. که با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تقویت شده و مسیرهای بهینه با لحاظ کردن محدودیت‌های الزامات رانندگی و با توجه به تخصیص یک یا دو راننده به مسیر و همچنین درنظر گرفتن زمان‌هایی جهت فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به منظور کاهش هزینه‌های توزیع تعیین می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی وسیله نقلیه، مسافت طولانی، زمانبندی رانندگان، فعالیت نگهداری و تعمیرات

۱. مقدمه

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره زمانی یکی از انواع پرکاربرد مساله مسیریابی وسایل نقلیه است که چگونگی توزیع کالا از محل تولید یا مرکز توزیع به بازار را بهینه سازی می‌کند. در این مسئله سرویس‌دهی به هر مشتری باید در یک بازه زمانی معین صورت پذیرد. هدف از مسائل مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی بهینه سازی مجموعه ای از مسیرها میان انبار و مشتریان است به نحوی که زمان انتظار و تاخیر حداقل مقدار ممکن گردد.

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه دارای انواع مختلفی است. اکثر روشهای موجود بر روی چگونگی کاهش هزینه‌ها تمرکز دارد، در سالهای اخیر با توجه به این موضوع که رانندگان از طرف دولت مشمول مقررات ساعت کاری هستند، مسئله برنامه زمانبندی رانندگان مطرح شد. بنابراین با ادغام این مسئله در برنامه تصمیمات مسیریابی و تحویل در مسافت طولانی باید زمان استراحت رانندگان در برنامه زمانبندی توزیع لحاظ گردد. علاوه بر این، با توجه به استهلاک وسیله نقلیه در زمان خدمت‌رسانی در بعد مسافتی طولانی باید زمان‌های نگهداری و تعمیرات را نیز در مدل مورد توجه قرار داد.

یکی دیگر از موضوعات مهم در هر کشور استفاده بهینه از تسهیلات و دارایی‌ها می‌باشد. بنابراین مسائل برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات دارایی‌ها در دهه اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به دلیل جلوگیری از خرابی‌ها، تاثیر قابل توجهی در قابلیت اطمینان و در دسترس بودن دارایی‌ها دارد. انجام فعالیت‌های نگهداری در زمان مناسب و به‌موقع موضوع مهمی در برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات است. فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات بدین منظور انجام می‌شود که اطمینان حاصل شود که دارایی به طرز قابل اعتمادی به مشتریان خدمت‌رسانی می‌کند. اما بسیاری از شرکت‌ها به منظور کاهش هزینه‌ها از انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات صرف‌نظر می‌کنند.

در راستای توجه به الزامات راننده و نگهداری تعمیرات به دلیل اینکه این مفروضات در مسافت های طولانی باعث ایجاد خلل در برنامه زمانبندی تحویل خدمات می‌گردند مسئله مورد بررسی در مسافت طولانی تعریف شده است. در این مسئله هدف تعیین مجموعه‌ای از مسیرها و تعیین ترتیب مشتریان برای خدمت‌رسانی به نحوی می‌باشد که هر مشتری در بازه پنجره‌زمانی مربوطه ملاقات و فعالیت‌های پیشگیرانه بر روی ناوگان وسیله نقلیه به منظور خدمت‌رسانی مطمئن به مشتری انجام شود و همچنین مقررات مربوط به استراحت رانندگان در طی سفر نیز رعایت گردد.

هدف این مقاله تعیین مجموعه‌ای از مسیرها و تعیین ترتیب مشتریان برای خدمت‌رسانی به نحوی می‌باشد که هر مشتری در بازه پنجره‌زمانی مربوطه ملاقات و فعالیت‌های پیشگیرانه بر روی ناوگان وسیله نقلیه به منظور خدمت‌رسانی مطمئن به مشتری انجام شود و همچنین مقررات مربوط به استراحت رانندگان در طی سفر نیز رعایت گردد..

با توجه به Np-hard بودن مدل، برای حل در ابعاد بزرگ نیازمند استفاده از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری می‌باشد. روش فراابتکاری ارائه شده توسعه‌ای از الگوریتم جستجوی همسایگی بزرگ انطباقی است.

در ادامه، این پژوهش به صورت ذیل ساختاردهی شده است: در بخش دوم به مرور متنی تحقیقات انجام گرفته در این حوزه برای شناسایی مسائل کلیدی و شکاف تحقیق پرداخته می‌شود. در بخش سوم مدلسازی ریاضی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی در مسافت طولانی با درنظر گرفتن الزامات راننده و فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات انجام می‌شود. در بخش چهارم به طراحی روش حل پیشنهادی اقدام می‌گردد. در بخش پنجم نتایج حاصل از الگوریتم حل پیشنهادی تحلیل و اعتبارسنجی می‌شود. در نهایت در بخش ششم خلاصه‌ای از یافته‌های کلیدی این پژوهش بیان می‌شود.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

تحقیق حاضر در خصوص مدل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در مسافت طولانی با درنظر گرفتن الزمات راننده و فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه ارائه شده است که به نحوه توزیع کالا می‌پردازد. از جمله اولین مطالعات این زمینه می‌توان به مطالعه [Dantzig and Ramser, 1951]اشاره نمود.

۲-۱ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی

پنجره زمانی یکی از محدودیت‌های مهم مسئله مسیریابی وسایل نقلیه برای نزدیک شدن به شرایط دنیای واقعی است. این مسئله اولین بار توسط بودین و همکاران [Bodin et al. 1983] در سال ۱۹۸۳ مطرح شد. در سال‌های اخیر مقالات متعددی از جمله [Reil, Bortfeldt and Mönch, 2018; Ticha et al. 2017, Schneider, Schwahn and Vigo, 2017, Vincent et al. 2017] در این حوزه ارائه شده است.

قصیری و قنادپور[Ghoseiri and Ghannadpour 2010] یک مدل و راه‌حل جدید برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه چند هدفه با پنجره زمانی ارائه دادند. آن‌ها یک زمان انتظار به عنوان متغیر تصمیم در گره مشتری علاوه بر زمان سرویس‌دهی را پیشنهاد داده اند و در نهایت با استفاده از الگوریتم ژنتیک به حل آن پرداختند.

دمیر و همکاران [Demir et al. 2012] با درنظر گرفتن مسائل زیست محیطی در تابع هدف مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی و در نظر گرفتن سرعت در هر قوس کمان به عنوان متغیر تصمیم، مسئله مسیریابی آلودگی را مطرح کردند.

۲-۲ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در مسافت طولانی

در مسئله مسیریابی در مسافت طولانی به یافتن مسیر بهینه و بهینه‌سازی زمان حرکت رانندگان بصورت یکپارچه پرداخته می‌شود. این مسائل برای توزیع‌کنندگان باعث افزایش مزیت رقابتی در بین رقبا، افزایش رضایت رانندگان، کاهش انحراف زمان تحویل و افزایش رضایت مشتریان و کاهش هزینه های مسیریابی و دستمزد رانندگان می‌شود.

رویو و همکاران [Royo et al. 1983] یک مدل ریاضی مبتنی بر بهینه سازی کلونی‌مورچگان برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با مسافت طولانی ارائه دادند. هدف آنها کمینه سازی هزینه های انتقال بین منطقه‌ای، هزینه زمان های تحویل‌و بارگذاری، انتظار و حداقل کردن جریمه بار اضافی و تعداد وسایل نقلیه اعزامی می‌باشد. آن‌ها برای حمل‌ونقل در مسافت طولانی دو نوع حمل‌ونقل تعریف کردند. حمل‌ونقل سفارشی که در آن هر وسیله نقلیه به یک مشتری اختصاص می‌یابد و حمل و نقل تلفیقی که در آن هر وسیله نقلیه چندین مشتری را بازدید می‌کند.

مدینا و همکاران [Medina et al. 1983] یک مدل جدید برای مسیریابی در مسافت های طولانی ارائه کردند. آنها درمدل پیشنهادی خود تصمیمات مربوط به طراحی شبکه خدمات را با تصمیمات مربوط به مسیریابی ادغام کردند. در همین راستا دو سطح برای حل مدل تعریف شده است: در سطح اول، تصمیمات مسیریابی در قالب مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی بهینه شده و در سطح دوم به طراحی شبکه خدمات با یک زنجیره تامین چهار سطحی و یک شبکه تلفیقی که در آن ازسه نوع وسیله‌نقلیه استفاده شده اقدام شده است. در این شبکه وسیله‌نقلیه نوع اول برای حمل‌نقل بین سطح اول و دوم، وسیله‌نقلیه نوع دوم برای حمل‌نقل بین سطح دوم وسوم و وسیله نقلیه نوع سوم به سطح سوم و چهارم تخصیص داده شده است.

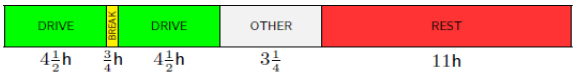
هیگن و همکاران [Higgen et al. 1983] یک مدل ارائه دادند که بین انبارهای بین منطقه ای حمل و نقل با مسافت طولانی برای اشتراک گذاری بار انجام می‌شود و برای توزیع و جمع آوری بین هر منطقه تصمیمات مسیریابی بر اساس مسئله مسیریابی وسیله نقلیه چند انباره با گذاشت و برداشت درنظر گرفته می‌شود.

۲-۳ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با الزامات رانندگان

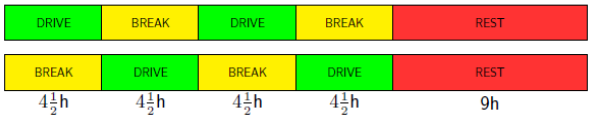
رانندگی در مسافت های طولانی مشمول قوانین می‌شود که دولت برای رانندگان و کامیونها وضع کرده است. در واقع، در حمل و نقل جاده‌ای، دولت برای ساعت کار رانندگان کامیون برای یک مسیر مشخص شده وسیله نقلیه، حداقل زمان‌هایی را برای استراحت و یا رفع نقض وسیله نقلیه درنظر می‌گیرد. بر این اساس ژئو و همکاران [Xu et al. 2003] اولین کسانی بودند که در مسئله مسیریابی زمان‌های استراحت و رفع نقض را درنظر گرفتند که مطابق با ساعت های مقررات خدمات در ایالت متحده بود، در مدل خود وارد کرده و مورد بررسی قرار دادند.

اریرا و همکاران [Erera et al. 1983] برای رسیدن به یک برنامه توزیع مناسب، علاوه بر تعیین نحوه ملاقات مشتریان و مسیریابی بر برنامه زمانبندی رانندگان و کامیون‌ها هم تمرکز کردند.

یکی از فاکتورهای مهم و تاثیرگذار بر مسئله زمانبندی رانندگان، تعداد رانندگان تخصیص یافته به هر وسیله نقلیه می‌باشد. گوئل و کوک [Goel and Kok. 2012] مدلی را بر اساس مقررات مربوط به اتحادیه خدمات اروپا ارائه دادند که برنامه مسیریابی و ساعت کاری رانندگان را با درنظر گرفتن یک تیم از رانندگان با توسعه یک الگوریتم ارائه داد. همچنین در سال ۲۰۱۹ گوئل و همکاران [Goel et al. 2019] بر روی نحوه تخصیص تعداد رانندگان به وسایل نقلیه برای سفر مطالعاتی را انجام دادند. آن ها فرض کردند که در هر مسیر ممکن است یک راننده و یا دو راننده تخصیص داده شود که با توجه به تخصیص تعداد رانندگان برای طی مسیر شرایط و قوانین رانندگی و مدت زمان مجاز رانندگی و استراحت متفاوت در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. زمان رانندگی و توقف و استراحت وسیله نقلیه با یک راننده



شکل ۲. زمان رانندگی و توقف و استراحت وسیله نقلیه با دو راننده

زامورانو و استولتز [Zamorano.E, Stollez. 2017]یه مسئله برنامه‌ریزی و مسیریابی تکنسین‌ها را مورد بررسی قرار دادند. آن ها با فرض اینکه تعدادی تکنسین توانا برای انجام فعالیت‌های پیشگیرانه وجود دارند به تیم‌های ارسالی برای عملیات تخصیص دادند و سپس جهت سرویس‌دهی به مسیریابی تیم تکنسین ارسالی پرداختند. هدف آن‌ها تخصیص بهینه تکنسین‌ها بین تیم‌ها جهت افزایش راندمان و به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی بود.

۲-٤ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با نگهداری و تعمیرات

دارایی‌های توزیع شده از لحاظ جغرافیایی، برنامه زمان‌بندی نگهداری و تعمیرات را به دلیل محدودیت‌های مسیریابی و زمان رسیدن به دارایی، پیچیده‌تر می‌کنند. در همین راستا، محققان به این نتیجه رسیدند که بهتر است، مسائل برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات در کنار مسائل مسیریابی وسیله نقلیه بصورت همزمان مورد بررسی قرار گیرد.

در مسائل دسته اول مسئله مسیریابی تکنسین، نگهداری و تعمیرات به عنوان خدمت ارائه شده به مشتریان درنظر گرفته شده است. در این مسائل به مسیریابی تیم تکنسین برای رسیدین به تسهیل و انجام فعالیت نگهداری و تعمیرات پرداخته می‌شود.

مطالعه دای و همکاران [Dai et al. 2015] یک مدل برنامه‌ریزی و مسیریابی برای نگهداری تسیلات مزارع بادی ساحلی ارائه دادند. در مسائل دسته دوم، که در این مقاله هم از این دسته الهام گرفته شده است، نگهداری و تعمیرات وسایل نقلیه حمل و نقل که جهت تحویل کالا به مشتریان مورد استفاده قرار می‌گیرد، مورد توجه قرار گرفته است. برای اولین بار گویال و گوناسکاران [Goyal and

Gunasekaran. 1992] یک مدل ریاضی برای مسئله برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات ناوگان حمل و نقل ارائه دادند. فعالیت های نگهداری و تعمیرات به سه دسته اصلاحی، پیشگیرانه و دوره ای تقسیم می‌شوند بعد تقسیم بندی هر کدوم مطابق شکل ۳ می‌باشد.

شکل ۳. انواع طبقه‌بندی مسائل نگهداری و تعمیرات

بووارد و همکاران [Bouvard et al. 2011] یک روش جدید برای هدایت برنامه‌ریزی بهینه وسایل نقلیه سنگین تجاری پیشنهاد کردند. در مدل پیشنهادی آن‌ها کاهش کل هزینه‌های نگهداری و تعمیرات وسایل نقلیه به عنوان یکی از اهداف اصلی در نظر گرفته شده است.

ترودی و همکاران [Troudi et al. 2015] با درنظر گرفتن مسافت طی شده و شرایط آب و هوایی، یک سیاست نگهدای پیشگیرانه برای وسیله نقلیه که در حال خدمت به مجموعه‌ای از مشتریان است، ارائه دادند. در تحقیقات آن‌ها فرض شده است که انجام عملیات پیشگیرانه در هر نقطه‌ای از جاده امکان‌پذیر است و این فعالیت‌ها دارای مدت زمان ناچیز هستند بنابراین انجام این فعالیت در پنجره زمانی تحویل تاثیری نمی‌گذارد.

