نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

IERPS نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال نهم، شماره هجدهم، بهار و تابستان ۱۴۰۰، صفحه ۱۱۱-۱۲۵
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/IER.2021.24224.2025

بررسی اثرات استفاده از مدل VRP بر کاهش هزینه‌های توزیع قطعات یدکی بین خودروهای امدادی

ابوالفضل شفائی[۱]، محمدرضا اکبری‌جوکار[۲*]، مجید رفیعی[۳]

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۲. استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
۳. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۴۰۰/۲/۲۲
پذیرش ۱۴۰۰/۵/۳۰
(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:
خودروهای امداد
خدمات پس‌ازفروش
تأمین قطعات یدکی
مسیریابی وسایل نقلیه

خلاصه

امروزه با توسعه روزافزون جوامع، صنعت خودروسازی نیز توسعه قابل توجهی را شاهد بوده است. هم‌زمان با توسعه این صنعت و افزایش مشتریان آن، رقبای زیادی وارد این صنعت شده و رقابت برای جذب مشتریان حیاتی شده است. یکی از پارامترهای مهم در رقابت، خدمات پس‌ازفروش می‌باشد که در حال حاضر شرکت‌های امدادرسان متعددی در کشور وجود دارند که عهده‌دار خدمات پس‌ازفروش شرکت‌های خودروسازی شده‌اند. در شرکت‌های امدادرسان، هزینه تأمین قطعات برای خودروهای امدادی یک پارامتر اصلی هزینه می‌باشد. هزینه حمل‌ونقل، هزینه نگهداری قطعات و هزینه عدم در دسترس بودن قطعات (تقاضای از دست رفته) هزینه‌های اصلی تأمین قطعه برای خودروهای امدادی را تشکیل می‌دهند. در این مقاله براساس بررسی یک مورد واقعی، هزینه‌های تأمین قطعات موردنیاز خودروهای امدادی در شرایط فعلی برآورد می‌شود. سپس با استفاده از مفهوم مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) تغییراتی در فرایند تأمین قطعات موردنیاز خودروهای امدادرسان برمبنای ارسال مستقیم پیشنهاد می‌شود و مجدداً هزینه تأمین در این شرایط جدید محاسبه خواهد شد. این تغییر رویه کاهش قابل توجهی در هزینه تأمین قطعات یدکی خودروهای امدادی ایجاد می‌کند.

۱. مقدمه

براساس آمار اعلام شده توسط سازمان جهانی سازندگان وسایط نقلیه موتوری[۲] در سال ۲۰۱۹، بیش از ۶۴ میلیون دستگاه خودرو سواری در جهان به‌فروش رفته‌است. همچنین در سال ۲۰۱۵ بیش از ۹۴۷ میلیون خودرو سواری در جهان درحال استفاده بوده است [۱]. براساس همین گزارش در سال ۲۰۱۹، در ایران بیش از ۶۱۹ هزار دستگاه خودرو سواری به‌فروش رفته و در سال ۲۰۱۵ نیز حدود ۱۲.۷ میلیون دستگاه خودرو در کشور ایران در حال استفاده بوده است. این امر نشان می‌دهد که پرداختن به خدمات پس‌ازفروش اهمیت و جایگاه ویژه‌ای در صنعت خودروسازی کشور خواهد داشت. اگر جمعیت کشور در سال ۲۰۱۵ را نزدیک به ۸۰ میلیون نفر برآورد کنیم، به‌ازای هر ۶ نفر در سال ۲۰۱۵، یک خودرو در ایران مورد استفاده قرار می‌گرفته است. این موضوع، نشان‌دهنده حجم قابل توجه خودرو در کشور است که بالطبع نگهداری این خودروها نیازمند ارائه خدمات برنامه‌ریزی شده می‌باشد. از طرف دیگر، باید به این موضوع نیز توجه کرد که فعالیت‌های خدمات پس‌ازفروش امروزه به‌عنوان یک منبع درآمد سودآور و مزیت رقابتی در بیشتر تولیدات صنعتی مورد توجه قرار گرفته است [۲]. سود حاصل از ارائه خدمات پس‌ازفروش اغلب بسیار بالاتر از سودی است از فروش یک واحد محصول به‌دست می‌آید؛ به‌طوری‌که، بازار خدمات پس‌ازفروش می‌تواند چهار یا پنج بار بزرگتر از بازار فروش خود محصولات باشد [۳]. صنعت خودروسازی نیز از این قاعده مستثنی نبوده و باتوجه به حجم بازار و همچنین میزان خودرو موجود در سطح جهان، خدمات پس‌ازفروش در این صنعت نیز می‌تواند

* نویسنده مسئول: محمدرضا اکبری‌جوکار
تلفن: ۶۶۱۶۵۷۴۲-۰۲۱؛ پست الکترونیکی: reza.akbari@sharif.edu

2. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers

به‌عنوان نقطه قوت برای رقابت در بازار مورد توجه شرکت‌های معتبر قرار گیرد.

یکی از روش‌های ارائه خدمت به خودروها، امدادرسانی جاده‌ای است. به‌عبارت بهتر، بسیاری مواقع، خودروها امکان مراجعه به تعمیرگاه را ندارند و لازم است تا تعمیرکار، به محل خرابی خودرو مراجعه کند. برای ارائه خدمت بهتر به مشتریان در حوزه تعمیر در محل، لازم است تا خودروهای امدادی مجهز بوده و امکانات بیشتری همراه داشته باشند. علاوه‌بر امکانات، نکته دیگری که در امکان تعمیر در محل نقش به‌سزایی دارد، وجود قطعات و لوازم یدکی است. به‌همین منظور، در ارائه خدمات خودروهای امدادی، در دسترس بودن قطعات یدکی خودرو، پارامتر مهمی است که شرکت‌های امدادرسان به آن توجه می‌کنند. بر همین اساس، هر خودروی امدادی، بسته به این‌که برای چه نوع خدماتی طراحی شده است، برخی از قطعات یدکی پرمصرف خودرو را در اختیار خواهد داشت. اما باید توجه داشت، که به همراه داشتن لوازم یدکی، برای شرکت امدادی، هزینه قابل توجهی به همراه دارد. از طرف دیگر، نبود این قطعات باعث خواهد شد تا خودرو به تعمیرگاه اعزام شده و باعث نارضایتی مشتری شود. باتوجه به این موضوع، در این مقاله سعی شده است تا موضوع به همراه داشتن لوازم یدکی و تأمین آن در شرکت‌های امدادی مورد بررسی قرار گرفته و راه‌کار مناسبی برای کاهش هزینه‌ها ارائه کرد.

۲. ادبیات موضوع

مسأله مسیریابی وسایل نقلیه[3] قدمتی بیش از ۷۰ سال دارد. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه برای نخستین بار، در سال ۱۹۵۹ توسط دانتزیگ و رامسر در مقاله‌ای تحت عنوان «مسأله اعزام کامیون[4]» ارائه شد. در این مقاله، آن‌ها برای مدل کردن مسأله خودشان، مسأله فروشنده دوره‌گرد را توسعه دادند. درواقع برای این‌که مسأله مسیریابی وسایل نقلیه شکل بگیرد، به‌جای یک فروشنده دوره‌گرد، باید چندین فروشنده اقدام به پوشش همه شهرها نمایند یا این‌که یک فروشنده دوره‌گرد مجاز باشد در فواصل زمانی مختلف، به شهر اولیه برگردد [۴]. بعد از مطرح شدن موضوع توسط این دو دانشمند، مسأله مسیریابی وسایل نقلیه در ابعاد مختلفی توسعه داده شد و در مسائل متعددی مورد استفاده قرار گرفت. مسیریابی با ظرفیت محدود[5]، به‌عنوان مدل پایه‌ای در حوزه مسائل مسیریابی شناخته می‌شود. مسأله CVRP را می‌توان پیدا کردن تعداد k مسیر بسته درنظر گرفت که هر مسیر توسط یک وسیله حمل‌ونقل باید طی شود؛ و هدف این است که کل مسافت طی شده توسط خودروها (یا هزینه تحمیلی توسط خودروها) حداقل باشد. همچنین باید محدودیت‌هایی نظیر: ملاقات انبار توسط هر وسیله نقلیه، قرار داشتن هر مشتری فقط در یک مسیر و کوچک‌تر بودن مجموع تقاضاهای مشتریانی که در هر مسیر قرار دارند از ظرفیت وسیله حمل‌ونقل، باید مورد توجه قرار گیرند [۵]. یکی از توسعه‌هایی که در این حوزه اتفاق افتاد، مربوط به نوع وسایل حمل‌ونقل است. لاپورت و همکاران، در سال ۱۹۸۶ مدل مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت‌دار را به‌حالتی که وسایل حمل‌ونقل یکسان نیستند، تعمیم دادند. آن‌ها در مقاله خود یک روش دقیق برای حل این‌گونه مسائل ارائه نمودند [۶]. کار دیگری که در این زمینه انجام شده، مربوط به لاپورت و همکارانش است که در سال ۲۰۰۲ به چاپ رسیده است. آن‌ها در مقاله خود تقاضای مشتریان که در مسأله مسیربابی با ظرفیت، به‌صورت قطعی درنظر گرفته می‌شود، را به حالت احتمالی تغییر داده‌اند. در مسأله مورد بررسی آن‌ها، تقاضای هر مشتری دارای احتمالی است که این امر باعث می‌شود بر پیچیدگی مدل افزوده شود که برای حل مدل نیز الگوریتم L شکل عدد صحیح استفاده شده است [۷]. نوع دیگری از مسائل مسیریابی که بسیار شبیه با مسأله مسیریابی ظرفیت‌دار است، مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با مسافت محدود[6] می‌باشد. در این رابطه یکی از نخستین مقالات، متعلق به لاپورت و همکارانش است که در سال ۱۹۸۴ منتشر شده و به ارائه دو روش حل دقیق این‌گونه مسائل پرداخته است [۸]. از دیگر مسائل مطرح در این حوزه، مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با درنظر گرفتن پنجره زمانی[7] می‌باشد. هرچند این مسأله برای نخستین‌بار در سال ۱۹۷۷ مطرح شده است [۹]، اما مقاله کولن و همکارانش در این حوزه، که در سال ۱۹۸۷ منتشر شده جزو اولین مقالاتی است که در پایگاه اطلاعاتی اسکوپوس به ثبت رسیده است. در این مقاله، یک مسأله مسیریابی با پنجره زمانی، با استفاده از روش شاخه و حد حل شده است [۱۰]. همچنین در سال ۲۰۱۴ اشنایدر، مسأله مسیریابی با پنجره زمانی را در رابطه با خودروهای الکتریکی و ایستگاه‌های شارژ این خودروها، مورد بررسی قرار داد [۱۱]. در بعضی مواقع، مشتریانی که تقاضایی را برای تحویل گرفتن کالایی دارند، ممکن است بخواهند، کالایی یا ضایعاتی را نیز تحویل وسیله نقلیه بدهند. در این صورت در یک تور که توسط وسیله نقلیه پیموده می‌شود، هم تحویل کالا و هم برداشت کالا باهم در محل استقرار مشتری می‌تواند صورت گیرد. این نوع مسأله برای نخستین‌بار در سال ۱۹۷۶ وارد ادبیات مسائل مسیریابی شد، تحت عنوان مسأله مسیریابی وسیله نقلیه با درنظر گرفتن برداشت و تحویل[8] شناخته می‌شود [۹]. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با درنظر گرفتن برگشت[9]، تعمیم‌یافته مسأله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت‌دار و مشابه VRPPD می‌باشد، با این تفاوت که همه مشتریان، تحویل و برداشت ندارند. در این نوع از مسأله، مشتریان به دو دسته تقسیم می‌شوند، مشتریانی که باید کالایی به آن‌ها تحویل داده شود، و مشتریانی که باید از آن‌ها کالایی تحویل گرفته شود. محدودیتی که در اینجا باید به آن توجه شود، این است که، فرض می‌شود که وسیله نقلیه، ابتدا کالای موردنیاز مشتریان دسته اول، را به آن‌ها تحویل

3. Vehicle Routing Problem
4. The Truck Dispatching Problem
5. Capacitated Vehicle Routing Problems (CVRP)
6. Distance-Constrained Vehicle Routing Problem (DVRP)
7. Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)
8. Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery (VRPPD)
9. Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)

می‌دهد و هنگامی‌که وسیله نقلیه خالی شد، و در برگشت به انبار، کالایی که مشتریان دسته دوم باید تحویل بدهند را تحویل گرفته و به‌سمت انبار حمل می‌نماید [۹].

