مسیریابی مناسب وسایط نقلیه همراه با مکان‌یابی هاب و پنجره زمانی به کمک الگوریتم‌های فرا ابتکاری (مورد مطالعه: شرکت دخانیات)

مقاله علمی – پژوهشی

رسول نعمت نیا، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی ،تهران، ایران.
*مریم خادمی، گروه ریاضی‌کاربردی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
کیامرث فتحی، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
سهیلا سردار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: khademi@azad.ac.ir

دریافت: ۱٤۰۳/۱۰/۱۵– پذیرش: ۱٤۰٤/۰۳/۰۱
صفحه ۵۱۸–۵۰۱

چکیده

یکی ازمهم‌ترین مسائل در مسیر یابی و مدیریت لجستیک، طراحی شبکه‌های توزیع است که هزینه‌ها را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و عامل اصلی در حوزه شبکه‌های توزیع،برای کاهش هزینه مسأله مکان‌یابی است. هدف این مسأله برآورده ساختن تقاضاهای مشتریان و حداقل کردن هزینه‌ها، شامل هزینه‌های مسیریابی، ثابت نقلیه، ثابت تسهیل و عملیاتی است. هاب‌ها که به عنوان واسطه‌های توزیع عمل می‌کنند مراکز مربوط به توزیع ونقاط استراتژیک را در شبکه‌های توزیع با تخصیص امکانات در مبدأ و مقصد را به ما نشان می‌دهند با توجه به مسأله، مکان انبارها به عنوان هاب در تعیین مسیر وسایل نقلیه و هزینه مربوط به آن مؤثر است. بنابراین واحدهای تولیدی با مکان‌یابی مناسب برای انبارهای توزیع و نیز مسیریابی وسایل نقلیه، هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهند. با نگاه همزمان به دو مسأله مسیریابی و مکان یابی برای توزیع در نقاط درون شهری و برون شهری می‌توان جواب بهینه‌ای را برای هر دومسأله ارائه داد. هدف این پژوهش ارائه مدل مناسب برای توزیع محصولات با در نظر گرفتن همزمان مسیریابی و مکان یابی انبارها، در جهت کاهش هزینه‌ها و بررسی کاهش اثرات تخریبی زیست محیطی است. همچنین مشتریان دارای محدودیت پنجره زمانی هستند و باید در بازه زمانی خاصی سرویس دهی انجام شود. برای حل مدل‌های پیشنهادی، از روش‌های دقیق و فرا ابتکاری، محدودیت اپسیلون و بهینه سازی انبوه ذرات چند هدفه، استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد روش حل مطرح شده در این مطالعه عملکرد قابل‌قبولی داشته و زمان رسیدن به حل بهینه را در مسیرهای جدید به میزان یک سوم، تعداد مراکز توزیع از ۲۶ به ۱۰ و تعداد وسایل حمل و نقل از ۵۹ به ٤۲ دستگاه کاهش می‌دهد. در نهایت به منظور نزدیک‌کردن پژوهش به شرایط دنیای واقعی، مدل پیشنهادی بر روی داده‌های شرکت دخانیات مورد پیاده سازی و اجراءِ می‌شود. در وضعیت قبل از اجرای مدل، مقدار تابع هدف برابر با ۱۵۵۰۲۲۲/۶۰ به دست آمده است که مدل ارائه شده با استفاده از روش بهینه سازی انبوه ذرات چند هدفه جواب حاصل برابر با ۱۳۳۱٤۰۰/۱۵ است که این مقدار تقریباً ۲۱۸۸۲۲ واحد کاهش هزینه‌ها را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین، حمل و نقل، مسأله مسیریابی وسایط نقلیه، مسأله مکان‌یابی، شبکه هاب

۱–مقدمه

در عصر حاضر مسأله توزیع محصولات با استفاده از حداقل مسیر یکی از مهمترین اهداف تولیدکنندگان برای کاهش هزینه‌ها، کاهش زمان توزیع و پاسخ‌دهی مناسب به درخواست‌های مشتریان به تعداد زیاد است که حل این مسأله در حوزه توزیع منجر به شناسایی مراکز توزیع و سیستم حمل و نقل مناسب با مسیرهای استراتژیک را سبب شده است چالش‌های مسأله مسیریابی در مقاله اصلی توسط(Dantzigs, ۱۹۹۵) به طور گسترده درادبیات مطالعه شده است. در مسأله

کلاسیک مسیریابی وسایل نقلیه، و در اکثر مقالات در این زمینه، فرض می‌شود که یک انبار واحد وجود دارد که مسیرهای وسایل نقلیه از آنجا شروع و پایان می‌یابد، و هر وسیله نقلیه توسط یک راننده در تمام مسیر انجام می‌شود. مسیر را یک مشکل مسیریابی جدید در نظر می‌گیریم، جایی که حرکت وسایل نقلیه از یک انبار شروع و در انبار دیگری به پایان می‌رسد. مشکل مسیریابی راننده و خودرو (Dvrp) به صورت تعداد معینی خودرو و رانندگان و تعدادی ازمشتری‌ها که در آن مستقر هستند، تعریف می‌شود. مشتری‌ها باید توسط یک وسیله نقلیه و یک راننده خدمات دریافت نمایند. وسایل نقلیه حرکت خود را از انبار اصلی پیموده و به انبار مقصد ختم می‌شوند، مسیر حرکت وسیله نقلیه با بار و بدون بار جزء مسیر حمل و نقل است. هنگامی که بیش ازیک راننده دریک وسیله نقلیه وجود دارد، هر یک از آنها می‌توانند وسیله نقلیه را هدایت کنند. مدت زمان مسیر یک راننده، زمان بین خروج و رسیدن به انبار است. علاوه براین، مسیرهای رانندگان نمی‌تواند از یک مدت زمان معین تجاوز کند. رانندگان می‌توانند وسایل نقلیه را فقط در برخی از نقاط مشخص شده به عنوان مکان‌های مبادله تغییر دهند، که تنها مکان‌های مشتری هستند. برای امکان‌پذیر ساختن تعامل بین رانندگان و وسایل نقلیه، مسیرهای آن‌ها باید همگام‌سازی زمانی باشد. هدف طراحی مسیرهای وسایل نقلیه و رانندگان به منظور به حداقل رساندن هزینه کل مسیرهای طی شده توسط رانندگان است. تدارکات شهر با چندین چالش بزرگ روبرو است که از جمله آنها شلوغی و ترافیک بسیار نگران کننده است. یافتن راهی کارآمد و موثر برای حمل ونقل کالا در مناطق شهری به تعریف خود لجستیک شهری تبدیل شده است. (Savelsbergh and Van Woensel, 2016) با این حال، توزیع کارآمد و مؤثر در داخل شهرها نه تنها به کاهش هزینه مربوط می‌شود، بلکه هدف آن کاهش و جلوگیری از ازدحام و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

از این گذشته، تحقیقات در مورد حمل و نقل بار سبز تأثیر ازدحام بر مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای را برجسته می‌کند. (Demir et al, 2011, Speranza, 2018, Li et Rincon-Garcia et al, a., 2018, Xu et al, 2019, ۲۰۲۰) فن و همکاران، (۲۰۲۱). چندین تصمیم مستقیماً بر هزینه‌های توزیع و انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک بافت لجستیک شهری تأثیر می‌گذارد. به غیر از تصمیمات صرفاً توزیع، استفاده از انبارهای مختلف، زمان‌بندی و ترکیب ناوگان تصمیمات اصلی برای بهینه‌سازی هستند. (Koç et al., ۲۰۱۶) تحقیقات و عمل نشان می‌دهد که همه این تصمیمات به یکدیگر وابسته هستند و باید به طور مشترک بهینه شوند. از جمله آنها و مرتبط با مسأله مورد نظر، می‌توان به تصمیم‌گیری مکان و برنامه‌ریزی ظرفیت اشاره کرد فو و همکاران (۲۰۲۰) مسائل وابسته به زمان مرتبط با ترافیک، زمان عبور و مرور و توزیع شهری در مناطق متراکم اشاره کرد تیورث و زنگ (۱۹۹۸) رینکن گارسیا و همکاران (۲۰۲۰) فن و همکاران (۲۰۲۱) مسأله مسیریابی وسیله نقلیه چندانباری تعمیم مستقیم مشکل مسیریابی خودرو Vrp است که تصمیمات مسیریابی را از چندین انبار بررسی می‌کند که به کلاسی از مسائلNp-hard تعلق دارد که رویکردهای دقیق و اکتشافی برای حل مسایل در ابعاد بزرگ است. در مدل ارائه شده دو استراتژی مسیر یابی و مکان یابی مناسب جهت توزیع محصولات با شرایط تحویل و برداشت به صورت هم زمان برای محصولات ارائه شده است.

همچنین با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات چند هدفه مسیرهای مناسب از مراکز توزیع جدید تعیین شده است که منجر به کاهش مسیر کلی و کاهش نیاز به تعداد وسایل نقلیه را موجب شده است با استفاده از مدل پیشنهادی مشکل توزیع از مراکز دور دست و یا یک مرکز حل گردیده است، که کمبود محصولات در مراکز دیگر را نیز نزدیکترین مرکز پوشش داده است. بخش سوم به بررسی تعیین نقاط هاب و مراکز توزیع با توجه به نیاز به تعداد انبار یا مراکز توزیع بهینه در سطح کشور را نشان می‌دهد.