دهاهری و همکاران [Dhahri et al. 2015] مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی را با نگهداری پیشگیرانه ادغام و مدلسازی کردند. آن‌ها برای حل مدل از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر استفاده کردند. آن‌ها ابتدا مسئله اصلی را بصورت مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی با استفاده از داده‌های ۱۰۰ تایی موجود در ادبیات حل کردند. سپس فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات را بر روی وسیله نقلیه درنظر گرفتند. بنابراین بخاطر توقف وسیله نقلیه برای فعالیت نگهداری و تعمیرات، زمان رسیدن به مشتریان بیشتر می‌شود. همچنین آن‌ها امکان خرابی و توقف وسیله نقلیه در بین سفر را درنظر گرفتند.

چندرا و همکاران [Chandra et al. 2016] یک مدل بهینه‌سازی برای مسیریابی و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات در مزارع بادی دریایی پیشنهاد کردند. آن‌ها با درنظر گرفتن شرایط آب و هوایی، در دسترس بودن کشتی‌ها و تعداد تکنسین‌های موجود، برنامه‌ریزی بهینه صورت گرفته است. در برنامه بهینه مسیر بهینه حرکت کشتی‌ها به منظور انتقال تکنسین‌های مورد نیاز برای نگهداری و تعمیرات توربین‌ها مشخص گردیده است

ادوین و همکاران [Edvin et al., 2016] یک مدل ترکیبی برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات و بهینه‌سازی مسئله مسیریابی برای دستگاه‌های توزیع‌شده پراکنده از لحاظ جغرافیایی ارائه کردند. عملیات نگهداری و تعمیرات در دستگاه‌ها توسط تیم تکنسین در سایت‌های مشتری انجام می‌شود. رویکرد نویسندگان مبتنی بر دو مرحله بود که در مرحله اول، تعداد عملیات‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و اصلاحی در افق زمانی و دوره نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه بهینه، همچنین پنجره زمانی برای هر عملیات مشخص می‌گردد. در مرحله دوم، بر اساس گراف کامل مستقیم و زمان سفر بین هر دو گره مشتری، مجموعه مسیرها برای هر تکنسین و زمان شروع کار برای هر عملیات پیشگیرانه مشخص می‌شود، بطوریکه هزینه کل نگهداری و تعمیرات به حداقل برسد.

دهاهری و همکاران [Dhahri et al. 2016] تحقیقات دیگری در همین زمینه انجام دادند با این تفاوت که مدل را بصورت دیگری مدلسازی کردند. همچنین آن‌ها امکان خرابی و توقف وسیله نقلیه در بین سفر را درنظر گرفتند.

لوپزسانتانا و همکاران [López-Santana et al. 2016] بر روی ادغام مسئله برنامه‌ریزی نگهداری و مسیریابی تمرکز کردند. هدف آن‌ها انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه بر

روی مجموعه‌ای از دستگاه‌ها بود که در سطح جغرافیایی پراکنده بودند. در مدل پیشنهادی آن‌ها هر یک از دستگاه‌ها برای سرویس دهی دارای یک بازه پنجره زمانی بودند. آن‌ها برای حل یک روش دو مرحله‌ای را پیشنهاد دادند که در مرحله اول زمان بهینه برای نگهداری و تعمیرات هر تسهیل مشخص شود و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات به حداقل برسد و در مرحله دوم مسیریابی تکنسین‌ها برای انجام فعالیت نگهداری و تعمیرات در هر افق زمانی مشخص شود

جبیلی و همکاران[Jbili et al. 2017] سیاست‌های نگهداری و تعمیرات را در مدل مسیریابی وسیله نقلیه ادغام کردند. در مدل پیشنهادی آن‌ها برنامه‌ریزی مسیریابی بهینه و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه را بصورت همزمان درنظر گرفتند. در تابع هدف هزینه‌های توزیع، نگهداری و تعمیرات را کمینه می‌کند.

رشیدنژاد و همکاران [Rashidnejad et al. 2018] یک مدل دو هدفه برای مسئله برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در یک سیستم توزیع پراکنده با درنظر گرفتن مسئله مسیریابی ارائه دادند. هدف مدل پیشنهادی به حداقل رساندن هزینه‌های کل و همچنین به حداکثر رساندن دسترسی دارایی‌ها در سیستم توزیع جغرافیایی پراکنده است. آن‌ها برنامه‌ریزی نگهداری پیشگیرانه را بر اساس اطلاعات پیش آگاهی و میزان عمر مفید باقی مانده دارایی مورد بررسی قرار دادند. همچنین برای حل مدل از الگوریتم NSGA-II استفاده کردند. در نهایت، مدل پیشنهادی را برای عملیات نگهداری پیشگیرانه دستگاه‌های خودپرداز در سطح شهر تهران مورد بررسی و اعتبارسنجی قرار دادند. برای مطالعات بیشتر در این حوزه نیز می توان به مطالعات [Mayerle et al. 2020]، [Haftor and Climent 2021]، [Wolfinger wt al. 2019] و غیره مراجعه نمود. همچنین جدول ۱ خلاصه ای از مهمترین مقالات مرتبط در این حوزه را نشان می دهد.

جدول ۱. خلاصه مقالات مسیریابی و زمانبندی رانندگان و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات

ردیف	مرجع	نوع مسئله	استراتژی های مسئله						روش حل	مطالعه موردی	تابع هدف		محدودیت های درنظر گرفته شده						
			نگهداری و تعمیرات			مسیریابی													
			اصلاحی	پیشگیرانه	دوره‌ای	اقتصادی	زیست محیطی	زمانبندی راننده			تک هدفه	چند هدفه	پنجره زمانی	پراکندگی جغرافیایی	مسافت طولانی	طول عمر مفید تسهیل	تیم تکنسین	نت وسیله نقلیه	مقررات راننده
۱	Ghoseiri & Ghannadpour, 2010	VRPTW-LH				✓			H			✓	✓	✓					
	Wang et al	VRPSPD				✓			H		✓		✓						
۲	Demir et al. 2012	PRP					✓		H		✓		✓	✓					
۳	Xu et al. 2003	VRP-PDP				✓			E		✓		✓		✓				✓
۴	Goel & Kok, 2012	US-TDSP				✓		✓	H		✓		✓		✓				✓
۵	Erera et al., 2013	LTL				✓		✓	H		✓								✓
۶	Royo et al., 2015	LH-VRP				✓			H		✓				✓				
۷	Koç et al. 2018	LH-VRP				✓		✓	H		✓				✓			✓	
۸	Medina et al., 2019	LH-VRP				✓			H		✓		✓		✓				
۹	Goel et al., 2019	DSP						✓	E		✓				✓			✓	✓
۱۰	Heggen et al, 2019	MD-VRP				✓			H	✓	✓				✓				
۱۱	Dai et al. 2015	RSMFOWF			✓	✓			E		✓			✓					
۱۲	Dhahri et al, 2015	VRPTW-PM		✓		✓			H		✓		✓					✓	
۱۳	Lopez-Santana et al., 2016	MP-VRPTW	✓	✓		✓			H		✓		✓	✓			✓		
۱۴	Jbili et al, 2017	VRP-PM	✓	✓		✓			H		✓		✓					✓	
۱۵	Zamorano & Stolletz, 2017	MPTRSP		✓	✓	✓			E	✓	✓		✓	✓			✓		
۱۶	Rashidnejad et al., 2018	MP-VRPTW		✓		✓			H	✓		✓	✓	✓		✓	✓		
۱۷	Bouvard et al., 2011	MP-CHV		✓		✓			H		✓							✓	
۱۸	Edvin et al., 2016	MP-VRP	✓	✓		✓			H				✓	✓			✓		
۱۹	Chandra et al., 2016	MP-VRP	✓			✓			H	✓	✓						✓		
۲۰	Dhahri et al, 2016	VRPTW-PM		✓		✓			H		✓		✓					✓	
۲۱	Troudi et al., 2015	VRPTW-PM		✓		✓			H		✓		✓					✓	

با مروری که بر ادبیات موضوع انجام گرفته، مشاهده می‌شود که در اکثر مقالات موجود در ادبیات مسیریابی وسیله نقلیه یا با تصمیمات زمانبندی رانندگان ادغام شده است و یا فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در آن‌ها لحاظ شده است و هیچ یک از مقالات هر سه تصمیمات را بصورت یکپارچه در مسائل خود مورد مطالعه قرار نداده‌اند. همچنین اکثر مقالات که مسیریابی وسیله نقلیه در مسافت طولانی را مورد بررسی قرار داده‌اند توجه‌ای به نگهداری و تعمیرات نداشتند. همچنین در مقالات مسیریابی توجه کمی به تخصیص یک یا دو راننده و تاثیر آن بر زمانبندی و ترتیب ملاقات مشتریان شده است. در صورتیکه در نظر گرفتن دو راننده ممکن است به دلیل بعد مسافتی طولانی، اختلالات زمانی را در برنامه مسیریابی کاهش دهد که با توجه به هزینه هایی که دارد می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

درنتیجه از آنجایی که حمل و نقل در مسافت‌های طولانی یکی از دلایل مهم به منظور توجه به الزامات راننده و همچنین فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات ناوگان محسوب می‌شود، لذا در نظر گرفتن مسائل زمانبندی رانندگان، تخصیص تعداد راننده به هر ناوگان، توجه به الزامات و فعالیت‌های نگهداری تعمیرات بر میزان

زمانبندی تقاضای تحویل در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی تاثیر گذار هستند.

۳. مدل مسئله

در مسئله مورد بررسی یک مرکز توزیع وجود دارد که بار برای مشتریان که در سطح جغرافیایی پراکنده هستند و در مسافت های طولانی قرار دارند ارسال می‌کند. با استفاده از مسیریابی مشتریان که توسط هر وسیله نقلیه باید خدمت ببینند مشخص می‌شود وسیله نقلیه از انبار بارگیری می کند و حرکت می کند پس از گذشت ساعات رانندگی طبق قوانین و الزامات برای استراحت توقف میکند. سپس بعد از شروع حرکت به مسیر خود ادامه داده و به انبار برمی‌گردد ممکن است توقف به دلیل زمان شب و یا تعطیلی مشتری باشد بنابراین زمان باید تنظیم و مدتی از شب را استراحت می‌کند. همچنین ممکن است زمان‌هایی را در بین راه و یا در نقاط مشتری به زمان نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه اختصاص داده شود.

۳-۱ تخمین مسافت طولانی

یکی از شاخص های خاص مسیریابی در مسافت طولانی نحوه محاسبه مسافت بین مشتریان هست. مسافت بین دو نقطه در مسائل مسیریابی کلاسیک بصورت صفحه ای و از طریق فرمول فاصله اقلیدسی محاسبه می‌شود. اما در شرایط واقعی در مسافت های طولانی بهتر است برای برآورد دقیقتر مسافت با توجه به کروی بودن زمین براساس طول و عرض جغرافیایی گره ها و از طریق فرمول فاصله کروی بر مبنای طول و عرض جغرافیایی محاسبه شود.

برای تخمین برآورد مسافت بین دو گره بر اساس طول و عرض جغرافیایی از فرمول (۳-۱) استفاده می‌شود که در آن مقدار شعاع کره زمین (r) برابر با ۶۳۷۱,۱ کیلومتر می‌باشد.

$$Distance_{ij} = r * \arcsin\left[sin(c_1)sin\left(\frac{\pi(90-lat_i)}{180}\right)\Big/ sin(e)\right] \quad (۱-۳)$$

$$e = \arctan(d_1) + \arctan(d_2), \quad (۲-۳)$$

$$d_1 = cos\tfrac{c_2}{2}/\left(cos\tfrac{c_3}{2}tan\tfrac{c_1}{2}\right), \quad (۳-۳)$$

$$d_2 = sin\tfrac{c_2}{2}/\left(sin\tfrac{c_3}{2}tan\tfrac{c_1}{2}\right), \quad (۴-۳)$$

$$c_1 = \left(long_i - long_j\right)\tfrac{\pi}{180}, \quad (۵-۳)$$

$$c_2 = \left(lat_j - lat_i\right)\tfrac{\pi}{180}, \quad (۶-۳)$$

$$c_3 = \pi - \left(lat_i + lat_j\right)\tfrac{\pi}{180}, \quad (۷-۳)$$

۳-۲ مدلسازی ریاضی

در این بخش، مدل زمانبندی و مسیریابی وسیله نقلیه در مسافت طولانی با درنظر گرفتن یک یا دو راننده و فعالیت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برای وسیله‌نقلیه توسعه داده شده است، بیان می‌شود. پنجره زمانی استفاده شده در این مدل، پنجره زمانی سخت است، یعنی هر یک از مشتریان باید در بازه زمانی مربوط به خودشان ملاقات شوند. در صورت رسیدن وسیله نقلیه زودتر از پنجره زمانی به مشتری باید منتظر بماند و در صورت اتمام پنجره زمانی امکان دریافت خدمت از طرف مشتری وجود ندارد.

در این مقاله فعالیت نگهداری و تعمیرات در ۳ سطح درنظر گرفته شده است. زمان رخداد هر سطح از فعالیت نگهداری و تعمیرات وابسته به مسافت طی شده توسط وسیله نقلیه است.