در بررسی ادبیات، کارهایی که به‌صورت مستقیم به بحث تأمین قطعات یدکی بین خودروهای امدادی در یک شرکت خدمات پس‌ازفروش پرداخته باشد، مشاهده نشد. هرچند که تمام بحث‌های مطرح شده در حوزه مسیریابی، را می‌توان به طریقی به مبحث تأمین مرتبط دانست، ولی در این مقاله، ما به‌صورت مشخص و اختصاصی فقط به مبحث توزیع قطعات یدکی بین خودروهای امدادی که در سطح شهر در حال حرکت هستند، پرداخته‌ایم، موضوعی که به‌نظر می‌رسد تاکنون محققین حوزه مسیریابی به آن نپرداخته‌اند. شاید مرتبط‌ترین مقاله به موضوع کاهش هزینه تأمین قطعات یدکی را، بتوان مقاله کارگری و سپهری (۲۰۱۲) دانست. آن‌ها با استفاده رویکرد داده‌کاوی و دسته‌بندی فروشگاه‌های خرده‌فروشی قطعات یدکی خودرو با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در طی سه سال، به‌دنبال کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل توزیع قطعات و خدمات پس‌ازفروش بین آن‌ها بوده‌اند [۱۲]. البته آن‌ها در کاهش هزینه فقط به هزینه حمل‌ونقل توجه داشته و رویکردشان با رویکرد این مقاله کاملاً متفاوت است. کارهای دیگری نیز در حوزه تأمین قطعات و مایحتاج ضروری در بخش‌های مختلف انجام شده است. به‌عنوان نمونه بِنیتو و پِنا (۲۰۲۱) در رابطه با مدلی کار کرده‌اند که با استفاده از ایجاد بهبود در روش توزیع قطعات یدکی بین انبارها در یک سیستم دوسطحی، قابلیت عملیاتی یک سیستم نگهداری، تعمیراتی و تعمیرات اساسی در یک بخش نظامی اسپانیا را بهبود داده‌اند [۱۳]. اسلپچنکو و همکاران (۲۰۰۵) بر روی شبکه تأمین قطعات یدکی با هدف کاهش سرمایه‌گذاری بر روی موجودی در شبکه‌های قطعات یدکی، از طریق اولویت‌بندی متمرکز شده‌اند [۱۴]. کمبل و همکاران (۲۰۰۸) به موضوع توزیع مایحتاج موردنیاز، بعد از وقوع یک فاجعه طبیعی در مقاله خود پرداخته‌اند. آن‌ها در توزیع موارد موردنیاز، با استفاده از مسأله مسیریابی، هم حداقل کردن هزینه تأمین و همچنین حداکثر کردن سرعت دسترسی حادثه دیدگان به اقلام موردنیاز را در مناطق مختلف مدنظر قرارداده‌اند [۱۵]. داودی و گلی (۲۰۱۹) مدل یکپارچه‌ای را برای عملیات امداد، در شرایط بحران توسعه داده‌اند. آن‌ها حداقل کردن زمان رسیدن خودرو امدادی به محل حادثه را به‌عنوان هدف مسأله قرار داده‌اند [۱۶]. چانگ و همکارانش (۲۰۰۷) برای تعیین محل احداث پایگاه‌های امدادی، و همچنین نحوه توزیع بهینه اقلام امدادی بین پایگاه‌ها در شرایطی که با بحران سیل روبرو هستند، مدل تصادفی را توسعه داده‌اند که هدف اصلی در مدل، حداقل کردن امید ریاضی فاصله حمل تجهیزات نجات در شرایط بحران می‌باشد [۱۷]. در تأمین قطعات بسته به این‌که در چه حوزه‌ای مطالعات صورت گرفته، اهداف متعددی پیگیری شده است، که در نهایت هدف اصلی کاهش هزینه‌های تأمین از طریق مدیریت بر مقدار موجودی است، اما وقتی که موضوع تأمین، مرتبط با موارد اضطراری و تأمین مایحتاج ضروری می‌شود، اهداف دیگری نظیر حداقل کردن زمان تأمین، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد.

بررسی وضعیت موجودی در خودروهای امدادی، بعد دیگری است که در تحقیق ما صورت گرفته است. در ادبیات، ترکیب موضوع موجودی و مسیریابی، تحت عنوان مسائل مسیریابی موجودی[10] مطرح می‌شود. در رابطه با مسأله مسیریابی موجودی (IRP) تحقیقات متعددی از سال ۱۹۸۳ به این طرف صورت گرفته است. در اکثر این مقالات محققین به‌دنبال مدیریت موجودی در بین مشتریانی هستند که توسط یک یا چند انبار اصلی پوشش داده می‌شوند. این نوع مسائل همچنین ارسال تقاضاها توسط انبار در یک مسیر بهینه و با کمترین هزینه نیز درنظر گرفته می‌شود. به‌عبارت بهتر این نوع مسائل به این سوال باید پاسخ دهند که مقدار موجودی هر مشتری به چه میزان باید باشد، و این موجودی در چه زمانی و در چه مسیری باید به دست مشتری برسد. براساس مقالهٔ کوال‌هو و همکاران (۲۰۱۴) مسأله مسیریابی موجودی برای نخستین‌بار در مقاله منتشره در سال ۱۹۸۳ توسط بل و همکارانش مطرح شده است [۱۸]. مسیریابی با درنظر گرفتن مدیریت موجودی، در ادبیات لجستیک و زنجیره‌تأمین در دسته مسائل مدیریت موجودی فروشندگان[11] قرار می‌گیرد که موضوعی شناخته شده در حوزه مدیریت زنجیره‌تأمین می‌باشد [۱۸]. آنیالی (۱۹۹۲) بر روی مسأله یک‌انباره و n فروشنده کار کرده است که هدف در آن حداقل کردن هزینه حمل‌ونقل و هزینه نگهداری موجودی در درازمدت عنوان شده است [۱۹]. بارد و همکاران (۱۹۹۸) مقاله‌ای را ارائه کرده‌اند که بیشتر به ارائه یک راه‌حل برای مسائل IRP پرداخته است. روش حل ارائه شده براساس تجزیه مسأله بنا نهاده شده است و سه موضوع؛ انتخاب مشتریان برای اعزام وسیله نقلیه در هر روز، تخصیص هر مشتری به یک مسیر توزیع و در نهایت تعیین مسیر حرکت و ترتیب ملاقات مشتریان، در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است [۲۰]. پروتسکل (۱۹۹۸) در کار تحقیقی خود یک نوع از مسائل مسیریابی موجودی را ارائه می‌کند که به‌دنبال تعیین سیاست تکمیل موجودی هرکدام از خرده‌فروشان در یک دوره زمانی مشخص است. هدف مدل نیز حداقل کردن هزینه موجودی و هزنیه حمل‌ونقل می‌باشد [۲۱]. کمپل و ساولزبرگ (۲۰۰۴) نیز یک روش تجهزیه‌ای را برای مطالعه مسأله مسیریابی موجودی درنظر گرفته‌اند. آن‌ها از یک رویکرد دوفازی براساس تجزیه برای حل مسأله IRP استفاده کرده‌اند [۲۲]. کالی‌وگت و همکاران (۲۰۰۴) یک روش برنامه‌ریزی پویا را برای حل مسأله مسیریابی موجودی، توسعه دادند و از مدل فرایندی تصمیم‌گیری مارکوفی برای فرموله کردن مسأله تصادفی IRP استفاده کرده و یک روش تقریبی برای یافتن جواب ارائه کرده‌اند [۲۳]. جعفر خان و یعقوبی (۱۳۹۵) تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا در یک شبکه تولیدکننده و خرده‌فروشی، مدل ریاضی استواری برای یکپارچه‌سازی تولید-موجودی–مسیریابی محصولات فاسدشدنی ارائه می‌کند. تابع

10. Inventory Routing Problem(IRP)

11. Vendor Managed Inventory (VMI)

هدف به‌کار رفته در مدل آن‌ها، شامل حداقل کردن هزینه‌های موجودی، مسیریابی، حمل‌ونقل و تولید می‌باشد [۲۴]. محجوب نیا و همکاران (۱۳۹۶) بر روی نوع جدیدی از مسأله مکان‌یابی-مسیریابی –موجودی تحت عدم قطعیت و با درنظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی کارکرده‌اند. آن‌ها به‌طور هم‌زمان مکان مراکز توزیع، تخصیص خرده‌فروشان به مراکز، مسیریابی حرکت خودرو توزیع‌کننده، مقدار بهینه هربار سفارش و تعداد دفعات و سطح ذخیره اطمینان هر مرکز را در مدلشان بررسی می‌کنند. تابع هدف در بررسی آن‌ها شامل حداقل کردن هزینه‌های، سالیانه استقرار مراکز، ثابت سفارش‌دهی، حمل‌ونقل، نگهداری موجودی و ذخیره اطمینان می‌باشد [۲۵]. ایکیچی و همکاران (۲۰۱۵) حالتی از مسأله مسیریابی موجودی را بررسی کرده‌اند که یک فروشنده در یک بازه زمانی، مسئولیت تکمیل موجودی‌های موردنیاز مجموعه‌ای از مشتریان را برعهده داشته است. هدف اصلی فروشنده عبارت بوده است از، حداقل کردن هزینه حمل‌ونقل بری یک محصول مشخص که از یک انبار برای مجموعه مشتریان باید ارسال شود. آن‌ها برای حل مدل طراح شده از روش دومرحله‌ای یعنی کلاس‌بندی مشتریان و سپس زمان‌بندی تحویل استفاده کرده‌اند [۲۹]. ویدیادانا و ایروهاراب (۲۰۱۹) در مقاله تحقیقی خود به موضوع مسیریابی موجودی برای موجودی‌های زوال‌پذیر، نظیر مواد غذایی یا اقلام الکترونیکی که با گذشت زمان، یا از بین می‌روند و یا قابلیت استفاده خود را از دست می‌دهند، پرداخته‌اند. پس از مدل‌سازی مسأله با رویکرد مسیریابی موجودی با پنجره زمانی، آن‌ها از یک روش حل فراابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات، جهت رسیدن به جواب نزدیک به بهینه استفاده کرده‌اند [۲۷]. کوئلیو و همکاران (۲۰۲۰) مسأله مسیریابی موجودی چندحالته را توسعه دادند. آن‌ها در مدل‌سازی مسأله، تابع هدف را حداقل کردن هزینه موجودی و همچنین کمینه کردن هزینه مربوط به مسیریابی درنظر گرفتند. آن‌ها همچنین برای حل مدل پیشنهادی خود از یک الگوریتم ترکیبی دقیق ارائه کردند [۲۸].

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بر روی مسائل مسیریابی، تحقیقات بسیار زیادی صورت گرفته و در سال‌های اخیر این روند صعودی نیز بوده است. اما در بررسی‌های صورت گرفته، استفاده از تکنیک‌های مسیریابی وسیله نقلیه برای تأمین قطعات موردنیاز خودروهای امدادی مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین در بیشتر مقالات، هدف مدل‌های طراحی شده برای درنظر گرفتن توأم، مسیر و موجودی، حداقل کردن هزینه موجودی و همچنین هزینه حمل‌ونقل بوده است، حال آن‌که در این مقاله ما سعی داریم تا کاربرد مسأله مسیریابی وسیله نقلیه، در کاهش هزینه‌های تأمین قطعات موردنیاز خودروهای امدادی را نشان دهیم و همچنین علاوه‌بر هزینه‌های موجودی و حمل ونقل، هزینه کسری قطعات در خودروها نیز مورد توجه قرار گرفته‌است. به‌عبارت بهتر، نوآوری این مقاله، استفاده از مفهوم مسیریابی، در کاهش هزینه‌های تأمین قطعات یدکی موردنیاز خودروهای امدادی و اضافه کردن هزینه کسری قطعات در خودروهای امدادی به مجموع هزینه‌های مورد بررسی است. همچنین مفهوم موجودی و کاهش هزینه آن، به خودرو امدادی محدود شده است. درواقع، در این پژوهش ما با کاهش مقدار موجودی کل سیستم سروکار نداریم، بلکه بر میزان موجودی در هر خودرو امدادی تأثیر گذاشته و هزینه نگهداری موجودی در هر خودرو را تحت تأثیر قرار می‌دهیم؛ و با هدف کاهش مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل، نگهداری موجودی و کسری موجودی در خودروهای امدادی، روش توزیع را تغییر می‌دهیم.