۲- پیشینه تحقیق

در این بخش مسائل Vrpهای وابسته به زمان و دو بلوک سازنده، یعنی Mdvrp و Fsm-Mdvrp را بررسی می‌کند. یک بررسی مختصر از آخرین هنر در این حوزه‌ها را ارائه می‌دهیم. Mdvrp یک تعمیم شناخته شده از Vrp استاندارد است که در آن با بهینه‌سازی مسیرهای وسیله نقلیه برای کاهش هزینه‌های لجستیک در شبکه‌های چند انبار، موقعیت واقعی تری در نظر گرفته می‌شود (Li et al., 2018). هر وسیله نقلیه باید از یک انبار شروع شود و در همان انبار خاتمه یابد و هزینه‌های کل سفر به حداقل برسد. چند روش دقیق در ادبیات موجود است، درحالی که چندین روش اکتشافی برای حل آن پیشنهاد شده است. لاپورت و همکاران (۱۹۸۸) یک تبدیل گراف را برای

حل سه نوع مشکل چند انبار نامتقارن، تحت محدودیت ظرفیت یا حداکثر هزینه پیشنهاد داده است. (Mingozzi.and Baldacci, 2009). یک روش دقیق برای حل کلاس های مختلف VRP، از جمله Mdvrp، توسعه دادند. این الگوریتم بر اساس یک فرمول مجموعه‌ای است که ابتدا رویه ای را برای تولید مسیرها اعمال می‌کند و به دنبال آن سه رویه مرزبندی برای کاهش تعداد متغیرها اعمال می‌کند. (Martinelli and Cortando, 2014) یک الگوریتم دقیق برای Mdvrp تحت محدودیت های ظرفیت و طول مسیر پیشنهاد کردند که از یک جریان وسیله نقلیه و یک مجموعه فرمول استفاده می‌کند. چندین کلاس از نابرابری‌های معتبر برای تقویت هر دو فرمول‌بندی، از جمله موارد جدید برای منع چرخه‌ها، اضافه شده است. Renaud و همکاران (۱۹۹٦) الگوریتمی مبتنی بر جستجوی تابو برای حل Mdvrp ارائه کردند. بعدها یک الگوریتم ژنتیک ساده و ترکیبی توسط هو وهمکاران (۲۰۰۸) توسعه داده شد اولی راه حل‌های اولیه را به‌طور تصادفی تولید می‌کند، درحالی که دومی شامل روش پس انداز است. یو و همکاران (۲۰۱۱) یک بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها به موازات را برای Mdvrp پیشنهاد کردند زمانی که یک انبار مرکزی مجازی به مشکل اضافه می‌شود، اعمال می‌گردد. برای حل Mdvrp دوره ای، ویدال و همکاران (۲۰۱۲) یک جستجوی تکاملی مبتنی برجمعیت، یک فراابتکاری مبتنی بر همسایگی و یک مدیریت پیشرفته تنوع جمعیت را ترکیب کرد. برای بررسی ادبیات گسترده درمورد Mdvrp تا سال ۲۰۱۵، به (Montoya and Torres,2015) و همکاران مراجعه کنید. پس از آن، اولیویرا و همکاران (۲۰۱٦) یک رویکرد تجزیه را پیشنهاد کرد که درآن هر زیرمسأله یک Vrp انبار واحد است. نویسندگان یک الگوریتم تکاملی همکاری را برای حل آن معرفی کردند. بزرا و همکاران (۲۰۱۸) یک فراابتکاری جستجوی همسایگی متغیر تصادفی شده را برای حل مشکل ایجاد کردند. اخیراً سادیکوف و همکاران (۲۰۲۱) کوتاه ترین مشکل مسیر را با محدودیت‌های منابع درنظر گرفت که هنگام حل مشکلات فرعی قیمت‌گذاری در الگوریتم‌های شاخه برش و قیمت برای Vrp و بسیاری از انواع آن ایجاد می‌شود. آنها نوعی از الگوریتم تصحیح بر چسب دو طرفه را پیشنهاد کردند و آن را روی چندین مجموعه از نمونه‌ها، از جمله Mdvrp با محدودیت‌های فاصله، آزمایش کردند. در نهایت ساداتی و همکاران (۲۰۲۱) یک فراابتکاری هیبریدی انعطاف پذیر بر اساس جستجوی تابو متغیر برای سه نوع Mdvrp ارائه کردند. با به کارگیری این رویکرد، نویسندگان چندین راه حل شناخته شده جدید را به دست آوردند.

Fsm-Vrp توسط گلدن و همکاران (۱۹۸٤) معرفی شد و یک کلاس تثبیت شده از مشکلات مسیریابی است که ترکیبی از انتساب پیچیده و تصمیمات مسیریابی برای به حداقل رساندن هزینه‌های ثابت وسیله نقلیه و مسیریابی متغیر است. این مشکل با VRP ناهمگن متفاوت است زیرا ناوگان نامحدود در نظر گرفته می‌شود .(Koç et al, 2016) صالحی و ساری (۱۹۹۷) با این استدلال که معمولاً ناوگانی با ظرفیت‌های مختلف در دسترس است، وسایل نقلیه ناهمگن را در زمینه انبارهای چندگانه گنجانده است. آنها یک اکتشافی ترکیبی چند سطحی را بر اساس یکپارچه سازی و اصلاح اکتشافی کار آمد طراحی شده برای یک انبار Fsm-Vrp پیشنهاد می‌کنند. صالحی و همکاران (۲۰۱٤) نیز یک فرمول برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را برای مسأله با مجموعه جدیدی از نابرابری‌های معتبر و یک فراابتکاری جستجوی همسایگی متغیر پیشنهاد کردند. ویدال و همکاران (۲۰۱٤) یک چارچوب الگوریتمی یکپارچه برای مقابله با کلاس‌های مختلف Mdvrp با و بدون ناوگان مخلوط و با اندازه ناوگان نامحدود، با استفاده از یک جستجوی محلی تکرار شونده چند شروع و یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی ایجاد کرد. رحیمی واحد و همکاران (۲۰۱۵) سه نوع Fsm-Vrp از جمله مورد Mdvrp را مطالعه کرد و یک اکتشافی انعطاف‌پذیر و مدولار را برای حل آنها پیشنهاد کرد. کوچ و همکاران (۲۰۱٦) پنجره‌های زمانی را به Fsmlrp اضافه کردند که در آن چندین وسیله نقلیه با ظرفیت‌ها و هزینه‌های مختلف برای خدمات‌رسانی به مشتریان از مجموعه‌ای از انبارهای بالقوه که در دسترس هستند، انجام می‌شد. کوچ و همکاران (۲۰۱٦) تأثیر مکان انبار، اندازه و ترکیب ناوگان و تصمیمات مسیریابی بر مصرف سوخت، انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های عملیاتی را با حل این مشکل با یک فرا ابتکاری جستجوی همسایگی بزرگ تطبیقی مورد مطالعه قرار داده است. برای حل یک نوع واقعی و جدید از Mdvrp با ناوگان ناهمگن، دوره‌های متعدد و سطوح مختلف محدودیت‌های ناسازگاری، مانچینی (۲۰۱٦) یک فراابتکاری جستجوی همسایگی بزرگ تطبیقی را پیشنهاد کرد.

پنج فرمول‌بندی مختلف توسط لاهیانی و همکاران (۲۰۱۸) موردبحث قرار گرفت. برای Fsm-Mdvrp، همراه با مجموعه‌ای از نابرابری‌های معتبر جدید برای هر مدل.

نویسندگان الگوریتم های شاخه و کران و شاخه و برش را برای هر فرمول پیاده سازی می‌کنند. یک فرمول جریان دو کالایی برای Mdvrp با ناوگان ناهمگن و محدودیت‌های حداکثر طول مسیر توسط راموس و همکاران ارائه شد. (۲۰۲۰). نویسندگان آن را با سه فرمول بندی دیگر مقایسه می‌کنند. فرمول پیشنهادی آرامش برنامه‌ریزی خطی (LP) محکم‌تری نسبت به مواردی که قبلاً استفاده شده بود، فراهم‌می‌کند. فرض رایج در اکثر مطالعات مسیریابی اندازه ناوگان و ترکیبی از وسایل نقلیه، زمان ثابت سفر است، در حالی که، در واقعیت، زمان و هزینه سفر با ترافیک متفاوت است. میانگین زمان سفر (یا سرعت) را می‌توان به عنوان تابعی از زمان روز تعریف کرد. (Dashkin and Malandrakin,1992) وابسته به زمان (Td-vrp) را با تجزیه و تحلیل تأثیر تراکم ترافیک بر سرعت خودرو در دوره های مختلف معرفی و مدل سازی کردند. ایچووا و همکاران (۲۰۰۳) ویژگی FIFO را در Td-vrp ، با استفاده از تابعی که نشان دهنده تغییر پذیری زمان سفر است، مورد بحث قرار داد. اکثر تحقیقات در مورد Mdvrp بر تابع وابسته به زمان پیشنهاد شده توسط ایچوا و همکاران است (۲۰۰۳) حقانی و یونگ (۲۰۰۵) یک فرمول برای Vrp پویا با زمان سفر وابسته به زمان ایجاد کردند و یک الگوریتم ژنتیک برای حل آن پیشنهاد دادند. یک سیستم کلونی چند مورچه توسط Donati و همکاران طراحی شده است (۲۰۰۸).

برای حل Td-vrp، به حداقل رساندن کل زمان سفر با گسسته کردن فضا–زمان(Kuo, TD-VRP,2010) را با هدف کاهش مصرف سوخت مورد بررسی قرار داد و یک بازپخت شبیه سازی شده برای حل آن پیشنهاد کرد. تأثیر در نظر نگرفتن ازدحام در تصمیم‌گیری‌های مسیریابی زمانی که سرعت در طول تحویل متفاوت است توسط Kok و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت (۲۰۱۲). نویسندگان همچنین چندین استراتژی را برای جلوگیری از ازدحام ترافیک پیشنهاد کردند. بررسی جامع مدل‌سازی زمان سفر، الگوریتم‌های راه‌حل، و کاربردهای Td-vrp توسط Gendreau و همکاران ارائه شده است. (۲۰۱۵). توسعه Tdvrp توسط Setak و همکاران مدل سازی شده است. (۲۰۱۵) با استفاده از یک مولتی گراف که خاصیت Fifo را تضمین می‌کند. نویسندگان همچنین یک الگوریتم جستجوی تابو برای حل آن ارائه کردند (Eglese and Qian ۲۰۱۶) بهینه‌سازی انتشار سوخت Td-vrp را به عنوان یک مسأله پارتیشن‌بندی مجموعه‌ای با استفاده از الگوریتم جستجوی تابو برای حل آن مدل کردند.

