



مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با ملاحظه پوشش تقاضا، وابستگی متقابل تقاضای گره‌ها و رضایت مشتریان نهایی؛ ص ۴۹-۷۵

محمد مهدی مهتدی^۱، بهروز آرمان مهر^۲

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵

چکیده

مسیریابی وسایل نقلیه یکی از مسائل مطرح در حوزه مباحث مدیریت آماد و پشتیبانی است و علی‌رغم تلاش‌های بسیار در جهت یکپارچگی این مسأله با سایر حوزه‌های آماد و پشتیبانی، بسیاری از جنبه‌های آن نیازمند تحقیق و توسعه است. نحوه‌گزینه‌گر در مسأله مسیریابی یکی از این رویکردها است و عدم توجه به آن می‌تواند تأثیرات بسزایی بر افزایش هزینه، کاهش درآمد، فروش از دست رفته، نارضایتی مشتریان و افزایش کالاهای مرجوعی داشته باشد. این مسأله، بازنویسی مدل کلاسیک مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن رویکرد انتخاب مشتری به عنوان یکی از رویکردهای مطرح در مدیریت توزیع می‌باشد ایده اصلی حاکم بر این مقاله در نظر گرفتن این واقعیت است که مقدار تقاضای هر منطقه مقداری ثابت است و در صورتی که یک کالا بین فروشندگان متعددی در آن منطقه توزیع شود کل تقاضا بین این فروشندگان توزیع خواهد شد که این امر مطلوب فروشندگان نیست و در عین حال هزینه‌های توزیع بالایی نیز به دنبال دارد. در عین حال، رضایت مصرف‌کنندگان نهایی وابسته به گستردگی توزیع می‌باشد و در صورت توزیع بین گره‌های بیشتر، رضایت بیشتری خواهند داشت. بر مبنای همین ایده، در مقاله حاضر با تلفیق مسأله کلاسیک مسیریابی وسایل نقلیه با رویکرد توزیع انتخابی، یک فرمول‌بندی جدید از این مسأله در قالب یک مدل ریاضی دوحده‌فراهانه شده است. در این تحقیق ابتدا مروری بر ادبیات موضوع صورت گرفته و سپس، مسأله تحقیق بیان شده است. در ادامه و بر اساس مفروضات محدودکننده که توصیف کننده شرایط مسأله است به مدل‌سازی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با رویکرد انتخاب گره‌ها پرداخته شده و مدل ریاضی مسأله ارائه شده است. این مدل با تعدادی داده نمونه حل و اعتبارسنجی شده است.

واژگان کلیدی: مسیریابی وسایل نقلیه، گزینه‌گر مشتری، توزیع گزینه‌گر کالا، برنامه‌ریزی چندهدفه، الگوریتم‌های فرا ابتکاری

^۱ استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران (نویسنده مسئول) / mehidi.mohtadi@gmail.com

^۲ دانشجوی دکترا مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب / b.armanmehr@gmail.com

مقدمه و بیان مسأله

از منظر تحقیقات دانشگاهی، توجه زیادی به مسأله مسیریابی وسایل نقلیه^۱ شده است. کاربرد وسیع این مسائل در حوزه مدیریت ترابری سبب گشته است که طیف وسیعی از تحقیقات به سمت این شاخه از بهینه‌سازی کشیده شوند. حجم زیاد کارهای انجام گرفته در این مسأله نشان از وسعت کاربرد آن می‌دهد. جستجو در منابع موجود نشان می‌دهد که در مقالات مختلف، محدودیت‌ها و توابع هدف متفاوتی به این مسأله اضافه شده اند تا در شرایط مختلف کاربرد پیدا کنند.

یکی از ملاحظاتی که طی سال‌های اخیر در برنامه‌ریزی مسیر وسایل ترابری مورد توجه قرار گرفته است تلفیق آن با سایر رویکردهای مطرح در لجستیک می‌باشد. مسأله مسیریابی-مکان‌یابی یکی از این رویکردهاست. در این مسأله مکان‌یابی دیوها به همراه مسیریابی وسایل نقلیه در قالب یک مسأله واحد مورد بررسی قرار می‌گیرند. رویکرد به کار رفته در این مقاله نیز مشابه همین مسأله می‌باشد. با این تفاوت که به جای انتخاب دیو، فروشندگانی که با هدف عرضه محصول به مصرف‌کنندگان نهایی، کالا بین آنها توزیع می‌شود گزینش و انتخاب می‌شوند. این رویکرد مناسب توزیع‌کننده‌هایی است که از میان انواع شیوه‌های توزیع، شیوه توزیع انتخابی^۲ را مناسب خود تشخیص می‌دهند و در واقع باید مسأله مورد بحث را تلفیق مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با مسائل توزیع دانست.

در ادبیات بازاریابی، توزیع انتخابی چیزی است میان توزیع مویرگی^۳ (وسیع) و توزیع انحصاری^۴. در توزیع انتخابی، تعداد واسطه‌ها بیش از یکی است، اما کمتر از تعداد واسطه‌هایی است که در بازار حضور داشته و برای عرضه و فروش کالای شرکت، آمادگی دارند. در این شیوه، شرکت فقط به چند واسطه منتخب توجه دارد و از آنها تلاش فروشی را انتظار دارد که بیشتر و بهتر از حد متوسط باشد. توزیع انتخابی به تولیدکننده امکان می‌دهد در مقایسه با توزیع انحصاری، پوشش خود را در بازار افزایش دهد و در مقایسه با توزیع مویرگی نیز نظارت بیشتر بر فروش خود داشته و در عی حال هزینه‌ای کمتر متقبل شود. لوازم خانگی، ابزارآلات، برخی اقلام دارویی و کالاهای فاسدشدنی نسبتاً کم‌مصرف از طریق این شیوه در بازار توزیع می‌شوند. (لنگ،^۵ ۱۹۸۴)

1 Vehicle Routing Problem (VRP)

2 Selective Distribution

3 Intensive Distribution

4 Exclusive Distribution

5 Lang

همانگونه که اشاره شد در تحقیق حاضر از میان رویکردهای بازاریابی توضیح داده شده، رویکرد توزیع انتخابی مد نظر قرار گرفته و به بررسی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با گزینش فروشنده (انتخاب گره) پرداخته شده است که علی‌رغم وجود تحقیقاتی در این خصوص، هنوز کار چندان جدی‌ای درباره آن انجام نشده و جای توجه بیشتر دارد. در واقع پیش‌فرض تحقیق حاضر آن است که عنصر اصلی در تعیین واسطه‌های توزیع منتخب، صرفاً درآمد حاصل از عرضه محصول به گره منتخب (با ملاحظه تعدیل تقاضای ناشی از عرضه محصول به گره‌های همسایه) بعد از کسر هزینه‌های ناشی از ترابری و توزیع می‌باشد.

در مدل ریاضی مورد بررسی در این مقاله، تقاضای کل هر منطقه ثابت بوده و این تقاضا بین فروشندگان منطقه توزیع می‌شود. بنابر این هرچقدر توزیع کالا بین فروشندگان بیشتری انجام شود سهم اختصاص یافته به هر فروشنده کمتر می‌شود که این امر چندان باب میل فروشندگان نیست. در این شرایط در صورت توزیع کالا بین تعداد فروشنده بیشتر، هزینه توزیع افزایش یافته و از آنجا که کل درآمد به دلیل ثابت بودن تقاضای منطقه ثابت است طبیعتاً سود عملیاتی کاهش خواهد یافت. اما در مقابل، رضایت مصرف‌کنندگان نهایی به دلیل دسترسی آسان‌تر به محصول افزایش می‌یابد.

به منظور واقع‌بینانه‌تر کردن مدل، این موضوع نیز در نظر گرفته شده است که هر گره تقاضا (فروشگاهی‌هایی که وظیفه توزیع کالا را بر عهده دارند) علاوه بر سرشکن تقاضای منطقه‌ای، خود نیز از یک تقاضای مستقل برخوردار است که مربوط به مشتریان وفادار آن فروشگاه می‌باشد و در صورت عدم قرار گرفتن در برنامه توزیع، شرکت عملاً این مشتریان را از دست خواهد داد. مدل-سازی مفروضات مزبور و حل آنها در قالب یک سری مسأله نمونه در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است.

ادبیات نظری

مسأله مسیریابی وسیله نقلیه به مجموعه‌ای از مسائل اطلاق می‌شود که در آن ناوگانی متشکل از چندین وسیله نقلیه از یک یا چند قرارگاه به ارائه خدمت به مشتریان مستقر در نقاط مختلف جغرافیایی می‌پردازند و این امر را به نحوی انجام می‌دهند که هزینه‌های انجام این کار به حداقل برسد. در شرایط پایه و کلاسیک مسأله، وسیله نقلیه حرکت خود را از قرارگاه مرکزی آغاز کرده و پس از ارائه خدمت به مشتریان، مجدداً به قرارگاه باز می‌گردد. هر وسیله دارای ظرفیت معینی است و همه مسیرهای مربوطه از مبدأ (قرارگاه مرکزی) شروع و به آن ختم می‌شوند.