۳. تعریف مسأله

مسأله، در یکی از شهرهای تحت پوشش یک شرکت امدادی تعریف شده است. فرض بر این است که در این شهر، ۳۶ دستگاه خودرو امدادی در حال فعالیت هستند و در طی روز به‌طور متوسط حدود ۷۲۰ سرویس در سطح شهر ارائه می‌کنند. برای سادگی مسأله، ما فرض می‌کنیم که تمام این تقاضاها در یک شیفت کاری به وقوع می‌پیوندد. همچنین، برای هرکدام از خودروها، محدوده‌ای تعریف شده است که فقط در آن ناحیه و به‌صورت متمرکز از دفتر مرکزی شرکت، کار ارجاع می‌شود. در حال حاضر این شهر، به ۱۲ ناحیه تقسیم شده و هر خودرو فقط در ناحیه‌ای که توسط شرکت مشخص می‌شود، می‌تواند سرویس ارائه نماید. هر کدام از خودروهای امدادی در ابتدای شروع شیفت، در یک نقطه مشخص در محدوده خود مستقر شده و پس از ارجاع کار آن نقطه را ترک می‌کنند. مسأله‌ای که در این مقاله به آن پرداخته خواهد شد، نحوه تأمین قطعات یدکی موردنیاز این خودروهای امدادی می‌باشد. در حال حاضر، هرکدام از خودروهای امدادی، باتوجه به دستورالعمل‌هایی که برای آن‌ها تعریف شده است، تعداد مشخصی قطعات یدکی باید در طول پنج روز به همراه خود داشته باشند. تعداد این قطعات براساس تجارب و سوابق شرکت و باتوجه به میزان مصرف قطعات در هر خودرو در گذشته، تعیین و به هر خودرو اعلام شده است. خودروهای امدادی باتوجه به این لیست، در انتهای هر دوره (روز پنجم) به انبار شرکت مراجعه کرده و باتوجه به میزان قطعات مصرف شده، تا سقف تعیین شده توسط شرکت، قطعات یدکی جدید را به‌صورت امانی تحویل می‌گیرند. بنابراین مراجعه خودروی امدادی به انبار هر پنج روز یک‌بار بیشتر نمی‌تواند اتفاق بیافتد. همچنین باتوجه به تنوع قطعاتی که وجود دارد، مجموعه‌ای از قطعات را به‌عنوان یک واحد قطعه یدکی موردنیاز تعریف می‌کنیم. به‌عبارت بهتر، هر واحد قطعه شامل چند نوع قطعه است که شرکت آن را مشخص کرده است. تقاضای تعریف شده و همچنین قطعه برآورده شده برای خودرو امدادی، براساس همین واحد قطعه درنظر گرفته شده است. مسأله اصلی این است که شرکت، احساس می‌کند هزینه تأمین قطعات برای خودروهای امدادی افزایش یافته و به‌دنبال کاهش آن می‌باشد. ازنظر شرکت، در تأمین قطعات یدکی سه نوع هزینه اصلی وجود دارد که امکان کاهش در آن‌ها وجود دارد. ۱) هزینه حمل‌ونقل ۲) هزینه نگهداری قطعه و ۳) هزینه کمبود قطعه در خودرو امدادی. هرچند هزینه‌های دیگری نظیر هزینه خرید قطعه نیز وجود

دارند، اما در این‌جا به‌خاطر این‌که با تغییر روش تأمین این نوع هزینه‌ها تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند، لذا در بررسی‌ها مورد توجه قرار نگرفته‌اند. همچنین در رابطه با هزینه حمل‌ونقل، باید توجه داشت که در روش فعلی، هرچند خودروها به انبار مراجعه می‌کنند و در ظاهر شرکت هزینه‌ای بابت آن پرداخت نمی‌کند، ولی درواقع این هزینه در قیمت تمام شده خدمات ارائه شده توسط خودروهای امدادی تأثیر خواهد گذاشت و عملاً در قیمت ارائه خدمت توسط شرکت لحاظ می‌شود. لذا به‌همین دلیل، کاهش هزینه حمل‌ونقل به‌صورت عام مدنظر شرکت بوده است.

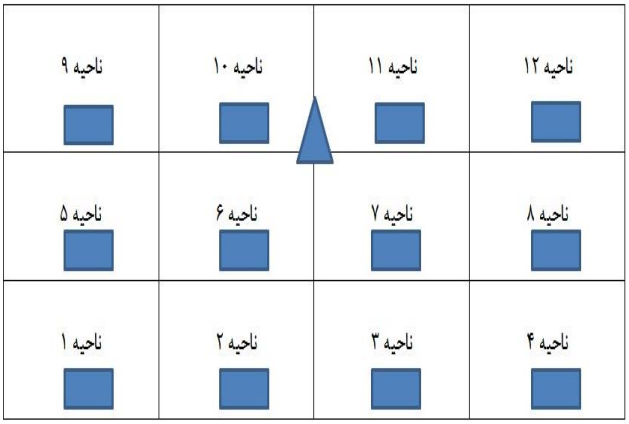
۳-۱. اطلاعات مسأله

شرکت امدادی، براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از خدمات ارائه شده هر خودرو در سال‌های گذشته، میزان تقاضای هر خودرو امدادی در طی ۵ روز به‌صورت متوسط برآورد می‌کند. اما باتوجه به این‌که این مقادیر قابل انتشار نمی‌باشد، باتوجه به محدوده تقاضاها، در این مقاله میزان تقاضای هر خودرو به‌صورت تصادفی تولید شده و در جدول (۱) آورده شده است. هرکدام از ۳۶ خودرو امدادی که در نواحی مختلفی فعالیت می‌کنند، به‌ازای هر روز تقاضایی را به انبار ارائه می‌کنند.

جدول (۱): میزان تقاضای هر خودرو امدادی در هر روز

روز / خودرو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	جمع روزانه
۱	۱۷	۲۵	۲۱	۱۵	۲۳	۲۰	۱۶	۱۹	۱۹	۱۸	۲۲	۲۴	۱۹	۱۹	۱۸	۲۴	۲۳	۲۱	۲۳	۱۹	۲۴	۲۰	۲۰	۱۶	۲۲	۱۷	۲۱	۱۸	۱۸	۱۹	۱۶	۲۵	۱۵	۲۰	۲۱	۱۸	۷۱۵
۲	۲۲	۲۲	۲۰	۲۲	۱۷	۲۳	۲۵	۱۸	۲۴	۱۷	۱۸	۲۵	۲۱	۲۱	۲۳	۱۶	۱۷	۲۴	۱۹	۱۵	۲۵	۱۹	۱۸	۲۳	۱۵	۱۹	۲۰	۱۵	۱۵	۱۸	۱۶	۱۹	۱۶	۱۵	۲۴	۲۲	۷۰۸
۳	۱۸	۲۰	۲۲	۲۱	۲۰	۲۱	۲۲	۲۲	۱۹	۲۲	۲۳	۲۱	۱۸	۲۵	۲۲	۲۵	۲۲	۲۳	۱۵	۱۵	۲۳	۲۲	۲۲	۲۲	۱۹	۲۲	۱۸	۲۵	۲۴	۲۵	۱۷	۲۳	۲۳	۲۴	۱۹	۲۴	۷۷۰
۴	۱۷	۲۵	۲۵	۲۵	۱۸	۲۱	۲۴	۱۶	۲۰	۱۸	۲۱	۲۴	۲۱	۲۵	۲۴	۲۴	۲۰	۱۷	۱۶	۲۱	۲۳	۲۴	۲۵	۱۹	۲۱	۱۶	۲۳	۱۸	۲۵	۲۵	۲۴	۲۰	۲۰	۲۳	۱۷	۲۳	۷۶۸
۵	۲۵	۱۶	۱۵	۱۶	۲۳	۱۶	۱۷	۲۴	۱۶	۱۶	۲۲	۱۵	۱۷	۲۳	۱۹	۲۵	۲۰	۲۲	۱۶	۱۹	۱۹	۲۵	۲۰	۲۳	۲۱	۲۲	۲۲	۲۴	۲۵	۱۵	۱۹	۱۹	۱۷	۲۰	۱۵	۱۷	۷۰۵
جمع تقاضا	۹۹	۱۰۸	۱۰۳	۹۹	۱۰۱	۱۰۱	۱۰۴	۹۹	۹۸	۹۱	۱۰۶	۱۰۹	۹۶	۱۱۳	۱۰۶	۱۱۴	۱۰۲	۱۰۷	۸۹	۸۹	۱۱۳	۱۱۳	۱۰۵	۱۰۳	۹۸	۹۶	۱۰۴	۱۰۰	۱۰۷	۱۰۲	۹۲	۱۰۶	۹۱	۱۰۲	۹۶	۱۰۴	۳۶۶۶

شهر موردنظر به ۱۲ ناحیه مساوی عمودبرهم تقسیم شده است که این نواحی نیز در شکل (۱) نشان داده شده است. طول هرکدام از نواحی ۵۰ واحد و عرض هرکدام ۴۰ واحد درنظر گرفته شده است. انبار این شرکت نیز در نقطه تلاقی چهار ناحیه ۶، ۷، ۱۰ و ۱۱ فرض شده است.



شکل (۱): نواحی مشخص شده برای استقرار خودروهای امدادی

باتوجه به شکل (۱) و با درنظر گرفتن فواصل متعامد، در جدول (۲) فواصل بین نواحی ملاحظه می‌شود. ناحیه‌ای که با صفر مشخص شده است، انبار تأمین قطعات یدکی شرکت می‌باشد. در محاسبه مسافت بین نواحی و هچنین انبار، از روش محاسبه فاصله متعامد استفاده شده است.

از طرف دیگر در واقعیت میزان قطعات مصرف شده در هر روز با آنچه که شرکت به هر خودرو تخصیص می‌دهد متفاوت است. براین اساس در طی یک روز، ممکن است که تعداد تقاضای واقعی هر قطعه از میزان تقاضای برآورد شده کمتر یا بیشتر خواهد شد. اطلاعات مصرف قطعات واقعی توسط هر خودرو در هر روز نیز در طی سال‌های گذشته در شرکت موجود است. لذا باتوجه به تقاضای درنظر گرفته شده برای هر خودرو، و براساس میزان مصرف واقعی قطعات در طی این ۵ روز، میزان قطعات مازاد یا کسری محاسبه می‌شود. متوسط کسری یا مازاد هر خودرو طی ۵ روز برآورد و در جدول (۳) آمده‌است.

همچنین شرکت باتوجه به میزان تقاضا برای خدمت در هر ناحیه، تصمیم می‌گیرد که چه تعداد خودرو امدادی در هر ناحیه مستقر نماید. تعداد خودروهای مستقر در هر ناحیه در کوتاه مدت تغییر نمی‌کند و معمولاً در بازه‌های زمانی چندماهه، پس از بررسی تقاضاهای رسیده برای تعمیر، ممکن است که محل خدمت خودروهای امدادی تغییر نماید. محل خدمت هر خودرو امدادی در زمان بررسی، در جدول (۴) مشخص شده است.

جدول (۲): فواصل بین مراکز نواحی و انبار از همدیگر

ناحیه	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۰	۰	۱۵۵	۱۰۵	۱۰۵	۱۵۵	۱۱۵	۶۵	۶۵	۱۱۵	۷۵	۲۵	۲۵	۷۵
۱	۱۵۵	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۴۰	۹۰	۱۴۰	۱۹۰	۸۰	۱۳۰	۱۸۰	۲۳۰
۲	۱۰۵	۵۰	۰	۵۰	۱۰۰	۹۰	۴۰	۹۰	۱۴۰	۱۳۰	۸۰	۱۳۰	۱۸۰
۳	۱۰۵	۱۰۰	۵۰	۰	۵۰	۱۴۰	۹۰	۴۰	۹۰	۱۸۰	۱۳۰	۸۰	۱۳۰
۴	۱۵۵	۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰	۱۹۰	۱۴۰	۹۰	۴۰	۲۳۰	۱۸۰	۱۳۰	۸۰
۵	۱۱۵	۴۰	۹۰	۱۴۰	۱۹۰	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۴۰	۹۰	۱۴۰	۱۹۰
۶	۶۵	۹۰	۴۰	۹۰	۱۴۰	۵۰	۰	۵۰	۱۰۰	۹۰	۴۰	۹۰	۱۴۰
۷	۶۵	۱۴۰	۹۰	۴۰	۹۰	۱۰۰	۵۰	۰	۵۰	۱۴۰	۹۰	۴۰	۹۰
۸	۱۱۵	۱۹۰	۱۴۰	۹۰	۴۰	۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰	۱۹۰	۱۴۰	۹۰	۴۰
۹	۷۵	۸۰	۱۳۰	۱۸۰	۲۳۰	۴۰	۹۰	۱۴۰	۱۹۰	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
۱۰	۲۵	۱۳۰	۸۰	۱۳۰	۱۸۰	۹۰	۴۰	۹۰	۱۴۰	۵۰	۰	۵۰	۱۰۰
۱۱	۲۵	۱۸۰	۱۳۰	۸۰	۱۳۰	۱۴۰	۹۰	۴۰	۹۰	۱۰۰	۵۰	۰	۵۰
۱۲	۷۵	۲۳۰	۱۸۰	۱۳۰	۸۰	۱۹۰	۱۴۰	۹۰	۴۰	۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰

جدول (۳): تعداد کمبود یا مازاد تقاضای ایجاد شده در طی ۵ روز

روز/ خودرو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	جمع روزانه کسری
۱	۴	۱	۰	-۳	۴	۵	۱	-۳	۰	-۱	۰	۳	-۵	۵	۵	۲	۳	۳	۱	۲	-۳	۱	-۲	۵	۴	-۵	۲	۱	-۳	۵	۴	۱	-۳	۳	-۲	-۱	۳۴
۲	۵	۱	۴	-۴	۵	-۱	۲	۴	۲	-۲	۵	-۴	۳	۱	۴	-۳	۴	-۳	۱	۳	-۳	۴	-۱	۵	۱	۴	۱	-۱	-۴	-۳	-۳	-۳	۱	-۳	۲	۵	۳۲
۳	-۲	۰	-۱	۵	-۵	۱	۵	۱	-۲	۴	-۲	-۴	-۳	-۱	-۴	۱	-۱	-۲	۲	۱	-۱	۴	۰	۰	۰	۵	-۱	۰	۱	۵	۱	-۳	۳	-۴	۲	-۱	۸
۴	-۵	۲	۴	۱	-۲	-۵	۵	-۱	۳	-۴	۳	۳	۰	۱	۱	-۱	۱	۴	-۵	۵	-۲	-۴	۱	۰	-۴	۰	۲	-۵	۱	-۴	-۳	۰	۳	۰	-۵	۱	-۱۱
۵	-۳	۰	-۵	۳	-۱	-۱	-۳	۳	۲	-۵	۳	۳	-۴	-۱	-۲	۱	۴	۰	-۵	۴	-۲	۲	۴	-۵	-۳	-۵	۱	-۳	-۱	۰	-۲	-۳	۴	۵	۱	۰	-۲۱
جمع کسری هر خودرو	-۱	۴	۲	۲	۱	-۱	-۱	۶	۱	-۱	۶	-۵	-۶	۳	۴	۳	۲	۲	۴	۵	-۲	۵	۴	۲	-۵	-۷	-۷	۰	-۱	-۳	-۲	-۱	۷	-۳	-۳	-۵	۵	۴۲

جدول (۴): محل استقرار خودروهای امدادی در هر ناحیه

شماره ناحیه	۱									۲	۳					۴						۵						۶								۷	۸				۹					۱۰						۱۱						۱۲		
شماره خودرو	۳	۲۹	۲	۱۶	۲۳	۲۷	۱۳	۸	۱	۳۰	۱۸	۲۲	۳۵	۶	۳۳	۳۲	۱۰	۳۴	۱۷	۳۶	۳۰	۱۹	۲۰	۲۴	۲۵	۹	۲۸	۱۲	۱۴	۵	۱۵	۳۱	۱۱	۲۶	۴	۲۱	۷

۲-۳. هزینه روش فعلی تأمین قطعات یدکی برای خودروهای امدادی

همان‌گونه که قبلاً توضیح داده شد، وضعیت فعلی تأمین قطعات، بدین صورت است که، هر خودرو امدادی در انتهای روز پنجم به انبار قطعات یدکی مراجعه کرده و برای ۵ روز آینده براساس جدول (۱) مجموع تقاضاهای احتمالی خودر را به‌صورت امانی دریافت می‌کند. سه نوع هزینه برای این سیستم متصور می‌باشد که ذیلاً باتوجه به اطلاعات مشخص شده، برآورد شده‌اند.

الف) هزینه حمل‌ونقل: این هزینه را با C1 نشان می‌دهیم و برای به‌دست آوردن آن، باتوجه به این‌که فرض بر این است که هر خودرو از محل استقرار خود به‌سمت انبار حرکت کرده و پس از دریافت قطعات یدکی خود مجدد به‌سمت محل استقرار خود باز می‌گردد، لذا باید محل استقرار خودرو در هر ناحیه از جدول (۴) استخراج شده و فاصله آن ناحیه تا انبار را که در جدول (۲) آورده شده است، در هزینه واحد حمل‌ونقل ضرب کرده و هزینه حمل‌ونقل تمام وسایل نقلیه را با هم جمع کنیم. اگر فاصله هر خودرو تا انبار را با d_{i0} نشان بدهیم، برای به‌دست آوردن این هزینه از فرمول شماره (۱) استفاده می‌شود. در این فرمول، c نشان‌دهنده هزینه واحد حمل‌ونقل می‌باشد که در اینجا برابر ۱۰ واحد درنظر گرفته شده است و عدد ۲ که بیرون سیگما قرار دارد، بابت این درنظر گرفته شده است که فرض شروع سفر خودرو به‌سمت انبار از محل خدمت بوده و برگشت آن نیز به محل خدمت خواهد بود.

$$C1 = 2 * \sum_{i=1}^{36} c * d_{i0} \qquad (۱)$$

باتوجه به این فرمول، هزینه حمل‌ونقل برای ۳۶ خودرو در یک دوره برابر ۶۴۲۰۰ واحد پولی می‌باشد. به‌عبارت بهتر، مسافت طی شده توسط خودروهای امدادی برای تأمین قطعات موردنیاز در پنج روز، مجموعاً ۶۴۲۰ واحد طول می‌باشد.

ب) هزینه نگهداری قطعه در خودروهای امدادی: برای محاسبه این هزینه، فرض بر این است که خودروها عصر روز پنجم قطعات خود را تحویل می‌گیرند و تا پنج روز بعد، این قطعات را در طی روزهای مختلف، براساس تقاضای رسیده در هر روز مصرف می‌کنند. لذا باتوجه به میزان تقاضای پیش‌بینی شده روزانه (جدول (۱)) و میزان کمبود یا مازاد برآورد شده (جدول (۳)) موجودی انتهای هر روز به‌دست می‌آید که نتیجه آن درجدول شماره (۵) ملاحظه می‌شود.

جدول (۵): مقدار موجودی انتهای هر روز در خودرو امدادی

روز/ خودرو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	جمع روزانه
۱	۷۸	۸۲	۸۲	۸۷	۷۴	۷۶	۸۷	۸۳	۷۹	۷۴	۸۴	۸۲	۸۲	۸۹	۸۳	۸۸	۷۶	۸۳	۶۵	۶۸	۹۲	۹۲	۸۷	۸۲	۷۲	۸۴	۸۱	۸۱	۹۲	۷۸	۷۲	۸۰	۷۹	۷۹	۷۷	۸۷	۲۹۱۷
۲	۵۱	۵۹	۵۸	۶۹	۵۲	۵۴	۶۰	۶۱	۵۰	۵۹	۶۱	۶۱	۵۸	۶۷	۵۶	۷۵	۵۵	۶۲	۴۳	۵۲	۷۰	۶۹	۷۰	۵۴	۵۶	۶۱	۶۰	۶۷	۸۱	۶۳	۵۹	۶۴	۶۲	۶۷	۵۱	۶۰	۲۱۷۷
۳	۳۵	۳۹	۳۷	۴۳	۳۷	۳۲	۳۳	۳۶	۳۳	۳۳	۴۰	۴۴	۴۳	۴۳	۳۸	۴۹	۳۴	۴۱	۲۶	۳۸	۴۴	۴۴	۴۸	۳۲	۳۸	۳۴	۳۸	۴۳	۵۲	۳۷	۳۹	۴۴	۳۸	۴۷	۳۰	۳۷	۱۳۹۹
۴	۲۳	۱۲	۸	۱۷	۲۱	۱۶	۴	۲۱	۱۰	۱۹	۱۷	۱۹	۱۹	۱۹	۱۳	۲۶	۱۳	۲۰	۱۵	۱۲	۲۳	۲۴	۲۲	۱۳	۲۱	۱۸	۲۰	۲۳	۲۶	۱۶	۱۸	۲۴	۱۵	۲۴	۱۸	۱۳	۶۴۲
۵	۱	-۴	-۲	-۲	-۱	۱	-۱۰	-۶	-۱	۱	-۶	۵	۶	-۳	-۴	-۳	-۲	-۲	-۴	-۵	۲	-۵	۷	-۷	۵	-۵	۱	۰	۱	۳	۲	۱	-۷	۳	۳	-۵	-۴۲
جمع	۱۸۸	۱۹۲	۱۸۵	۲۱۶	۱۸۴	۱۷۹	۱۸۴	۱۸۰۱	۱۷۲	۱۸۶	۲۰۴	۲۰۹	۲۰۸	۲۱۸	۱۹۰	۲۳۸	۱۷۸	۲۰۶	۱۴۹	۱۷۰	۲۳۱	۲۲۹	۲۳۴	۱۸۱	۱۹۲	۱۹۷	۲۰۰	۲۱۴	۲۵۲	۱۹۷	۱۹۰	۲۱۳	۱۹۴	۲۲۰	۱۷۹	۱۹۷	۷۱۷۷

اگرهزینه نگهداری را با C2 نشان دهیم و فرض کنیم هر خودرو i در روز j به اندازه Iij واحد موجودی در انتهای روز نگهداری نماید و هزینه نگهداری هر واحد موجودی در طی یک روز برابر m واحد شود که در اینجا مقدار آن نیز ۱۰ واحد پولی درنظرگرفته شده است؛ در این‌صورت مقدار هزینه نگهداری از رابطه (۲) به‌دست خواهد آمد. لازم به ذکر است که برای به‌دست آوردن میزان موجودی انتهای هر روز، از رابطه بازگشتی ساده و معمول محاسبه میزان موجودی در انتهای هر دوره استفاده شده است. ***(موجودی انتهای دوره = موجودی اول دوره + موجودی وارد شده در طی دوره – موجودی مصرف شده در طی دوره)*** اگر مقدار موجودی محاسبه شده، مثبت باشد، بدین معنی خواهد بود که این مقدار در انتهای هر روز در خودرو موردنظر نگهداری می‌شود. اما اگر این مقدار منفی باشد، مفهوم آن وجود کسری در خودرو امدادی است و در این صورت شرکت باید برابر با مقدار کسری به‌وجود آمده پیک به همراه قطعه یدکی، برای خودرو موردنظر ارسال نماید.

$$C2 = \sum_{i=1}^{36} \sum_{j=1}^{5} m * I_{ij} \qquad (۲)$$

همان‌گونه که در جدول شماره (۵) ملاحظه می‌شود، در طی پنج روز، ۷۱۷۷ قطعه روز، موجودی در خودروهای امدادی نگهداری خواهد شد و باتوجه به این‌که به‌ازای هر روز، ۱۰ واحد پولی هزینه نگهداری به سیستم تحمیل می‌شود، در این صورت کل هزینه نگهداری موجودی در طی یک هفته ۷۱۷۷۰ واحد پولی خواهد بود.

ج) هزینه کسری قطعه در خودرو امدادی: همان‌گونه که در جدول (۵) نیز مشاهده می‌شود، در این سیستم فعلی تأمین قطعات، به‌واسطه این‌که کل تقاضای ۵ روزه یکجا دریافت می‌شود، طبیعی است که در روزهای ابتدایی سیستم با کسری مواجه نشود و کسری‌ها به‌واسطه این‌که تا انتهای روز پنجم خودرو امدادی به انبار مراجعه نخواهد کرد، در روزهای پایانی روی خواهد داد. در نمونه مورد مطالعه ما، ملاحظه می‌شود که کسری فقط در روز پنجم رخ داده است. روش تأمین کسری در هر خودرو امدادی به این صورت خواهد بود که، به محض این‌که یک خودرو امدادی با کسری مواجه می‌شود، به مرکز اعلام کرده و مرکز نیز قطعه موردنظر را برای خودرو موردنظر در آن ناحیه با پیک موتوری اعزام می‌کند. لذا فرض بر این است که به‌ازای هر واحد کسری موجودی، شرکت باید هزینه یک پیک موتوری را پرداخت نماید. هزینه هر پیک هم حاصل‌ضرب فاصله آن ناحیه از مرکز در هزینه واحد طول درنظر گرفته شده است.