با در نظر گرفتن Td-vrp با انعطاف پذیری مسیر، هوانگ و همکاران. (۲۰۱۷) مدل را تحت شرایط ترافیکی قطعی و تصادفی فرموله کرد. پس از آن، مانچینی (۲۰۱۷) یک اکتشافی سازنده تصادفی چند شروع را برای حل Td-vrp با زمان های سرویس در گره ها و محدودیت‌های حداکثر مدت مسیر پیشنهاد کرد. اخیراً، جبالله و همکاران Td-vrp (۲۰۲۱) را با انعطاف پذیری کامل مسیر با ترکیب یک مسأله کوتاه ترین مسیر وابسته به زمان برای تعیین مسیر طی شده توسط وسیله نقلیه بین دو بازدید مشتری به مسیریابی وابسته به زمان، مدل‌سازی و حل کردند.

مطالعات بر روی انواع Td-vrp کمیاب است و عمدتاً محدود به موارد دارای پنجره زمانی است به عنوان مثال، Balseir و همکاران (۲۰۱۱) Figliozzi ۲۰۱۱) Taş و همکاران(۲۰۱٤) Heni و همکاران (۲۰۱۹) Rincon-Garcia و همکاران (۲۰۲۰) لیو و همکاران (۲۰۲۰) خو و همکاران (۲۰۱۹) مدلی برای Vrp سبز وابسته به زمان با پنجره‌های زمانی، با در نظر گرفتن تاثیر سرعت و بار خودرو بر مصرف سوخت، پیشنهاد کرد. آنها همچنین یک روش ترکیبی ایجاد کردند که یک الگوریتم ژنتیک مرتب سازی غیر مسلط را با استراتژی‌های تطبیقی و حریصانه برای حل آن ترکیب می‌کند. با در نظر گرفتن سرعت تصادفی خودرو، (Soysal and Cimen2019) همچنین به Td-vrp سبز پرداختند و آن را با یک اکتشافی مبتنی بر برنامه نویسی پویا حل کردند. در مسأله مسیریابی و برنامه ریزی وسایل نقلیه سبز.(Xiao and Konak,2016) وسایل نقلیه ناهمگن و تراکم ترافیک متغیر با زمان در نظر گرفته شده است. تنها یک مقاله Td-lrp را مطالعه می‌کند. اشمیت و همکاران (۲۰۱۹) که در آن ناوگان محدودی از وسایل نقلیه همگن در نظر گرفته شده است و باید یک انبار واحد انتخاب شود. لی و همکاران (۲۰۱۸) مزایای منابع انبار مشترک را ارزیابی کردند. اخیراً فن و همکاران (۲۰۲۱) یک مدل ریاضی و یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای حل Mdvrp تحت شبکه جاده‌ای

با زمان متغیر پیشنهاد کرده است. هدف بهینه‌سازی کل هزینه‌ها است که شامل هزینه‌های ثابت وسایل نقلیه، (هزینه‌های جریمه) برای تحویل خارج از ساعت، (هزینه‌های سوخت) و اثر سرعت خودرو نیز است که تحت‌تاثیر بار و شیب جاده قرار می‌گیرد. این مقاله اولین مقاله‌ای است که به Td-vrp با یک ناوگان ناهمگن از وسایل نقلیه و انبارهای متعدد می‌پردازد. علی‌رغم اهمیت عملی این مشکل برای شرکت‌های توزیع، طبق نظر مقامات شهری و سیاست گذاران، شکاف آشکاری در ادبیات وجود دارد تا بهینه‌سازی ناوگان و انتخاب انبار را در یک زمینه مسیریابی وابسته به زمان ترکیب نماید.

جدول ۱. مرور و ادبیات پیشینه تحقیق

یافته‌های تحقیق	نوع الگوریتم	پنجره زمانی	مکان یابی	مسیریابی	نویسندگان
با استفاده ازجستجوی تابو کشف چندین مسیر جدید در حمل و نقل را پیاده‌سازی کردند	الگوریتم هیبریدی	✓	✓	✓	ساداتی و همکاران (۲۰۲۱)
حل مسأله با مجموعه‌های جدید اضافه شده برای مسیر و ارائه مناسب ترین مسیر با فاصله زمانی	برنامه ریزی خطی عدد صحیح	✓	–	✓	صالحی و همکاران (۲۰۱٤)
کوتاه ترین مشکل مسیر با محدودیت منابع و حل مشکل قیمت گذاری با روش شاخه و کران	الگوریتم شاخه و برش	✓	✓	✓	سادیکوف و همکاران (۲۰۲۱)
تاثیر سرعت خودرو بر افزایش سوخت	الگوریتم ژنتیک مرتب سازی	✓	✓	✓	خو و همکاران (۲۰۱۹)
با استفاده از الگوریتم جستجو کاهش هزینه کل سفر را بررسی و پیاده سازی مسیر مناسب	الگوریتم جستجوی ممنوعه	✓	✓	✓	(Li.etal.2016)
حل مسأله برنامه‌ریزی حمل و نقل سبز با استفاده از یک استراتژی تطبیقی	الگوریتم ژنتیک استراتژی تطبیقی	–	✓	✓	(Soysal and Cimen,2019)
برنامه نویسی پویا در مسأله مسیریابی و برنامه‌ریزی وسایل نقلیه سبز کاهش هزینه و آلودگی بر مبنای مسافت طی شده	الگوریتم بهینه سازی تطبیقی	✓	✓	✓	(Xiao and Konak,2016)
با استفاده از الگوریتم به مرزبندی در کاهش تعداد متغیرهای مسیر	الگوریتم دقیق برای محدودت ظرفیت	✓	–	✓	and. (Contardo Martinelli.2014)

۳- روش انجام تحقیق

با توجه به اینکه اهداف این پژوهش در راستای ارائه مدلی برای مسأله مسیریابی با مکان‌یابی هاب و در نظر گرفتن پنجره زمانی در شبکه‌های توزیع است، ابتدا چارچوب مفهومی مسأله مورد بررسی، تدوین می‌گردد. پس از تبیین شرایط مدل تدوین شده و براساس آن مسأله به صورت دقیق و با جزئیات کامل تعریف می‌گردد. در این پژوهش محصولات ازنقطه مبداء در مراکز بارگیری شده و از آنجا عمل توزیع به مقاصد انجام می‌شود. اما با توجه به تعداد مشتریان و فاصله مرکز تولید با

مشتریان، (کارخانجات تولیدی) امکان حمل مستقیم از تولید کننده به مشتری وجود ندارد و برای کاهش هزینه حمل، ابتدا محصولات به مراکز توزیع (هاب‌ها) در حجم بالا ارسال و از آنجا به محل مشتری حمل می‌شود. میزان تقاضای مشتریان دارای عدم قطعیت از جنس فازی است. محدودیت‌ها نیز شامل محدودیت‌های بقای جریان، محدودیت‌های بقای بار در وسایط نقلیه محدودیت‌های ظرفیت، محدودیت اجبار به حداقل یک بار ویزیت هر مشتری است. با توجه به ابعاد مسأله برای انجام تحقیق، از روش اسنادی و مطالعات کتابخانه‌ای و مراجعه به منابع در دسترس در خصوص موضوعات مرتبط با موضوع پژوهش استفاده شده است که مرحله‌ای از آن در این پژوهش منعکس شده است. همچنین استفاده از نرم افزارهای محاسباتی و برنامه نویسی در تائید مدل طراحی شده ضروری خواهد بود. همچنین روش جمع آوری داده‌ای به منظور حل مدل بر اساس داده‌های کتابخانه‌ای و همچنین داده‌های واقعی از شرکت دخانیات است. خروجی مدل پیشنهادی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه است. این مدل از دو جنبه دارای پیچیدگی است؛ اول اینکه با توجه به ادبیات موضوع و مدل‌های ارایه شده درپژوهش‌های قبلی این مدل یک مدل برنامه ریزی ریاضی پیچیده با ابعاد بزرگ است که حل آن با استفاده از الگوریتم های معمول ودقیق دارای پیچیدگی زمانی بالایی است. دوم اینکه باتوجه به ابعاد اقتصادی و زیست محیطی، مدل دارای توابع هدف ناسازگار است. از این رو در حل این مدل با دو چالش روش حل مناسب برای یک مسأله پیچیده بزرگ و روش مواجهه با توابع هدف ناسازگار روبه رو هستیم. به صورت کلی در ادبیات پژوهش روش حل مسایل در دو دسته روش‌های حل دقیق، روش‌های حل غیر دقیق (روش‌های ابتکاری و روش‌های فراابتکاری) طبقه‌بندی می‌شوند. در مواجهه با توابع هدف چندگانه و ناسازگار نیز به صورت معمول از روش‌های مختلف بهینه‌سازی چند هدفه استفاده می‌شود. در این پژوهش باتوجه به شرایط ویژه مدل تلاش شده است یک روش حل دقیق مناسب برای مسأله مورد بررسی توسعه یابد. همچنین بسته به شرایط مدل طراحی شده و محدودیت‌ها از روش‌هایی که در دسته روش‌های حل ابتکاری یا فراابتکاری قرار می‌گیرند، نیز استفاده شده است. جامعه آماری پژوهش مورد نظر مجموعه انبارهای پخش و فروش، مراکز تولیدی، وسایط نقلیه در اختیار است. در این تحقیق کلیه هاب‌های تعریف شده به عنوان جامعه آماری پژوهش در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه کلیه شهر استان‌ها و وسیله نقلیه مورد نظر جهت حرکت در مسیرهای مواصلاتی برای تحویل محصولات تولیدی به صورت کلی و یک جا مورد بررسی قرار گرفته شده است که از جامعه این پژوهش ۲ هاب با انبار و ظرفیت مورد نظر و مسیرهای آن به عنوان نمونه آماری پژوهش مد نظر است.

جدول ۲. نمونه محصولات کار شده بر مبنای مکان یابی و مسیریابی

مقالات	کاربردها	کشور/ناحیه	امکانات	مشتری
واتسون– گاندی و دوهرن (۱۹۷۳)	توزیع نوشابه و غذا	انگلستان	٤۰	۳۰۰
بدنر و استروهمیر (۱۹۷۹)	توزیع کالاهای مشتریان	استرالیا	۳	٥۰
ار و پیرسکالا (۱۹۷۹)	مکان یابی بانک خون	ایالات متحده	۳	۱۱۷
ژاکوبسن و مادسن(۱۹۸۰)	توزیع روزنامه	دانمارک	٤۲	٤٥۱۰
نامبیر و همکاران (۱۹۸۹)	مکان یابی دستگاه لاستیک سازی	مالزی	۱٥	۳۰۰
پرل و داسکین (۱۹۸٤ و ۱۹۸٥)	توزیع کالاها	ایالات متحده	٤	۳۱۸
لابه و لاپرته (۱۹۸٦)	مکان‌یابی جعبه‌های پست	بلژیک	–	–
نامبیر و همکاران (۱۹۸۹)	مکانیابی دستگاه لاستیک سازی	مالزی	۱۰	٤۷
سمت و تایلارد (۱۹۹۳)	توزیع لوبیا	سویس	۹	۹۰

٤- مفروضات اصلی تحقیق

-در نظر گرفتن مکان‌یابی و مسیریابی هم زمان شبکه هاب.