در مسأله مسیریابی وسیله نقلیه^۱ (VRP) تعدادی مشتری وجود دارد که باید به آنها خدمت رسانی شود و هدف مسأله یافتن مسیره‌های بهینه‌ای است که با صرف کمترین هزینه، به تمامی مشتریان سرویس داده شود. مسأله VRP تعمیم یافته مسأله فروشنده دوره‌گرد^۲ (TSP) می‌باشد. در واقع TSP یک VRP است با یک وسیله نقلیه، بدون محدودیت، بدون مبدأ مشخص و بطوری که مشتریان فاقد تقاضا می‌باشند. مسأله VRP از نظر حل دارای پیچیدگی بیشتری است. این مسأله در حالت ساده، مسیره‌ها را به گونه‌ای تعیین می‌کند که هر گره تنها یک بار و با یک وسیله نقلیه ملاقات شود و شروع و پایان مسیره‌ها نیز یک نقطه می‌باشد. وجود حالت‌های گوناگون و مختلف در مسائل واقعی موجود، شکل‌های گوناگون و متنوعی از مسائل مسیریابی وسیله نقلیه را باعث شده است. بدین صورت که تنوع در شکل و ظاهر برخی معیارها و پارامترهای اساسی شرایط مختلفی را بر یک مسأله VRP حاکم می‌کند که دسته‌بندی‌هایی را برای این مسأله به وجود آورده است. برخی از مهمترین این مدل‌ها در جدول شماره یک ارائه شده است. البته تحقیق در خصوص این مساله همچنان ادامه دارد و ساختار بندی-های بسیار متنوعی از این مساله، توسعه داده شده است.

جدول (۱) مدل‌های مطرح در مسأله VRP (منبع: مهتدی ۱۳۹۴)

مسیریابی وسایل نقلیه وابسته به زمان	مسیریابی وسیله نقلیه با محدودیت ظرفیت
مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن موجودی	مسیریابی وسایل نقلیه با چندین دپو
مسیریابی وسایل نقلیه لحظه‌ای	مسیریابی وسایل نقلیه همراه با شکست
مسیریابی وسایل نقلیه بر روی درخت	مسیریابی وسایل نقلیه احتمالی
مسیریابی وسایل نقلیه باز	مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی
مسیریابی وسایل نقلیه چند هدفه	مسیریابی وسایل نقلیه با حمل در بازگشت
مسیریابی وسایل نقلیه دوره‌ای	مسیریابی وسایل نقلیه با جمع‌آوری و توزیع

پیشینه پژوهش

توکلی مقدم و همکاران (۱۳۸۸) در قالب یک مطالعه موردی به ارائه و حل مدل برنامه ریزی

1 Vehicle Routing Problem

2 Travelling Salesman Problem (TSP)

ریاضی جدید برای مسیریابی وسائط نقلیه در حالت رقابتی پرداختند. در این رویکرد توجه به رقابت بین رقبا و تمایل به دسترسی سریع تر به مشتریان با ارزش بالا برای کسب نقدینگی بیشتر علاوه بر یافتن مسیرهای کوتاه، مد نظر قرار گرفته است. مطالعه موردی انجام شده در این مقاله یک شرکت پخش در شیراز می باشد.

در مدل ارائه شده توسط یوسفی خوشبخت و همکاران (۱۳۹۱) مساله مسیریابی وسایل نقلیه با محدودیت ظرفیت و با ناوگان ناهمگن ثابت در نظر گرفته شده است. تابع هدف این مدل، تعیین مسیرهایی با حداقل هزینه برای ناوگان ترابری می باشد که تقاضاهای مشتریان را برطرف می کند. ترکیب وسایل نقلیه در این ناوگان شامل چند نوع وسیله نقلیه است و حداکثر ظرفیت بارگذاری و هزینه پیمایش هر واحد فاصله برای هر وسیله نقلیه با یکدیگر تفاوت دارند.

عیدی و عبدالرحیمی (۱۳۹۱) مدلی از مساله مسیریابی وسایل نقلیه چند دوره‌ای با چند قرارگاه ارائه کردند که در آن الزامی به بازگشت وسایل نقلیه به همان قرارگاه اولیه نبوده و قرارگاه ابتدایی و انتهایی برای هر مسیر در هر دوره با توجه به مشتریان سایر دوره‌ها مشخص می گردد. هدف اصلی مدل مزبور سرویس دهی به مجموعه‌ای از مشتریان در طی دوره‌های مختلف از طریق این قرارگاه‌ها می باشد.

بابایی تیرکلایی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی مساله مسیریابی وسایل نقلیه با چند جایگاه پخش پرداختند. در مدل ارائه شده آنها وسایل نقلیه ناهمگن بوده و محدودیت بازه‌های زمانی مختص به کالاهای فاسدشدنی نیز پیش بینی شده است. هدف مساله مورد بررسی، کمینه سازی مجموعه زمان مورد نیاز جهت سرویس دهی کل مشتریان متناسب با هزینه کل بود. محصولات توسط ناوگانی از وسایل حمل ناهمگن با ظرفیت محدود و محدودیت زمانی تعریف شده به مشتریان تحویل می شود.

فرقانی و جعفری (۱۳۹۲) مساله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با شکست را در شرایط وجود یک دپوی مرکزی مورد بررسی قرار دادند. در مدل ارائه شده این محققان، محدودیت عدم دسترسی مشتریان به بعضی از وسایل نقلیه لحاظ شده است. ناوگان مورد نظر از حیث نوع وسایل نقلیه موجود ولی از لحاظ تعداد وسایل نامحدود در نظر گرفته شد.

ستاک و همکاران (۱۳۹۲) مساله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی را با گراف‌های چندگانه بررسی کردند. در این مدل انتخاب یک مسیر از بین مسیرهای مختلف برای سفر از یک گره به گره دیگر امکان پذیر است و زمان هر یال وابسته به زمان می باشد. مساله مورد بررسی تحت پنجره‌های زمانی نیمه-نرم برای برآورد تقاضای مشتریان، مدل سازی شده است و چنانچه وسیله نقلیه زودتر از زمان مقرر مشتری را ملاقات کند باید تا موعد مزبور صبر کند. اما اگر زمان بازدید دیرتر از زمان مقرر باشد کالا به مشتری تحویل شده و در عین حال با اعمال تخفیف در قیمت کالا، جریمه‌ای به او پرداخت می شود.

آرمان مهر و غلامی (۱۳۹۴) مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با گزینش مشتری و ممنوعیت سرویس‌دهی به مشتری در یک شعاع همسایگی را مورد بررسی قرار دادند. فرض اساسی حاکم بر این مدل آن است که تقاضای کل مناطق جمعیتی ثابت بوده و بین توزیع‌کنندگان کالا در آن منطقه تقسیم می‌شود. بنابراین میزان تقاضای هر گره تقاضا (که خود نقش یک فروشنده را در محل خود بر عهده دارد) با گستره توزیع کالا در آن منطقه نسبت عکس دارد و هر چقدر کالا در میان توزیع‌کنندگان همسایه وی بیشتر توزیع شود تقاضای وی کمتر خواهد بود. در مدل‌سازی ریاضی این موضوع فرض شده است هر مشتری یک شعاع همسایگی دارد که چنانچه به وی سرویس‌دهی شود به هر مشتری دیگری که در این شعاع حضور داشته باشد نباید سرویس‌دهی شود و بالعکس چنانچه به مشتری‌ای در این شعاع خدمت رسانی شود دیگر نباید به وی سرویس‌دهی کرد. این محدودیت می‌تواند به موجب قرارداد به توزیع‌کننده تحمیل شود و یا آن که بواسطه مطالعات بازار خود به این نتیجه رسیده باشد که وجود چند توزیع‌کننده نزدیک هم به بازار لطمه خواهد زد.

جعفری و همکاران (۱۳۹۵)، مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با حمل برگشتی همراه با یکسری محدودیت‌های عملیاتی را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق مزبور مشتریان به دو گروه مشتریان خط رفت که تحویل کالا به آنها صورت می‌گیرد و مشتریان خط برگشت که کالا از آنها دریافت می‌شود تقسیم می‌شوند. مشتریان خط رفت در اولویت خدمت‌رسانی تعریف شده‌اند و تقسیم تقاضا برای مشتریانی که تقاضای آنها از بزرگترین وسیله نقلیه موجود بیشتر است امکان‌پذیر است. همچنین، محدودیت عدم دسترسی به بعضی از وسایل نقلیه برای تعدادی از مشتریان، نظر گرفته می‌شود. دپوی مرکزی شامل ناوگانی از وسایل نقلیه با ظرفیت‌های مختلف و به تعداد نامحدود بوده و تقاضای مشتریان به صورت پویا است و در هر دوره قابل تغییر است.

در مقاله فلاحی و همکاران (۲۰۰۸) موضوع حل مساله مسیریابی وسایل نقلیه چند تقاضایی و در مقاله مندوزا^۱ و همکاران (۲۰۱۰) مدل سازی و حل مساله مسیریابی چند تقاضایی با تقاضای تصادفی مورد توجه قرار گرفته است.