سطح ۱: چک کردن باد چرخ‌ها، چک کردن آب رادیاتور، چک کردن تعادل بارها(به دلیل حفظ تعادل ماشین)، بازرسی طناب‌کشی بارها

سطح ۲: چک کردن روغن ترمز، آچارکشی چرخ‌ها

سطح ۳: چک کردن روغن و واسکازین، بالانس چرخ‌ها، میزان مصرف سوخت و انتشار گاز با دستگاه، بررسی اکسل کامیون (درصورت وجود)

۳-۲-۱ مجموعه‌های مدل

n	مجموعه مشتریان {i,j ∈n}
o	مجموعه انبارها
τ	مجموعه پنجره‌های زمانی تخصیص یافته به هر مشتری
r	مجموعه رانندگان تخصیص یافته به هر مسیر
l	مجموعه سطوح تعریف شده برای نگهداری و تعمیرات
k	مجموعه ناوگان

۳-۲-۲ پارامترهای مدل

t_i	مدت زمان سرویس دهی در گره i
$a_{i\tau}$	زودترین زمان شروع سرویس در گره i در پنجره زمانی τ ام
$b_{i\tau}$	دیرترین زمان شروع سرویس در گره i در پنجره زمانی τ ام
de_i	مقدار تقاضای گره i
d_{ij}	فاصله بین دو گره
nv	تعداد وسایل‌نقلیه در دسترس
fc	هزینه هر یک کیلومتر مسافت طی شده
fd_r	هزینه دستمزد برای وسیله نقلیه با r راننده به ازای هر یک ساعت رانندگی
C_l	هزینه فعالیت نگهداری و تعمیرات در سطح l
Q	ظرفیت وسیله نقلیه (kg)
M	یک عدد بسیار بزرگ
V	سرعت متوسط حرکت در جاده
TP_l	ماکسیمم مسافت طی شده وسیله نقلیه برای انجام فعالیت نگهداری و تعمیرات سطح l
tp_l	زمان موردنیاز برای انجام فعالیت نگهداری و تعمیرات سطح l
TB_r	ماکسیمم زمان رانندگی قبل از توقف کوتاه برای وسیله نقلیه با r راننده
TR_r	ماکسیمم زمان رانندگی قبل از استراحت بلند برای وسیله نقلیه با r راننده
tb_r	زمان استراحت در هر بار توقف کوتاه وسیله نقلیه با r راننده
tr_r	زمان استراحت در هر بار استراحت طولانی وسیله نقلیه با r راننده
TH	افق زمانی برنامه ریزی
TDr_{ij}	زمان مورد نیاز برای طی مسافت بین گره i تا j (d_{ij}/v)

۳-۲-۳ متغیر های مسئله

x_{ijrk}	اگر وسیله نقلیه گره i تا j را با r راننده توسط وسیله نقلیه k طی کند۱ در غیر این صورت ۰ می گیرد
qd_{ijk}	مقدار کل بار در حال حمل در مسیر i تا j توسط وسیله نقلیه k
y_i	زمان شروع سرویس به گره i
S_{jr}	کل زمان طی شده در مسیری که گره j در آن بعنوان آخرین گره قبل از بازگشت به انبار با r راننده است که خدمت دریافت کرده است.
$e_{i\tau}$	اگر مشتری i در پنجره زمانی τ ملاقات شود ۱ در غیر این صورت ۰ می‌گیرد
NB_{ikr}	تعداد توقف های کوتاه تجمعی تا رسیدن به گره i توسط وسیله نقلیه k با r راننده
nb_{ikr}	تعداد توقف های کوتاه قبل از رسیدن به گره i توسط وسیله نقلیه k با r راننده
UB_{ikr}	زمان‌های توقف های کوتاه قبل از رسیدن به گره

i توسط وسیله نقلیه k با r راننده

NR_{ikr} تعداد استراحت‌های طولانی تجمعی تا رسیدن به گره i توسط وسیله نقلیه k با r راننده

nr_{ikr} تعداد استراحت‌های طولانی قبل از رسیدن به گره i توسط وسیله نقلیه k با r راننده

UR_{ikr} زمان‌های استراحت‌های طولانی قبل از رسیدن به گره i توسط وسیله نقلیه k با r راننده

NP_{ikl} تعداد فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در سطح l تجمعی تا رسیدن به گره i توسط وسیله نقلیه k

np_{ikl} تعداد فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در سطح l تا رسیدن به گره i توسط وسیله نقلیه k

UP_{ikl} زمان فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در سطح l تا رسیدن به گره i توسط وسیله نقلیه k

TD_{ik} کل مسافت طی شده تا زمان رسیدن به گره i با وسیله نقلیه k

TT_{ik} کل زمان مورد نیاز تا زمان رسیدن به گره i با وسیله نقلیه k

۳-۲-٤ تابع هدف و محدودیت‌ها

$$Minimize \sum_{(i.j)\in A}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K} Fc * x_{ijrk} * d_{ij} \quad (۳-۸)$$

$$+\sum_{j\in n}\sum_{r\in R} Fd_r * S_{jr} \quad (۳-۹)$$

$$\sum_{i\in A}\sum_{r\in R}\sum_{l\in L} C_l * np_{ikl} \quad (۳-۱۰)$$

Subject to:

$$\sum_{i\in o\cup n}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K} x_{ijrk} = 1 \qquad \forall j \in n \quad (۳-۱۱)$$

$$\sum_{j\in o\cup n}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K} x_{ijrk} = 1 \qquad \forall i \in n \quad (۳-۱۲)$$

$$\sum_{i\in o\cup n} x_{ijrk} - \sum_{i\in o\cup n} x_{jirk} = 0 \qquad \forall j \in o\cup n,\ r\in R,\ k\in K \quad (۳-۱۳)$$

$$\sum_{j\in n}\sum_{r\in R} x_{ojrk} \le nv \qquad \forall k \in K \quad (۳-۱٤)$$

$$\sum_{i\in o\cup n}\sum_{k\in K} qd_{ijk} - \sum_{i\in o\cup n}\sum_{k\in K} qd_{jik} = de_j \qquad \forall j \in n \quad (۳-۱۵)$$

$$qd_{iok} = 0 \qquad \forall i \in n,\ k\in K \quad (۳-۱٦)$$

$$de_j * \sum_{r\in R} x_{ijrk} \le qd_{ij} \le (Q - de_i) * \sum_{r\in R} x_{ijrk} \qquad \forall i,j \in o\cup n,\ k\in K \quad (۳-۱۷)$$

$$y_i - y_j + t_i + \left(TDr_{ij} + UB_{ikr} + UR_{ikr} + UP_{ikl}\right) \le F_{ij}\left(1 - x_{ijrk}\right) \qquad \forall i \in o\cup n,\ j\in n,\ r\in R,\ k\in K, \quad (۳-۱۸)$$

$$\sum_{\tau} a_{i\tau} * e_{i\tau} \le y_i \le \sum_{\tau} b_{i\tau} * e_{i\tau} \qquad \forall\, i \in n,\ l \in L \qquad (۱۹-۳)$$

$$y_j + t_j - S_{jr} + \left(TDr_{jo} + UB_{jkr} + UR_{jkr} + UP_{jkl} \right) \le M\left(1 - x_{jork}\right) \qquad \forall\, j \in n,\ r \in R,\ k \in K,\ l \in L \qquad (۲۰-۳)$$

$$\sum_{\tau} e_{i\tau} = 1 \qquad \forall\, i \in o \cup n \qquad (۲۱-۳)$$

$$S_{jr} \le TH \qquad \forall\, j \in o \cup n,\ r \in R \qquad (۲۲-۳)$$

$$TT_{ik} - TT_{jk} + TDr_{ij} \le M\left(1 - x_{ijrk}\right) \qquad \forall\, i \in o \cup n,\ j \in n,\ k \in K \qquad (۲۳-۳)$$

$$TT_{ik} \le M\left(\sum_{j \in o \cup n} \sum_{r \in R} x_{jirk} \right) \qquad \forall\, i \in o \cup n,\ k \in K \qquad (۲۴-۳)$$

$$TD_{ik} = TT_{jk} * v \qquad \forall\, i \in n,\ k \in K \qquad (۲۵-۳)$$

$$TD_{ok} = \sum_{i,j \in o \cup n} \sum_{r \in R} d_{ij} * x_{ijrk} \qquad \forall\, k \in K \qquad (۲۶-۳)$$

$$\frac{\left(\frac{TD_{ok}}{v}\right)}{TB_r} - 1 \le NB_{okr} \le \frac{\left(\frac{TD_{ok}}{v}\right)}{TB_r} \qquad \forall k \in K,\ r \in R \qquad (۲۷-۳)$$

$$\frac{TT_{ik}}{TB_r} - 1 \le NB_{ikr} \le \frac{TT_{ik}}{TB_r} \qquad \forall\, i \in n,\ r \in R,\ k \in K \qquad (۲۸-۳)$$

$$NB_{jkr} - M\left(1 - x_{ojkr}\right) \le nb_{jkr} \le NB_{jkr} + M(1 - x_{ojkr}) \qquad \forall\, j \in o \cup n,\ r \in R,\ k \in K \qquad (۲۹-۳)$$

$$NB_{jkr} - NB_{ikr} - M\left(1 - x_{ijkr}\right) \le nb_{jkr} \le NB_{jkr} - NB_{ikr} + M(1 - x_{ijkr}) \qquad \forall\, i \in n,\ j \in o \cup n,\ r \in R,\ k \in K \qquad (۳۰-۳)$$

$$tb_r * nb_{ikr} \le UB_{ikr} \qquad \forall\, i \in n,\ r \in R,\ k \in K \qquad (۳۱-۳)$$

$$\frac{\left(\frac{TD_{ok}}{v}\right)}{TR_r} - 1 \le NR_{okr} \le \frac{\left(\frac{TD_{ok}}{v}\right)}{TR_r} \qquad \forall k \in K,\ r \in R \qquad (۳۲-۳)$$

$$\frac{TT_{ik}}{TR_r} - 1 \le NR_{ikr} \le \frac{TT_{ik}}{TR_r} \qquad \forall\, i \in n,\ r \in R,\ k \in K \qquad (۳۳-۳)$$

$$NR_{jkr} - M\left(1 - x_{ojkr}\right) \le nr_{jkr} \le NR_{jkr} + M(1 - x_{ojkr}) \qquad \forall\, j \in o \cup n,\ r \in R, \qquad (۳۴-۳)$$

$$NR_{jkr} - NR_{ikr} - M(1 - x_{ijkr}) \le nr_{jkr} \le NR_{jkr} - NR_{ikr} + M(1 - x_{ijkr}) \quad \begin{matrix} k \in K \\ \forall\ i \in n, \\ j \in o \cup n, \\ r \in R, \end{matrix} \quad (۳۵-۳)$$

$$tr_r * nr_{ikr} \le UR_{ikr} \quad \begin{matrix} k \in K \\ \forall\ i \in n, \\ r \in R, \end{matrix} \quad (۳۶-۳)$$

$$\frac{TD_{ik}}{TP_l} - 1 \le NP_{ikl} \le \frac{TD_{ik}}{TP_l} \quad \begin{matrix} k \in K \\ \forall\ i \in o \cup n, \\ l \in L, \end{matrix} \quad (۳۷-۳)$$

$$NP_{jkl} - M(1 - x_{ojkr}) \le np_{jkl} \le NP_{jkl} + M(1 - x_{ojkr}) \quad \begin{matrix} k \in K \\ \forall\ j \in o \cup n, \\ r \in R, \\ l \in L, \end{matrix} \quad (۳۸-۳)$$

$$NP_{jkl} - NP_{ikl} - M(1 - x_{ijkr}) \le np_{jkl} \le NP_{jkl} - NP_{ikl} + M(1 - x_{ijkr}) \quad \begin{matrix} k \in K \\ \forall\ i \in n, \\ j \in o \cup n, \\ r \in R, \\ l \in L, \end{matrix} \quad (۳۹-۳)$$

$$tp_l * np_{ikl} \le UP_{ikl} \quad \begin{matrix} k \in K \\ \forall\ i \in n, \\ l \in L, \end{matrix} \quad (۴۰-۳)$$

$$\begin{matrix} x_{ijrk}, e_{i\tau} \in Bainary\ Variable \\ qd_{ij}, y_i, S_{jr}, UB_{ikr}, UR_{ikr}, UP_{ikl}, TDr_{ij}, TD_{ik}, TT_{ik} \in Positive\ Variable \\ NP_{jkl}, np_{jkl}, NB_{jkr}, nb_{jkr}, NR_{jkr}, nr_{jkr}\ \in Integer\ Variable \end{matrix} \quad \begin{matrix} k \in K \\ \forall i, j \in o \cup n, \\ r \in R, \\ l \in L, \\ k \in K, \\ \tau\ \in T \end{matrix} \quad (۴۱-۳)$$

در تابع هدف مسئله هزینه‌های مربوط به هزینه متغیر وسیله‌نقلیه در هنگام حرکت و هزینه دستمزد رانندگان تخصیص یافته به مسیرها و هزینه انجام فعالیت نگهداری و تعمیرات در سطوح متفاوت به ترتیب در معادلات (۳-۸) تا (۳-۱۰) آورده شده است.

محدودیت‌های (۳-۱۱) و (۳-۱۲) تضمین می‌کنند که هر مشتری فقط و فقط باید یکبار ملاقات شوند و امکان ملاقات مشتری توسط چند وسیله نقلیه یا چند بار در یک مسیر امکان‌پذیر نمی‌باشد. محدودیت (۳-۱۳) تعادل جریان ورودی و خروجی به هر گره را تضمین می‌کند. به هر مشتری یک وسیله نقلیه وارد و یک وسیله نقلیه از آن خارج می‌شود. محدودیت (۳-۱٤) تضمین می‌کند که تعداد سفرها از تعداد وسایل نقلیه در دسترس بیشتر نباشد، در واقع یعنی هر وسیله نقلیه می‌تواند فقط یکبار یک مسیر را طی کند. محدودیت (۳-۱۵) تضمین می‌کند تعداد وسایل نقلیه خارج شده از انبار نمی‌تواند از تعداد کل وسایل نقلیه در دسترس بیشتر باشد. محدودیت (۳-۱٦) تعادل جریان را در گره‌ها نشان می‌دهد. یعنی هر وسیله نقلیه بر اساس تقاضای مشتریان که قرار است در طی سفر به آن‌ها خدمت‌رسانی کند کالا از انبار بر می‌دارد و کالاهای تحویلی دقیقا برابر با تقاضای مشتریان دیده شده در طول مسیر بوده است. محدودیت (۳-۱۷) تضمین می‌کند در زمان اتمام مسیر هنگام بازگشت به انبار وسیله نقلیه خالی از بار باشد.

محدودیت‌های (۳-۱۸) تضمین می‌کند کالاهای در حال حمل در هر مسیر توسط هر وسیله نقلیه از ظرفیت وسیله‌نقلیه تجاوز نکند. محدویت‌های (۳-۱۹) تا (۳-۲۱) لزوم رعایت پنجره زمانی سخت را مشخص می‌کنند که در آن M یک عدد بسیار بزرگ را نشان می‌دهد و مقدار F_{ij} از طریق فرمول زیر به دست می‌آید.