-در نظر گرفتن یک شبکه هاب با در نظر گرفتن مسایل زیست محیطی.

-گره‌های غیر هاب دقیقاً به یک هاب تخصیص داده شده است.

-ارتباط هاب‌ها کامل است.
-در نظر گرفتن هزینه برای تأسیس هاب‌ها و مسیرهای شبکه

مجموعه اندیس‌ها

- i: مجموعه مکان‌های بالقوه برای هاب شدن
- j: مجموعه کل گره‌های شبکه
- l: نوبت ملاقات گره‌های موجود در شبکه

پارامترها

C_{IK}: هزینه ثابت احداث هاب k در نقطه i
q_j: میزان تقاضای گره j
Cap_i : ظرفیت هاب i
C :ظرفیت وسیله نقلیه
f: میزان سوخت مصرفی به ازای واحد کیلومتر جابجایی با وسیله نقلیه مستقر در هاب i برای واحد بار
f_{i0}: میزان سوخت مصرفی در واحد فاصله بدون بار با وسیله نقلیه مستقر در هاب i
d_{jk}: مسافت بین دو گره‌ی j و k
f_1 : میزان اضافی سوخت مصرفی در واحد فاصله برای واحد بار
LB_j: حد پایین پنجره زمانی سخت مشتری j ام
UB_j: حد بالای پنجره زمانی سخت مشتری j ام

متغیرهای تصمیم

y_{ik}: در صورتی که گره k به عنوان هاب i انتخاب شود ۱ خواهد بود و در غیر این صورت صفر است.
x_{ij}: در صورتی که گره j برای تأمین تقاضا به هاب i تخصیص داده شود ۱ و در غیر این صورت صفر است.
v_{ijl}: در صورتی که گره j را که به هاب i تخصیص داده شده بود در نوبت l ام ملاقات شود ۱ و در غیر این صورت صفر است.
u_{ijkl}: در صورتی که وسیله نقلیه هاب i ام، از گره j به سمت گره k حرکت کند و آن را در نوبت l ام بازدید کند ۱ و در غیر این صورت صفر است.
S_{ij}: زمان شروع سرویس مشتری jام تخصیص داده شده به هاب i
I_{ijk}: میزان موجودی وسیله نقلیه مربوط به هاب i در حرکت از گره j به k

مدل ریاضی پیشنهادی

$$\text{Minimize} z_1 = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l (f_{i0} + f_i' I_{ijl}) d_{jk} u_{ijkl} x_{ij}$$

$$\text{Minimize } z_2 = \sum_{i=1}^{n} c_{ik} y_{ik} + \sum_{i=1}^{n} y_{ik} + \frac{(\sum_{i=1}^{n} y_{ik}) \times (\sum_{i=1}^{n} y_{ik} - 1)}{2} \quad (1)$$

$$x_{ij} \le y_{ik} \qquad \forall i,j,k \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 - y_{jk} \qquad \forall j,k \quad (3)$$

$$\sum_{j \ne i} x_{ij} \times q_j \le cap_i \times y_{ik} \qquad \forall i,k \quad (4)$$

$$\sum_l v_{ijl} = x_{ij} \qquad \forall i,j,l \quad (5)$$

$$\sum_j v_{ijl} \le 1 \qquad \forall i,l \quad (6)$$

$$del_j = q_j \times x_{ij} \qquad \forall j \quad (7)$$

$$I_{ijk} = \sum_i \sum_j \sum_k (I_{ijk} \times u_{kjl} - q_k) \qquad \forall l \quad (8)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \sum_{k=1}^{n} \sum_{l=1}^{L} q_j u_{ijkl} \le C \quad (9)$$

$$; , i = 1,2, \dots, n;\ j = 1,2, \dots, KS_{ij} \ge LB_j \quad (10)$$

$$; , i = 1,2, \dots, n;\ j = 1,2, \dots, KS_{ij} \le UB_j \quad (11)$$

$$; k = 1,2, \dots, n \sum_{j=1}^{n} u_{ij} y_{ik} \le 1 ;\ i = 1,2, \dots, n \quad (12)$$

تابع هدف این مدل پیشنهادی، از سه جزء تشکیل شده است که جزء اول تابع هدف به کاهش مصرف سوخت می‌پردازد که می‌تواند در راستای کمینه‌کردن اثرات زیست‌محیطی گام

بردارد. جزء دوم به کمینه کردن هزینه ثابت تأسیس هاب‌ها و جزء سوم و کمینه کردن تعداد تردد‌ها در شبکه هاب می‌پردازد. محدودیتهای ۲ تا ٤ مربوط به تشکیل هاب و تخصیص سایر گره‌ها به آنها است.

محدودیت (۲) بیانگر آن است که سایر گره‌ها مانند j تنها زمانی می‌توانند به گره i تخصیص یابند که گره‌ی i به عنوان هاب انتخاب شده باشد.

محدودیت (۳) بیانگر آن است که گره k در صورتی که به عنوان هابi انتخاب نشده باشد ($y_{ik}=0$) باشد در این صورت حتماً می‌بایستی به یک هاب متصل شود.

محدودیت (٤) بیان می‌کند میزان تقاضای گره‌هایی که به هاب i تخصیص داده می‌شود می‌بایستی از ظرفیت هاب کمتر باشد.

محدودیت‌های ۵ تا ٦ مربوط به محدودیت‌های مربوط به تعیین مسیر است. محدودیت (۵) بیان می‌کند که تنها در صورتی گره j توسط وسیله نقلیه مربوط به هاب i می‌تواند ملاقات شود که گره j به هاب i تخصیص پیدا کرده باشد و در صورتی که گره j به هاب i تخصیص داده شده باشد حتما می‌بایست در یک نوبت ملاقات شود.

محدودیت (٦) بیان می‌کند هر نوبت ملاقات برای هر گره مربوط به حداکثر یک گره می‌تواند باشد، به عبارت دیگر نمی‌توان دو گره را به طور همزمان ملاقات کرد.

محدودیت (۷) بیان می‌کند که میزان تحویل کالا به گره j برابر است با میزان تقاضای گره j از کالا.

محدودیت (۸) بیان می‌کند که میزان موجودی کالا در وسیله نقلیه مربوط به هاب i پس از ملاقات گره j برابر است با موجودی وسیله ی نقلیه پس از ملاقات گره k که گره k درست قبل از گره j ملاقات شده است منهای میزان کالای تحویل داده شده به گره j.

محدودیت (۹) مربوط به حداکثر ظرفیت وسایل نقلیه است.

محدودیت (۱۰) تا (۱۱) مربوط به اعمال محدودیت پنجره زمانی و محاسبه زمان انتظار در گره مشتری و انتخاب متناسب با زمان ترک گره است. همچنین محدودیت (۱۲) بیانگر آن هستند که مبدأ و مقصد تمامی وسایل نقلیه، هاب مربوطه می‌باشد.

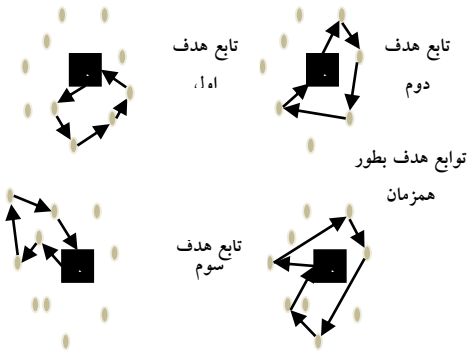
روش حل پیشنهادی

با توجه به اینکه مسأله مورد بررسی NP-Hard است با تغییر تعداد محدودیت‌ها زمان حل مسأله به صورت نمایی رشد می‌کند. تمام دلایل بالا و چند هدفه بودن مسأله مانع از استفاده ثمربخش و کارا از نرم افزار حل دقیق مانند گمز در ابعاد بالا می‌شود. بر خلاف روش‌های دقیق، روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری معمولاً دارای پنجره زمانی با درجه چند جمله‌ای هستند و همین امر امکان استفاده از آنها را برای مسائل با ابعاد بزرگ مطلوب می‌سازد. برای حل مدل های پیشنهادی به صورت دقیق از روش محدودیت اپسیلون استفاده می‌شود و به منظور حل در ابعاد متوسط و بزرگ از الگوریتم‌های فرا ابتکاری انبوه ذرات چند هدفه استفاده می‌شود. در ادامه به آشنایی با مسائل بهینه‌سازی چند هدفه پرداخته شده است و مراحل الگوریتم‌های پیشنهادی به صورت تفصیلی ارایه می‌شوند.

بهینه‌سازی چند معیاره

در این مقاله، به علت وجود تضاد بین توابع هدف درنظرگرفته شده، استفاده از رویکرد بهینه‌سازی چند معیاره برای حل مسأله مورد نظر از روش‌های بهینه‌سازی تک معیاره استفاده شده است. در الگوریتم های تک هدفه فقط یک تابع هدف بهینه‌سازی می‌شود ولی در الگوریتم‌های چندهدفه بطور همزمان چند تابع هدف بهینه‌سازی می‌شوند. تفاوت اساسی بین مسائل بهینه سازی چند معیاره وتک معیاره در وجود تابع‌های هدف گوناگون ومتضاد در مسائل چند معیاره است.

به طور مثال یک مسأله نمونه برای مدل پیشنهادی ارائه شده توسط الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات برای هر یک از توابع هدف حل شد و سپس همان مسأله توسط الگوریتم بهینه سازی مدل‌های چند هدفه حل شد که نتایج به دست آمده است.