گولزینسکی^۲ و همکاران (۲۰۱۰) مساله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با شکست را با هدف به حداقل رساندن مقادیر شکست تقاضای مشتریان مورد بررسی قرار دادند. ایده اصلی آنها این نکته است که اگرچه شکست تقاضا می‌تواند با تسهیل در برنامه‌ریزی وسایل نقلیه، هزینه‌های سفر را

1 Mendoza

2 Gulezyski

کاهش دهد اما باعث نارضایتی مشتریان خواهد شد. چرا که مشتریان تمایل دارند کل تقاضای خود را به صورت یکجا دریافت کنند. بنابر این مدل مورد بررسی آنها، حداقل کردن مقادیر شکست تقاضا را نیز به عنوان هدف دوم مورد بررسی قرار می‌داد.

کائو^۱ و لای^۲ (۲۰۱۰) مساله مسیریابی وسایل نقلیه باز با تقاضای مرحله ای را مورد بررسی قرار دادند و بر مبنای نظری مرحله‌ای، یک کران برای تقاضا در نظر گرفته و با کمک آن مدل خود را توسعه داده و حل کردند. تاثیر ترجیحات تصمیم‌گیرنده بر خروجی مساله نیز با استفاده از شبیه‌سازی تصادفی بررسی شده و بازه ترجیحات ممکن محاسبه شد.

توکلی مقدم و همکاران (۲۰۱۱) مساله مسیریابی وسایل نقلیه رقابتی را با فرض وجود پنجره زمانی مدل‌سازی و حل کردند. کمینه کردن هزینه و بیشینه کردن فروش، توابع هدف مدل آنها می‌باشد. شرط تحقق فروش در این مدل، ملاقات گره در زمانی زودتر از رقیب می‌باشد. همچنین در این مدل فرض شده است که کالای توزیع شده فاسدشدنی بوده و مشتریان برای نگهداری آن نیاز به تجهیزات مخصص دارند. بنابر این زمان ملاقات مشتری بر روی میزان فروش موثر می‌باشد. علینقیان و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی مساله مسیریابی رقابتی پرداختند. آنها در کار خود که در حوزه مسیریابی دوره‌ای صورت پذیرفته است رفتار رقیب مقابل را یک برنامه نسبتاً ثابت فرض کرده و زمان ورود وی به هر یک از گره‌ها را به صورت تابعی احتمالی و با توزیع مشخص و امید ریاضی این تابع را به عنوان زمان ورود رقیب فرض کردند که در صورت ورود زودتر از این زمان فروش صورت خواهد گرفت و در غیر این صورت از دست خواهد رفت.

اسپیسر^۳ و فرازولی^۴ (۲۰۱۲) یک سیستم چندوسایله‌ای را مورد بررسی قرار دادند که هر وسیله برای تحقق منافع خود در رسیدن به یک سری اهداف که در منطقه توزیع شده‌اند با دیگر وسایل نقلیه رقابت می‌کند. در مدل مورد بررسی، راننده هر وسیله دانش محدودی درباره محل اهداف دارد. محققان در این مقاله یک الگوریتم راهبردی معرفی کردند که به هر راننده اجازه می‌دهد تا به صورت موثر درباره مسیر حرکت خود تصمیم‌گیری کند. الگوریتم پیشنهادی آنها بر اساس مساله مسیر گاو شکل گرفته است که در آن دو گاو با یکدیگر بر سر پیدا کردن مسیر علفزار رقابت می‌کنند. این مدل و الگوریتم ارائه شده در قالب یک مطالعه نمونه بر روی یک شبکه تاکسی‌رانی آزمایش شده است.

توکلی مقدم و همکاران (۲۰۱۲) مساله مسیریابی وسایل نقلیه را در شرایط تصادفی بودن

1 Cao

2 Lai

3 Spieser

4 Frazzoli

زمان سفر مورد بررسی قرار دادند. مدل مورد بررسی آنها رضایت راننده وسیله نقلیه را نیز به عنوان یک مساله مهم برای شرکت پخش مورد توجه قرار می‌داد. در این مقاله فرض شده است که رضایت راننده با افزایش زمان سرویس‌دهی کاهش می‌یابد.

ماریناکیس^۱ و همکاران (۲۰۱۳) مساله مسیریابی وسایل نقلیه با تقاضای تصادفی را در شرایطی مورد بررسی قرار دادند که تقاضای هر گره تنها در هنگام ملاقات آن مشخص می‌شود. بلهیزا^۲ و همکاران (۲۰۱۴) مساله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی چندگانه را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی، کاهش میزان کالاهای مرجوعی بر اساس مفهوم پنجره‌های زمانی چندگانه و به حداقل رساندن زمان انتظار برای تحویل کالا به مشتری و همچنین زمان تاخیر در تحویل کالا به مشتری مورد بررسی قرار داده شده است. محققان، برای حل مدل مزبور یک الگوریتم تلفیقی بر اساس ترکیب الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر و الگوریتم جستجوی مناطق ممنوعه ارائه کرده و نتایج حاصل از آن را با الگوریتم کلونی مورچگان مقایسه کردند.

ازی^۳ و همکاران (۲۰۱۴) مساله مسیریابی وسایل نقلیه را در شرایط کوتاه بودن زمان هر سفر بررسی کردند. محققان در مقاله مزبور فرض کردند که یک ناوگان مشخص از وسایل نقلیه موجود بوده و با توجه به محدودیت زمان پاسخگویی به درخواست همه مشتریان امکان‌پذیر نمی‌باشد. بیشنه کردن تعداد مشتریان بازدید شده در مرحله نخست و کمینه کردن مسافت پیموده شده توسط وسایل ناوگان در مرحله بعد، اهداف این مدل می‌باشند. همچنین در این مقاله، بین‌گره‌ها بیش از یک مسیر وجود دارد.

کاتاروزا^۴ و همکاران (۲۰۱۴) مساله مسیریابی چندسفره را با محدودیت زمان و ظرفیت ناوگان مورد توجه قرار دادند. هدف این مساله به حداقل رساندن زمان سفر بود.

کومار^۵ و همکاران (۲۰۱۴) مساله مسیریابی وسایل نقلیه چند هدفه با پنجره زمانی را مورد بررسی قرار دادند. اهداف مدل ارائه شده در مقاله مزبور، کاهش کل مسافت پیموده شده و تعداد کل وسایل به کار گرفته شده می‌باشد.

ژنگ^۶ و همکاران (۲۰۱۵) مساله مسیریابی وسایل نقلیه ارائه کردند که بارگیری مجدد وسایل

1 Marinakis

2 Belhaiza

3 Azi

4 Cattaruzza

5 Kumar

6 Zhang

در طول سفر امکان‌پذیر است. این مساله به صورت چند دپویی با ناوگان ناهمگون و پنجره زمانی مورد بررسی قرار داده شده است. با در نظر گرفتن تابع هدف و محدودیت‌های مساله، یک فرمول‌بندی ابتکاری برای حل آن در این مقاله ارائه شد.

بزرگی امیری و همکاران (۲۰۱۵) مساله مسیریابی با شکست تقاضا را مورد بررسی قرار دادند. در مقاله آنها هزینه سوخت وسایل که وابسته به مسیر طی شده و میزان بار حمل شده می‌باشد به عنوان تابع هدف مدل در نظر گرفته شد. میزان سوخت مصرفی در این مدل به شکل تابعی از واحد بار پیموده شده در هر واحد مسافت تخمین زده شده است.

کبکام^۱ و موکتونگلانگ^۲ (۲۰۱۵) یک مدل ریاضی از مساله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی نرم ارائه دادند. مدل این مقاله بر مبنای چند قرارگاه و چند سفر بنا شده است که چند گروه کالایی در آن توزیع می‌شوند و هر یک از قرارگاه‌ها برای انبار کردن یک کالا اختصاص داده شده‌اند. هر وسیله نقلیه نیز می‌تواند در طول زمان مجاز کاری خود بیش از یک سفر داشته باشد. گلی و علی‌نقیان (۲۰۱۵) به بررسی مساله مکان‌یابی-مسیریابی چند دپویی برای وسایل نقلیه امدادی پرداختند. با توجه به اهمیت سرعت عمل در انجام عملیات امداد و نجات، محققان مدل مزبور را برای شرایط بحرانی مانند سیل و زلزله پیشنهاد دادند. در مساله مورد بررسی آنها موضوع پوشش حداکثری مورد توجه قرار داده شده است. در مدل پیشنهادی، بازدید همه نقاط الزامی نیست. زیرا با توجه به شرایط بحران، بازدید برخی نقاط امکان‌پذیر نبوده و این نقاط نیازهای خود را از نزدیکترین نقطه امکان‌پذیر دریافت می‌کنند.

ویلیام^۳ و روگر^۴ (۲۰۱۸)، مدلی برای جمع‌آوری زباله‌های مواد غذایی مسکونی ارائه دادند که در آن هزینه‌های ترابری که توسط ارائه دهندگان خدمات تامین می‌شود. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که افزایش مشارکت خانوار تا یک آستانه بحرانی، باعث کاهش زمان سفر و هزینه برای هر خانوار می‌شود و بعد از آن شاهد بهبود زمان و هزینه‌های سربار خواهیم بود. علاوه بر این، تراکم خانوار محلات نیز روی این مساله تاثیرگذار است.