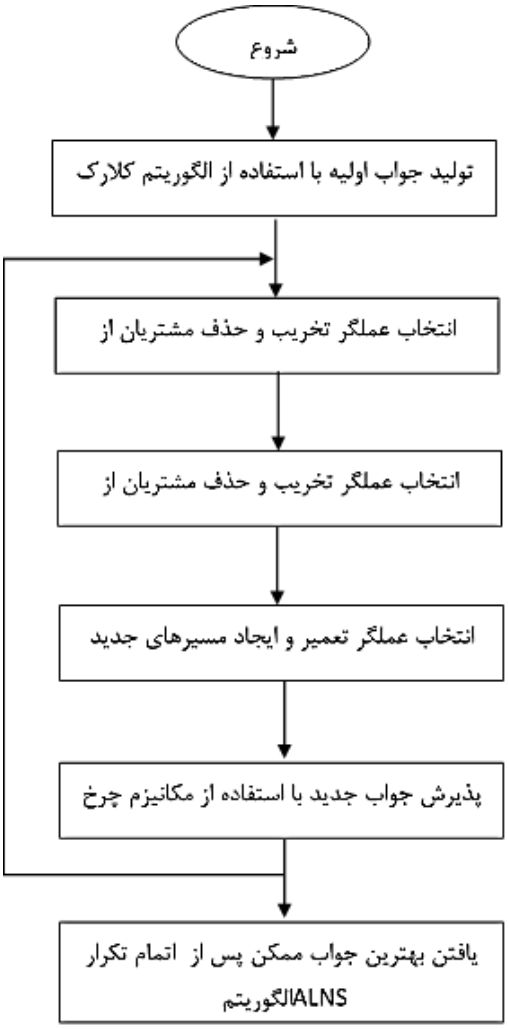
$$F_{ij} = max\{0, b_{i\tau} + t_i + (TDr_{ij} + UB_{ikr} + UR_{ikr} + UP_{ikl}) - a_{j\tau}\}$$

محدودیت پنجره زمانی به عبارت دیگر تضمین می‌کنند که هر یک از مشتریان در بازه زمانی مربوط به خودشان ملاقات شوند. در صورت رسیدن وسیله نقلیه زودتر از پنجره زمانی به مشتری باید منتظر بماند و در صورت اتمام پنجره زمانی امکان دریافت خدمت از طرف مشتری وجود ندارد. محدودیت (۳-۲۱) تضمین می‌کند هر مشتری فقط در یکی از بازه‌های پنجره زمانی در افق برنامه‌ریزی خدمت دریافت کند. محدودیت (۳-۲۲) تضمین می‌کند وسیله نقلیه بعد از سرویس‌دهی به آخرین گره قبل از اتمام افق زمانی به انبار بازگردد. محدودیت (۳-۲۳) میزان زمان‌های تجمعی رسیدن به هر گره را توسط وسیله نقلیه برآورد می‌کند. محدودیت (۳-۲٤) تضمین می‌کند درصورتی زمان تجمعی رسیدن وسیله نقلیه برای گره درنظر گرفته شود که آن گره توسط همان وسیله نقلیه دیده شود و در غیر این صورت صفر درنظر بگیرد. محدودیت‌های (۳-۲۵) میزان مسافت تجمعی که وسیله نقلیه طی کرده است تا به گره مشتری برسد را برآورد می‌کند. میزان مسافت تجمعی برای رسیدن به گره انبار به عنوان آخرین گره بعد از طی مسیر و ملاقات مشتریان در محدودیت (۳-۲٦) تخمین زده شده است. محدودیت‌های (۳-۲۷) تا (۳-۳٦) تضمین می‌کنند با توجه به تعداد رانندگان تخصیص‌یافته به سفر، برنامه زمانبندی حرکت و توقف‌های کوتاه و استراحت‌های بلند رانندگان با توجه به الزامات رانندگی رعایت گردد. با توجه به قانون رعایت حداقل زمان مجاز توقف کوتاه رانندگان بر اساس تخصیص تعداد راننده به مسیر پس از طی زمان رانندگی معین، مقدار تجمعی تعداد توقف‌های کوتاه پس از حرکت از انبار تا رسیدن به مشتری اول در محدودیت (۳-۲۷) و تعداد تجمعی توقف‌های کوتاه از ابتدای مسیر تا رسیدن به گره مشتری در محدودیت (۳-۲۸) برآورد شده است. محدودیت‌های (۳-۲۹) و (۳-۳۰) تعداد توقف‌های کوتاه را بین هر دو گره بر اساس تعداد تجمعی توقف‌های بدست آمده تخمین می‌زنند. زمان صرف شده برای توقف‌های کوتاه در محدودیت (۳-۳۱) براورد شده که این زمان در برآورد زمان رسیدن به گره مشتری در محدودیت‌های پنجره زمانی لحاظ می‌گردد. برای برآورد استراحت‌های طولانی رانندگان در طی سفرهای طولانی ابتدا با توجه به قانون رعایت حداقل زمان مجاز رانندگی بدون استراحت پس از طی زمان رانندگی معین، مقدار تجمعی تعداد استراحت‌های طولانی پس از حرکت از انبار تا رسیدن به مشتری اول در محدودیت (۳-۳۲) و تعداد تجمعی استراحت‌های طولانی از ابتدای مسیر تا رسیدن به گره مشتری در محدودیت (۳-۳۳) برآورد شده است. محدودیت‌های (۳-۳٤) و (۳-۳۵) تعداد استراحت‌های طولانی را بین هر دو گره بر اساس تعداد تجمعی استراحت‌ها بدست آمده تخمین می‌زنند. زمان صرف شده برای استراحت‌های طولانی در محدودیت (۳-۳٦) براورد شده که این زمان در برآورد زمان رسیدن به گره مشتری در محدودیت‌های پنجره زمانی لحاظ می‌گردد. در این پایان‌نامه برای انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات سطوح متفاوتی درنظر گرفته شده است که بر اساس میزان مسافت طی شده وسیله نقلیه یکی از سطوح نگهداری و تعمیرات فعال و باید برای آن زمانی را درنظر گرفت. شایان ذکر است که ممکن از قبل از رسیدن به یک گره بیش از یک سطح نگهداری و تعمیرات انجام شود و یا از هر سطح بیش از یکبار نیاز گردد محدودیتی از بابت تعداد تکرار وجود ندارد. درمحدودیت (۳-۳۷) تعداد تجمعی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در سطوح متفاوت محاسبه

می‌شود. محدودیت‌های (۳-۳۸) و (۳-۳۹) تعداد فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در هر سطح را بین هر دو گره بر اساس تعداد تجمعی محاسبه شده در فرمول (۳-۳۷) تخمین می‌زنند. زمان صرف شده برای انجام نگهداری و تعمیرات در سطوح متفاوت در محدودیت (۳-۴۰) براورد شده که این زمان در برآورد زمان رسیدن به گره مشتری در محدودیت‌های پنجره زمانی لحاظ می‌گردد. محدودیت (۳-۴۱) نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می کند.

٤. رویکرد پیشنهادی حل

رویکرد پیشنهادی مطابق با شکل۲، در دو فاز طراحی شده است. فاز اول شامل یافتن جواب بهینه اولیه با استفاده از الگوریتم کلارک و رایت است. فاز دوم با استفاده از الگوریتم فراابتکاری جستجوی بزرگ همسایگی انطباقی و با توجه به محدودیت‌های ظرفیت وسیله نقلیه و پنجره زمانی مشتریان به بهبود جواب‌های اولیه و تشکیل مسیرهای بهینه با کمترین هزینه می‌پردازد. در فاز دوم باید ترتیب مسیرها بگونه‌ای مشخص شود که الزامات رانندگی و استراحت‌ها و توقف‌ها نیز اعمال گردد. هدف از ارائه مدل پیشنهادی برآورد زمان و هزینه‌ها در مسافت‌های طولانی و نزدیک‌تر شدن شرایط برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع به دنیای واقعی است.



شکل ٤. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

٤-۱ فاز اول: تولید جواب اولیه

در این بخش الگوریتم ابتکاری که توسط کلارک و رایت [Clark and Wright. 1964] ارائه شده برای یافتن جواب اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت انتخاب این الگوریتم سادگی آن در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های ابتکاری کلاسیک است. در این الگوریتم ابتدا یک ماتریس هزینه از محاسبه هزینه حمل و نقل مربوط به هر گره تا بقیه گره‌ها محاسبه می‌شود. سپس بر اساس هزینه حمل از گره i به بقیه گره‌ها C_{ij} ماتریس صرفه‌جویی با استفاده از فرمول $S_{ij} = C_{0\,i} + C_{0\,j} - C_{ij}$ محاسبه می‌شود.

مسیرها در ابتدا بدین صورت که هر وسیله نقلیه از انبار شروع به حرکت کند و تنها یک مشتری را ببیند و برگردد ایجاد می‌شوند. سپس در هر تکرار بزرگترین درایه ماتریس صرفه‌جویی انتخاب شده، اگر محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه و پنجره زمانی مشتری نقض نشود، گره j بعد از آخرین گره موجود در مسیر i قرار داده می‌شود؛ در غیر این صورت مسیر به حالت قبلی خود باقی می‌ماند و به سراغ دومین بزرگترین درایه ماتریس صرفه‌جویی می‌رود. این روند تا زمانی که تمام درایه‌های ماتریس دیده شوند ادامه پیدا می‌کند. در نهایت یک جواب شدنی بدست می‌آید. شایان ذکر است که ممکن است این جواب شدنی بهینه باشد یا نباشد.

٤-٢ فازدوم: بهبود جواب اولیه و یافتن جواب

الگوریتم ALNS به تدریج جواب بهینه اولیه به دست آمده از الگوریتم ابتکاری کلارک و رایت را با استفاده از عملگرهای تعمیر و تخریب بهبود می‌دهد. به عبارت دیگر با استفاده از عملگرهای تعمیر و تخریب و در صورت بهبود جواب در هر تکرار الگوریتم جواب جدید به عنوان ورودی تکرار بعد وارد الگوریتم می‌شود. همچنین برای چارچوب دادن و محدود کردن فضای جستجو در الگوریتم ALNS از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده شده است. در الگوریتم $R_{current}$ به عنوان جواب به دست آمده در ابتدای جستجو، R_{new} جواب به دست آمده از تکرار فعلی و R_{best} بهترین جواب به دست آمده از الگوریتم و $Cost(R)$ هزینه مسیر R می‌باشد. با محاسبه هزینه جواب در هر تکرار $Cost(R_{new})$ به دست می‌آید و با مقایسه آن با $Cost(R_{current})$ به عنوان هزینه جاری، می‌توان بر روی بهترین جواب به دست آمده از الگوریتم تصمیم‌گیری کرد. بنابراین اگر $Cost(R_{new}) < Cost(R_{current})$، جواب R_{new} پذیرفته خواهد شد و اگر $Cost(R_{new}) > Cost(R_{current})$، جواب R_{new} با احتمال $e^{-(Cost(R_{new})-Cost(R_{current}))/T}$ پذیرفته خواهد شد. در این احتمال، T به عنوان دما تعریف شده است. دما در انتهای هر تکرار با ضریب α که $0 < \alpha < 1$ کاهش می‌باشد. برای بهبود جواب، ۹ عملگر تخریب و ۵ عملگر تعمیر ارائه شده است. انتخاب عملگر تعمیر و تخریب در هرتکرار با مکانیزم چرخ رولت صورت می‌گیرد.

در مکانیزم چرخ رولت، ابتدا همه عملگرها احتمال برابری دارند که در اینجا برای هر کدام از ۹ عملگر تخریب و ۵ عملگر تعمیر به ترتیب احتمال‌های $\frac{1}{9}$ و $\frac{1}{5}$ داده می‌شود. این احتمال‌ها در هر تکرار با استفاده از فرمول $P_o^{t+1} = P_o^t(1-r_p) + r_p\pi_j/\omega_j$ بروزرسانی می‌شوند، که در آن j تعداد استفاده از عملگر j، r_p پارامتر چرخ رولت، π_j امتیاز عملگر j، P_o^tاحتمال فعلی عملگر تخریب (r) و یا عملگر تعمیر (i)که $i,r \in o$ ، هستند. امتیازدهی به عملگرها عملکرد آنها را در هر تکرار نشان می‌دهد. امتیاز عملگرها به عملکرد عملگرها در تکرارهای قبلی وابسته است. امتیاز عملگرها بر اساس $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ که رابطه $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ برقرار است، به‌روزرسانی می‌شود. اگر عملگر به بهترین جواب دست یابد امتیاز آن به اندازه σ_1یا اگر جواب به دست آمده بهتر از جواب فعلی باشد، امتیاز عملگر σ_2 افزایش می‌یابد. در نهایت اگر جواب جدید به دست آمده بدتر از جواب فعلی باشد، امتیاز عملگر به اندازه σ_3 افزایش می‌یابد.

٤-٣ عملگر تخریب

۹ عملگر تخریب در این تحقیق استفاده شده که برخی از آنها از ادبیات این بحث گرفته شده و مورد ۹ پیشنهاد شده است. در هر تکرار با انتخاب یکی از عملگرها، یک یا چند گره از مسیر خارج می‌شوند و در لیست تخریب قرار می‌گیرند. با این کار جواب اولیه کاهش یافته و لیست تخریب، خروجی این عملگر خواهند بود.

٤-٣-١ عملگر تخریب تصادفی

این یک عملگر ساده است که در هر تکرار یک مسیر را به تصادف

انتخاب کرده و سپس یک گره تصادفی انتخاب و از مسیر انتخاب-شده حذف می‌کند و در لیست گره‌های حذف شده قرار می‌دهد.

٤-٣-٢ عملگر تخریب کوتاهترین مسیر

در این عملگر مسیری که کمترین تعداد گره را دارد انتخاب شده و تمام گره‌های موجود در آن حذف می‌کند. این عملگر با حذف یک مسیر کامل هزینه‌های سیستم را به شدت کم می‌کند و این امکان را ایجاد می‌کند که این گره‌ها در مسیرهای دیگر قرار بگیرند.

٤-٣-٣ عملگر تخریب بدترین مسیر

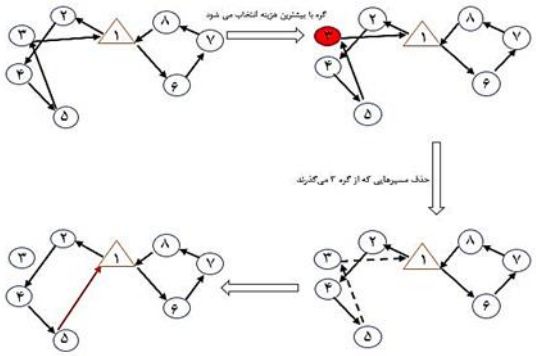
این عملگر در هر تکرار یک مسیر به تصادف انتخاب و سپس مشتری با بدترین مسافت را در مسیر انتخابی، حذف می‌کند. مقیاس بدترین مسافت مربوط به هر مشتری از طریق فرمول $argmax\{|d_{ij} - d_{jk}|\}$ محاسبه می‌شود.

٤-٣-٤ عملگر تخریب بدترین هزینه

این عملگر با فرض اینکه گره i هزینه x را به سیستم تحمیل می‌کند. $f(x)$ مقدار هزینه تحمیلی به سیستم بر حسب مسافت بعد از حذف گره i را مجددا حساب می‌کند $f'(x,i)$و سپس از طریق فرمول $\Delta f_{-i} = f(x) - f'(x,i)$ مقدار هزینه صرفه‌جویی برای هر گره محاسبه و گره با بیشترین مقدار Δf_{-i}انتخاب و حذف می‌کند.

٤-٣-٥ عملگر تخریب بدترین زمان

این عملگر بر اساس پنجره زمانی، در هر تکرار، هر مشتری که بیشترین انحراف در زمان رسیدن با ابتدای پنجره زمانی را دارد، انتخاب و حذف می‌کند. این عملگر برای بهبود و کاهش زمان انتظار در گره‌ها پیشنهاد شده است.



شکل ٥. عملگر تخریب بدترین هزینه

٤-٣-٦ عملگر تخریب شاو

عملگر همگرا شاو مجموعه‌ای از گره‌ها با ویژگی‌های یکسان را انتخاب می‌کند. با انتخاب یک گره تصادفی در مسیر تصادفی انتخاب شده عملگر شروع شده و گره بعدی با استفاده از رابطه (٤-١) انتخاب می‌شود. گره با کمترین مقدار، در لیست تخریب قرار می‌گیرد، گره بعدی نیز به همین ترتیب بر اساس گره‌ای که قبل از آن برداشت شده انتخاب می‌شود. در این فرمول گره i آخرین گره برداشت شده، d_{ij} فاصله گره‌های باقی مانده در مسیرها j تا آخرین گره برداشت شده i ، θ_i زمان شروع سرویس می‌باشد. r_{ij} مقدار ١- می‌گیرد اگر هر دو گره در یک مسیر مشترک قرار داشته باشند، در غیر اینصورت برابر ١ خواهد بود. l_i تقاضا گره i و $\emptyset_1$ تا $\emptyset_4$ وزن‌های نرمال‌سازی شده، هستند.

$$Sh_j = \emptyset_1 d_{ij} + \emptyset_2 |\theta_i - \theta_j| + \emptyset_3 r_{ij} + \emptyset_4 |l_i - l_j| \quad (١-٤)$$

٤-٣-٧ عملگر تخریب شاو بر پایه زمان

این عملگر از شاو مشتق شده و در آن $\emptyset_2 = 1$ و $\emptyset_1 = \emptyset_3 = \emptyset_4 = 0$ این عملگر همگرا به دنبال گره‌های مشابه در فاکتور پنجره زمانی می‌گردد.