شکل ۱. حل هر یک از توابع هدف بطور جداگانه و همزمان (نوروزی، ۱۳۹۴)

بنابراین در ادامه این بخش، توضیحاتی در مورد اصول ومبانی بهینه‌سازی چند معیاره ارائه خواهد شد وجود چنین توابع هدفی، دست یابی به جواب (جواب‌های) بهینه را از طریق بکارگیری الگوریتم‌های متداول مسایل بهینه سازی تک معیاره غیر ممکن می‌سازد. برای آشنایی بیشتر با ماهیت مسایل بهینه سازی چند معیاره، تعریف‌های کلیدی زیر ارائه می‌گردند.

در تمامی تعریف‌ها، مدل کمینه سازی زیر با m متغیر تصمیم‌گیری و n تابع $(n\geq 2)$ در نظر گرفته شده است که در رابطه زیر نشان داده شده است (نوروزی، ۱۳۸۹).

$$Min\ F(x) = (f1(x), f2(x), \ldots, fn(x))$$
$$S.t:$$
$$C(x) \leq 0 \qquad (۱۳)$$

به منظور معرفی الگوریتم‌های پیشنهادی ابتدا تعاریف زیر ارائه می‌گردد. در مسایل بهینه سازی چندمعیاره گوییم بردار y بر بردار z غلبه می‌نماید هرگاه دوشرط زیر برقرار باشد.

بنابراین هدف اصلی دراین گونه مسایل، پیدا کردن مجموعه ای از نقاط است که بر نقاط دیگرغالب باشند. برای درک بیشتر موضوع دو تعریف زیر بیان می‌گردند.

نقاط بهینه موضعی

برداری مانند y به صورت موضعی بهینه درنظرگرفته می‌شود هرگاه به ازای $\varphi>0$ نتوان بردار دیگری مانند y_1 پیدا نمود به طوری که این بردار بتواند بر بردار y درگره هایی به مرکز y وشعاع φ غلبه کند،

در این حالت بردار y رابه صورت موضعی جواب غیرمغلوب می‌نامند. فرم کلی مسأله بهینه سازی چندهدفه و فرم محدودیت اپسیلون به صورت معادلات است.

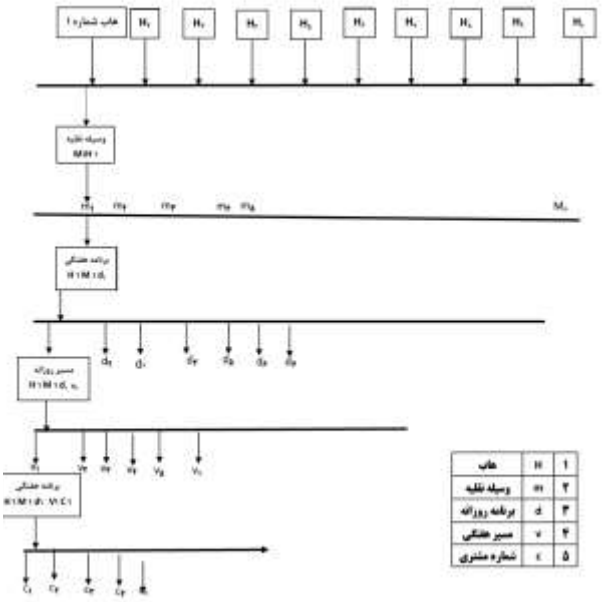
$$fi(y) \leq fi(z) \quad \forall i \in \{1, 2, \ldots, n\} \qquad (۱۴)$$

$$fi(y) < fi(z) \quad \exists i \in \{1, 2, \ldots, n\} \qquad (۱۵)$$

$$\text{Min } (f_1(x), f_2(x), \ldots, f_p(x)) \quad \text{s.t.} \quad x \in S \qquad (۱۶)$$

$$\begin{aligned} &\text{Min } f_1(x) \\ &\text{s.t.} \\ &f_2(x) \leq \varepsilon_2 \\ &f_3(x) \leq \varepsilon_3 \\ &\ldots \\ &f_p(x) \leq \varepsilon_p \\ &x \in S \end{aligned} \qquad (۱۷)$$

این روش می‌تواند شکل مناسبی از کل مجموعه بهینه پارتو را فراهم آورد.



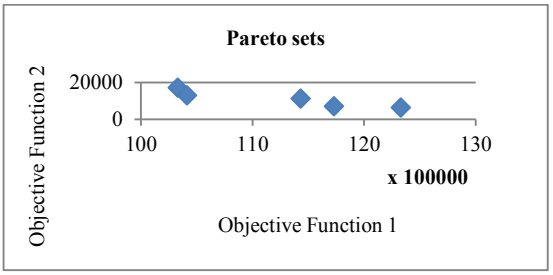
شکل ۲. شماتیک پژوهش

یافته‌های تحقیق

ابتدا مختصات نمونه مسائل حل شده و مقادیر پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی تنظیم می‌گردد، سپس نتایج بررسی صحت و اعتبار مدل برای ابعاد کوچک در نرم‌افزار گمز ۲٤,۱,۲ حل شده و سپس عملکرد الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی بر اساس معیارهای مطرح شده محاسبه و مقایسه می‌گردد. در این بخش مدل ارائه شده با روش دقیق حل شده و اعتبار سنجی خواهد شد. برای دسترسی به این مهم مسایل در ابعاد کوچک به وسیله روش محدودیت اپسیلون حل می‌شوند. در این مقاله نتایج مدل برای داده‌های متفاوتی آورده شده است. که دارای سه مقیاس کوچک (تا ۱۷ گره)، متوسط (۱۹ تا ٤٤ گره)، بزرگ (۷۰ تا ۱٤٦ گره) آورده شده است. این داده‌ها با استفاده از رویه‌ای که ارنست و کریشنا مورتی بیان کرده‌اند از داده ۲۰۰ تایی نتیجه می‌شود. این داده از اینترنت قابل برداشت و به مختصات گره‌هایی گفته شده است که با استفاده از این مختصات ماتریس فاصله بین گره‌ها محاسبه شده است. به منظور مقایسه عملکرد نسبی الگوریتم‌های چندهدفه با جبهه بهینه، از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است که در جدول زیر برای مسایل با ابعاد مختلف آورده شده است. با توجه به اینکه مسأله دارای دو هدف است؛ تضاد دو هدف به وضوح در جدول نشان داده شده است که حاکی از اعتبار مدل دو هدفه است.

جدول ۳. مسایل با ابعاد دو هدف

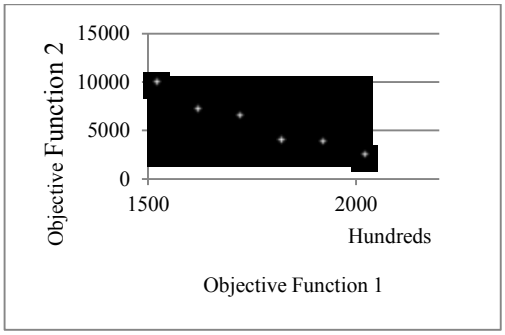
ردیف	مقدار اپسیلون	هدف ۱	هدف ۲
۱	۰	۱۰۳۳۰۰۰۰	۱۷۳٤٥
۲	۸۳۰۰۰	۱۰٤۱۳۰۰۰	۱۳۱۹۰
۳	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱٤۳۰۰۰۰	۱۱۳٦۰
٤	۱٤۰۰۰۰۰	۱۱۷۳۰۰۰۰	۷۲۷۰
٥	۲۰۰۰۰۰۰	۱۲۳۳۰۰۰۰	٦٤٦٦



شکل۳. جواب‌های پارتو به دست آمده از روش محدودیت اپسیلون

جدول٤. مقایسه تابع هدف اول و دوم مدل پیشنهادی اول در مسایل با ابعاد مختلف

شماره مسأله	هدف۱	هدف ۲
۱	۱۲۳۰۰۰۰۰	٦۸٦۱
۲	۱۳,۲۱۹,۰۰۰	۷۹٤۰
۳	۱٤,۸٥۰,۰۰۰	۸۰۱۰
٤	۱٥,۱۰۳,۰۰۰	۱۰٥۲۱
٥	۲۲,۰۱٤,۰۰۰	۱۳٦۱۰
٦	۲۳,۹۹۰,۰۰۰	۱۸٥۰
۷	۳٥,٦۱۰,۰۰۰	۱۹۸۰



شکل٤. جواب‌های پارتو به دست آمده از روش محدودیت اپسیلون برای مسأله نمونه ۳

شکل ٤ بصورت شماتیک جواب‌های بهینه پارتو به دست آمده از روش محدودیت اپسیلون را برای مسأله نمونه ٤ نشان می‌دهد. نتایج مختلف برای سناریوهای متفاوت و همچنین میزان زمان صرف شده توسط نرم افزار برای حل هر یک از سناریوها برای نرم افزارهای مختلف ارایه شده است که میزان شکاف در آنها از فرمول زیر به‌دست آمده است.

$$GAP = \frac{MOPSO - GAMS}{GAMS} \times 100$$

مقدار تابع هدف به‌دست آمده توسط روش فرا ابتکاری پیشنهادی و همچنین مقدار تابع هدف به دست آمده از نرم افزار گمزاست. معیار توقف در الگوریتم پیشنهادی این است که هیچ بهبودی در تکرارهای متوالی (تا ۱۰ بار) حاصل نشود. جواب بهینه محاسبه شده از برنامه را با نتایج حاصل از اجرای الگوریتم مقایسه می‌کنیم. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که مقدار تابع هدف به‌دست آمده از دو روش در اکثر موارد تقریبا با هم برابر و در دیگر موارد نزدیک به هم هستند. از طرف دیگر طول مدت زمانی که این دو روش به جواب می‌رسند با افزایش ابعاد مسأله تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند و مدت زمان حاصل از حل به روش الگوریتم خیلی کمتر از حل با برنامه گمز است و الگوریتم پیشنهادی می‌تواند در زمان کمتر به جواب های نزدیک به بهینه دست یابد.