اگویزابالجزو^۵ و همکاران (۲۰۱۸) یک الگوی پیشنهادی برای برنامه‌ریزی ترابری مدارس به منظور دستیابی به بازدهی عملیاتی بیشتر ارائه دادند که شامل به حداقل رساندن هزینه اتوبوس و کل زمان سفر برای همه دانش‌آموزان است. این مدل بر اساس برنامه‌ریزی مسیر اتوبوس با توجه به تغییر در زمان شروع مدرسه است و اتوبوس‌ها می‌توانند بیش از یک مسیر را طی کنند. در

1 Kabcome
2 Mouktonglang
3 William
4 Roger
5 EguizabalJosé

نمونه‌های مورد بررسی، استفاده از این مدل، بین ۲,۷ درصد و ۳۵,۱ درصد کاهش داد. اوزنر^۱ و اکیسی^۲ (۲۰۱۸) مساله مسیریابی وسایل نقلیه حمل خون را با هدف بهبود عرضه پلاکت در زنجیره تامین خون مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به رفتار اهداکنندگان و محدودیت زمانی شش ساعته، مسیریابی وسایل نقلیه جمع‌آوری خون، به شدت به به زمان حساس است. در این مدل خوشه‌بندی و مسیریابی یکپارچه برای جمع‌آوری و پردازش واحدهای خونی به منظور تولید پلاکت پیشنهاد شده است و تنها یک وسیله نقلیه در هر خوشه خدمت کنند. با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی مقاله مزبور، راه‌حل‌ها تا ۱۵ درصد بهبود داشته‌اند.

در مرور تحقیقات انجام شده، مقاله آرمان‌مهر و غلامی (۱۳۹۴) مرتبط‌ترین پژوهش با تحقیق حاضر می‌باشد. در مقاله مزبور، مقدار تقاضای هر گره ثابت بوده و توزیع‌کننده می‌بایست نسبت به تحویل یا عدم تحویل کالا به وی تصمیم بگیرد. البته در صورت گزینش یک گره، در شعاع همسایگی آن به هیچ گره دیگری سرویس داده نمی‌شود. وجه افتراق مقاله حاضر با تحقیق مورد اشاره آن است که در این تحقیق، سرویس‌دهی به مشتریان نزدیک به یکدیگر تا سرحدی که فروش از حد قابل قبول گره پایین‌تر نیاید با احتساب صرفه و صلاح اقتصادی، مجاز تلقی می‌گردد. همچنین فرض مربوط به وجود تقاضای مربوط به مشتریان وفادار هر گره نیز در مدل حاضر افزوده شده است.

مدل ریاضی

کلیات مدل

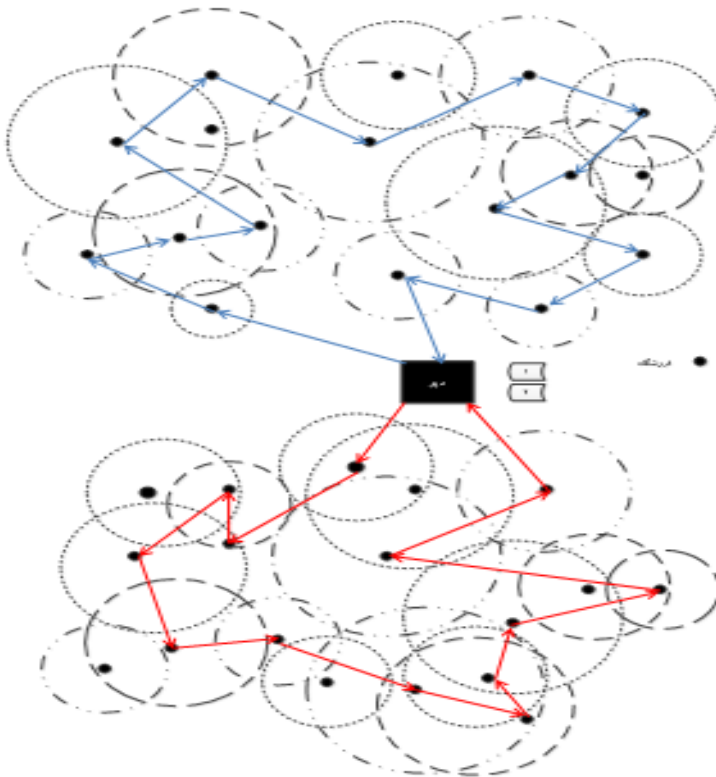
در مدل مورد بررسی در این مقاله، موضوع انتخاب گره‌های تقاضا بر اساس راهبرد طراحی کانال توزیع انتخابی با موضوع مساله مسیریابی وسایل نقلیه تلفیق شده است. فرض رفتاری حاکم بر این مدل آن است که تقاضای کل مناطق جمعیتی ثابت بوده و بین توزیع‌کنندگان کالا در آن منطقه تقسیم می‌شود. بنابراین میزان تقاضای هر گره تقاضا (که خود نقش یک فروشنده را در محل خود بر عهده دارد) با گستره توزیع کالا در آن منطقه نسبت عکس دارد و هر چقدر کالا در میان توزیع‌کنندگان همسایه وی بیشتر توزیع شود تقاضای وی کمتر خواهد بود. در مدل‌سازی ریاضی فرض شده است هر مشتری یک شعاع همسایگی دارد که چنانچه به یک یا چند مشتری در اطراف وی سرویس داده شود تقاضای او به نسبت تعداد این مشتریان (با در نظر گرفتن خود وی) کاسته خواهد شد. در واقع تقاضای یک مشتری شامل دو بخش است. یک بخش از تقاضا مستقل از میزان توزیع کالا می‌باشد و بخش

1 Ozener

2 Ekici

دیگر وابسته به تعداد گره‌های همسایه‌ای است که کالا در آنها توزیع شده است. چنانچه به دلیل توزیع در بین همسایگان یک گره، تقاضای آن گره از مقدار مشخصی کمتر باشد دیگر آن مشتری سفارش کالا نخواهد داد. این محدودیت می‌تواند به موجب قرارداد به توزیع‌کننده تحمیل شود و یا آن که بواسطه مطالعات بازار خود به این نتیجه رسیده باشد که وجود چند توزیع‌کننده نزدیک هم به بازار لطمه خواهد زد.

در شکل شماره یک، مدل طرح‌واره‌ای مسأله مورد بررسی، نشان داده شده است.



شکل (۱) مدل طرح‌واره‌ای مسأله در حالت وابستگی تقاضا به تعداد مشتریان در شعاع همسایگی (آرمانمهر و سعیدی، ۱۳۹۴)

در این مدل هر مشتری یک شعاع همسایگی دارد که تقاضای آن بر اساس تعداد مشتریان موجود در شعاع همسایگی وی تعیین می‌شود. به هر میزان که به مشتریان موجود در همسایگی وی سرویس داده شوند تقاضای وی کاهش می‌یابد.

این مدل در عمل هم دارای کاربردهای فراوانی است و با واقعیت‌های حاکم بر فضای بازار انطباق دارد. سرویس خدمات پزشکی، توزیع محصولات دارویی و داروهای گیاهی نمونه‌هایی از کاربردهای آن در واقعیت است (جان و دیوید^۱، ۲۰۰۱).

مفروضات اصلی

- مفروضات حاکم بر این مدل به شرح زیر است.
- ۱- تقاضای هر مشتری مقداری قطعی است و شامل یک بخش ثابت و یک بخش متغیر است که از سرشکن شدن کل تقاضای منطقه بین تعداد گره‌هایی که کالا بین آنها توزیع شده است به دست می‌آید.
 - ۲- توزیع‌کننده یک قرارگاه دارد که وسایل نقلیه در ابتدای هر روز از این قرارگاه بارگیری کرده و به سمت گره‌های تقاضا حرکت می‌کنند. مساله از نوع مسیریابی باز می‌باشد و الزامی به بازگشت وسایل نقلیه در پایان روز به قرارگاه نیست.
 - ۳- ظرفیت و سرعت هر یک از تجهیزات ناوگان ثابت و مشخص و مستقل از زمان است.
 - ۴- کمان‌ها دو طرفه‌اند و فاصله بین هر دو گره صرف نظر از گره مبداء و مقصد یکسان است.
 - ۵- مدت کارکرد مجاز هر وسیله نقلیه مشخص است و هزینه وسیله نقلیه نیز تابعی خطی و مستقیم از مدت کارکرد وسیله با یک هزینه مشخص می‌باشد.
 - ۶- در مدت کارکرد هر وسیله نقلیه، کلیه گره‌ها قابل ملاقات می‌باشند.
 - ۷- هر گره حداکثر توسط یک وسیله نقلیه ملاقات می‌شود و تقاضای آن را تامین می‌کند. بنابراین شکستن تقاضا مجاز نیست.
 - ۸- کالا در طول مدت توزیع فاسد نخواهد شد.
 - ۹- قیمت فروش هر واحد کالا به کلیه گره‌ها ثابت بوده و فروش داغ وجود ندارد.
- هر گره دارای یک پنجره زمانی است که صرفاً باید در همین زمان مورد بازدید واقع شود.