٤-٣-٨ عملگر تخریب شاو بر پایه تقاضا

به طور مشابه، این عملگر هم از عملگر شاو مشتق شده و در جهت همگرایی عمل می‌کند. در آن روابط $\emptyset_1 = 1$ و $\emptyset_4 = \emptyset_2 = \emptyset_3 = 0$ برقرار است.

٤-٣-٩ عملگر تخریب شاو بر پایه مجاورت

این عملگر یک مسیر تصادفی انتخاب می‌کند، سپس در مسیر انتخاب شده یک گره به تصادف انتخاب می‌شود. به دنبال آن گره-هایی که از نظر مسافت در مجاورت گره انتخاب شده با کمترین فاصله اقلیدسی قرار دارند انتخاب می‌گردند. این عملگر در واقع از عملگر تخریب شاو مشتق شده است و همگرا می‌باشد.

٤-٤ عملگر تعمیر

در این بخش، یک جواب جدید با استفاده از جواب تخریب شده قسمت قبل و اعمال عملگرهای تعمیر تولید می‌شود. به عبارت دیگر، گره‌های حذف شده در بخش قبل، مجددا در مسیرهای موجود با شرط شدنی بودن مسیر در موقعیت مناسب قرار می‌گیرند. با تضمین برقرار بودن محدودیت‌های ظرفیت وسیله نقلیه و پنجره زمانی، شدنی بودن مسیر بررسی می‌شود. اگر برای گره‌ای هیچ مسیر شدنی وجود نداشته باشد، یک مسیر جدید تولید می‌کند. شایان ذکر است در این مرحله به منظور یافتن بهترین مسیر محدودیت‌های تخصیص رانندگان، برنامه‌زمانبندی استراحت و زمان‌های تخصیص‌یافته به فعالیت‌های نگهداری تعمیرات در سطوح تعیین شده محاسبه و لحاظ می‌گردد.

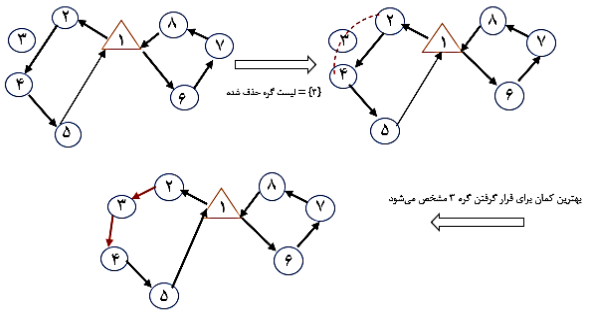
در این بخش، یک جواب جدید با استفاده از جواب تخریب شده قسمت قبل و اعمال عملگرهای تعمیر تولید می‌شود. به عبارت دیگر، گره‌های حذف شده در بخش قبل، مجددا در مسیرهای موجود با شرط شدنی بودن مسیر در موقعیت مناسب قرار می‌گیرند. با تضمین برقرار بودن محدودیت‌های ظرفیت وسیله نقلیه و پنجره زمانی، شدنی بودن مسیر بررسی می‌شود. اگر برای گره‌ای هیچ مسیر شدنی وجود نداشته باشد، یک مسیر جدید تولید می‌کند. شایان ذکر است در این مرحله به منظور یافتن بهترین مسیر محدودیت‌های تخصیص رانندگان، برنامه‌زمانبندی استراحت و زمان‌های تخصیص‌یافته به فعالیت‌های نگهداری تعمیرات در سطوح تعیین شده محاسبه و لحاظ می‌گردد.

٤-٤-١ عملگر تعمیر تصادفی

در این بخش، یک جواب جدید با استفاده از جواب تخریب شده قسمت قبل و اعمال عملگرهای تعمیر تولید می‌شود. به عبارت دیگر، گره‌های حذف شده در بخش قبل، مجددا در مسیرهای موجود با شرط شدنی بودن مسیر در موقعیت مناسب قرار می‌گیرند. با تضمین برقرار بودن محدودیت‌های ظرفیت وسیله نقلیه و پنجره زمانی، شدنی بودن مسیر بررسی می‌شود. اگر برای گره‌ای هیچ مسیر شدنی وجود نداشته باشد، یک مسیر جدید تولید می‌کند. شایان ذکر است در این مرحله به منظور یافتن بهترین مسیر محدودیت‌های تخصیص رانندگان، برنامه‌زمانبندی استراحت و زمان‌های تخصیص‌یافته به فعالیت‌های نگهداری تعمیرات در سطوح تعیین شده محاسبه و لحاظ می‌گردد.

٤-٤-٢ عملگر تعمیر حریصانه

این عملگر در هر تکرار ابتدا یک گره از لیست برداشت را انتخاب و در مکان¬های موجه و شدنی مسیر وارد می‌کند؛ سپس هزینه مربوط به اضافه کردن گره در مسیر با فرمول $C_i = d_{ji} + d_{ik} - d_{jk}$ برای تمام مکان‌های موجه (j, k) محاسبه می‌شود. موقعیت j با کمترین هزینه برای گره i در مسیر با تضمین برقراری شرط موجه بودن، به عنوان بهترین مکان انتخاب می‌شود.



شکل ٦. عملگر تعمیر حریصانه

٤-٤-٣ عملگر تعمیر حریصانه به همراه ایجاد اختلال

در عملگر تعمیر حریصانه این مشکل ممکن است پیش آید که آخرین گره وارد شده بهترین مکان قرارگیری خود را از دست دهد و در جایی قرار گیرد که هزینه چشم¬گیری را به سیستم تحمیل کند. بنابراین عملگر تعمیر حریصانه به همراه ایجاد اختلال برای اصلاح ضعف عملگر تعمیر حریصانه تعریف شده است. این عملگر با ایجاد حالت تصادفی در هزینه های هر گره نتیجه بهتری کسب می‌کند. در این عملگر از فاکتور $\rho \in [0.8, 1.2]$ برای

ایجاد پراکندگی در هزینه‌ها استفاده می‌شود و هزینه‌ها بر اساس فرمول (٤-٢) محاسبه می‌شوند. در فضای جستجوی بیشتری می-گردد و واگرا است.

$$CC_i = \left(d_{ji} + d_{ik} - d_{jk}\right) * \rho \qquad (٢-٤)$$

٤-٤-٤ عملگر تعمیر بهترین زمان

عملگر همگرای تعمیر با بهترین زمان برای هر مکان شدنی از مسیر با توجه به درنظر گرفتن پنجره زمانی، میزان زمان انتظار هر گره برای شروع خدمت را از فرمول $\{|\theta_j - a_j|\}$ محاسبه کرده و کمترین زمان انتظار به عنوان بهترین مکان انتخاب می‌شود.

٤-٤-٥ عملگر تعمیر با تاسف

در این عملگر، ابتدا هزینه مربوط به اضافه کردن گره موجود در لیست برداشت در مسیرها با فرمول $C_{ij} = d_{ji} + d_{ik} - d_{jk}$ برای تمام مکان‌های موجه و شدنی (j, k) محاسبه می‌شود. سپس تعداد نصف کل مسیرها $a = R/2$ را تعداد معیار قرار داده می‌شود. از بهترین تا a امین بهترین مکان انتخاب شده و مقدار تفاوت هزینه $Dv_i = C_{ij} - C_{i1}$ محاسبه می‌شود، که در آن i شمارنده گره‌های موجود در لیست برداشت و C_{ij} هزینه تعمیر گره i در مکان j $(j = 1, \dots, a)$ می‌باشد. گره با بیشترین Dv از لیست برداشت حذف شده و در بهترین مکان قرار می‌گیرد. این روند تا زمانی که تمام گره‌های موجود در لیست برداشت در بهترین مکان ممکن جایگزین شوند، ادامه دارد و یک عملگر همگرا است.

٥. تحلیل نتایج و اعتبارسنجی روش پیشنهادی

برای حل مدل در ابعاد بزرگ از الگوریتم فراابتکاری ترکیبی استفاده می‌شود. الگوریتم پیشنهادی توسعه‌ای از الگوریتم جستجوی بزرگ همسایگی انطباقی می‌باشد که با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تقویت شده و مسیرهای بهینه با لحاظ کردن محدودیت‌های الزامات رانندگی و با توجه به تخصیص یک یا دو راننده به مسیر و همچنین درنظر گرفتن زمان‌هایی جهت فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به منظور کاهش هزینه‌های توزیع تعیین می-شوند.

٥-١ حل مدل در ابعاد کوچک در CPLEX

به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مدل در ابعاد کوچک مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، یک مثال عددی در ٤ سناریو تعریف شده است. سناریوها بصورت زیر است:

سناریو ١، یک مدل مسیریابی وسیله‌نقلیه چند پنجره زمانی بدون درنظرگرفتن محدودیت‌های استراحت کوتاه و طولانی، بدون تخصیص تعداد رانندگان و همچنین بدون لحاظ کردن سطوح نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه است.

سناریو ٢، یک مدل مسیریابی وسیله‌نقلیه چند پنجره زمانی با درنظر گرفتن محدودیت استراحت کوتاه و طولانی و تخصیص یک راننده به سفرها، بدون درنظر گرفتن سطوح نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه است.

سناریو ٣، یک مدل مسیریابی وسیله‌نقلیه چند پنجره زمانی با درنظر گرفتن محدودیت استراحت کوتاه و طولانی و تخصیص یک یا دو راننده به سفرها، بدون درنظر گرفتن سطوح نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه است.

سناریو ٤، یک مدل مسیریابی وسیله‌نقلیه چند پنجره زمانی با درنظر گرفتن محدودیت استراحت کوتاه و طولانی و تخصیص یک یا دو راننده به سفرها و سطوح نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه است.

در این مسئله ١ انبار مرکزی، ٥ مشتری با تقاضای معلوم درنظر گرفته شده است. برای هر مشتری ٢ پنجره زمانی و افق برنامه‌ریزی ٤٨ ساعته فرض شده است. به هر مسیر یک یا دو راننده قابل تخصیص است. پس از هر ٤ ساعت رانندگی برای مسیر با یک راننده، ٠,٥ ساعت توقف و پس از ١٢ ساعت رانندگی ٨ ساعت استراحت درنظر گرفته شده است. برای مسیر با تخصیص دو راننده

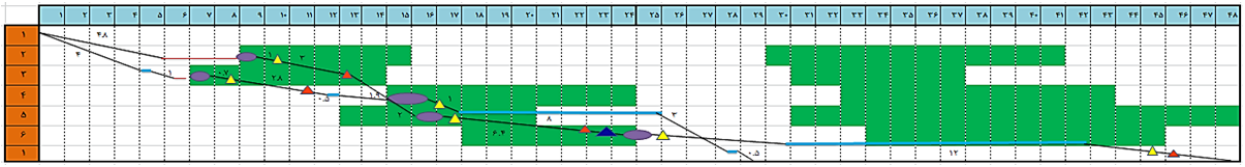
پس از ۲۲ ساعت رانندگی ۱۰ ساعت استراحت درنظر گرفته شده است.

S1	
S2	
S3	
انتظار	
استراحت کوتاه	
استراحت طولانی	
سرویس دهی	
پنجره زمانی	

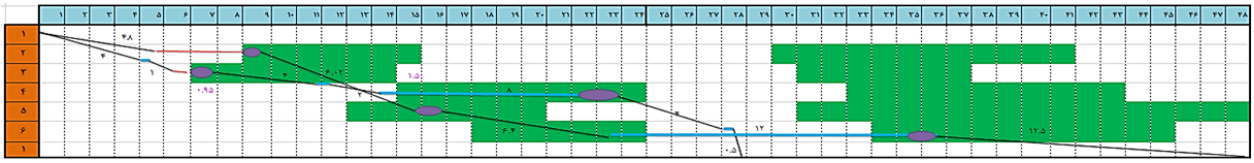
شکل ۷. راهنمای استفاده از شکل‌های حاصل از CPLEX

جدول ۲. نتایج حاصل از CPLEX

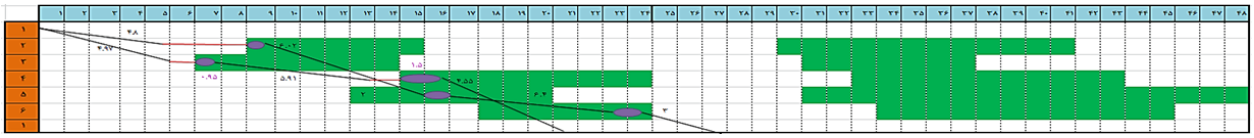
حالت	تابع هدف	مسیر
سناریو 1	1.041.570	1-6-5-2-1 1-4-3-1
سناریو 2	1.473.233	1-3-5-2-1 1-4-6-1
سناریو 3	2.057.854	1-6-5-2-1 (2راننده) 1-4-3-1 (1راننده)
سناریو 4	2.389.875	1-6-5-2-1 (2راننده) 1-4-3-1 (1راننده)



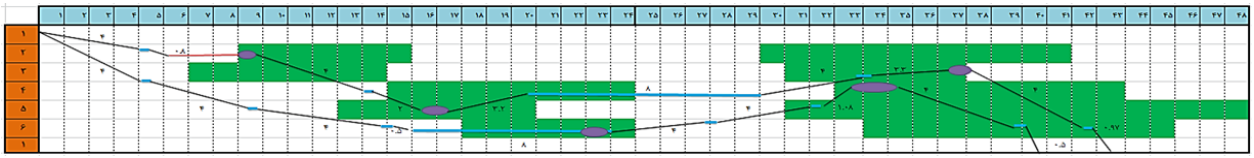
شکل ۸. ترسیم جواب بهینه حاصل از جواب CPLEXدر سناریو چهارم



شکل ۹. ترسیم جواب بهینه حاصل از جواب CPLEXدر سناریو سوم



شکل ۱۰. ترسیم جواب بهینه حاصل از جواب CPLEXدر سناریو اول



شکل ۱۱. ترسیم جواب بهینه حاصل از جواب CPLEX در سناریو دوم

۵-۲ حل مدل در ابعاد کوچک با الگوریتم پیشنهادی

در این قسمت از مقاله، الگوریتم پیشنهادی را بر اساس محدودیت‌های مدل یعنی درنظر گرفتن چندین پنجره زمانی، تخصیص یک یا دو راننده به مسیر و لحاظ کردن الزامات راننده در حین سفر توسعه داده و اجرا می‌کنیم. جواب حاصل از اجرای الگوریتم در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. نتایج حاصل از اجرا الگوریتم در٤ سناریومثال‌های کوچک