اگر هزینه کسری با C3 نشان داده شود و تعداد کسری هر خودرو i در روز j را با S_{ij} و فاصله هر خودرو امدادی تا انبار را نیز با d_{i0} نشان بدهیم، در این صورت هزینه کسری سیستم تأمین، از رابطه (۳) به‌دست خواهد آمد. در این رابطه p هزینه هر واحد طول پیک می‌باشد که در این‌جا برابر ۵ واحد پولی درنظر گرفته شده است. باتوجه به رابطه (۳) و همچنین جدول (۵)، کل هزینه کسری برای این دوره پنج روزه، ۳۶۹۰۰ واحد پولی به‌دست آمده است.

$$C3 = p * \sum_{i=1}^{36} \sum_{j=1}^{5} S_{ij} * d_{i0} \qquad (۳)$$

باتوجه به هزینه‌های حمل‌ونقل، نگهداری موجودی و کسری موجودی، هزینه کل تأمین قطعه یدکی برای خودروهای امدادی در طی پنج روز مطابق فرمول ۴ برابر ۱۷۲۸۷۰ واحد پولی شده است.

$$C=C1+C2+C3 = 64200 + 71770+36900=172870 \qquad (۴)$$

۴. روش پیشنهادی و برآورد هزینه آن

در ارائه روش پیشنهادی بر رویکرد مسائل مسیریابی وسایل حمل‌ونقل (VRP) تأکید شده است. در این روش، به‌جای این‌که خودروها هرکدام به‌صورت مجزا به انبار مراجعه کنند، یک وسیله نقلیه که از ظرفیت کافی برخوردار است، هر روز تقاضاهای برآورد شده خودروهای امدادی

را مطابق با اطلاعات درج شده در جدول (۱) به دست آن‌ها می‌رساند. به‌عبارت بهتر، در روش پیشنهادی، یک وسیله نقلیه در روز اول، باتوجه به تعداد قطعات درنظر گرفته شده برای هر خودرو مطابق با سطر اول جدول (۱)، ۷۱۵ بسته را بین ۳۶ خودرو در ۱۲ ناحیه مشخص شده مطابق با جدول (۴) توزیع می‌نماید. در این روش، باتوجه این‌که قطعات هر روز در همان روز به دست خودرو امدادی رسانده می‌شود، مقدار موجودی در خودروهای امدادی به‌شدت کاهش می‌یابد. اما ممکن است به‌واسطه این کاهش موجودی، کسری‌های به‌وجود آمده که ناشی از افزایش درخواست خدمات مشتریان بیش از مقادیر پیش‌بینی شده در جدول (۱) به‌وجود می‌آید، خودروها با کسری مواجه شوند که در این صورت، برخلاف روش قبل که کسری‌ها در انتهای دوره به‌وجود آمدند، از همان روز اول شرکت باید برای جبران کسری خودروها، هزینه نماید. لذا باتوجه به این موضوع، در روش پیشنهادی این امکان وجود خواهد داشت که به واسطه کاهش موجودی در خودروهای امدادی، هزینه کسری موجودی افزایش پیدا کند.

هزینه حمل‌ونقل نیز در روش جدید دچار تغییراتی خواهد شد. باتوجه به این‌که در روش جدید، به‌جای این‌که هر خودرو منفرداً به انبار مراجعه کند، یک وسیله نقلیه کار توزیع را بین خودروهای امدادی انجام می‌دهد، لذا هزینه یک‌بار توزیع قطعات قطعاً از هزینه مراجعه تک‌تک خودروهای امدادی به انبار کمتر خواهد شد. اما چون تعداد دفعات توزیع قطعه بین خودروها بیش از یک‌بار است، (در وضعیت فعلی باید ۵ بار در ۵ روز توزیع صورت بگیرد) لذا مقایسه هزینه دو روش، به میزان مسافت طی شده در طی این ۵ روز توسط خودرو توزیع‌کننده قطعات بستگی خواهد داشت. اگر طول مسیر بهینه توزیع که از حل مدل VRP ساده یا TSP ساده به‌دست می‌آید به‌گونه‌ای باشد که ۵ برابر آن از مسافت طی شده توسط خودروهای امدادی که در حالت فعلی به انبار برای گرفتن قطعات یدکی مراجعه می‌کنند، کمتر باشد، در این صورت شاهد کاهش هزینه حمل‌ونقل نیز خواهیم بود. در غیر این صورت امکان افزایش هزینه حمل‌ونقل در روش پیشنهادی نیز وجود دارد. در ادامه برای روش پیشنهادی نیز، هزینه تأمین قطعات، که شامل هزینه حمل‌ونقل، هزینه نگهداری موجودی و هزینه کسری موجودی می‌شود، محاسبه و نهایتاً با روش فعلی مقایسه خواهد شد.

الف) هزینه حمل‌ونقل: باتوجه به این‌که برای حمل‌ونقل، هر روز یک وسیله نقلیه باید قطعات یدکی موردنیاز کلیه ۳۶ خودرو امدادی را در ابتدای روز توزیع نماید؛ از یک مدل استاندارد VRP مبتنی بر جریان [۱]، برای این کار استفاده شده است. هدف حداقل کردن هزینه حمل‌ونقل با تعین مسیر حرکت وسیله نقلیه‌ای است که وظیفه تأمین قطعات یدکی خودروهای امدادی را برعهده دارد. در برررسی صورت گرفته، مشخص شده است که تمام تقاضاهای ۳۶ خودرو در هر روز می‌تواند توسط یک وسیله نقلیه حمل شود. لذا مدل VRP عملاً به یک مدل فروشنده دوره‌گرد (TSP) تبدیل شده است. این موضوع به‌خاطر کوچک بودن شهر و امکان تعداد کم خودروهای امدادی می‌باشد. اما در شهرهای بزرگتر که تعداد خودروهای امدادی بیشتر بوده و لذا روزانه باید تعداد قطعات یدکی بیشتری باید حمل شود، در این صورت قطعاً درنظر گرفتن یک وسیله حمل کافی نخواهد بود و برای یافتن مسیر بهینه جابه‌جایی از مدل‌های پیچیده‌تر مسائل مسیریابی وسیله نقلیه باید استفاده کرد.

$$\text{Min} \sum_{i\in V}\sum_{j\in V} c_{ij}x_{ij} \qquad (۵)$$

$s.t.$

$$\sum_{i\in V} x_{ij} = 1, \qquad \forall\, j \in V\backslash\{0\} \qquad (۶)$$

$$\sum_{j\in V} x_{ij} = 1, \qquad \forall\, j \in V\backslash\{0\} \qquad (۷)$$

$$\sum_{i\in V} x_{i0} = K \qquad (۸)$$

$$\sum_{j\in V} x_{0j} = K \qquad (۹)$$

$$\sum_{i\in S}\sum_{j\in S} x_{ij} \le |S| - r(S)\ \forall\, S \subseteq V\backslash\{0\},\ S \neq \emptyset \qquad (۱۰)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall\, i,j \in V \qquad (۱۱)$$

باتوجه به توضیحات ارائه شده، مدل فوق برای یافتن مسیر بهینه حرکت وسیله حملی که برای توزیع قطعات بین خودروهای امدادی درنظر گرفته شده است، مورد استفاده قرار گرفت. در این مدل، روابط (۵) تا (۱۱)، مدل استاندارد VRP است که پارامترها، متغیرها و علائم استفاده شده دقیقاً همان است که توث و ویگو [۱] در کتاب خود به آن اشاره کرده‌اند. حل این مدل با استفاده از داده‌های جدول (۲)، مسیر حرکت زیر را مشخص می‌کند. در این مسیر، وسیله حمل از انبار شروع کرده و به‌سمت ناحیه ۱۱ برای تحویل قطعات یدکی خودروهای امدادی مستقر در این ناحیه حرکت می‌کند و به‌همین ترتیب در نواحی مختلف مطابق الگوی زیر حرکت کرده و در نهایت نیز بعد این‌که قطعات یدکی خودروهای مستقر در ناحیه ۱۰ تا تحویل آن‌ها می‌دهد، در انتها به انبار باز می‌گردد.

$$0 \to 11 \to 12 \to 8 \to 4 \to 3 \to 7 \to 6 \to 2 \to 1 \to 5 \to 9 \to 10 \to 0$$

باتوجه به فاصله بین ناحیه‌ها (جدول (۲))، وسیله حمل درنظر گرفته شده در یک‌بار توزیع قطعات یدکی بین خودروهای امدادی، ۵۴۰ واحد طول مسیر را طی می‌کند و باتوجه به این‌که هزینه واحد حمل‌ونقل ۱۰ واحد پولی درنظر گرفته شده بود، لذا طی این مسیر ۵۴۰۰ واحد پولی هزینه دربر خواهد داشت. اما همان‌گونه که قبلاً نیز بیان شد، باید توجه شود که این مسیر بهینه در طول ۵ روز، ۵ بار طی خواهد شد و لذا هزینه کل حمل‌ونقل روش جدید ۵ برابر ۵۴۰۰ واحد پولی یعنی ۲۷۰۰۰ واحد پولی خواهد بود. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود به واسطه این‌که استفاده از رویکرد VRP باعث کاهش شدید هزینه حمل‌ونقل در یک‌بار توزیع قطعات بین خودروهای امدادی می‌شود، لذا هزینه ۵ بار توزیع در طی ۵ روز نیز کماکان از هزینه روش تأمین فعلی قطعات یدکی خودروهای امدادی یعنی ۶۴۲۰۰ واحد کمتر است.

ب) هزینه نگهداری: در روش پیشنهادی میزان نگهداری اقلام به‌شدت کاهش می‌یابد و هر وسیله نقلیه روزانه قطعات یدکی دریافتی را مصرف خواهد کرد. باتوجه به جداول (۱) و (۳)، میزان موجودی در انتهای هر روز با استفاده از همان معادله بازگشتی معرفی شده در بخش قبل، محاسبه و در جدول (۶) آورده شده است. توجه شود که کسری قطعات روزانه با ارسال از طریق انبار جبران می‌شود. لذا مواقعی که کسری وجود دارد، قطعه‌ای نگهداری نخواهد شد. همچنین به این موضوع توجه شود که در این روش، اگر در روزی مازاد وجود داشته باشد، در روز بعد، مقدار موجودی مازاد در خودرو، از مقدار سفارش ارسالی درنظر گرفته شده برای روز بعد کسر خواهد شد.

جدول (۶): مقدار موجودی انتهای هر روز در خودرو امدادی در روش پیشنهادی

روز/ خودرو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	جمع روزانه
۱	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۱	۰	۰	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۲	۰	۰	۵	۰	۳	۰	۰	۰	۳	۰	۲	۱	۳۱
۲	۰	۰	۴	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۴	۰	۰	۰	۳	۰	۳	۰	۰	۳	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۴	۳	۳	۳	۰	۳	۰	۰	۳۸
۳	۲	۰	۱	۰	۵	۰	۰	۲	۰	۲	۴	۳	۱	۴	۰	۱	۲	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۳	۰	۴	۰	۱	۳۸
۴	۵	۰	۰	۲	۰	۵	۱	۰	۴	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۵	۰	۲	۴	۰	۰	۴	۰	۵	۰	۰	۴	۳	۰	۰	۰	۵	۰	۵۱
۵	۳	۰	۵	۰	۱	۱	۳	۰	۵	۰	۰	۳	۴	۱	۲	۰	۵	۰	۰	۲	۰	۰	۵	۳	۵	۰	۳	۱	۰	۲	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۵۷
جمع خودرو	۱۰	۰	۶	۷	۸	۷	۳	۴	۷	۷	۲	۱۱	۱۲	۳	۶	۴	۶	۵	۵	۳	۸	۴	۸	۳	۱۰	۵	۸	۳	۷	۹	۹	۶	۳	۷	۷	۲	۲۱۵

باتوجه به جدول (۶)، ۲۱۵ قطعه-روز در روش پیشنهادی، نگهداری خواهد شد، که با درنظر گرفتن هزینه واحد نگهداری موجودی، و فرمول (۲)، ۲۱۵۰ واحد پولی هزینه نگهداری در طی ۵ روز خواهد بود که در مقایسه با روش فعلی تأمین قطعات یدکی موردنیاز خودروهای امدادی این رقم بسیار کاهش یافته‌است.