اندیس‌ها و پارامترهای مدل

- اندیس‌ها و پارامترهای مورد استفاده در مدل مسأله به شرح زیر می‌باشند.
- n : تعداد نقاط (گره‌های) تقاضا (قرارگاه مرکزی در گره $i=0$ قرار دارد).
- NV : تعداد خودروهای در دسترس توزیع‌کننده

ظرفیت خودروی شماره V	k_v
میزان تقاضای مشتری شماره i	a_i
شعاع همسایگی مشتری i (در صورتی که به یک مشتری در این فاصله سرویس‌دهی شد دیگر به مشتری i سرویس‌دهی نخواهد شد.	b_i
قیمت فروش واحد محصول	C
حداکثر زمانی که خودروی شماره V می‌تواند طی مسیر کند.	TV_v
هزینه هر ساعت کارکرد خودروی شماره V	d_v
زمان طی مسیر از گره i به گره j توسط وسیله شماره V .	t_{ij}^v
فاصله گره i تا گره j	Y_{ij}
زمان سرویس‌دهی به مشتری شماره i توسط وسیله شماره V ، مقدار این متغیر برای قرارگاه برابر زمان لازم برای بارگیری می‌باشد.	t_i^v
زودترین زمان قابل قبول برای سرویس‌دهی به گره i	l_i
دیرترین زمان قابل قبول برای سرویس‌دهی به گره i	l'_i
تقاضای واقعی گره i	h_i
حداقل تقاضای گره i برای ثبت سفارش	j_i
سقف تقاضای ممکن گره i (وابسته به تعداد گره‌های توزیع‌شده)	a_i
میزان تقاضای مستقل گره i	e_i

متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم مسأله به شکل زیر می‌باشند.

اگر مسیر گره i به j توسط خودرو V طی شود یک و در غیر این صورت صفر می‌باشد	X_{ij}^v
اگر گره i در شعاع همسایگی گروه j قرار داشته باشد یک و در غیر این صورت صفر می‌باشد	Z_{ij}
زمان آغاز سرویس‌دهی به گره i	t_i
اگر گره j در همسایگی گره i باشد و به آن سرویس‌دهی شود یک و در غیر این صورت صفر می‌باشد.	L_{ij}

مدل ریاضی

مدل ریاضی مسأله به شکل زیر است.

$$\text{Max } K_1 = C \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v h_j - \sum_{v=1}^{NV} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_v X_{ij}^v (t_{ij}^v + t_i^v) \quad (1)$$

$$\text{Max } K_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_i L_{ij} - \sum_{v=1}^{NV} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_v X_{ij}^v (t_{ij}^v + t_i^v) \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{ij}^v - \sum_{k=0}^n X_{jk}^v = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad v = 1, 2, \dots, NV \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ji}^v \leq 1 \quad (5)$$

$$\sum_{v=1}^{NV} \sum_{i=1}^n X_{0i}^v = NV \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^n h_j X_{ij}^v \leq k_v \quad v = 1, 2, \dots, NV \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n X_{ij}^v (t_{ij}^v + t_i^v) \leq TV_v \quad v = 1, 2, \dots, NV \quad (8)$$

$$t_i + d_v + t_{ij}^v - t_j \leq M(1 - X_{ij}^v) \quad v = 1, 2, \dots, NV \quad (9)$$

$$t_j \leq M \sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad j = 0, 1, \dots, n \quad v = 1, 2, \dots, NV \quad (10)$$

$$t_0 = 0 \quad (11)$$

$$t_j \geq l_j \sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$t_j \leq l'_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

$$Y_{ij} * Z_{ij} \leq b_i \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$b_i - Y_{ij} \leq M * Z_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

$$k = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n L_{kj} = \frac{a_k}{h_k - e_k} - 1$$

$$j = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

$$L_{kj} \leq \sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v$$

$$j = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

$$L_{kj} \leq Z_{kj}$$

$$k = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^v \leq \frac{h_j}{j_j}$$

$$X_{ij}^v \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, n \quad v = 1, 2, \dots, NV \quad (20)$$

$$Z_{ij} \in \{0,1\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

$$L_{ij} \in \{0,1\} \quad (22)$$

$$t_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

رابطه یک تابع هدف اول توزیع کننده می باشد. در این رابطه تابع مطلوبیت وی در قالب بیشینه سازی مقدار درآمد ناشی از فروش محصول پس از کسر هزینه ترابری مدل سازی شده است. فرض شده است که قیمت فروش هر محصول مقدار ثابت c و درآمد هر گره برابر با حاصل ضرب این مبلغ در تقاضای آن گره می باشد. هزینه ها نیز معادل مجموع هزینه کارکرد کلیه وسایل نقلیه می باشد و هزینه هر وسیله نقلیه برابر با حاصل ضرب هزینه هر ساعت سیر در کل زمان سیر آن وسیله می باشد. رابطه دو تابع هدف دوم و مربوط به بیشینه کردن رضایت مشتریان می باشد. در این تابع فرض شده است هر چه قدر کالا بیشتر توزیع شده باشد و دسترسی مصرف کنندگان نهایی به محصول راحت تر باشد آنها رضایت بیشتری دارند. چرا که با مراجعه به نزدیکترین فروشگاه می توانند آن را دریافت کنند. برای برآزش تابع رضایت فرض شده است که میزان این رضایت تابعی مستقیم و خطی از تعداد فروشگاه های دیگر آن منطقه است که کالای مورد نظر را دارند. همچنین فرض شده است در افق برنامه ریزی این موضوع بر روی میزان خرید اثرگذار نیست و صرفاً یک متغیر روانی است که در بلندمدت اثرگذار خواهد

بود. طبیعتاً میزان رضایت مشتریان هر گره وابسته به حجم کل تقاضای آن گره و تعداد گره‌های همسایه‌ای است که این کالا را برای فروش عرضه می‌کنند.

رابطه سه تضمین می‌کند که حداکثر یک خودرو از ناوگان توزیع‌کننده یک به گره i وارد می‌شود. رابطه چهار برای مدل‌سازی این واقعیت ارائه شده است که هر خودرویی که وارد یک گره می‌شود حتماً از آن خارج می‌شود و اگر خودرویی به گره‌ای وارد نشود مطمئناً از آن خارج نخواهد شد. رابطه پنج نیز به این معناست که اگر خودرویی گره i به زرا طی کند مطمئناً دیگر از گره z به گره i باز نخواهد گشت. این دو رابطه به منظور جلوگیری از تولید جواب‌های غیر منطقی در محاسبات رایانه‌ی حل مسأله به کار گرفته می‌شوند و رابطه پیوستگی مسیر هر خودرو را تضمین می‌کنند.

رابطه شش مربوط به تعداد خودروهای خارج شده از قرارگاه در ابتدای برنامه کاری است. رابطه هفت مربوط به محدودیت ظرفیت خودروهاست. بر اساس این رابطه مجموع بار تحویل شده به کلیه گره‌های موجود در مسیر خودرو شماره v از ظرفیت این خودرو بیشتر نخواهد بود. رابطه هشت تضمین می‌کند که زمان کارکرد هر خودرو از مدت مجاز پیش‌بینی شده بیشتر نباشد.

در این مساله برای هر فروشنده یک پنجره زمانی در نظر گرفته شده است که ورود وسیله نقلیه توزیع کالا باید در آن بازه زمانی صورت پذیرد. برای مدل‌سازی این شرایط، رابطه نُه زمان آغاز سرویس‌دهی به گره i را محاسبه می‌کند. بر اساس این رابطه زمان سرویس‌دهی به یک گره برابر است با جمع زمان سرویس‌دهی به گره قبلی بعلاوه زمان طی مسیر از گره قبلی به گره مورد نظر توسط خودروی سرویس‌دهنده که نهایتاً باید زمان ورود این خودرو به گره قبلی نیز بدان افزوده شود. همچنین به دلیل وجود ملاحظات پنجره زمانی، ممکن است زمان آغاز سرویس‌دهی به یک گره مشخص بیشتر از زمان ورود به آن باشد و عملاً توزیع‌کننده دقایقی در آنجا معطل شود که این رابطه، اجازه وجود چنین شرایطی را نیز فراهم آورده است. هرچند منطق بهینه‌سازی تا سرحد ممکن، این شرایط را به حداقل خواهد رساند. از آنجا که بر اساس رابطه نُه چنانچه یک گره توسط هیچ وسیله‌ای بازدید نشود مقدار متغیر مربوط به زمان بازدید آن آزاد در مقدار خواهد بود به منظور جلوگیری از اشتباه محاسباتی، رابطه (۱۰) مقدار متغیر ریاضی مربوط به این گره‌ها را برابر صفر قرار می‌دهد. رابطه (۱۱) مبداء زمانی را مشخص می‌کند. رابطه (۱۲) و (۱۳) نیز تضمین می‌کنند که این زمان در بازه مجاز سرویس‌دهی به گره مزبور قرار داشته باشد. مقدار متغیر X به عنوان برآزش‌کننده بازدید از گره z در سمت راست معادله (۱۲) لحاظ شده است تا در خصوص گره‌هایی که بازدید نشده‌اند اشتباه محاسباتی رخ ندهد. این موضوع در رابطه (۱۳) به دلیل نوع نامعادله (کوچکتر یا مساوی) مورد نیاز نبوده است.