حالت	جواب گمز		جواب الگوریتم ALNS	
	تابع هدف	مسیر	تابع هدف	مسیر
سناریو 1	1.041.570	1-6-5-2-1 1-4-3-1	1.041.570	1-6-5-2-1 1-4-3-1
سناریو 2	1.473.233	1-3-5-2-1 1-4-6-1	1.473.233	1-3-5-2-1 1-4-6-1
سناریو 3	2.057.854	1-6-5-2-1 (2 راننده) 1-4-3-1 (1 راننده)	2.057.854	1-6-5-2-1 (2 راننده) 1-4-3-1 (1 راننده)
سناریو 4	2.389.875	1-6-5-2-1 (2 راننده) 1-4-3-1 (1 راننده)	2.389.875	1-6-5-2-1 (2 راننده) 1-4-3-1 (1 راننده)

برای این منظور از مسائل آزمایشی و معروف سالومون استفاده می‌شود. مسائل سالومون به صورت گسترده برای آزمودن الگوریتم های ابتکاری به کار گرفته شده است. مسائل سالومون شامل ٥٦ نمونه است که در شش کلاس C1، C2، R1، R2، RC1 و RC2 تقسیم‌بندی می‌شود. تمام مسائل شامل ۱۰۰ مشتری هستند و در تعداد ناوگان، ظرفیت وسایل نقلیه، مکان جغرافیایی و زمان مشتریان متفاوت می‌باشند. زمان سفر میان دو مشتری توسط فاصله کروی بین آن‌ها تعیین می‌گردد. مشتریان این مسئله دارای پنجره زمانی هستند. بنابراین مناسب برای اعتبارسنجی مسائل VRPTW است. مسائل C1، R1 و RC1 با پنجره زمانی کوچک و مسائل C2، R2 و RC2 با پنجره زمانی بزرگ تعریف می‌شود [Ghoseiri and Ghannadpour, 2010, Qi et al. 2015]. در این مقاله الگوریتم حل پیشنهادی در شش کلاس C1، C2، R1، R2، RC1 و RC2 مسائل سالومون اعتبارسنجی می‌شود. پارامترهای الگوریتم پیشنهادی به شرح زیر تنظیم شده است:

جدول ٤. مقادیر تنظیم شده برای پارامترهای الگوریتم ALNS

فاکتور	توضیحات	مقادیر تعیین شده
Max-Iter	کل تعداد تکرارهای ALNS	٥۰۰۰
N_w	تعداد تکرارهای مکانیزم چرخ رولت	۸۰
δ_1	امتیاز مربوط به بهترین جواب	٥
δ_2	امتیاز مربوط به جواب بهتر	۱۰
δ_3	امتیاز مربوط به بدترین جواب	۱
T_0	دمای اولیه	۱۰۰۰۰
α	نرخ سرد شدن	۰,۹۹۹
Rn	تعداد مجاز برداشت گره	٪۸

جدول ۷، درصد اختلاف میانگین بهترین جواب و میانگین الگوریتم حل پیشنهادی، مربوط به آزمون ویلکاکسون را نشان می‌دهد. پس از ورود میانگین ٦ گروه داده‌های سالمون و اجرای نرم افزار SPSS مشاهده می‌شود مقدار ***p*-value = 0.063** بزرگتر از ۰,۰٥ می‌باشد بنابراین در سطح خطای آزمون فرضیه رد نمی‌شود.

٥-۲-۱ اجرای الگوریتم با درنظر گرفتن محدودیت‌های مدل پیشنهادی

مثال C201-100 را با اضافه کردن محدودیت‌های مدل اجرا کرده و مشاهده می‌شود هزینه‌ها بیشتر شده است و دلیل آن این است که هزینه‌های واقعی با درنظر گرفتن محدودیت‌های چندین پنجره زمانی، الزامات رانندگی و نگهداری و تعمیرات خود را نشان داده است. شایان ذکر است در مدل سالمون هزینه بر اساس مسافت طی شده صرفا لحاظ گردیده است.

جدول ٥. نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی با استفاده از داده C201-100

مثال	تعداد وسایل نقلیه	تابع هدف
C201-100	۳	٥۹۱,٥٦
اضافه کردن محدودیت‌های مدل پیشنهادی	۳	۱۳۹٤۸۰۰۰۰

جدول ٦. نتیجه آزمون الگوریتم پیشنهادی در مسائل صد مشتری C1، C2، R1، R2،RC1 و RC2 سالومون

اطلاعات نمونه	بهترین جواب شناخته شده		الگوریتم پیشنهادی		
	تعداد وسایل نقلیه	تابع هدف	تعداد وسایل نقلیه	تابع هدف	درصد اختلاف
C101	۱۰	۸۲۸,۹٤	۱۰	۸۲۸,۹٤	۰
C102	۱۰	۸۲۸,۹٤	۱۰	۸۲۸,۹٤	۰
C103	۱۰	۸۲۸,۰٦	۱۰	۸۲۸,۰٦	۰
C104	۱۰	۸۲٤,۷۸	۱۰	۸۲٤,۷۸	۰
C105	۱۰	۸۲۸,۹٤	۱۰	۸۲۸,۹٤	۰
C106	۱۰	۸۲۸,۹٤	۱۰	۸۲۸,۹٤	۰
C107	۱۰	۸۲۸,۹٤	۱۰	۸۲۸,۹٤	۰
C108	۱۰	۸۲۸,۹٤	۱۰	۸۲۸,۹٤	۰
C109	۱۰	۸۲۸,۹٤	۱۰	۸۲۸,۹٤	۰
C201	۳	٥۹۱,٥٦	۳	٥۹۱,٥٦	۰
C202	۳	٥۹۱,٥٦	۳	٥۹۱,٥٦	۰
C203	۳	٥۹۱,۱۷	۳	٦۰٤,٥۸	۲,۲۲
C204	۳	٥۹۰,٦	۳	٥۹۳,۹۳	۰,٥٦
C205	۳	٥۸۸,۱٦	۳	٥۸۸,۸۷	۰,۱۲
C206	۳	٥۸۸,٤۹	۳	٥۸۸,٤۹	۰
C207	۳	٥۸۸,۲۹	۳	٥۸۸,۲۹	۰
C208	۳	٥۸۸,۳۲	۳	٥۸۸,۳۲	۰
R101	۱۹	۱٦۰۷,۷	۱۹	۱٦۸٤,۲	٤,٥٤
R102	۱۷	۱٤۷٥,۳۳	۱۸	۱٤۹۸,٦	٤,۳۱
R103	۱٤	۱۲۱۳,٦۲	۱٥	۱۲٦۸,٤	٤,۳۲
R104	۹	۸۷۱,٥	۱۲	۱۰۳٥,۹	۱٥,۸۷
R105	۱٤	۱۳٤٦,۱۲	۱٦	۱٤۲٥,٥	٥,٥۷
R106	۱۲	۱۲۳٤,٦	۱٤	۱۳۱٥,٥	٦,۱٥
R107	۱۰	۱۰٥۱,۸٤	۱۳	۱۱۷۱,۲	۱۰,۱۹

اطلاعات نمونه	بهترین جواب شناخته شده		الگوریتم پیشنهادی		
	تعداد وسایل نقلیه	تابع هدف	تعداد وسایل نقلیه	تابع هدف	درصد اختلاف
R108	۹	۹۵٤,۰۳	۱۱	۱۰٤۲,٤	۸,٤۸
R109	۱۱	۱۰۱۳,۲	۱۳	۱۲۰۸,۷	۱٦,۱۷
R110	۱۰	۱۰٦۸	۱۲	۱۱۸۱	۹,۵۷
R111	۱۰	۱۰٤۸,۷	۱۳	۱۱۲٤,۲	٦,۷۲
R112	۹	۹۵۳,٦۳	۱۱	۱۰۳٦,۲	۷,۹۷
R201	۹	۱۱٤۸,٤۸	۸	۱۱۷۸,۱	۲,۵۱
R202	۵	۱۰٤٦,۱	٦	۱۰٦۱,۷	۱,٤۷
R203	۵	۸۸٤,۰۲	۵	۹۳۳,٤٤	۵,۲۹
R204	۵	۷٤۳,۲۹	۵	۷۸۷,٦۲	۵,٦۳
R205	۵	۹۵٤,۱٦	۵	۱۰۱۹,۳	٦,۳۹
R206	۳	۸۳۳	٦	۹۱۸,۷٦	۹,۳۳
R207	٤	۸۰۹,۵۱	۵	۸۳۲,٦٤	۲,۷۸
R208	۳	۷۰۸,۹	۳	۷۲۳,۲٤	۱,۹۸
R209	۳	۸۵۵	۵	۹۰۸,۰۱	۵,۸٤
R210	۵	۹۲۰,۰٦	۷	۹۳۰,۳۸	۱,۱۱
R211	٤	۷٦۱,۱	٤	۸۰۷,٦۸	۵,۷۷
RC101	۱۵	۱٦۱۹,۱۸	۱٦	۱۷۰۸,٦	۵,۲۳
RC102	۱٤	۱٤٦۷,۲۵	۱۵	۱۵۷۵,۷	٦,۸۸
RC103	۱۲	۱۱۹٦,۱۲	۱۳	۱۳۹۱,۱	۱٤,۰۲
RC104	۱۰	۱۱۳۵,٤۸	۱۲	۱۲۱٤,٦	٦,۵۱
RC105	۱۵	۱۵۲٤,۱٤	۱٦	۱٦٦۲,۱	۸,۳
RC106	۱۲	۱۳٦۹,۵۹	۱٤	۱٤۷٤,۸	۷,۱۳
RC107	۱۱	۱۲۲۲,۱٦	۱۳	۱۳۵۲,۷	۹,٦۵
RC108	۱۱	۱۱۱۷,۵۳	۱۲	۱۱۸۰	۵,۲۹

اطلاعات نمونه	بهترین جواب شناخته شده		الگوریتم پیشنهادی		
	تعداد وسایل نقلیه	تابع هدف	تعداد وسایل نقلیه	تابع هدف	درصد اختلاف
RC201	٦	١١٣٤,٩١	٧	١٣٤٧,١	١٥,٧٥
RC202	٨	١١١٣,٥٣	٥	١١٣٧,٣	٢,٠٩
RC203	٥	٩٣٨,٠٤	٧	٩٨٣,٣٢	٤,٦
RC204	٤	٧٩٨,٤٦٧٩٢,٩٨	٤	٨٣٢,١٥	٤,٧١
RC205	٧	١١٦١,٨١	٨	١٢٠٨,٨	٣,٨٩
RC206	٧	١٠٥٩,٨٨	٧	١١١٤,٨	٤,٩٣
RC207	٥	٩٧٠,٧٨	٦	١٠٤٤,٤	٧,١٨
RC208	٥	٧٩٢,٣٣	٦	٨٣٤,٣٢	٥,٠٣

جدول ٧. ارزیابی روش پیشنهادی با بهترین جواب

نمونه	میانگین بهترین جواب	میانگین جواب الگوریتم پیشنهادی	درصد اختلاف
C1	٨٢٨,٣٨	٨٢٨,٣٨	٠
C2	٥٨٩,٧٧	٥٨٩,٩٥	٠,٣٧
R1	١١٥٨,٣١	١٢٤٩,٣٢	٧,٢٨
R2	٨٧٨,٥١	٩١٨,٢٦	۴,٣
RC1	١٣٣٢,٧١	١۴۴۴,٩٥	٧,٧٧
RC2	٩٩۶,٥٥	١٠۶٢,٩۶	۶,٢٥

٦. مطالعه موردی

شرکت گلدیران ال جی به عنوان یکی از شرکت‌های موفق و برندهای مطرح و شناخته در زمینه عرصه محصولات صوتی، تصویری و لوازم خانگی و نماینده رسمی شرکت الجی در ایران است که دارای یک سیستم توزیع وسیع در سطح کشور می‌باشد. با توجه به بازار مصرف‌کنندگان و مشتریان تجاری شرکت گلدیران در سراسر ایران، همچنین وجود نمایندگی‌ها و فروشگاه‌های اختصاصی در استان‌های ایران مسائل توزیع و برنامه زمان‌بندی به‌موقع اهمیت فراوانی را برای شرکت در فضای رقابتی و اقتصادی به همراه دارد. شرکت گلدیران ال جی، دو کارخانه تولید عمده کالا در کاسپین و قزوین دارد و به منظور انبارش کالاها، انبارهای یاقوت، مهستان، الماس و تهویه را احداث کرده‌اند. در این مقاله انبار یاقوت به‌عنوان محل توزیع درنظر گرفته شده است.

گلدیران برای حمل‌ونقل محصولات لوازم خانگی خود از ۹۲ دستگاه استفاده می‌کند. در این تحقیق، ۱۰ کامیونت ایسوزو ۸ تنی با قابلیت حمل ۵,۵ تن بار درنظر گرفته شده است که با توجه به ابعاد کابین حمل بار فرض شده است هر کامیون می‌تواند ۳۰۰

محصول از نوع تلویزیون گلدیران را حمل کند. توزیع‌کنندگان در ۲۰ استان درنظر گرفته‌اند

چالش اصلی این کار این است که آیا در مسافت‌های طولانی پیش‌بینی زمان‌های استراحت رانندگان و پیش‌بینی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به صرفه‌تر است یا عدم توجه به رضایت رانندگان و مشتریان. در حقیقت زمانیکه به نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه وسایل نقلیه در سفرهای طولانی توجه نشود پس از گذشت زمان به دلیل کارکرد و استهلاک ممکن است با خرابی برنامه زمانبندی تحویل به موقع کالا به مشتریان را تحت تاثیر قرار داد و درنتیجه عدم رضایت از تحویل با تاخیر سبب از دست دادن مشتریان در سفارشات بعدی شرکت و ایجاد فضایی جهت پیشبرد رقبا گردند و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات اصلاحی و همچنین از دست دادن مشتری و بازار در آن منطقه را به سازمان تحمیل نماید. همچنین عدم توجه به استراحت رانندگان باعث نارضایتی آن‌ها می‌گردد. هر سازمان در کنار کاهش هزینه‌ها به دنبال افزایش سطح رضایت کارکنان و مشتریان خود نیز می‌باشد. درنتیجه توجه به کوچکترین مسائل در برنامه زمانبندی تحویل و توزیع کالا می‌تواند برای سازمان اهمیت زیادی داشته باشد. در ادامه مطالعه موردی را یکبار با توجه به سیستم بدون درنظر گرفتن زمانبندی رانندگان و تخصیص راننده و سپس با سیستم پیشنهادی بررسی شده است.

در جدول ۸ پارامترهای مطالعه موردی بیان شده است. ستون اول شماره ردیف انبار و مشتریان را مشخص می‌کند بطوریکه شماره ۱ مختص انبار توزیع و شماره‌های ۲ تا ۲۱ به مشتریان تخصیص داده می‌شود. در ستون ۲ و ۳ جدول، مختصات x و y مشتریان گزارش شده است. تقاضای مشتریان در ستون ٤ جدول و همچنین مدت زمان سرویس دهی به هر مشتری در ستون ۵ بر حسب ساعت آمده است که بر اساس درنظرگرفتن چندین پنجره زمانی طی افق برنامه‌ریزی برای هر مشتری تعریف شده است.