بررسی روش‌فرا ابتکاری پیشنهادی

جهت سنجش کارآمدی الگوریتم پیشنهادی، مسأله در ابعاد کوچک حل شده و جواب‌های به دست آمده از نرم افزار گمز، با جواب‌های محاسبه شده از روش بهینه سازی انبوه ذرات چند هدفه مقایسه می‌شود. با توجه به اینکه که کارایی یک الگوریتم فرا ابتکاری به شدت به پارامترهای آن وابسته است به طوری که پارامترهای مختلف ممکن است جواب‌های کاملاً متفاوتی با کیفیت‌های متفاوت تولید کنند، اگر پارامترها به طور صحیح تنظیم نشوند، کیفیت جواب کاهش می‌یابد. برای تنظیم پارامترهای روش‌های به کار رفته در این قسمت از روش سعی و خطا و حل مسائل با مقادیر مختلف کمک گرفته شده است. مقادیر مناسب پارامترهای الگوریتم پیشنهادی درادامه بیان شده است.

تنظیم پارامترها برای الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات چند هدفه

مقادیر پیشنهادی پارامترها برای الگوریتم مورد نظر به صورت زیر است:

-تعداد جمعیت اولیه برای مسایل برابر ۱۰۰ است.

-ضریب شتاب دهی $C1,C2$ برابر با ۱,٤۹ در نظر گرفته می‌شود.

-ضریب اینرسی همان پارامتر w برابر با۰,۷۲ در نظر گرفته می‌شود.

-پارامتر β برابر با ۵ در نظر گرفته می‌شود.

-پارامتر n برابر با ۱۰ در نظر گرفته می‌شود.

-تعداد تکرارها برابر ۱۰۰ می‌باشد.

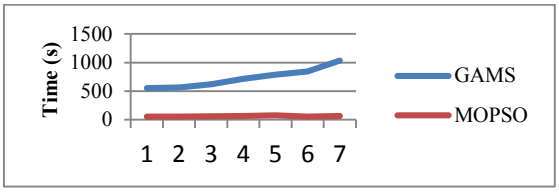
مقایسه جواب‌ها با الگوریتم دقیق و معادل‌های آن در الگوریتم فرا ابتکاری است. در مسایل سایز کوچک الگوریتم فرا ابتکاری با درصد خطای ناچیزی به راحتی به جواب بهینه می‌رسند. همچنین کار آمدی این روش‌ها در کاهش قابل ملاحظه زمان حل نشان داده شده است. الگوریتم پیشنهادی دارای عملکرد بالایی بوده و میانگین خطای محاسباتی بسیار ناچیز است جواب های پارتو نزدیک به بهینه تولید می‌کنند. ولی از آنجایی که زمان محاسبات در نرم افزار گمز با بزرگ شدن ابعاد مسأله به صورت نمایی افزایش می‌یابد و حل مدل در ابعاد بزرگتر توسط گمز تقریبا غیر ممکن می‌نماید و ضرورت استفاده از الگوریتم فراابتکاری نمود می‌یابد. زمان محاسباتی برای دو الگوریتم را نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد مسأله زمان گمز به صورت نمایی در حال افزایش است.

جمع‌آوری اطلاعات مورد نظر، اطلاعاتی نظیر نام، آدرس خریداران (فروشگاه‌های عامل پخش)، تولیدات این شرکت، میزان تقاضای مشتریان، محل جغرافیایی مشتریان، نقاط هاب‌ها، و اطلاعات لازم دریافت می‌شود و نحوه سرویس‌دهی و مسیریابی انجام شده توسط آن شرکت مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با روش چند هدفه بهینه‌سازی انبوه ذرات با مسیرهای فعلی شرکت مقایسه می‌گردند و به بررسی تخصیص نقاط هاب و توزیع محصول توسط شرکت دخانیات پرداخته می‌شود. که اقدام به توزیع محصولات به نقاط هاب‌ها در سراسر کشورمی‌نمایند.

ابتدا در هر بخش مکان هاب‌ها و مسیری که توسط شرکت طی شده است مورد مطالعه قرار می‌گیرد؛ سپس تعداد بهینه هاب‌ها و مسیر بهینه برای هر ناحیه ارائه می‌گردد. در این قسمت تورهای حاصل از حل مدل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ازدحام ذرات ارائه شده است. مسیرهای بهبود یافته در جداول ارایه شده است.

جدول ۵. مقایسه جواب‌ها با الگوریتم دقیق والگوریتم فراابتکاری پیشنهادی

شماره مسأله	گمز			انبوه ذرات چند هدفه		
	هدف ۱	زمان محاسبات	هدف ۲	هدف ۱	زمان محاسبات	خطا٪
۱	۱۲۳۳۰۰۰۰	۵۵۳	۶۸۶۱	۱۲۳۳۰۰۰	۵۰	۲۸۶۳	۰
۲	۱۳,۲۱۹,۰۰۰	۵۶۲	۷۹۴۰	۱۳۲۱۹۰۰۰	۵۴	۲۹۱۲	۰
۳	۱۴,۸۵۰,۰۰۰	۶۲۱	۸۰۱۰	۱۵۰۹۰۰۰۰	۵۶	۳۲۴۲	۱,۶۲
۴	۱۵,۱۰۳,۰۰۰	۷۱۵	۱۰۵۲۱	۱۵۸۷۳۰۰۰	۶۶	۲۵۳۶	۵,۱
۵	۲۲,۰۱۴,۰۰۰	۷۸۸	۱۳۶۱۰	۲۳۰۷۴۰۰۰	۷۳	۲۶۳۹	۴,۸۲
۶	۲۳,۹۹۰,۰۰۰	۸۴۲	۱۸۵۰	۲۴۵۹۰۰۰۰	۵۵	۲۸۹۶	۲,۵
۷	۳۵,۶۱۰,۰۰۰	۱۰۳۵	۱۹۸۰	۳۷۹۳۰۰۰۰	۶۵	۳۰۱۵	۶,۵۲



شکل ٤. مقایسه زمان محاسباتی برای الگوریتم‌های پیشنهادی

جدول ٦. نمونه هاب بهینه شده و شماره مسیر با تعداد مشتری

هاب شماره ۱ مرکز تولید ارومیه					
D1 روز اول		**D1 روز اول**		**D1 روز اول**	
M ماشین شماره ۱		**M ماشین شماره ۲**		**M ماشین شماره ۳**	
مسیر شماره ۱		**مسیر شماره ۲**		**مسیر شماره ۳**	
ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون نخ		**ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون نخ**		**ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون نخ**	
اردبیل	C۳۰	ارومیه	C۳۰	تبریز	C۴۰
پارس آباد	C۲۵	پیرانشهر	C۲۵	اهر	C۲۵
خلخال	C۲۰	ماکو	C۲۰	مراغه	C۲۰
مشگین شهر	C۱۰	سلماس	C۱۰	میانه	C۱۰
بیله سوار	C۱۰	تکاب	C۱۰	سراب	C۱۰
گرمی	C۱۰	ماکو	C۱۰	بناب	C۱۰
هاب شماره ۲ مرکزتولید تهران					
D1 روز اول		D1 روز اول		D1 روز اول	
M ماشین شماره ۱		M ماشین شماره ۲		M ماشین شماره ۳	
مسیر شماره ۱		مسیر شماره ۲		مسیر شماره ۳	
ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون نخ		ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون نخ		ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون نخ	
تهران	C۱۰۰	کرج	C۱۰۰	قم	۱۰۰C
اسلامشهر	C۷۰	طالقان	C۵۰	قاهان	C۲۵
رباط کریم	C۳۰	محمد شهر	C۲۰	جعفر آباد	C۲۰
دماوند	C۳۰	هشتگرد	C۲۰	سلفچگان	C۲۰

هاب شماره ۱ مرکز تولید ارومیه					
D1 روز اول		D1 روز اول		D1 روز اول	
M ماشین شماره ۱		M ماشین شماره ۲		M ماشین شماره ۳	
مسیر شماره ۱		مسیر شماره ۲		مسیر شماره ۳	
ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون نخ		ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون نخ		ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون نخ	
اردبیل	C۳۰	ارومیه	C۳۰	تبریز	C۴۰
شهر ری	C۲۰	نظر آباد	C۲۰	کهک	C۲۰

جدول ۷. نمونه هاب بهینه شده و شماره مسیر با تعداد مشتری

شماره هاب و روز	شماره مسیر و ماشین	مسیر کلی	نرم افزار مسیر یابی خودرو	سیستم کنترل
H1 D1	V1 M1	ارومیه- سلماس- پارس آباد- اردبیل- تبریز- سلماس – ارومیه	نرم افزار نشان	Gps
H1 D2	V2 M2	ارومیه- پیرانشهر- ماکو — تبریز- سلماس – ارومیه	نرم افزار نشان	Gps
H2 D1	V1 M1	تهران- کرج- مهر شهر- ساوجبلاغ- شهریار- اسلامشهر - تهران	نرم افزار نشا ن	Gps
H2D2	V2 M2	تهران- خاورشهر- باقر شهر – شهر ری- رباط کریم- شهر آفتاب- تهران	نرم افزار نشان	Gps

با بررسی به عمل آمده در این پژوهش شرکت دخانیات دارای ۲۶ هاب جهت توزیع محصولات خود در سراسر کشور می‌باشد که هر کدام از این هاب‌ها در مراکز استان ها مستقر و موظف به ارائه و توزیع محصولات به مراکز استان و شهر ستان‌های تابعه هستند و نیاز های مشتریان را در این مراکز پوشش می‌دهند که در مجموع این هاب‌ها موظف به تحویل کالا به تعداد ۹۰ مشتری (عاملین پخش) را برعهده دارند در حالت کلی تعداد ۵۹ دستگاه وسیله نقلیه مقدار ۲۰۵ میلیون نخ سیگار تولیدی را با ظرفیت جابه‌جایی هر دستگاه ۵ میلیون نخ در طی یک هفته بر عهده دارند. پس از حل مدل مورد نظر با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از فعالیت شرکت تعداد هاب اولیه قبل از حل مدل و به دست آوردن جواب بهینه ۲۶ هاب بود که پس از حل مدل پیشنهادی به ۱۰ هاب کاهش می‌یابد و همچنین تعداد وسایط نقلیه که از انبار مرکزی به هاب مورد نظر محصولات تولیدی را توزیع می‌کنند ۵۹ دستگاه ماشین با ظرفیت ۵ میلیون که به ۴۲ دستگاه کاهش می‌یابد. یکی از اهداف پژوهش ارائه روش مناسب تصمیم سازی چند هدفه برای مسأله مسیریابی وسایط نقلیه در شرکت دخانیات است مدل ارائه شده که از اطلاعات شرکت دخانیات به دست آمده است کارایی لازم را جهت بهینه‌سازی مسیریابی وسایط نقلیه و همچنین کاهش تعداد ماشن آلات موجود و جلوگیری از هزینه‌های بی رویه مصرف سوخت و هزینه‌های ایجاد و یا نگهداری هاب‌ها و همچنین کاهش سطح آلاینده‌های زیست محیطی را پوشش داده است.