رابطه (۱۴) و (۱۵) برآزش‌کننده متغیر مربوطه به تعیین وضعیت حضور یا عدم حضور هر یک

از گره‌ها در شعاع همسایگی یک گره خاص می‌باشد. رابطه (۱۴) تضمین می‌کند که اگر فاصله بین گره i و j از شعاع مجاز همسایگی بیشتر باشد مقدار متغیر برآزش‌کننده همسایگی الزاماً صفر می‌باشد. فرض شده است شعاع همسایگی برای هر گره متناسب با شرایط خود آن گره تعریف می‌شود. رابطه (۱۵) نیز تضمین می‌کند اگر این فاصله کمتر از شعاع همسایگی باشد حتماً مقدار این متغیر برابر یک می‌باشد.

رابطه (۱۶) مقدار واقعی تقاضا را با توجه به تعداد مشتریان در شعاع همسایگی برآزش می‌کند. در این رابطه فرض شده است هر گره دارای یک مقدار ثابت تقاضا (e) می‌باشد که صرف نظر از تعداد فروشگاه‌های همسایه‌ای که این کالا را عرضه می‌کنند به این میزان مشتریان وفاداری دارد که باید آنها را پوشش دهد. بخش دوم تقاضا (a) به نسبت مساوی بین هر گره و گره‌های همسایه-ای که به آنها سرویس داده می‌شود سرشکن خواهد شد. اصل این رابطه به شکل رابطه ۲۴ قابل بیان است که بعد از اعمال پایه ریاضی این رابطه به صورت رابطه ۲۵ قابل نوشتن است.

$$h_k = \frac{a_k}{(1 + \sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^{NV} \sum_{j=1}^n X_{ij}^v Z_{kj})} + e_k \quad (24)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^{NV} \sum_{j=1}^n X_{ij}^v Z_{kj} = \frac{a_k}{h_k - e_k} - 1 \quad (25)$$

به منظور تبدیل این رابطه غیر خطی به یک رابطه خطی، از تعریف یک متغیر واسط جدید L_{kj} کمک گرفته می‌شود. مقدار این متغیر به ازای هر گره j در صورتی برابر یک می‌باشد که اولاً به آن گره سرویس‌دهی شده باشد و ثانیاً گره مزبور در شعاع همسایگی گره k باشد. این دو شرط در قالب رابطه‌های (۱۷) و (۱۸) تعریف شده‌اند. از متغیر تعریف شده فوق در تابع هدف دوم نیز استفاده شده است.

رابطه (۱۹) تضمین می‌کند که اگر مقدار واقعی تقاضا کمتر از حداقل قابل قبول باشد دیگر سفارشی صادر نخواهد شد. طبیعتاً در شرایطی که مقدار تقاضای مشتریان یک گره از حداقل تقاضای ثبت سفارش بیشتر باشد صدور سفارش، مستقل از میزان توزیع کالا در گره‌های همسایه، انجام خواهد شد. روابط (۲۰) تا (۲۳) نیز نوع متغیرها را مشخص می‌کنند.

مدل فوق، با مدل پایه مساله مسیریابی وسایل نقلیه سازگار است. البته محاسبه رضایت مصرف‌کنندگان نهایی به عنوان تابعی از فاصله آنها تا گره فروش و بیشینه کردن آن در قالب تابع هدف دوم، از نوآوری‌های خاص همین مدل می‌باشد. سرشکن شدن تقاضای کل منطقه بین گره-ها از دیگر نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد که در رابطه غیر خطی ۲۴ بیان شده و در قالب رابطه ۱۶ تا ۱۸ به رابطه خطی تبدیل شده است. روابط ۱۴ و ۱۵ نیز متغیر مربوط به همین محدودیت

را برآزش می‌کنند و در همین مدل توسعه داده شده‌اند. در نهایت انصراف فروشنده در صورت پایین بودن تقاضا که در رابطه ۱۹ بیان شده از نوآوری‌های خاص همین مدل می‌باشد.

اعتبارسنجی مدل: طراحی و حل مسائل نمونه

به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، این مدل در اختیار تعدادی از خبرگان این حوزه قرار داده شده و نظرات و پیشنهادات آنها در مدل اعمال گردید. پس از تایید روایی مدل های پیشنهادی به منظور تایید پایایی آنها، تعدادی مسائل نمونه طراحی شده و مدل مزبور، در قالب تعدادی مسأله نمونه حل گردید. در این بخش نتایج محاسباتی و تحلیل‌های مربوط به مدل‌های توسعه داده شده ارائه شده است.

طراحی مسائل نمونه

برای طراحی مساله نمونه باید پارامترهای مدل را به شکل مناسبی تخمین زد. عموماً از یک سری داده آماده^۱ نظیر داده‌های سولومن^۲ استفاده می‌شود. اما از آنجا که مدل مورد بحث در این مقاله پارامترهای منحصر به فرد و خاصی دارد استفاده از داده‌های نمونه موجود چندان برای آن کارساز نیست. لذا برای ایجاد مسائل از توزیع احتمال یکنواخت استفاده شده است (علینقیان و همکاران، ۲۰۱۲).

برای تولید اعداد مربوط به ظرفیت خودرو از توزیع یکنواخت با پارامترهای ۶۰۰ و ۱۰۰۰ استفاده شده است. میزان تقاضای مشتریان با استفاده از توزیع یکنواخت در بازه‌ی ۷۰ و ۱۲۰ بدست آمده است. شعاع همسایگی هر مشتری با استفاده از توزیع یکنواخت در بازه‌ی چهار و شش بدست آمده است. همچنین، قیمت محصولات با استفاده از توزیع یکنواخت در بازه‌ی هشت و ۱۲ بدست آمده است. حداکثر زمانی که خودروی شماره ۷ می‌تواند طی کند با استفاده از توزیع یکنواخت در بازه‌ی شش و هشت (بر حسب ساعت) بدست آمده است. هزینه هر ساعت کارکرد خودرو نیز یک مقدار ثابت به اضافه ضریب هزینه آن خودرو در ظرفیت آن است. زمان سرویس دهی به هر مشتری با استفاده از توزیع یکنواخت در بازه‌ی ۰,۱ و ۰,۲ بدست آمده است.

زودترین زمان قابل قبول برای سرویس دهی به هر گره با استفاده از توزیع یکنواخت در بازه صفر و هفت و دیرترین زمان قابل قبول برای ارائه سرویس، با استفاده از رابطه $1 + I_i$ محاسبه

1 Test Problem

2 Solomon

شده است. حداقل تقاضای هر گره در مدل دوم نیز از ضرب میزان تقاضای وی در تابع توزیع یکنواخت بین ۰,۲ تا ۰,۴ بدست آمده است. میزان تقاضای مستقل هر مشتری نیز از ضرب تقاضای وی در توزیع یکنواخت بین ۰,۱ تا ۰,۳ بدست آمده است. برای تخمین مناسب زمان تردد بین گره‌ها، موقعیت استقرار نقاط تقاضا در سطح شهر با استفاده از تابع تصادفی توزیع یکنواخت بین صفر و ۵۰ تخمین زده شد. خلاصه ای از اطلاعات مسائل نمونه در جدول دو آورده شده است.

جدول (۲) مقادیر پارامترهای مدل

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
U(0.1,0.2)	t_i^v	U(600,1000)	k_v
U(0,7)	l_i	U(70,120)	a_i
$l_i + 1$	l'_i	U(4;6)	b_i
$a_i * U[0.2 \ 0.4]$	j_i	U(8,12)	c
$a_i * U[0.1 \ 0.3]$	e_i	U(6,8)	TV_v
U[0 50]	x_i, y_i	U(100, 700)	d_v

با فرض هندسی بودن فاصله‌ها، فاصله بین گره‌ها با رابطه ۲۶ توصیف شده است. سرعت حرکت وسیله نقلیه ۱۰ در نظر گرفته شده و پارامترهای زمانی نیز به شکل رابطه ۲۷ تخمین زده می‌شوند.

$$y_{ij} = |x_j - x_i| + |y_j - y_i| \quad (26)$$

$$t_{ij} = \frac{|x_j - x_i| + |y_j - y_i|}{10} \quad (27)$$

الگوریتم حل

از آنجا که مسأله VRP یک مسأله NP-Hard است و با افزایش ابعاد مسأله زمان حل آن به شکل نمایی افزایش می‌یابد لذا حل آن با استفاده از روش‌های دقیق میسر نیست و باید از الگوریتم‌های تقریبی کمک گرفت. در این تحقیق برای حل مدل از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات چند هدفه^۱ و الگوریتم نوع دوم مرتب‌سازی جواب‌های غیر مغلوب به روش ژنتیک^۲ کمک گرفته شده و مساله در محیط نرم‌افزار MATLAB کدنویسی و برای داده‌های نمونه مورد استفاده حل شده است.

برای تنظیم پارامترهای مربوط به الگوریتم‌های فرا ابتکاری ارائه شده از روش سعی و خطا استفاده شد. مقادیر پارامترهای MOPSO و NSGA-II در جدول سه نشان داده شده است. C_1, C_2 ضریب شتاب دهی و W به منظور همگرایی ذره‌ها تعیین شده است.