جدول ۸ . برخی از پارامترهای مدل

ردیف	انبار / نقاط تقاضا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	تقاضا گذاشت (تعداد)	مدت زمان خدمتدهی (ساعت)
۱	تهران	۳۵.۵۲	۵۱.۳۲	۰	۰
۲	شیراز	۲۹.۶۱	۵۲.۷	۸۴	۲.۸۰
۳	اصفهان	۳۲.۵۷	۵۱.۶۷	۶۵	۲.۱۷
۴	بندرعباس	۲۷.۲۲	۵۶.۳۴	۲۰	۰.۶۷
۵	بوشهر	۲۸.۸۷	۵۰.۸۴	۲۵	۰.۸۳
۶	اهواز	۳۱.۲۸	۴۸.۷۴	۴۵	۱.۵۰
۷	زاهدان	۲۹.۳۸	۶۰.۹۴	۳۰	۱.۰۰
۸	کرمانشاه	۳۴.۲۵	۴۷.۰۸	۲۸	۰.۹۳
۹	قم	۳۴.۵۹	۵۰.۷۷	۵۳	۱.۷۷
۱۰	اراک	۳۴.۰۲	۴۹.۶۳	۲۵	۰.۸۳
۱۱	مشهد	۳۹.۱۹	۵۹.۵۵	۸۷	۲.۹۰
۱۲	سمنان	۳۵.۵۹	۵۳.۴۴	۷۵	۲.۵۰
۱۳	ارومیه	۳۷.۹۵	۴۵.۱	۶۹	۲.۳۰
۱۴	تبریز	۳۸.۰۲	۴۶.۲۳	۴۶	۱.۵۳
۱۵	اردبیل	۳۸.۱۹	۴۸.۲۹	۷۶	۲.۵۳
۱۶	رشت	۳۷.۱۹	۴۹.۶۷	۳۸	۱.۲۷
۱۷	زنجان	۳۶.۶	۴۸.۵۱	۳۲	۱.۰۷
۱۸	ساری	۳۶.۴۶	۵۳.۰۲	۲۹	۰.۹۷
۱۹	یزد	۳۱.۸۷	۵۴.۳۶	۷۴	۲.۴۷
۲۰	گرگان	۳۶.۸۲	۵۴.۵۳	۶۰	۲.۰۰
۲۱	بیرجند	۳۲.۸۳	۵۹.۲۸	۶۹	۲.۳۰

در این قسمت نتایج حاصل از پیاده سازی مدل پیشنهادی بر روی سیستم توزیع مطالعه موردی، بررسی شده است. از آنجایی که سیستم فعلی این شرکت در واقعیت فقط توزیع را انجام می‌دهد و به مسائل زمانبندی و نگهداری و تعمیرات توجه ندارد. بنابراین در این تحقیق هزینه‌ها در چندین سناریو مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نتایج در جدول ۹ گزارش شده است.

سناریو ۱: حالت توزیع کالا با درنظر گرفتن یک پنجره زمانی بدون توجه به زمانبندی رانندگان و تخصیص رانندگان و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه

سناریو ۲: حالت توزیع کالا با درنظر گرفتن چندین پنجره زمانی بدون توجه به زمانبندی رانندگان و تخصیص رانندگان و نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه

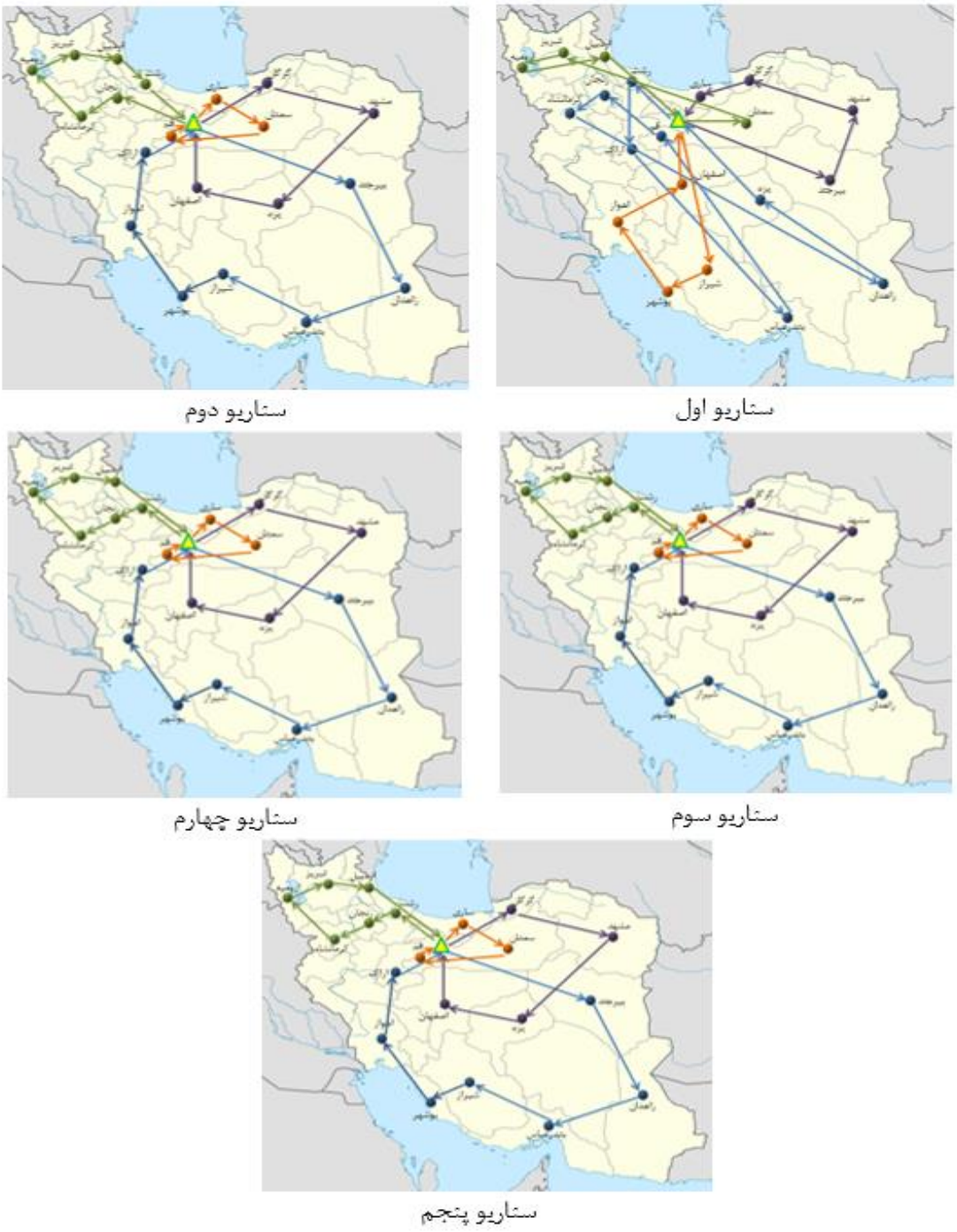
سناریو ۳: حالت توزیع کالا با در نظر گرفتن چندین پنجره زمانی با توجه به زمانبندی رانندگان بدون لحاظ کردن زمان‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه

سناریو ٤: حالت توزیع کالا با در نظر گرفتن چندین پنجره زمانی با توجه به زمانبندی رانندگان و تخصیص تعداد یک یا دو راننده به مسیر بدون لحاظ کردن زمان‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه

سناریو ۵: حالت توزیع کالا با درنظر گرفتن چندین پنجره زمانی با توجه به زمانبندی رانندگان و تخصیص تعداد یک یا دو راننده به مسیر همچنین لحاظ کردن زمان‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه

جدول ۹. نتایج محاسباتی حاصل از اجرا الگوریتم

سناریو	تابع هدف	مسیر
سناریو ۱	۵۰۵۱۱۰۰	(یک راننده) تهران - یزد - زاهدان - کرمانشاه - زنجان - قم - یندرعباس - اراک - رشت - تهران : مسیر۱ (یک راننده) تهران - ساری - گرگان - مشهد - بیرجند - تهران : مسیر۲ (یک راننده) تهران - اردبیل - ارومیه - تبریز - سمنان - تهران : مسیر۳ (یک راننده) تهران - اصفهان - اهواز - بوشهر - شیراز - تهران : مسیر۴
سناریو ۲	۲۹۶۳۲۰۰	(یک راننده) تهران - اراک - اهواز - بوشهر - شیراز - یندرعباس - زاهدان - بیرجند - تهران : مسیر۱ (یک راننده) تهران - اصفهان - یزد - مشهد - گرگان - تهران : مسیر۲ (یک راننده) تهران - رشت - اردبیل - تبریز - ارومیه - کرمانشاه - زنجان - تهران : مسیر۳ (یک راننده) تهران - قم - سمنان - ساری - تهران : مسیر۴
سناریو ۳	۳۰۱۱۴۰۰	(یک راننده) تهران - اراک - اهواز - بوشهر - شیراز - یندرعباس - زاهدان - بیرجند - تهران : مسیر۱ (یک راننده) تهران - اصفهان - یزد - مشهد - گرگان - تهران : مسیر۲ (یک راننده) تهران - اردبیل - تبریز - ارومیه - کرمانشاه - زنجان - رشت - تهران : مسیر۳ (یک راننده) تهران - قم - سمنان - ساری - تهران : مسیر۴
سناریو ۴	۲۳۰۱۲۰۰	(دو راننده) تهران - اراک - اهواز - بوشهر - شیراز - یندرعباس - زاهدان - بیرجند - تهران : مسیر۱ (یک راننده) تهران - قم - سمنان - ساری - تهران : مسیر۲ (دو راننده) تهران - اصفهان - یزد - مشهد - گرگان - تهران : مسیر۳ (یک راننده) تهران - اردبیل - تبریز - ارومیه - کرمانشاه - زنجان - رشت - تهران : مسیر۴
سناریو ۵	۲۴۸۱۲۰۰	(دو راننده) تهران - اراک - اهواز - بوشهر - شیراز - یندرعباس - زاهدان - بیرجند - تهران : مسیر۱ (دو راننده) تهران - قم - سمنان - ساری - تهران : مسیر۲ (دو راننده) تهران - اصفهان - یزد - مشهد - گرگان - تهران : مسیر۳ (یک راننده) تهران - اردبیل - تبریز - ارومیه - کرمانشاه - زنجان - رشت - تهران : مسیر۴

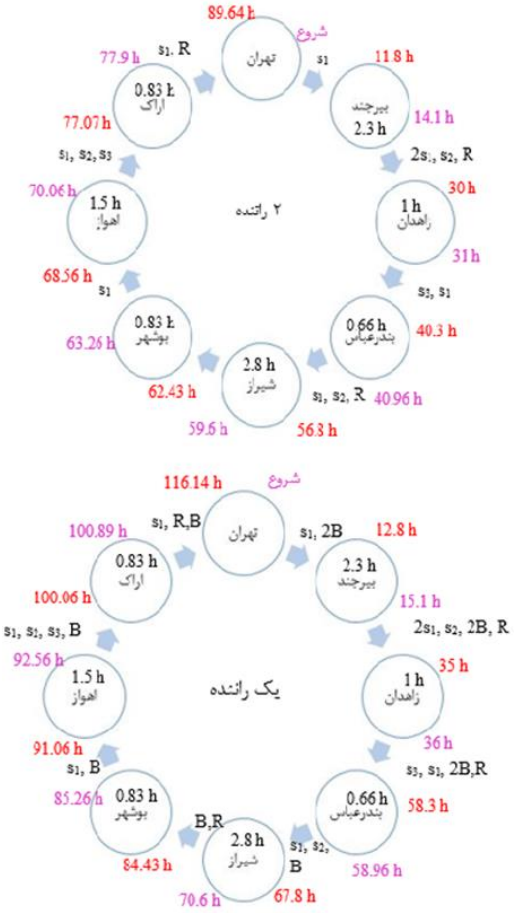


شکل ۱۲. نتایج حاصل از اجرای سناریوهای متفاوت مطالعه موردی

همانطور که در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود سناریو دوم نسبت به سناریو اول با جایگزین کردن چندین پنجره زمانی در افق برنامه‌ریزی جهت تحویل کالا توسط مشتریان مسیرها بهبود یافته‌اند. در سناریو سوم زمانبندی حرکت رانندگان با درنظر گرفتن

توقفات و استراحت‌ها در طی مسیر محاسبه شده است که افزایش زمان به دلیل توقفات منجر به افزایش هزینه شده است اما مسیر بهینه فقط در ترتیب مسیر شماره ۳ تغییر وجود داشته است. در سناریو چهارم با تخصیص تعداد یک یا دو راننده به مسیرها با کاهش توقفات و زمان‌های استراحت هزینه‌ها به شدت کاهش یافته است. در سناریو شماره پنجم به دلیل درنظر گرفتن زمان‌هایی را جهت فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات مقداری افزایش هزینه نسبت به سناریو چهارم بوجود آمده است.

در سناریو نوع ۵ یکی از مسیرها انتخاب شده و زمان رسیدن به هر شهر و تعداد توقفات در زمان ۲ راننده (جواب مسئله) و یک راننده مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که مشاهده می‌شود تخصیص دو راننده به مسیرها می‌تواند باعث کاهش زمان سفر گردد و به نوبه خود بر روی هزینه کل تاثیر بگذارد. در شکل ۱۳ زمان‌های قرمز رنگ زمان رسیدن به هر شهر را با لحاظ کردن توقفات در کمان قبلی را تعیین می‌کند، زمان خروج از هر شهر با رنگ بنفش آورده شده است که مجموع زمان ورود به هر شهر و زمان سرویس دهی در آن شهر است. زمان سرویس دهی به رنگ مشکی در داخل دایره شهرها آورده شده است.



شکل ۱۳. تغییرات تخصیص رانندگان به مسیرها بر زمان سفر

۷. نتیجه گیری

از آنجایی که حمل و نقل در مسافت‌های طولانی یکی از دلایل مهم به منظور توجه به الزامات راننده و همچنین فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات ناوگان محسوب می‌شود. بنابراین در نظر گرفتن مسائل زمانبندی رانندگان، تخصیص تعداد راننده به هر ناوگان، توجه به الزامات و فعالیت‌های نگهداری تعمیرات بر میزان زمانبندی تقاضای تحویل در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی تاثیر گذار هستند. چالش اصلی در سیستم توزیع وسیع در سطح یک کشور این است که آیا در مسافت‌های طولانی پیش‌بینی زمان‌های استراحت رانندگان و پیش‌بینی فعالیت‌های نگهداری و

تعمیرات پیشگیرانه به صرفه‌تر است یا عدم توجه به رضایت رانندگان و مشتریان. در حقیقت زمانیکه به نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه وسایل نقلیه در سفرهای طولانی توجه نشود پس از گذشت زمان به دلیل کارکرد و استهلاک ممکن است با خرابی برنامه زمانبندی تحویل به موقع کالا به مشتریان را تحت تاثیر قرار داد و درنتیجه عدم رضایت از تحویل با تاخیر سبب از دست دادن مشتریان در سفارشات بعدی شرکت و ایجاد فضایی جهت پیشبرد رقبا گردند و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات اصلاحی و همچنین از دست دادن مشتری و بازار در آن منطقه را به سازمان تحمیل نماید. همچنین عدم توجه به استراحت رانندگان باعث نارضایتی آن‌ها می‌گردد. هر سازمان در کنار کاهش هزینه‌ها به دنبال افزایش سطح رضایت کارکنان و مشتریان خود نیز می‌باشد. درنتیجه توجه به کوچکترین مسائل در برنامه زمانبندی تحویل و توزیع کالا می‌تواند برای سازمان اهمیت زیادی داشته باشد. برای تست و ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی از یک مجموعه نمونه کتابخانه‌ای استفاده شده است. پس از اعتبارسنجی مدل، داده‌های مشاهده شد با درنظرگرفتن چندین پنجره زمانی، در مقابل یک پنجره زمانی، مسیرها و ترتیب ملاقات مشتریان بهبود یافت. همچنین تخصیص دو راننده به مسیرها باعث شد مدت زمان بیشتری را وسیله‌نقلیه در حرکت باشد و از زمان توقفات و استراحت‌ها کاهش یابد و بطور کلی هزینه‌های کل سیستم را کاهش داد.