با توجه به فرضیات در دست در وضعیت قبل از اجرای مدل، مقدار تابع هدف برابر با ۱۵۵۰۲۲۲/۶۰ بدست آمد. با استفاده از اشکال ارائه شده در مورد مسیرها و محاسبات انجام شده می‌توان به راحتی مشاهده کرد که مسیرهای پیشنهادی بسیار کوتاه تر شده و زمان رسیدن به مشتریان نیز به نسبت قبل از لحاظ زمانی و مسافت کاهش یافته است. در این مرحله مدل ارائه شده با استفاده از روش بهینه سازی چند هدفه حل گردیده است. تابع هدف در جواب حاصل برابر با ۱۳۳۱۴۰۰/۱۵ گردید که این مقدار تقریبا ۲۱۸۸۲۲ واحد کاهش در هزینه‌ها را نشان می‌دهد. این صرفه جویی در تخصیص هاب‌ها و هزینه‌های طی مسیر می‌تواند تاثیر زیادی در هزینه‌های مصرف انرژی و افزایش فروش داشته باشد.

۵- نتیجه‌گیری

باتوجه به هدف مسأله و محدودیت‌های ارائه شده برای حل مدل در این پژوهش و داده‌های جمع آوری شده از دنیای واقعی که در تلاش برای حذف نقل و انتقال و توقفات بی‌رویه در سیستم جابجایی و معرفی مسیر بهینه با حداقل هزینه، سوخت و امکانات از مکان های تعیین شده به عنوان هاب است، مدل ارائه شده در پژوهش پس از بررسی‌های ارائه شده با روش دقیق حل شده واعتبار سنجی شده است. برای دسترسی به این مهم مسایل در ابعاد کوچک به وسیله روش محدودیت اپسیلون حل شد. همچنین جهت سنجش کارآمدی الگوریتم پیشنهادی، مسأله در ابعاد کوچک حل شده و جواب های به دست آمده از نرم افزار گمز، با جواب‌های به دست آمده از روش بهینه سازی چند هدفه انبوه ذرات مقایسه شد. نتایج حاکی از آن است که الگوریتم پیشنهادی دارای عملکرد بالایی بوده و میانگین خطای محاسباتی بسیار ناچیز بوده جواب‌های پارتو نزدیک به بهینه تولید می‌کند. پس از حل مدل مورد نظر با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از فعالیت شرکت دخانیات تعداد هاب به ۱۰ هاب کاهش پیدا کرد و همچنین تعداد وسایط نقلیه که از انبار مرکزی به هاب‌های مورد نظر جهت توزیع و پخش محصولات تولیدی به ۴۲ دستگاه کاهش می‌یابد. با توجه به ارتباط موضوع تعداد وسایل نقلیه و مسیرهای مورد نظر لازم که توسط این وسایط نقلیه انجام می‌شود با افزایش و کاهش در مسیرهای ارتباطی هزینه‌های ثابت، مصرف سوخت و همچنین آلاینده‌های زیست محیطی نیز به طبع آن افزایش و کاهش می‌یابد. در این مقاله یک مدل برای طراحی شبکه‌های هاب در مسأله مسیریابی- مکان‌یابی ارایه شده است به طوری که هدف کمینه کردن میزان ترددها و مسافت طی شده، به همراه کاهش هزینه های سوخت در نظر گرفته شده است. افزایش بی رویه استفاده از تکنولوژی و صنعت در محصولات و پیامدهای منفی این افزایش در فرآیندهای زیست محیطی سبب افزایش تأثیرات منفی خروجی‌های حاصل از صنعت و به طبع آن افزایش حجم انتشار گازهای گلخانه‌ای و دی اکسید کربن شده است که این موضوع و عواملی که به طور مستقیم با سلامتی افراد جامعه و تخریب لایه‌ی اوزون در ارتباط هستند در تحقیقات علمی مورد بررسی و توجه خاص است به همین سبب در این پژوهش با بیان اینکه کاهش مسیرهای وسایط نقلیه از افزایش بی رویه و پخش آلاینده‌های زیست محیطی جلو گیری خواهد کرد نیز به صورت اجمالی پرداخته شده است. مدل ارائه شده با استفاده از اطلاعات وارده از شرکت دخانیات کارایی لازم را جهت بهینه‌سازی مسیرهای وسایط نقلیه و همچنین کاهش تعداد هاب‌های (مراکز توزیع) اولیه قبل از حل مدل و به دست آوردن جواب بهینه را به دست آورده است. در خصوص ویژگی‌های مورد نیاز برای مکان‌یابی و مسیریابی در نظر گرفتن پنجره زمانی و همچنین ویژگی‌های مورد نیاز مسأله مسیریابی، تعیین فاکتورهای موثر بر میزان مصرف سوخت و برقراری یک توازن معنادار بین هزینه‌های هاب اولیه و هزینه‌های ایجاد هاب جدید مورد بررسی قرار گرفته است. در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی با کاهش مسیرهای رفت و برگشت در طول مسیر و کاهش هزینه‌های توزیع با مزاکز زیاد نه تنها بر هزینه‌های اقتصادی تاثیر می‌گذارد، بلکه بر انتخاب مسیرهای حمل جدید و چگونگی توزیع بار بین ناوگان حمل و نقل از مراکز توزیع نزدیک به بازار مشتریان از لحاظ پنجره زمانی نیز مقرون به صرفه است. از این رو به ارائه مدلی با در نظر گرفتن کاهش مصرف سوخت، کمینه کردن هزینه ثابت تأسیس هاب‌ها و کمینه کردن تعداد مسیرها در شبکه هاب پرداخته شده است. همچنین مشتریان دارای محدودیت پنجره زمانی بودند و باید در بازه زمانی خاصی سرویس دهی می‌شدند. برای حل مدل‌های پیشنهادی، روش‌های دقیق و فراابتکاری، محدودیت اپسیلون و بهینه سازی انبوه ذرات چند هدفه، مورد استفاده قرار گرفت که نتایج نشان می‌دهد روش حل مطرح شده در این مطالعه عملکرد قابل‌قبولی داشته و زمان رسیدن به حل بهینه را بسیار کاهش می‌دهد. با افزایش اندازه مسأله زمان محاسباتی نرم‌افزار گمز افزایش غیر معقولی داشت بنابراین به طور کلی می‌توان گفت که روش حل پیشنهادی برای داده‌های با مراکز تعداد زیاد نیاز به زمان حل کم‌تری برای رسیدن به یک جواب مناسب خواهد بود. برای اثبات کارایی مدل‌های ارائه شده، مثال‌های عددی و مسائل نمونه موجود در ادبیات موضوع مورد استفاده قرار گرفته است و در نهایت مطالعه موردی به منظور پیاده‌سازی مسأله در دنیای واقعی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج محاسباتی به‌دست آمده از مجموعه نمونه‌ها آزمایش و مطالعه موردی نشان می‌دهد که مدل‌های ارائه شده قابل استفاده و سودمند هستند. برای کاهش هزینه‌های بیشتر در زمینه توزیع

پیشنهاد می‌گردد که از سیستم حمل و نقل واحد و مشترک برای محصولات همگون استفاده شود تا از هر گونه فضای خالی موجود در حمل و نقل نیز استفاده گردد. سرمایه‌گذاری در ناوگان حمل و نقل روز و خارج کردن ناوگان فرسوده هم از لحاظ مدت زمان سفر و یا تحویل بار، مصرف سوخت، و هم از لحاظ میزان آلاینده‌های زیست محیطی بسیار تاثیر گذار خواهد بود.

برنامه‌ریزی در بخش حمل و نقل ریلی که بسیاری از صنایع تبدیلی از این صنعت به صورت مشترک می‌توانند استفاده نمایند این نوع روش و سیستم با برنامه ریزی جامع و هدف گذاری در مسیرهایی که صنعت ریلی دارای ایستگاه‌های ریلی و حمل و نقل بار و مسافر است امکان جابه جایی و حمل بار با هزینه کمتر و زمان دقیق دریافت در مبداء و و تحویل در مقصد به لحاظ زمان اعلام شده از قبل برای کالاها وجود دارد.

٦- مراجع

-Baldacci, r., hadjiconstantinou, e., mingozzi, a., (2004). An exact algorithm for the capacitated vehicle routing problem based on a two-commodity network flow formulation. *Oper. Res. 52 (5),* 723–738.

-Baldacci, r., mingozzi, a., (2009). A unified exact method for solving different classes of vehicle routing problems. *Math. Program.* 120, 347–380.

-Balseiro, s.r., loiseau, i., ramonet, J., (2011). An ant colony algorithm hybridized with insertion heuristic for the time dependent vehcile routing problem with time windows. *Comput. Oper. Res. 38 (6),* 954–966.

-Bezerra, s.n., souza, s.r., souza, m.J.f., (2018). A gvns algorithm for solving the multi-depot vehicle routing problem. Eletron. *Notes Discrete Math. 66 (4),* 167–174.

-Çimen, m., soysal, m., (2019). time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle spreed: an approximate dynamic programming algorithm. *Transp. Res.* d 54, 82–98.

-Clarke, g., wright, J., (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Oper. Res.* 12, 568–581.

-Contardo, c., martinelli, r., (2014). A new exact algorithm for the multi-depot vehicle routing problem under capacity and route length constraints. *Discrete Optim.* 12, 129–146.

-Darvish, m., archetti, c., coelho, l.c., (2019). Trade-offs between environmental and economic performance in production and inventory-routing problems. *Int. J. Prod. Econ.* 217, 269–280.

-Darvish, m., coelho, l.c., (2018). Sequential versus integrated optimization: production, location, inventory control, and distribution. *European J. Oper. Res. 268 (1),* 203–214.