ج) هزینه کسری موجودی: در روش پیشنهادی، باتوجه به این‌که، روزانه قطعات به خودروهای امدادی تحویل می‌شود، لذا امکان جبران کسری با موجودی روزهای قبل وجود ندارد. بنابراین کسری به‌وجود آمده در هر روز باید با هزینه اضافی و اعزام پیک حامل قطعات یدکی از طرف شرکت، تأمین شود. در جدول (۷) نیز میزان کسری روزانه با استفاده از رابطه بازگشتی تعیین موجودی انتهای دوره، که در بخش قبل معرفی شد، برآورد شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، به علت این‌که موجودی از روزهای قبل درخودرو امدادی، در مقایسه با روش تأمین فعلی، کمتر شده است، لذا در هر روز خودروها مجموعاً با کسری قابل توجهی مواجه شده‌اند، به‌طوری‌که مجموع کسری‌ها در طی این پنج که در روش فعلی، ۴۲ واحد و فقط هم در روز پنجم به‌وجود آمده بود، در روش فعلی، مجموعاً به ۲۵۷ کسری در ۵ روز رسیده که در هر روز هم این کسری بروز کرده است. باتوجه به جداول (۲)، (۴)، (۷) و همچنین فرمول (۳)، و با درنظر گرفتن هزینه‌های پرداختی بابت تأمین هر واحد کسری که در بخش قبلی به آن اشاره شد، هزینه کسری در روش پیشنهادی برای ۵ روز، برابر با ۱۱۰۸۷۵ واحد پولی برآورد شده است. این هزینه در مقایسه با روش فعلی تأمین به‌شدت افزایش یافته است که دلیل اصلی آن همان کاهش موجودی نگهداری شده در انتهای هر روز در مقایسه با روش قبلی می‌باشد. باتوجه به فرمول (۴)، هزینه کل تأمین در روش پیشنهادی از رابطه ذیل به‌دست خواهد آمد.

$$C=C1+C2+C3 = ۲۷۰۰۰ + ۲۱۵۰+۱۱۰۸۷۵=۱۴۰۰۲۵$$

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، مجموعاً با درنظر گرفتن سه نوع هزینه که مبنای مقایسه بودند، روش پیشنهادی ۱۴۰۰۲۵ واحد پولی هزینه خواهد داشت که نسبت به روش موجود، حدود ۱۹٪ کاهش را نشان می‌دهد.

جدول (۷): مقدار کسری روزانه هر خودرو امدادی در روش پیشنهادی

روز/خودرو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	جمع روزانه
۱	۴	۱	۰	۰	۴	۵	۱	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۵	۵	۲	۳	۳	۱	۲	۰	۱	۰	۵	۴	۰	۲	۱	۰	۵	۴	۱	۰	۳	۰	۶۵
۲	۵	۱	۴	۰	۵	۰	۲	۴	۵	۰	۵	۰	۳	۱	۴	۰	۴	۰	۳	۱	۰	۴	۰	۵	۱	۴	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۲	۵	۷۰
۳	۰	۰	۰	۵	۰	۱	۵	۳	۰	۴	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۰	۴	۰	۰	۰	۰	۵	۴	۰	۵	۱	۳	۰	۱	۰	۲	۰	۴۶
۴	۰	۲	۴	۱	۰	۰	۵	۰	۳	۰	۰	۳	۳	۰	۱	۰	۱	۴	۰	۵	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۱	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۱	۴۰
۵	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۳	۰	۲	۳	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۰	۳	۰	۲	۴	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۵	۱	۰	۱	۳۶
جمع خودرو	۹	۴	۸	۹	۹	۶	۱۳	۱۰	۸	۶	۸	۶	۶	۶	۱۰	۷	۸	۷	۹	۸	۶	۹	۱	۱۰	۵	۱۰	۷	۳	۶	۶	۷	۱۰	۵	۴	۴	۷	۲۵۷

۵. تحلیل حساسیت

پس از ارائه راهکار، برای کاهش هزینه تأمین قطعات یدکی، و بررسی نتایج بررسی، که نشان می‌داد روش پیشنهادی برای توزیع قطعات یدکی نسبت به روش قبلی، برتری قابل توجهی دارد، نکته‌ای که باید به آن توجه شود، این است که آیا راهکار پیشنهادی، با تغییر برخی پارامترها کماکان راهکار مناسبی است؟ یا به‌عبارت دیگر، تغییرات پارامترهای مسأله، تا چه حدی بر بهتر بودن راهکار پیشنهادی می‌تواند تأثیر داشته باشد. برای پاسخ دادن به این سوالات، در ادامه برای هرکدام از پارامترهای اصلی و تأثیرگذار بر هزینه‌های تأمین، اقدام به تحلیل حساسیت شده است که به نتایج آن ذیلاً اشاره می‌شود.

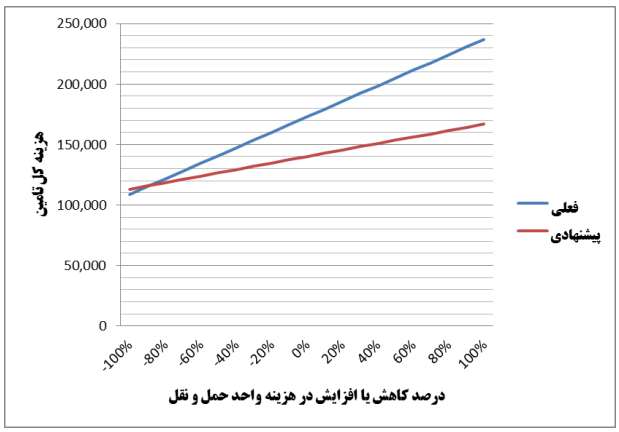
۵-۱. هزینه واحد حمل‌ونقل

یکی از پارامترهای تأثیرگذار در هزینه تأمین در این سیستم امدادرسانی، هزینه‌ای است به‌ازای یک واحد طول بابت جابه‌جایی خودرو امدادی، جهت تحویل گرفتن قطعات یدکی از انبار در روش فعلی تأمین، یا هزینه جابه‌جایی وسیله حمل قطعات یدکی از انبار تا ناحیه استقرار هر خودرو امدادی درنظر گرفته شده است. در مطالعه موردی ما، این رقم به‌ازای جابه‌جایی هر واحد طول وسیله نقلیه، ۱۰ واحد درنظر گرفته شده بود. حال سوالی که اینجا مطرح شده، این است که اگر به هر دلیلی، این هزینه کاهش یا افزایش یابد؟ چه تأثیری در میزان هزینه کل تأمین در این سیستم خواهد گذاشت. برهمین اساس با فرض ثابت بودن سایر پارامترها و شرایط، تأثیر کاهش و افزایش این پارامتر در هزینه کل مورد بررسی قرار گرفته‌است. در نمودار شکل (۲)، وضعیت تغییر هزینه کل براساس تغییر در هزینه واحد حمل‌ونقل آورده شده است.

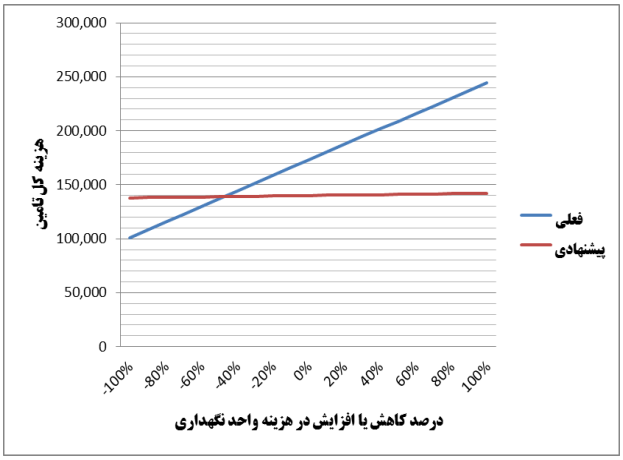
همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، تقریباً در تمام حالاتی که هزینه واحد حمل‌ونقل کاهش یا افزایش می‌یابد، روش پیشنهادی هزینه کمتری در مقایسه با روش فعلی تأمین خواهد داشت. فقط اگر برای تأمین هیچ‌گونه هزینه حمل‌ونقلی درنظر گرفته نشود، تأمین قطعات یدکی را روش فعلی، اندکی در مقایسه با روش پیشنهادی برتری نشان، می‌دهد که البته درعمل امکان ندارد که تأمین قطعات یدکی برای خودروهای امدادی هیچ‌گونه هزینه حمل‌ونقلی نداشته باشد. نکته‌ای که باید به آن توجه شود، این است که هرچه هزینه حمل‌ونقل افزایش یابد، اختلاف هزینه کل تأمین بین دو روش فعلی و پیشنهادی نیز بیشتر می‌شود. این امر نشان‌دهنده این موضوع است که مدیران شرکت امدادی، باید به این نکته توجه نمایند که افزایش هزینه واحد حمل‌ونقل، ضرورت تغییر در روش توزیع قطعات یدکی بین خودروها را بیشتر می‌کند. در حال حاضر با درنظر گرفتن ۱۰ واحد پولی برای هزینه واحد حمل‌ونقل، نزدیک به ۱۹٪ در هزینه‌های کل تأمین، کاهش ملاحظه می‌شود. حال اگر هزینه واحد جابه‌جایی وسایل نقلیه به ۱۵ برسد، یعنی ۵۰٪ افزایش پیدا کند، میزان کاهش در هزینه کل تأمین، به ۲۵٪ خواهد رسید. باتوجه به شرایط اقتصادی، و وضعیت تورمی موجود در محیط کسب و کار این شرکت امدادی، که کاهش در هزینه واحد حمل‌ونقل بسیار کم بوده و در آینده این شرکت حتماً با افزایش هزینه حمل‌ونقل مواجه خوهد شد، لذا تغییر در روش تأمین قطعات یدکی خودروهای امدادی این شرکت حتما باید مورد توجه قرار گیرد.

۵-۲. هزینه واحد نگهداری اقلام در خودروهای امدادی

پارامتر دومی که در تحلیل حساسیت مورد توجه قرار گرفته است، هزینه واحد نگهداری قطعات یدکی در خودروهای امدادی است. در بررسی وضعیت هزینه تأمین، به‌ازای هر روز نگهداری یک واحد قطعه یدکی در هر خودرو، ۱۰ واحد پولی درنظر گرفته شده بود. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، این هزینه شامل هزینه استهلاک قطعه، ریسک سرقت قطعه از خودرو و فرصت از دست رفته بابت اشغال فضای خودرو و عدم امکان جایگزین تجهیزات بیشتر برای ارائه خدمات بهتر به مشتریان می‌شود. سوال اساسی در تحلیل این هزینه، این بوده است که اگر مقدار این هزینه کاهش یا افزایش یابد، تحت چه شرایطی، روش پیشنهادی کماکان نسبت به روش فعلی برتری خواهد داشت؟ برای بررسی این موضوع، با فرض ثابت بودن سایر پارامترها، تغییرات هزینه کل تأمین را با کاهش و افزایش هزینه واحد نگهداری قطعات در خودروهای امدادی مورد توجه قرار گرفته است.



شکل (۲): تأثیر کاهش یا افزایش هزینه واحد حمل‌ونقل بر هزینه کل



شکل (۳): تأثیر کاهش یا افزایش هزینه واحد نگهداری بر هزینه کل

در نمودار شکل (۳)، وضعیت هزینه کل تأمین قطعات یدکی این شرکت، در صورت کاهش یا افزایش در هزینه واحد نگهداری ملاحظه می‌شود. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، روش پیشنهادی حساسیت کمتری در قبال تغییر هزینه نگهداری از خود نشان می‌دهد. در مقابل، روش فعلی که در شرکت استفاده می‌شود، به‌شدت در مقابل تغییر در هزینه واحد حمل‌ونقل از خود حساسیت نشان می‌دهد. دلیل اصلی این موضوع، این است که روش پیشنهادی، بر کاهش موجودی در خودروهای امدادی تاکید دارد. به‌عبارت بهتر، با اجرای روش پیشنهادی، مقدار موجودی که در هر خودرو نگهداری می‌شود، به خاطر این‌که هر روزه توزیع انجام می‌شود، به‌شدت کاهش پیدا می‌کند. لذا تغییرات در قیمت واحد نگهداری قطعه در خودرو امدادی تأثیر قابل توجهی در کاهش یا افزایش هزینه کل تأمین نخواهد داشت. اما روش فعلی به‌گونه‌ای است که میزان نگهداری قطعات یدکی در خودرو امدادی بسیار بالا بوده و لذا افزایش در هزینه نگهداری، باعث افزایش در هزینه‌های تأمین شرکت خواهد شد.