جدول (۳) مقادیر پارامتر الگوریتم‌های چند هدفه، مدل سهمیه‌بندی بازار، صورت‌بندی دوم

پارامترهای الگوریتم NSGA-II		پارامترهای الگوریتم MOPSO	
۱۰۰	تعداد ذره‌ها	۵۰	تعداد ذره‌ها
۱۰۰	تعداد تکرارها	۵۰۰	تعداد تکرارها
۰,۷	عملگر تقاطعی	۱,۴۹	پارامتر C_1
۰,۳	عملگر جهشی	۱,۴۹	پارامتر C_2
		۰,۷۲۹	پارامتر W
		۵	پارامتر β
		۱۰	پارامتر n

نحوه اعتبارسنجی نتایج خروجی محیط نرم‌افزاری

بررسی عملکرد الگوریتم‌های چند هدفه از عملکرد الگوریتم‌های یک هدفه پیچیده‌تر است و معیارهای مختلفی برای ارزیابی این روش‌ها وجود دارد و یک شاخص ارزیابی نمی‌تواند برای بررسی جواب‌های حاصل از الگوریتم‌های ارائه شده کافی باشد. به طور کلی یک جواب ارائه شده توسط الگوریتم‌های چند هدفه می‌بایست، سه ویژگی داشته باشد. اولاً فاصله بین مجموعه

1 Multi-objective Particle swarm optimization (MOPSO)

2 Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II)

جوابهای غالب^۱ حاصل از حل مسئله توسط الگوریتم با مجموعه پارتو بهینه کمینه باشد. ثانیاً نحوه توزیع جوابها در مجموعه جواب های پاره تو به صورت یکنواخت باشند و نهایتاً جوابهای حاصله به صورت گسترده بخش زیادی از مقادیر هر یک از توابع هدف را پوشش دهند. شاخصهای مختلفی برای ارزیابی جواب الگوریتمهای فراابتکاری حل مسائل چندهدفه ارائه شدهاند که عمدهترین آنها شامل موارد زیر می باشد. (رحمتی و زندیه: ۱۳۹۱، ۶۹)

- فاصله گذاری: این شاخص فاصله نسبی جوابهای متوالی را محاسبه می کند. این شاخص هر چه کمتر باشد بهتر است.
 - پوشش مجموعه: این معیار، نسبت جوابهایی از مجموعه جواب B را که به صورت توسط جوابهایی از مجموعه جوابهای A غلبه می شوند محاسبه می کند. این شاخص هر چه بیشتر باشد بهتر است.
 - فاصله از جواب ایده آل: این معیار، میانگین فاصله جوابهای پاره تو از مبدا مختصات را محاسبه می نماید. هر چه این معیار کمتر باشد، کارآیی الگوریتم بیشتر خواهد بود.
 - بیشترین گسترش: این معیار طول قطر مکعب فضایی را که توسط مقادیر انتهایی اهداف برای مجموعه جوابهای نامغلوب بکار می رود اندازه گیری می کند. این شاخص هر چه بیشتر باشد بهتر است.
 - تعداد جوابهای غیر مغلوب یافت شده^۲: هر چه تعداد جوابهای غیر مغلوب (پارتو) یک روش بیشتر باشد، آن روش مطلوب تر است.
- در این تحقیق برای سنجش پاسخ دو الگوریتم از تعداد جوابهای غیر مغلوب یافت شده و شاخص پوشش مجموعه (C) استفاده شده است. بر اساس شاخص نخست، الگوریتمی از کیفیت بالاتر برخوردار است که بتواند به تعداد بیشتری از جوابهای پارتو دسترسی پیدا کند. برای محاسبه شاخص دوم از معادله ۲۸ استفاده می گردد.

$$C(A, B) = \frac{|\{b \in B | \exists a \in A: a > b\}|}{|B|} \quad (28)$$

در این معادله A و B به ترتیب مجموعه غالب حاصل از الگوریتم اول و دوم هستند و نماد $|X|$ تعداد اعضای مجموعه X را نشان می دهد. وقتی $C(A, B) = 1$ می گردد. بدین معنا است که تمامی اعضای مجموعه B توسط مجموعه A مغلوب شده اند.

1 nondominated
2 Quantity metric

تحلیل خروجی نرم افزار

مسائل تولیدشده با استفاده از داده‌های نمونه، حل شده و نتایج مربوط به شاخص C و تعداد جواب مغلوب در جدول چهار گزارش شده است.

جدول (۴) حل مسئله تولید شده

	تعداد گره	NSGA-II		MOPSO	
		C	جواب پاره تو	C	جواب پاره تو
۱	۱۵	۰	۱۱	۱	۳
۲	۱۶	۰	۲۲	۱	۱
۳	۱۸	۰	۱۹	۱	۱
۴	۲۰	۰	۶۳	۱	۲
۵	۲۲	۰	۴۲	۱	۹
۶	۲۴	۰	۱۴	۱	۸
۷	۲۶	۰	۶	۱	۱۰
۸	۲۸	۰	۲۰	۰,۸۵	۵
۹	۳۰	۰	۵	۰,۷۴	۱۵
۱۰	۳۲	۰,۱۷	۶	۱	۶
۱۱	۳۴	۰,۲۱	۱۰	۰,۸۴	۱۸
۱۲	۳۶	۰	۳۶	۱	۱۹
۱۳	۳۸	۰,۱۳	۵۵	۰,۷۹	۱۱
۱۴	۴۰	۰	۳۴	۱	۹

زمان حل هر دو روش قابل قبول است. اما زمان حل روش MOPSO به طور مشخصی بهتر از NSGAI است. ملاحظه نتایج این جدول نشان می‌دهد که در تعداد حل‌های غیر مغلوب کسب شده الگوریتم NSGA-II بهتر از الگوریتم MOPSO عمل می‌نماید. با این وجود کیفیت حل‌های غیر مغلوب کسب شده توسط الگوریتم NSGA-II نسبت به جواب‌های بدست آمده توسط الگوریتم MOPSO پائین تر بوده است. این شاخص‌ها نشان می‌دهند که با وجود تعداد زیاد جواب‌های حل‌های غیر مغلوب حاصل از الگوریتم NSGA-II روش MOSPO توانست جواب‌های بهتری را ایجاد نماید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف این تحقیق توسعه یک مدل ریاضی جدید در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه از طریق تلفیق آن با رویکرد توزیع انتخابی بوده است. بدین منظور ابتدا به تعریف و تبیین اهمیت موضوع مسیریابی در بازارهای اقتصادی و فعالیت‌های تولیدی و توزیعی پرداخته شد. سپس مروری بر انواع مختلف مسائل مسیریابی وسایل نقلیه صورت گرفته است. با بررسی مقالات ارائه شده در این زمینه مشخص شد که تاکنون مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با رویکرد انتخاب مشتری چندان مورد بررسی قرار نگرفته است. این رویکرد از نظر تلفیق مسائل لجستیک با بازاریابی و فروش اهمیت دارد. چرا که با افزایش فشارهای رقابتی، صاحبان بنگاه‌های اقتصادی نیازمند مدل‌هایی متناسب با این شرایط جدید برای هماهنگی بهتر با مسائل واقعی دنیای بیرون و اعمال تاثیرات این فشارها در عموم مسائل بنگاه خود و از جمله مباحث لجستیکی هستند. تحقیق حاضر به تعریف و تحلیل این مسئله پرداخته است و در همین راستا با در نظر گرفتن ثابت بودن تقاضای هر ناحیه و سرشکن شدن آن بین توزیع‌کنندگان منطقه با لحاظ وابستگی رضایت‌فروشنده به بیشتر بودن تقاضای وی و عدم صدور تقاضا در صورت پایین بودن آن (با توجه به توزیع بخشی از آن به سایر توزیع‌کنندگان محلی) از یک سو و وابستگی رضایت‌مستریان به توزیع گسترده از سوی دیگر، یک مدل ریاضی توسعه داده شد و برای واقعی‌تر کردن شرایط، فرض وجود مشتریان وفادار هر فروشگاه نیز به عنوان یک تقاضای مستقل به مدل افزوده شد.

به منظور بررسی کارایی مدل پیشنهادی ارائه شده، به حل آن در قالب تعدادی مسئله نمونه که بر اساس ادبیات موضوع طراحی شده بودند پرداخته شد. نظر به اینکه مسائل طراحی شده جزء مسائل NP-Hard بوده و زمان محاسباتی حل مسائل با افزایش ابعاد آن به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد به ناچار برای حل مدل از الگوریتم‌های تقریبی MOPSO و NSGA-II استفاده شد. جواب‌های تولیدشده دو الگوریتم فوق با استفاده از شاخص از تعداد جواب‌های غیر مغلوب یافت شده و شاخص پوشش مجموعه (C) با هم مقایسه شدند. این شاخص‌ها نشان می‌دهند که با وجود تعداد زیاد جواب‌های حل‌های غیر مغلوب حاصل از الگوریتم NSGA-II روش MOSPO توانست جواب‌های بهتری را ایجاد نماید. صرف نظر از این اطلاعات، بطور کلی استفاده از داده‌های نمونه نشان می‌دهد الگوریتم در مسائل مختلف قادر به ارائه جواب مطلوب می‌باشد و می‌توان کارایی مدل ارائه شده را در شرایط مفروض این مسئله موثر دانست.