-Demir, e., bektaş, t., laporte, g., (2011). A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation. *Transp. Res. D 16 (5),* 347–357.

-Demir, e, bektaş, t., laporte, g., (2012). An adaptative large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem. *European J. oper. res. 223*, 346–359.

-Donati, a.v., montemanni, r., casagrande, n., rizzoli, a.e., gambardella, l.m., (2008). Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system. *European J. oper. res. 185 (3),* 1174–1191.

-Fan, h., zhang, y., tian, p., Lv, y., fan, h., (2021). Time-dependent multi-depot green vehicle routing problem with time windows considering temporal-spatial distance. *Comput. Oper. Res.* 129.

-Figliozzi, M.A., (2012). The time dependent vehicle routing problem with time windows: benchmark problems, an efficient solution algorithm, and solution characteristics. *Transp. Res. E 48 (3),* 616–636.

-Fu, y., wu, d., wang, y., wang, h., (2020). Facility location and capacity planning considering policy preference and uncertain demand under the one belt one road initiative. *Transp. Res. A 138,* 172–186.

-Gendreau, m., ghiani, g., guerriero, e., (2015). Time-dependent routing problems, a review. *Comput. Oper. Res. 64,* 189–197.

-Golden, b., Assad, a., levy, l., gheysens, f., (1984). the fleet size and mix vehicle routing problem. *Comput. Oper. Res. 11 (1)*, 49–66.

-Haghani, a., Jung, s., (2005). A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times. *Comput. Oper. Res.* 32 (11), 2959–2986.

-Liu, c., kou, g., zhou, x., sheng, h., alsaadi, f.e., (2020). Time-dependent vehicle routing problems with time windows iof city logistics with a congestion avoidance approach. *knowl. based syst. 1*88.
-Malandraki, c., daskin, m., (1992). Time dependent vehicle routing problems: formulations, properties and heuristic algorithms. *Transp. Sci. 26 (3),* 185–200.
-Mancini, s., (2016). A real-life multi depot multi period vehicle routing problem with a heterogeneous fleet: formulation and adaptive large neighborhood search based mataheuristic, *Transp. Res. C 70,* 100–112.
-Montoya-torres, J., franco, J.l., isaza, s.n., Jimenez, h.f., herazo-padilla, n., (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Comput. Ind. Eng. 79*, 115–129.
-Oliveira, f.b., enayatifar, r., sadaei, h.J., guimarães, f.g., potvin, J.y., (2016). A cooperative coevolutionary algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Expert Syst. Appl. 43,* 117–130.
-Qian, J., eglese, r., (2016). Fuel emission optimization in vehicle routing problems with time-varying speeds. *European J. oer. res. 248 (3),* 840–848.
-Rahimi-vahed, a., cranic, t.g., gendreau, m., Rei, w., (2015). Fleet-sizing for multidepot and periodic vehicle routing problems using modular heuristic algorithm. *Comput. Oper. Res. 53,* 9–23.
-Ramos, t.r.p., gomes, m.i., póvoa, a.p.b., (2020). Multi-depot vehicle routing problem: a comparative study of alternative formulations. *Int. J. Logist. Res. Appl. 23 (2),* 103–120.
-Renaud, J., boctor, f., (2002). A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. *European J. Oper. Res. 140 (3),* 618–628.
-Rincon-garcia, n., waterson, b., cherrett, t.J., salazar-arrieta, f., (2020). Ametaheuristic for the time-dependent vehicle routing problem considering driving hour regulations – an application in city logistics. *Transp. Res. A 137,* 429–446.
-Ropke, s., pisinger, d., (2006). An adaptative large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. *Transp. Sci. 40,* 455–472.
-Hardwood, k., mumford, c., eglese, r., (2013). Investigating the use of metaheuristics for solving single vehicle routing problems with time-varying traversal costs. *J.oper. res. soc. 64* (1), 34–47.
-Heni, h., coelho, l., renaud, J., (2019). Determining time-dependent minimum cost paths under several objectives. *Comput. Oper. Res. 105,* 102–117.
-Ho, w., ho, g., Ji, p., lau, h., (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-epot vehicle routing problem. *Eng. Appl. Artif. Intell. 21*, 548–557.
-Huang, y.x., zhao, l., woensel, t.v., gross, J. p., (2017). Time-dependent vehicle routing problem with path flexibility. *Transp. Res. B 95,* 169–195.
-Ichoua, s., gendreau, m., Potvin, J. y., (2003). Vehicle dispatching with time-dependent travel times. *European J. oper. res. 144 (2),* 379–396.
-Jaballah, r., veenstra, m., coelho, l.c., renaud, J., (2021). The time-dependent shortest path and vehicle routing problem infor inf. syst. oper. res. 59 (4), 592–622.
-Koç, c., bektaş, t., Jabali, o., laporte, g., (2016a). The fleet size and mix location-routing problem with time windows: formulations and a heuristic algorithm. *European J. oper. res. 248* (1), 33–53.
-Kok, a., hans, e., schutten, J., (2012). Vehicle routing under time-dependent travel times: the impact of congestion avoidance. *Comput. Oper. Res. 39 (5),* 910–918.
-Kuo, y., (2010). Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent emission in urban areas. *Comput. Ind. Eng. 59 (1),* 157–165.
-Lahyani, r., coelho, l., renaud, J., (2018). Alternative formulations and improved bound for the multi-depot fleet size and mix vehicle routing problem. *Spectrum 40*, 125–157.
-Laporte, g., nobert, y., taillefer, s., (1988). Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems. *Transp. Sci. 22 (3),* 161–172.
-Li, J., wang, r., li, t., lu. z., pardalos, p.m., (2018). Benefit analysis of shared depot resources for multi-depot vehicle routing problem with fuel consumption. *Transp.Res. D 59,* 417–432.

dense and uncertain urban markets. *transp. res. a 136,* 151–177.
-Taş, d., dellaert, n., van woensel, t., de kok, t., (2014). The time-dependent vehicle routing problem with soft time windows and stochastic travel times. *Transp. Res. C 48*, 66–83.
-Toth, P., Vigo, d. (eds.), (2014). Vehicle routing monographs on discrete mathematics and applications, mos-siam series on optimization, *Philadelphia.*
-Vidal, t., crainic, t., gendreau, m., lahrichi, n., rei, w., (2012). A hybrid genetic algorithm for multi-depot and periodic vehicle routing problems. *Oper. Res. 60,* 611–624.
Vidal, t., crainic, t., gendreau, m., prins, c., (2014). Implicit depot assignments and rotations in vehicle routing heuristics. *European J. Oper. Res. 237 (1)*, 15–28.
-Xiao, y., konak, a., (2016). The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion. *Transp. Res. E 88,* 146–166.
-Xu, z., elomri, a., pokharel, s., mutlu, f., (2019). A model for capacitated green vehicle routing problem with the time-varying speed and soft time windows. *Comput. Ind. Eng. 137*.
-Yu, b., yang, z., xie, J., (2011. a parallel improved ant colony optimization for multi depot vehicle routing problem. *J. oper. res. soc. 62 (1),* 183–188.
-Sadati, m.e.h., catay, b., aksen, d., (2021). An efficient variable neighborhood search with tabu shaking for a class of multi-depot vehicle routing problems. *Comput. Oper. Res. 133.*
-Sadykov, r., uchoa, e., Pessoa, a, (2021). A bucket graph-based labeling algorithm with application to vehicle routing. *Transp. Sci. 55 (1),* 4–28.
-Salhi, s., imran, a., wassan, n., (2014). The multi-depot vehicle routing problem with heterogeneous vehicle fleet: formulation and a variable neighborhood search implementation. *Comput. Oper. Res. 52*, 315–325.
-Salhi, s., sari, m., (1997). A multi-level composite heuristic for the multi-depot vehicle fleet mix problem. *European J. Oper. Res. 103 (1),* 95–112.
-Savelsbergh, m., van woensel, t., (2016). 50th an niversary invited articlecity logistics: challenges and opportunities. *Transp. Sci. 50 (2),* 579–590.
Schmidt, c., silva, a., darvish, m., coelho, l., (2019). The time-dependent location-routing problem. *Transp. Res. E 128,* 193–315.
-Setak, m., habibi, m., karimi, h., abedzadeh, m., (2015). A time-dependent vehicle routing problem in multigraph with fifo property. *J. Manuf. Syst. 35,* 37–45.
-Snoeck, a., winkenbach, m., (2020). The value of physical distribution flexibility in serving

Proper Routing of Vehicles Along with Hub Location and Time Window with the Help of Innovative Algorithms (Case Study: Tobacco Company)

Rasoul Nematniya, Ph.D., Student, Faculty of Engineering,
Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

Maryam Khademi, Associate Professor, Faculty of Engineering,
Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

Kyamars Fathi, Assistant Professor, Department of Industrial Management,
Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

Sohela Sardar, Assistant Professor, Department of Industrial Management,
Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

E-mail: khademi@azad.ac.ir

Received: January 2025- Accepted: April 2025

ABSTRACT
Routing is one of the most important issues in designing distribution networks that reduces costs. The purpose of this issue is to meet the demands of customers and minimize costs, including routing, transportation, facilitation and operational costs. Hubs that act as distribution intermediaries are distribution centers and strategic points. In distribution networks with facilities at the origin and destination, they show us according to the problem, the location of the warehouses as a hub is effective in determining the route of the equipment and the related cost, so the production units with location for Distribution warehouses and vehicle routing reduce costs. By looking at the two problems of routing and locating for distribution, it is possible to provide an optimal answer for both problems. The aim of this research is to provide a model for distributing products by simultaneously considering routing and location, in order to reduce costs and reduce environmental damage. Also, customers have a limited time window and the service must be done within the time frame. Exact and meta-heuristic methods, epsilon constraint and multi-objective optimization are used to solve the models. The results show that the proposed method of the study has an acceptable performance and reduces the time to reach the optimum in new routes by a third, the number of centers from 26 to 10, and the number of cars from 59 to 42. Finally, in order to bring the research closer to the real world conditions, the model is implemented on the data of the tobacco company. In the state before the model, the value of the function is equal to 1550222/60, the model presented using the multi-objective particle optimization method, the result is equal to 1331400/15, which shows approximately 218822 units of cost reduction.

Keywords: Transportation, Routing, Location, Hub Network, Meta-Innovation