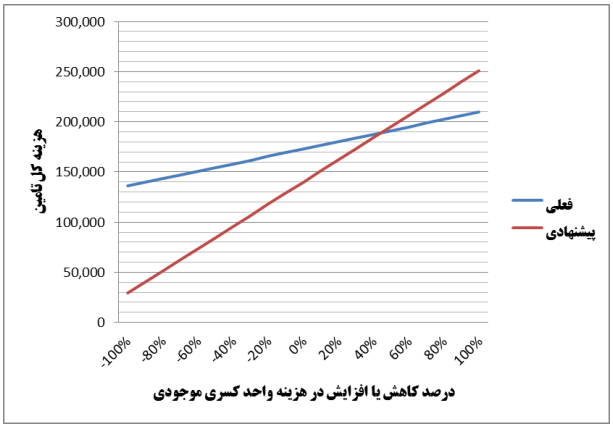
باتوجه به نمودار شکل (۲)، کاهش در هزینه واحد نگهداری تا حدود ۴۰٪ (یعنی هزینه نگهداری واحد قطعات یدکی به حدود ۶ واحد پولی برسد) روش پیشنهادی کماکان نسبت به روش فعلی برتری خواهد داشت. اما در صورت کاهش بیش از ۴۰٪ در هزینه نگهداری واحد، روش فعلی را در مقایسه با روش پیشنهادی عملکرد بهتری خواهد داشت. همچنین با افزایش در هزینه واحد نگهداری قطعات یدکی در خودروهای امدادی به هر میزان، برتری روش پیشنهادی در مقایسه با روش فعلی حفظ شده میزان بهبود ایجاد شده در هزینه کل تأمین، بیشتر خواهد شد. به‌عنوان مثال، افزایش ۵۰ درصدی در هزینه نگهداری (یعنی هزینه واحد برابر ۱۵ واحد پولی)، باعث خواهد شد تا روش پیشنهادی نسبت به روش فعلی حدود ۳۵٪ در کاهش هزینه کل تأمین، بهبود ایجاد نماید.

با درنظر گرفتن این نکته که شرایط محیطی که شرکت در آن فعالیت می‌کند به‌گونه‌ای است که با گذشت زمان انتظار می‌رود که هزینه‌ها افزایش یابد، لذا این تحلیل نیز نشان می‌دهد که شرکت بهتر است نسبت به تغییر روش تأمین قطعات یدکی برای خودروهای امدادی خود اقدام نماید.

۵-۳. هزینه واحد تأمین کسری اقلام در خودرو امدادی

همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، سیاست شرکت این است که اگر خودرو امدادی در ارائه خدمت به مشتری با کسری قطعه مواجه شد، نسبت به ارسال قطعه از انبار برای خودرو مورد نظر، از طریق پیک اقدام نماید. در مطالعه موردی، هزینه ارسال پیک برای هر خودرو تابعی از یک مقدار هزینه ثابت ضربدر فاصله ناحیه محل استقرار خودرو امدادی از انبار درنظر گرفته شده است. ازآنجایی‌که فاصله هر ناحیه از انبار در محاسبه هزینه کسری قطعات تغییر نمی‌کند، لذا عاملی که می‌تواند هزینه تأمین کسری را تحت تأثیر قرار دهد، همان مقدار ضریب پولی ثابت ۵ واحد پولی است که در بررسی وضعیت تأمین شرکت درنظر گرفته‌شده بود. درواقع برای تحلیل حساسیت روش‌های فعلی و پیشنهادی، اثرات کاهش یا افزایش این ضریب پولی بر هزینه کل تأمین مورد توجه قرار گرفته است. در نمودار شکل (۴) مقایسه‌ای از تأثیرات کاهش یا افزایش هزینه کسری موجودی در خودروهای امدادی، بر روش‌های فعلی و پیشنهادی تأمین قطعات یدکی آورده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، روش پیشنهادی، در برابر تغییرات هزینه کسری، حساسیت بیشتری در مقایسه با روش فعلی تأمین از خود نشان می‌دهد. دلیل اصلی این امر ازآنجا ناشی می‌شود که در روش فعلی، چون میزان انباشت موجودی در خودروهای امدادی زیاد می‌باشد، لذا خودروها به واسطه این‌که قطعات یدکی موردنیاز ۵ روز را به‌صورت یک‌جا از انبار تحویل می‌گیرند، در روزهای اولیه، اگر با تقاضایی بیش از آنچه برای آن‌ها پیش‌بینی شده است مواجه شوند، از محل انباشت موجودی در خودرو امدادی، تأمین کرده و معمولاً در روزهای اولیه با کمبودی مواجه نمی‌شوند و عمدتاً در روش فعلی، اگر کسری اتفاق بیافتد در روزهای پایانی خواهد بود. اما در روش پیشنهادی، نیاز روزانه هر خودرو امدادی به قطعات یدکی، در همان روز تحویلی خودرو می‌شود و لذا در همان روز اگر تقاضایی بیش از آنچه که پیش‌بینی شده به‌وجود بیاید، خودرو با کمبود مواجه خواهد شد. لذا در روش پیشنهادی احتمال مواجهه با کمبود هر روز وجود

داشته و امکان جایگزین کردن کسری قطعات در هر روز با قطعات یدکی درنظر گرفته شده برای روزهای بعد وجود ندارد. لذا در روش پیشنهادی، سیستم تأمین قطعات یدکی با کسری بیشتری مواجه خواهد بود. فلذا، روش پیشنهادی در مقابل تغییرات هزینه واحد کسری قطعات حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهد.



شکل (۴): تأثیر کاهش یا افزایش هزینه واحد کسری بر هزینه کل

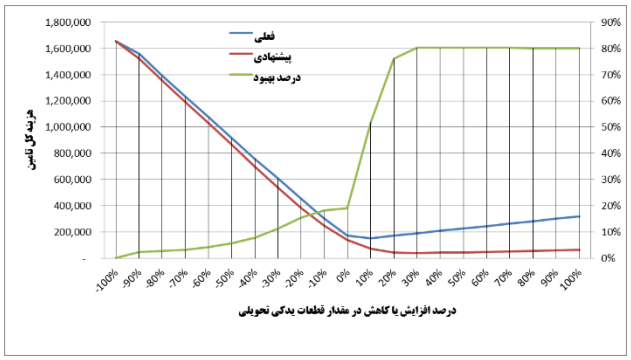
باتوجه به نکات اشاره شده، و همان‌گونه که در نمودار شکل (۴) نیز نشان داده شده است، هرچه هزینه واحد کسری موجودی کاهش پیدا کند، روش پیشنهادی نسبت به روش فعلی برتری بیشتری از خود نشان می‌دهد. و برعکس افزایش هزینه واحد کسری موجودی، میزان برتری روش پیشنهادی را کاهش خواهد داد.

باتوجه به نمودار شکل (۴)، مشخص است که افزایش تا میزان ۴۰٪ در هزینه واحد کسری موجودی، کماکان روش پیشنهادی نسبت به روش فعلی تأمین برتری دارد. اما چنانچه، افزایش هزینه واحد کسری موجودی بیش از ۴۰ درصد باشد، در این صورت توصیه بر استفاده از روش فعلی تأمین خواهد بود.

البته در بررسی وضعیت هزینه کسری، فرض بر این بوده است که به‌محض بروز کسری در یک خودرو امدادی، شرکت سریعاً نسبت به ارسال قطعه از طریق پیک اقدام می‌نماید. بنابراین به‌ازای هر واحد کسری قطعه، یک هزینه پیک درنظر گرفته شده است. اما می‌توان با بررسی‌های بیشتر، راهکارهایی برای کاهش هزینه واحد کسری قطعات پیدا کرد. به‌عنوان مثال، این امکان وجود دارد که در صورت بروز هم‌زمان کسری در چند خودرو امدادی، برای هر چند خودرو، یک پیک مشترک ارسال کرد. این امر می‌تواند هزینه واحد کسری هر قطعه را به‌میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد که در این صورت استفاده از روش پیشنهادی توجیه بیشتری خواهد داشت. این تحلیل حساسیت نشان می‌دهد، علی‌رغم این‌که در شرایط فعلی، بهتر است تا شرکت نسبت به تغییر رویه توزیع قطعات یدکی بین خودروهای امدادی تغییر ایجاد نماید، اما باتوجه به حساسیت روش پیشنهادی به هزینه کسری، باید نسبت به مطالعه در خصوص نحوه تأمین قطعات کسری خودروهای امدادی و همچنین یافتن راهکارهایی که میزان کسری را کاهش می‌دهد نیز اقدام نماید.

۵-۴. تغییرات در مقدار اقلام تحویلی به هر خودرو امدادی

موضوع دیگری که باید به آن توجه نمود، مقدار قطعات یدکی است که بنا بر نظر شرکت، هر روز در اختیار خودرو امدادی قرار می‌گیرد. پیشتر اشاره شد که باتوجه به میزان مصرف قطعات هر خودرو در طی یک دوره مشخص، برآوردی از میزان مصرف صورت گرفته و متناسب با آن شرکت تعیین می‌کند که در هر روز چه تعداد قطعه در اختیار هر خودرو امدادی قرار دهد. این پارامتر هم در میزان هزینه نهایی تأمین قطعات یدکی، تأثیر قابل توجهی دارد. در بررسی صورت گرفته، میزان کاهش در تعداد این قطعات یا افزایش آن مورد بررسی قرار گرفته است. در نمودار شکل (۵)، تأثیر افزایش یا کاهش در تعداد قطعات یدکی که تحویل هر خودرو امدادی می‌شود، بر هزینه کل تأمین در روش فعلی و روش پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل (۵): تأثیر کاهش یا افزایش مقدار قطعات تحویلی به خودروهای امدادی بر هزینه کل

افزایش یا کاهش تعداد قطعات یدکی تحویلی به خودروهای امدادی، از طریق تأثیر بر موجودی انتهای دوره، و همچنین کاهش یا افزایش تعداد کسری‌های هر خودرو، بر هزینه کل تأمین تأثیر می‌گذارد.

در نمودار شکل (۵)، مشاهده می‌شود که، منحنی مربوط به روش پیشنهادی همواره زیر منحنی مربوط به روش فعلی تأمین قطعات یدکی است. این بدان معنی است که، روش پیشنهادی برای تأمین، تحت هر شرایطی نسبت به روش موجود ارجحیت دارد و با افزایش یا کاهش قطعات تحویلی به هر خودرو، این ارجحیت تغییری نمی‌کند.

نکته قابل توجه در این نمودار این است که، اگر تعداد قطعات تحویلی به هر خودرو ۲۵٪ افزایش پیدا کند، باتوجه به این‌که در این حالت، میزان کسری به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند، لذا هزینه کل تأمین در حالت پیشنهادی به حداقل ممکن خود یعنی ۳۶۹۲۰ واحد خواهد رسید؛ که در این شرایط، هزینه تأمین در وضعیت پیشنهادی، حدود ۸۰٪ نسبت به روش فعلی بهبود پیدا خواهد کرد.

اما حدقل هزینه تأمین در روش فعلی، هنگامی اتفاق می‌افتد که میزان قطعات یدکی تحویلی به خودروهای امدادی را حدود ۶٪ افزایش دهیم. این میزان افزایش هزینه کل تأمین را به رقم ۱۴۸۸۲۴ واحد پولی کاهش خواهد داد. اما در این شرایط نیز روش پیشنهادی هزینه

کمتری را به شرکت تحمیل کرده و هزینه تأمین را حدود ۳۶٪ کاهش و به رقم ۹۴۹۵۰ واحد پولی می‌رساند.

این تحلیل نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به میزان قطعاتی که در اختیار خودروهای امدادی قرار می‌گیرد، حساسیت نداشته و با هر میزان قطعه یدکی، روش پیشنهادی نسبت به روش فعلی برتری نشان می‌دهد.

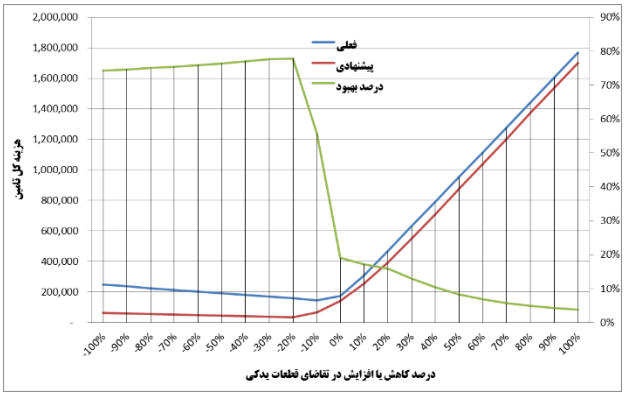
۵-۵. تغییرات در مقدارتقاضای رسیده به هرکدام از خودروهای امدادی

پارامتر دیگری که بر هزینه کل تأمین تأثیرگذار خواهد بود؛ میزان تقاضای وارد شده برای قطعات یدکی هر خودرو امدادی می‌باشد. در بررسی‌های صورت گرفته، همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، تقاضای وارده به هر خودرو امدادی برآوردی است از میزان تقاضاهایی که در طی دوره‌های گذشته هر خودرو امدادی داشته است. لذا احتمال این‌که تقاضا در دوره پیش‌رو بیشتر یا کمتر از میزان پیش‌بینی باشد وجود دارد. بنابراین در تحلیل حساسیت، این پارامتر نیز مورد توجه قرار گرفته و تأثیر کاهش یا افزایش آن بر هزینه کل تأمین مورد بررسی قرار گرفته است.