۸. منابع

– قنادپور، سید فرید؛ زندیه، فاطمه (۱۳۹۸) "مسئله مسیریابی وسایل نقلیه مبتنی بر نظریه بازی با هدف کاهش ریسک حمل کالای ارزشمند"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۱، شماره ۱، پاییز، ص. ۷۱–۹۸.

– روشنخواه؛ شیدا، سیدابریشمی؛ سید احسان، جوانشیر، حسن (۱۳۹۹) "ارائه مدل مسیریابی وسایل نقلیه امدادی در شبکه‌های کوچک و متوسط"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، شماره ۱، پاییز، ص. ۱۳۹–۱۶۱.

– صالحیان؛ فرهاد، توکلی مقدم؛ رضا، نوروزی، نرگش (۱۳۹۸) "حل مساله مسیریابی وسایط نقلیه با در نظر گرفتن رضایت‌مندی مشتریان و کاهش انرژی مصرفی با الگوریتم زنبور عسل"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۱، شماره ۲، زمستان، ص. ۲۹۹–۳۱۱.

- Dantzig, George B., and John H. Ramser. (1959). "The truck dispatching problem." Management science Vol. 6, No. 1, pp. 80-91.

- Bodin, L., Assad, A., Ball, M. and Golden, B. (1983) "Routing and scheduling of vehicles and crews", Computers and Operations Research, Vol. 10, No. 2, pp. 63-211.

- Ghoseiri, K., & Ghannadpour, S. F. (2010). "Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm". Applied Soft Computing, Vol. 10, No. 4, pp. 1096-1107.

- López-Santana, E., Akhavan-Tabatabaei, R., Dieulle, L., Labadie, N., & Medaglia, A. L. (2016). "On the combined maintenance and routing optimization problem". Reliability Engineering & System Safety, Vol. 145, pp. 199-214.

- Bektaş, Tolga, and Gilbert Laporte. (2011). "The pollution-routing problem." Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 45, No. 8, pp. 1232-1250.

- Dekker, Rommert, Moritz Fleischmann, Karl Inderfurth, and Luk N. van Wassenhove, eds. Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains. Springer Science & Business Media, 2013.

- Naderipour, Mansoureh, and Mahdi Alinaghian. (2016). "Measurement, evaluation and minimization of CO2, NOx, and CO emissions in the open time dependent vehicle routing problem." Measurement, Vol. 90, pp. 443-452.

- Demir, Emrah, Tolga Bektaş, and Gilbert Laporte. (2014). "A review of recent research on green road freight transportation." European Journal of Operational Research, Vol. 237, No. 3, pp. 775-793.

- Çatay, Bülent. (2010). "A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery." Expert Systems with Applications, Vol. 37, No. 10, pp. 6809-6817.

- Wassan, Niaz A., and Gábor Nagy. (2014). "Vehicle routing problem with deliveries and pickups: Modelling issues and meta-heuristics solution approaches." International Journal of Transportation, Vol. 2, No. 1, pp. 95-110.

- Royo, B., Sicilia, J. A., Oliveros, M. J., & Larrodé, E. (2015). "Solving a long-distance routing problem using ant colony optimization". Appl. Math, Vol. 9, No. 2, pp. 415-421.

- Xu, H., Chen, Z. L., Rajagopal, S., & Arunapuram, S. (2003). "Solving a practical pickup and delivery problem". Transportation science, vol. 37, No. 3, pp.347-364

- Wang, Hsiao-Fan, and Ying-Yen Chen. (2012). "A genetic algorithm for the simultaneous delivery and pickup problems with time window." Computers & Industrial Engineering, Vol.62, No. 1, pp. 84-95.

- Goel, A., & Kok, L. (2012). "Truck driver scheduling in the United States". Transportation science, Vol. 46, No. 3, pp. 317-326.

- Demir, Emrah, Tolga Bektaş, and Gilbert Laporte. (2012). "An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem." European Journal of Operational Research,Vol. 223, No. 2, pp. 346-359.

- Koç, C., Jabali, O., & Laporte, G. (2018). "Long-haul vehicle routing and scheduling with idling options". Journal of the Operational Research Society, Vol. 69, No. 2, pp. 235-246.

- Medina, J., Hewitt, M., Lehuédé, F., & Péton, O. (2019). "Integrating long-haul and local transportation planning: The Service Network Design and Routing Problem". EURO Journal on Transportation and Logistics, vol. 8, No. 2, pp. 119-145.

- Goel, A., Vidal, T., & Kok, A. L. (2020). "To team up or not–Single versus team driving in European road freight transport". Flexible services and manufacturing journal, DOI: https://doi.org/10.1007/s10696-020-09398-0.

- Heggen, H., Molenbruch, Y., Caris, A., & Braekers, K. (2019). "Intermodal Container Routing: Integrating Long-Haul Routing and Local Drayage Decisions". Sustainability, Vol. 11, No. 6, pp. 1634.

- Dai, L., Stålhane, M., & Utne, I. B. (2015)." Routing and scheduling of maintenance fleet for offshore wind farms". Wind Engineering, Vol. 39,

Sperstad, (2016). "Optimisation of maintenance routing and scheduling for offshore wind farms". European Journal of Operational Research Vol. 256, pp. 76-89.

- Dhahri, Amine, Kamel Zidi and Khaled Ghedira. (2015). "A variable neighborhood search for the vehicle routing problem with time windows and preventive maintenance activities". Electronic Notes in Discrete Mathematics, Vol. 47, pp. 229-236.

- Dhahri, Amine, Anis Mjirda, Kamel Zidi and Khaled Ghedira. (2016). "A VNS-based Heuristic for Solving the Vehicle Routing Problem with Time Windows and Vehicle Preventive Maintenance Constraints." Procedia Computer Science, Vol. 80, pp. 1212-1222.

- Troudi A., Dellagi S., Addouche S. An optimal maintenance policy for transport vehicles in a supply chain under infrastructure/environment constraints. 45th International Conference on Computers & Industrial Engineering (CIE45), Metz, France, 28-30 October 2015.

- Jbili, S., Chelbi, A., Radhoui, M., & Kessentini, M. (2018). "Integrated strategy of vehicle routing and maintenance". Reliability Engineering & System Safety, Vol. 170, pp.202-214.

- Santosa, B., & Lathifah, A. (2015). "A viral system to solve generalized orienteering problem". Procedia Computer Science, Vol. 72, pp.337-344.

- Ropke, Stefan, and David Pisinger. (2006). "A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls." European Journal of Operational Research, Vol. 171, No. 3, pp. 750-775.

No. 1, pp. 15–30.

- Zamorano.E, Stollez.R. (2017). "Brach and Price Approaches for the Multi-period Technician Routing and Scheduling Problem". European Journal of operational Research, Vol. 257, pp. 55-68.

- Rashidnejad, M., Ebrahimnejad, S., & Safari, J. (2018). "A bi-objective model of preventive maintenance planning in distributed systems considering vehicle routing problem". Computers & Industrial Engineering, Vol. 120, pp. 360-381.

- Goyal, S. K., & Gunasekaran, A. (1992). "Determining economic maintenance frequency of a transport fleet". International Journal of Systems Science, Vol. 23, No. 4, pp. 655-659.

- Jia-Yen Huang and Ming-Jong Yao, (2008). "On the coordination of maintenance scheduling for transportation fleets of many branches of a logistic service provider". Computers and Mathematics with Applications, Vol. 56, pp. 1303–1313.

- Bouvard, K., Artus, S., Bérenguer, C. and Cocquempot, V. (2011). "Condition-based dynamic maintenance operations planning and grouping. Application to commercial heavy vehicles". Reliability Engineering and System Safety, Vol. 96, pp. 601–610.

- Eduyn López-Santana, RahaAkhavan-Tabatabaei, Laurence Dieulle, Nacima Labadie and AndrésL. Medaglia, (2016). "On the combined maintenance and routing optimization problem". Reliability Engineering and System Safety Vol. 145, pp. 199–214.

- Chandra Ade Irawan, Djamila Ouelhadj, Dylan Jones, Magnus Stålhane and Iver Bakken

- Konstantakopoulos, G. D., Gayialis, S. P., Kechagias, E. P., Papadopoulos, G. A., & Tatsiopoulos, I. P. (2020). "A Multiobjective Large neighborhood search metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows". Algorithms, Vol. 13, No. 10, pp.243.

- Chen, X., Zhou, Y., Tang, Z., & Luo, Q. (2017). "A hybrid algorithm combining glowworm swarm optimization and complete 2-opt algorithm for spherical travelling salesman problems". Applied Soft Computing, Vol.58, pp.104-114.

- Küçükoğlu, İ., & Öztürk, N. (2015). "An advanced hybrid meta-heuristic algorithm for the vehicle routing problem with backhauls and time windows". Computers & Industrial Engineering, Vol. 86, pp.60-68.

- Ghannadpour, S. F., & Zandiyeh, F. (2020). "A new game-theoretical multi-objective evolutionary approach for cash-in-transit vehicle routing problem with time windows (A Real life Case)". Applied Soft Computing, Vol. 93, pp. 106378.

- Rochat, Y., & Taillard, É. D. (1995). "Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing". Journal of heuristics, Vol. 1, No. 1, pp. 147-167.

- Cook, W., & Rich, J. L. (1999). "A parallel cutting-plane algorithm for the vehicle routing problem with time windows". DOI: https://hdl.handle.net/1911/101910

- Desrochers, M., Desrosiers, J., & Solomon, M. (1992). "A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows". Operations research, Vol. 40, No. 2, pp.342-354.

- Hemmelmayr, Vera C., Jean-François Cordeau, and Teodor Gabriel Crainic. (2012). "An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics." Computers & operations research, Vol. 39, No. 12, pp. 3215-3228.

- Clarke, Geoff, and John W. Wright. (1964). "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points." Operations research, Vol. 12, No. 4, pp. 568-581.

- Pisinger, David, and Stefan Ropke. (2007). "A general heuristic for vehicle routing problems." Computers & operations research, Vol. 34, No. 8, pp.2403-2435.

- Shaw, Paul. "Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems." In International conference on principles and practice of constraint programming, pp. 417-431. Springer, Berlin, Heidelberg, 1998.

- Solomon, M. M. (1987). "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints". Operations research, Vol.35, No.2. pp.254–265.
https://www.sintef.no/projectweb/top/vrptw/solomon-benchmark/

- Chen, B., Qu, R., Bai, R., & Ishibuchi, H. (2016). "A variable neighborhood search algorithm with compound neighborhoods for VRPTW". RIRO Operations Research, Vol. 54, No. 5, pp.1467-1494.

- SINTEF (2015). Best known solution values for Solomon benchmark. http:// www.sintef.no/Projectweb/TOP/VRPTW/Solomonbenchmark/ 100-customers/

- Tan, K. C., Chew, Y. H., & Lee, L. H. (2006). "A hybrid multiobjective evolutionary algorithm for solving vehicle routing problem with time windows". Computational Optimization and Applications, Vol. 34, No. 1, pp.115.

- Kallehauge, B., Larsen, J., & Madsen, O. B. (2006). "Lagrangian duality applied to the vehicle routing problem with time windows". Computers & Operations Research, Vol. 33, No. 5, pp.1464-1487.

- Chiang, W. C., & Russell, R. A. (1997). "A reactive tabu search metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows". INFORMS Journal on computing, Vol. 9, No. 4, pp. 417-430.

- Alvarenga, G. B., Mateus, G. R., & De Tomi, G. (2007). "A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows". Computers & Operations Research, Vol. 34, No. 6, pp.1561-1584.

- Zhang, D., Cai, S., Ye, F., Si, Y. W., & Nguyen, T. T. (2017). "A hybrid algorithm for a vehicle routing problem with realistic constraints". Information Sciences, Vol. 394, pp. 167-182.

- Qi, Y., Hou, Z., Li, H., Huang, J., & Li, X. (2015). "A decomposition based memetic algorithm for multi-objective vehicle routing problem with time windows". Computers & Operations Research, Vol. 62, pp. 61-77.

- Ombuki, B., Ross, B. J., & Hanshar, F. (2006). "Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows". Applied Intelligence, Vol. 24, No. 1, pp. 17-30.

- Thangiah, S. R., Osman, I. H., & Sun, T. (1994). "Hybrid genetic algorithm, simulated annealing and tabu search methods for vehicle routing problems with time windows". Computer Science Department, Slippery Rock University, Technical Report SRU CpSc-TR-94-27, 69.

- Kohl, N., Desrosiers, J., Madsen, O. B., Solomon, M. M., & Soumis, F. (1999). "2-path cuts for the vehicle routing problem with time windows". Transportation Science, Vol. 33, No. 1, pp.101-116.

- Mayerle, S. F., Chiroli, D.M.G., Figueiredo, J.N., Rodrigues, H.F. (2020). "The long-haul full-load vehicle routing and truck driver scheduling problem with intermediate stops: An economic impact evaluation of Brazilian policy". Transportation Research Part A: Plicy and Practice, Vol. 140, pp. 36-51.

- Haftor, D.M., Climent, R.C. (2021). "CO2 reduction through digital transformation in long-haul transportation: institutional entrepreneurship to unlock product service system innovation". Industrial Marketing Management, Vol. 94, pp. 115-127.

- Wolfinger, D., Tricoire, F., Doerner, K.F. (2019). "A metaheuristic for a multimodal long-haul routing problem". EURO Journal on Transportation and Logistics, Vol. 8, No. 4, pp.397-433.

سید فرید قنادپور، درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی حمل و نقل ریلی را در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مسیریابی وسایل نقلیه، شبکه های حمل و نقل، الگوریتم های بهینه سازی دقیق و ابتکاری، مدیریت پروژه و کاربرد بهینه سازی در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها و پروژه‌ها بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه علم و صنعت ایران است.

سحر عنبری، در سال ۱۳۹۷ در دانشگاه علم و صنعت ایران و در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش مدیریت مهندسی مشغول به تحصیل گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان بهینه‌سازی، مسیریابی وسایل نقلیه و مدیریت نگهداری و تعمیرات بوده است.