تلاش برای یکپارچگی مباحث مربوط به آماد و پشتیبانی و کانال‌های توزیع از طریق ارائه یک مدل ریاضی برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در شرایط وابستگی تقاضای هر مشتری به میزان توزیع کالا در بین سایر مشتریان موجود در شعاع همسایگی آن، نوآوری اصلی این پژوهش می‌باشد که در عین حال می‌توان آن را یک الگوبرداری معکوس از مسئله مسیریابی مکان‌یابی و مسئله پوشش نیز دانست و

آزمون عددی آن نیز نشان‌دهنده قوت مدل می‌باشد.

به آن دسته از توزیع‌کنندگانی که سیاست توزیع انتخابی را در پیش گرفته‌اند و یا انتخاب چنین سیاستی را در دست بررسی دارند پیشنهاد می‌شود مدل ارائه شده در این تحقیق را مبنای کار خود قرار داده و با اعمال اصلاحات لازم جهت انطباق با شرایط خود، از نتایج آن برای تصمیم‌گیری استفاده کنند. به محققان نیز پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی، به موضوع امتیازدهی به فروشندگان در فرآیند گزینش توجه کنند و معیارهای گزینش فروشنده را تعمیم دهند. همچنین مدل‌سازی این مساله در شرایط مختلف از قبیل شرایط رقابتی و تلفیق مسأله با موضوعاتی از قبیل قیمت‌گذاری کالا و سیاست فروش داغ محصولات و تعمیم این شرایط به مساله مسیریابی-مکان‌یابی می‌تواند از دیگر نوآوری‌های مورد توجه در پژوهش‌های بعدی مرتبط با این تحقیق باشد.

- آرمان مهر، بهروز؛ غلامی، سعیده (۱۳۹۴). *ارائه مدل ریاضی مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با گزینش مشتری و ممنوعیت سرویس‌دهی به مشتری در یک شعاع همسایگی*، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی
- بابایی تیر کلایی، عرفان؛ سائیلپور، سعید؛ میرمحمدی، سید حمید (۱۳۹۲). *مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ناهمگن با چند جایگاه پخش همراه با محدودیت بازه‌های زمانی مختص به کالاهای فاسد شدنی*. فصلنامه مدیریت زنجیره تامین، دوره ۶، شماره ۴، ۳۲-۱۴.
- توکلی مقدم، رضا؛ علی‌نقیان، مهدی؛ سلامت‌بخش، علیرضا (۱۳۸۸). *ارایه و حل مدل برنامه ریزی ریاضی جدید برای مسیریابی وسائط نقلیه در حالت رقابتی: یک مطالعه موردی*، پژوهش‌نامه ترابری، دوره ۶، شماره ۴، ۳۲۳-۳۱۱.
- جعفری، عزیزاله؛ توکلی مقدم، رضا؛ فرقانی، محسن؛ عرب، رحمت (۱۳۹۱). *مدل‌سازی ریاضی برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با حمل برگشتی و حل آن با الگوریتم کلونی مورچه چنگانه*، مدیریت تولید و عملیات، دوره ۷، شماره ۱، ۲۳۴-۲۱۵.
- رحمتی، سید حبیب اله؛ زندیه؛ مصطفی (۱۳۹۱). *توسعه دو الگوریتم چند هدفه برای حل مسئله چند هدفه زمانبندی کارگاهی منعطف با در نظر گرفتن توان مصرفی ماهانه*، فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی سال دهم، شماره ۲۷، ۱۱۳-۱۳۷.
- ستاک، مصطفی؛ حبیبی، مجید؛ کریمی، حسین؛ عابدزاده، مصطفی (۱۳۹۲). *مدل‌سازی و حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه وابسته به زمان با پنجره های زمانی نیمه‌نرم در گرافهای چنگانه*. پژوهشنامه ترابری، سال ۱۰، شماره ۳، ۲۸۰-۲۶۳.
- عیدی، علیرضا؛ قاسمی‌نژاد، سید علی؛ محقی، حنیف (۱۳۹۲). *مسیریابی وسایل نقلیه چند هدفه با کالاهای مناسبی*، نشریه تخصصی مهندسی صنایع. دوره ۴۷، شماره ۲، ۲۲۸-۲۱۵.
- فرقانی، محسن؛ جعفری، عزیزالله (۱۳۹۲). *یک الگوریتم فراابتکاری جدید برای مسیریابی ناوگان وسایل حمل و نقل همراه با تقسیم تقاضا و محدودیت دسترسی به وسایل نقلیه*. فصل‌نامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۶۶، ۴۸-۲۱.
- مهدی، محمدمهدی. (۱۳۹۴). *مسیریابی وسایل نقلیه در شرایط رقابتی*. رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت.
- یوسفی خوشبخت، مجید؛ دیده‌ور، فرزاد؛ رحمتی، فرهاد (۱۳۹۱). *یک روش جمعیت مورچگان ترکیبی، برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با ناوگان ناهمگن ثابت*. پژوهش‌نامه ترابری، دوره ۹، شماره ۱، ۸۳-۹۵.

Alinaghian, M., Ghazanfari, M., Salamatbakhsh, A., & Norouzi, N. (2012). *A New Competitive Approach on Multi-Objective Periodic Vehicle Routing Problem*. International Journal of Applied Operational Research, 1(3), 33-41.

Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2014). *An adaptive large neighborhood search for a vehicle routing problem with multiple routes*. Computers & Operations Research, 41, 167-173.

Belhaiza, S., Hansen, P., & Laporte. G. (2014). *A hybrid variable neighborhood tabu search heuristic for the vehicle routing problem with multiple time windows*. Computers & Operations Research, 52, 269-28.

Bozorgi-Amiri, A., Mahmoodian, V., Fahimnia, E., & Saffari, H. (2015). *A new memetic algorithm for solving split delivery vehicle routing problem*. Management Science Letters, 5, 1017-1022.

Cao, E., & Lai, M. (2010). *The open vehicle routing problem with fuzzy demands*. Expert Systems with Applications, 37(3), 2405-2411.

Cattaruzza, D., Absi N., Feillet, D. & Vidal, T. (2014). *A memetic algorithm for the Multi Trip Vehicle Routing Problem*. European Journal of Operational Research, 236, 833-848.

EguizábalJosé, S.E. Berodia, L. Portilla, A. & Ponce, J (2018). *Optimization model for school transportation design based on economic and social efficiency*, Transport Policy, 67, 93-101.

Fallahi, A., Prins, C. & Wolfler Calvo, R. (2008). *A memetic algorithm and a tabu search for the multi-compartment vehicle routing problem*. Computers and Operations Research, 35(5), 1725-1741.

Goli, A., & Alinaghian, M. (2015). *Location and multi-depot vehicle routing for emergency vehicles using tour coverage and random sampling*. Decision Science Letters, 4, 579-592.

Gulczynski, D., Golden, B., & Wasil, E. (2010). *The split delivery vehicle routing problem with minimum delivery amounts*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 46(5), 612-626.

John. R and David. A. (2001), *the Covering Salesman Problem*. Transportation Science, 23(3), 208-213.

Kabcome, P. & Mouktonglang, T. (2015). *Vehicle Routing Problem for Multiple Product Types, Compartments, and Trips with Soft Time Windows*. International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences, 2015, Article ID 126754.

Kumar, V. S., Thansekhar, M. R., Saravanan, R., & Amali, S. M. J. (2014). *Solving Multi-objective Vehicle Routing Problem with Time Windows by FAGA*. *Procedia Engineering*, 97, 2176-2185.

Lang, J. T. (1984). *Selective Distribution*, *Fordham International Law Journal*, 8 (3), 321-361.

Marinakis, Y., Iordanidou, G.R. & Marinaki, M. (2013). *Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands*. *Applied Soft Computing*, 13, 1693-1704.

Ozener, O. A., Ekici, A. (2018). *Managing platelet supply through improved routing of blood collection vehicles*, *Computers & Operations Research*, 98, 113-126.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Alinaghian, M. Salamat-Bakhsh. A. & Norouzi, N. (2012). *A hybrid meta-heuristic algorithm for the vehicle routing problem with stochastic travel times considering the driver's satisfaction*. *Journal of Industrial Engineering International*, 8 (4), 1-6.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Gazanfari, M. Alinaghian, M Salamatbakhsh, A., & Norouzi, N. (2011). *A new mathematical model for a competitive vehicle routing problem with time windows solved by simulated annealing*. *Journal of Manufacturing Systems*, 30, 83- 92.

William, R. A, & Roger B.C. (2018), *Household food waste collection: Building service networks through neighborhood expansion*, *Waste Management*, 77, 304-311.

Zhang, Y., Qi, M., Miao, L., & Wub, G. (2015). *A generalized multi-depot vehicle routing problem with replenishment based on LocalSolver*. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 6, 81-98.