در نمودار شکل (۶)، میزان تأثیر تغییر در تقاضای وارده به هر خودرو امدادی، بر هزینه کل تأمین آورده شده است. باتوجه به این نمودار، مشخص است که روش پیشنهادی با تغییر میزان تقاضای رسیده به خودروهای امدادی نیز نسبت به روش فعلی، ارجحیت داشته و باعث کاهش هزینه کل تأمین خواهد شد. البته این رفتار تا حد زیادی قابل پیش‌بینی بود، چراکه کاهش تقاضای وارده به خودروها، مشابه افزایش در تعداد قطعات یدکی در اختیار خودرو امدادی عمل می‌کند. لذا ملاحظه می‌شود که شکل نمودارهای (۵) و (۶) تقریباً قرینه هم هستند. نکته قابل توجه این است که اگر تقاضای واقعی برای قطعات یدکی روبه کاهش باشد، روش پیشنهادی برتری خود را حفظ کرده و فاصله هزینه کل تأمین آن با روش فعلی روبه افزایش خواهد بود. اما اگر تقاضای واقعی برای استفاده از قطعات یدکی در خودروهای امدادی روبه افزایش باشد، در این صورت علی‌رغم این‌که هزینه کل تأمین روش‌های پیشنهادی و فعلی به‌هم نزدیک می‌شوند، اما روش پیشنهادی کماکان برتری خود را نسبت به روش موجود حفظ خواهد کرد.

۶. نتیجه‌گیری

مقایسه هزینه‌های مختلف روش فعلی و روش پیشنهادی در جدول (۸) آمده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود روش پیشنهادی هزینه حمل‌ونقل و هزینه نگهداری را در حد قابل توجهی کاهش می‌دهد. اما هزینه کسری به شدت افزایش می‌یابد. افزایش کسری‌ها در سیستم وابسته به میزان اقلامی است که در هر روز به خودروهای امدادی تحویل داده می‌شود. از طرف دیگر تعداد اقلام تحویلی به خودرو امدادی براساس بررسی روندهای گذشته توسط شرکت مشخص می‌شود و به‌عنوان یک ورودی محسوب می‌شود. بنابراین بروز کسری در خودروهای امدادی، عمدتاً به روش‌های پیش‌بینی و خطای آن‌ها برمی‌گردد. لذا با اصلاح روش‌های پیش‌بینی تقاضا این هزینه نیز می‌تواند کاهش پیدا کند. به‌عنوان مثال چنانچه، مقدار قطعات یدکی که به هر خودرو امدادی در هر روز تحویل داده می‌شود، ۲۵٪ اضافه شود، هزینه کسری به‌وجود آمده به رقم ۱۱۳۸ واحد خواهد رسید که بسیار کمتر از رقمی است که در جدول (۸) ملاحظه می‌شود.



شکل (۶): تأثیر کاهش یا افزایش مقدار تقاضای قطعات یدکی وارده بر خودروهای امدادی بر هزینه کل

جدول (۸): مقایسه روش موجود و روش پیشنهادی (واحد پولی)

	هزینه حمل و نقل	هزینه نگهداری	هزینه کسری	جمع کل هزینه
روش موجود	۶۴۲۰۰	۷۱۷۷۰	۳۶۹۰۰	۱۷۲۸۷۰
روش پیشنهادی	۲۷۰۰۰	۲۱۵۰	۱۱۰۸۷۵	۱۴۰۰۲۵
درصد کاهش (افزایش)	۵۷.۹٪	۹۷.۰٪	-۲۰۰۵٪	۱۹.۰٪

مطالعه انجام شده، نشان می‌دهد که روش فعلی توزیع قطعات یدکی بین خودروهای امدادی در این شرکت، هزینه قابل توجهی دارد که استفاده از مفهوم مسیریابی و ارائه روش پیشنهادی جدید با درنظر گرفتن شرایط و پارامترهای فعلی، می‌تواند این هزینه را ۱۹٪ کاهش دهد. همچنین در بررسی‌ها مشخص شده است که روش پیشنهادی عمدتاً در برابر هزینه واحد کسری، حساسیت قابل توجهی از خود نشان می‌دهد. اما روش پیشنهادی در برابر هزینه نگهداری اقلام در خودروهای امدادی، به خاطر این‌که میزان موجودی در خودروها را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد، کمترین میزان حساسیت را از خود بروز داده‌است.

باتوجه به بررسی‌های انجام شده، روش پیشنهادی نسبت به روش فعلی مورد استفاده توسط شرکت، برتری قابل توجهی داشته و با تغییر مقدار تقاضا، یا مقدار اقلام تحویلی به خودروهای امدادی، ارجحیت روش پیشنهادی همواره بالاتر خواهد بود.

در ادامه این پژوهش، در حال طراحی مدلی هستیم که بتواند بین روش موجود و روش پیشنهادی نقطه بهینه را پیدا کند. در روش پیشنهادی، خودرو تأمین‌کننده قطعات یدکی، هر روزه اقدام به سرویس‌دهی می‌نماید، لذا شاهد کاهش شدید در هزینه نگهداری و درمقابل افزایش شدید در هزینه کسری موجودی هستیم. حال اگر

خودرو تأمین‌کننده در طی ۵ روز؛ سه بار اقدام به ارائه سرویس نماید، هزینه نگهداری افزایش و هزینه حمل‌ونقل و هزینه کسری کاهش خواهد یافت. در پژوهش پیش‌رو، به‌دنبال این هستیم که مدل مشخص نماید که هرچندروز یک‌بار خودرو تأمین کننده اقدام به ارائه سرویس نماید تا هزینه‌های کل تأمین کمینه شود.

مراجع

[1] OICA, "SALES OF NEW VEHICLES 2005-2019", (2020). [online], Available: http://www.oica.net./

[2] P. Gaiardelli, N. Saccani and L. Songini, (2007). "Performance measurement of the after-sales service network—Evidence from the automotive industry", Computers in Industry, Vol. 2007, No. 58, p. 698–708.

[3] R. G. Bundschuh and M. D. Theodore, (2003). "How to make after-sales services pay off", McKinsey Quarterly, Vol. 2003, No. 4, pp. 116-127.

[4] G. Dantzig and J. Ramser, (1959). "The truck dispatching Problem ",Management Science, pp. 80-91.

[5] P. Toth and D. Vigo, (2014). "Vehicle routing problems, methods, and applications", Society for Industrial and Applied Mathematics.

[6] G. Laporte, H. Mercure and Y. Nober,(1986). "An exact algorithm for the asymmetrical capacitated vehicle routing problem", NETWORKS, Vol. 16, No. 1, pp. 33-46.

[7] G. Laporte, F. V. Louveaux and L. V. Hamme, (2003). "An integer L-shaped algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands", Operations Research, Vol. 50, No. 3, p. 415–423.

[8] G. Laporte and M. Desrochers, (1984). "Two exact algorithms for the distance-constrained vehicle routing problem", Networks, Vol. 14, No. 1, pp. 161-172.

[9] G. Kim, Y. S. Ong, C. K. Heng, P. S. Tan and N. A. Zhang, (2015). "City vehicle routing problem (City VRP): A review", IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, Vol. 16, No. 4, pp. 1654-1666.

[10] W. J .Kolen, A. H. G .Rinnooy Kan and H. W. J. M . Trienekens, (1987). "Vehicle routing with time windows", Operations Research, Vol. 35, No. 2, pp. 266-273.

[11] M. Schneider, A. Stenger and D. Goeke, (2014). "The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations", Transportation Science, Vol. 48, No. 4, pp. 500-520.

[12] M. Kargari and M. M. Sepehri, (2012). "Stores clustering using a data mining approach for distributing automotive spare-parts to reduce transportation costs", Expert Systems with Applications, Vol. 39, No. 5, pp. 4740-4748.

[13] J. C. García-Benito and M. L. Martín-Peña, (2021). "A redistribution model with minimum backorders of spare parts: A proposal for the defence sector", European Journal of Operational Research, Vol. 291, No. 1, pp. 178-193.

[14] Sleptchenko, M. C. van der Heijden and A. van Harten, (2005). "Using repair priorities to reduce stock investment in spare part networks", European Journal of Operational Research, Vol. 163, No. 3, pp. 733-750, 2005 .

[15] M. Campbell, D. Vandenbussche and W. Hermann, (2008). "Routing for Relief Efforts", Transportation Science ,Vol. 42, No. 2, p. 127–145.

[16] S. M. R. Davoodi and A. Goli, (2019). "An integrated disaster relief model based on covering tour using hybrid Benders decomposition and variable neighborhood search: Application in the Iranian context", Computers & Industrial Engineering, No. 130, p. 370–380.

[17] M.-S .Chang, Y.-L .Tseng and J.-W .Chen, (2007) "A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty", Transportation Research Part E, No. 43, p. 737–754.

[18] L. C. Coelho, J.-F. Cordeau and G. Laporte, (2014). "Thirty Years of Inventory Routing", Transportation Science, Vol. 48, No. 1, pp. 1-19.

[19] S. Anily, (1994). "The general multi-retailer EOQ problem with vehicle routing costs", European Journal of Operational Research, No. 79, pp. 451-473.

[20] J. F. Bard, (1998). "A Decomposition Approach to the Inventory Routing Problem with Satellite Facilities", Transportation Science, Vol. 32, No. 2, pp. 189-203.

[21] Prutsakul, (1998). "Integrated inventory problem and vehicle routing problem in one warehouse and multi-retailer distribution system", Texas Tech University.

[22] M. Campbell and M. W. P. Savelsbergh, (2004). "A Decomposition Approach for the Inventory-Routing Problem", Transportation Science, Vol. 38, No. 4, pp. 488-502, 2004.

[23] J. Kleywegt, V. S. Nori and M. W. P. Savelsbergh, (2004). "Dynamic Programming Approximations for a Stochastic Inventory Routing Problem", Transportation Science, Vol. 38, No. 1, pp. 42-70.

[۲۴] ف. جعفرخان و س. یعقوبی، (۱۳۹۵) "ارائه مدل ریاضی استوار و الگوریتم حل ابتکاری برای مسأله یکپارچه تولید-مسیریابی-موجودی محصولات فاسد شدنی با انتقال جانبی،" نشریه پژوهشهای مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، جلد ۴، شماره ۲، صفحه ۲۱۱-۱۹۵.

[۲۵] م. محجوب‌نیا، ن. دبیری و ع. بزرگی امیری، (۱۳۹۶) "ارائه مدل جدید مکان‌یابی-مسیریابی-موجودی سبز تحت عدم قطعیت"، نشریه پژوهشهای مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، جلد ۵، شماره ۱، صفحه ۹۹-۱۱۵.

[26] Ekici, O. Ö. Özener and G. Kuyzu, (2015). "Cyclic Delivery Schedules for an Inventory Routing Problem", Transportation Science, Vol. 49, No. 4, pp. 817-829.

[27] G. Widyadana and T. Irohara, (2019) "Modelling multi-tour inventory routing problem for deteriorating items with time windows", Scientia Iranica E, Vol. 26, No. 2, p. 932-941.

[28] L. C. Coelho, A. De Maio and D. Laganà, (2020). "A variable MIP neighborhood descent for the multi-attribute inventory routing problem", Transportation Research Part E, Vol. 144, No. 1, p. 102137.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2020, Volume 9., No. 18., pp. 111-125
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/IER.2021.24224.2025

The Impacts of VRP Model to Reduce Spare Parts Distribution Cost between Roadside assistance Cars

A. Shafaei[1], M.R. Akbari J.[2*], M. Rafiee[3]

[1.] PhD student, Faculty of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
[2.] Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
[3.] Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 12 May 2021
Accepted 21 August 2021

***Keywords*:**

Roadside Assistance Vehicle
After Sale Service
Spare Parts
Vehicle Routing Problem

ABSTRACT

After-sale service is one of the most important competitive factors in the automotive industry. Roadside assistance is a crucial function that effects customers' satisfaction. Subsequently, having a cost-effective spare part supply strategy for Roadside Assistance Vehicles (RAV) is vital to sustaining the competitiveness and profitability of every car manufacturer. A proper manner to supply spare parts for RAV has a significant effect on roadside assistance costs. In this article, we suggested a direct spare part supply strategy instead of the actual practice of delivering spare parts at the warehouses. By applying the VRP modeling, showed that this new strategy decreases the supply costs of spare parts.

[*] Corresponding author. M.R. Akbari J.
Tel.: 021-66165742, E-mail address: reza.akbari@sharif.edu