



مسیریابی وسیله نقلیه با ملاحظه معیارهای نظامی - انتظامی با استفاده از روش‌های ترکیبی ابتکاری - تحلیل سلسله مراتبی-تاپسیس (مطالعه موردی: رده ترابری یک سازمان لجستیک نظامی - انتظامی): ص ۴۹ - ۸۰

پوریا نوروزی^۱، حسینعلی حسن پور^۲، فرهاد کافی^۳

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۹

چکیده

یکی از زمینه‌هایی که در بهبود برنامه‌ریزی ترابری نقش بسزایی ایفا می‌کند، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه است. انتخاب بهترین مسیر باعث می‌شود که از منابع موجود، به طور بهینه استفاده شود؛ اما بهترین مسیر، به خصوص در حوزه‌های نظامی - انتظامی، صرفاً کوتاه‌ترین مسیر نیست و در نظر گرفتن معیارها و اهداف مناسب هر سازمان در شرایط مختلف در کنار یافتن کوتاه‌ترین مسیر، یک امر حیاتی در مسیریابی است. در این تحقیق تلاش شده است با یک رویکرد دو مرحله‌ای جدید، علاوه بر برآورده‌سازی هدف سنتی مسیریابی که همان کاهش هزینه‌ها از طریق کاهش مجموع مسافت پیموده شده توسط خودروهاست، دیگر اهداف یک سازمان نظامی - انتظامی برای تعیین اولویت تحویل کالا به رده‌های متقاضی، برآورده شود. در مرحله اول، با استفاده الگوریتم ابتکاری صرفه‌جویی کلارک و رایت، دسته‌هایی شدنی از متقاضیان بار که محدودیت‌های متداول مسیریابی (فاصله، ظرفیت خودروها و غیره) در آن صدق می‌کند، ایجاد خواهد شد. در مرحله دوم با یک روش تلفیقی از مباحث تصمیم‌گیری چندمعیاره (شامل تحلیل سلسله مراتبی و روش تاپسیس) و بر اساس معیارهای نظامی - انتظامی، اولویت تحویل کالا به رده - های متقاضی بار در هر دسته، تعیین خواهد شد. نتایج نظرات خبرگان در نرم‌افزار اکسپرت چویس وارد و در نهایت وزن هر معیار مشخص گردید. معیارهای ملاحظه شده در این تحقیق، با مطالعه موردی یک سازمان لجستیک نظامی - انتظامی به ترتیب اهمیت عبارت‌اند از: " درجه امنیتی بودن (محل استقرار رده)، ضرورت تحویل (نیاز رده متقاضی)، میزان صعب‌العبور بودن (جاده منتهی به رده)، میزان دورافتادگی رده (استقرار در منطقه محروم)، کمبود امکانات سوخت‌گیری (پیرامون رده) و بدی شرایط جوی (اطراف رده)". همچنین روایی و پایایی معیارها از طریق تحقیق میدانی و به کمک ابزار پرسشنامه و استفاده از نظر خبرگان و به ترتیب با فرمول لاوشه و آلفای کرونباخ اثبات شد.

کلمات کلیدی: مسیریابی وسیله نقلیه، دسته‌بندی، الگوریتم صرفه‌جویی، معیارهای نظامی - انتظامی.

۱ کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران | porya.nowroozi@gmail.com

۲ استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران (نویسنده مسئول) | hahassan@ihu.ac.ir

۳ دکترای تخصصی، کمیته ترابری و تحرک، مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی، تهران، ایران | farhad.kafi@gmail.com

مقدمه و بیان مسئله

بی‌تردید در دنیای امروز توجه به توسعه پایدار و بهره‌گیری کارا از منابع، از ضروریات و الزامات هر ساختاری است. محدود بودن منابع و گسترش رو به رشد تقاضا در اغلب صنایع، باعث گردیده که بیشتر سازمان‌ها به دنبال کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری باشند و این دو را در سیاست‌های کلان خود جای داده و تقسیمات سازمانی را مبتنی بر این دو مقوله اخذ نمایند (شکری و میرابی: ۱۳۹۲، ۲۰؛ محمودی و خرمی‌زاده، ۱۳۹۵، ۴۵). برنامه‌ریزی ترابری و مسیریابی، امروزه یکی از زمینه‌های اساسی و مطرح در شاخه‌های مختلف علوم همانند تحقیق در عملیات، مهندسی صنایع و مهندسی عمران می‌باشد. در این حالت با توجه به نوع مسئله مورد نظر عواملی همانند طول مسیر، کیفیت مسیر از لحاظ ساختاری و محیطی، ترافیک مسیر، گنجایش وسایل نقلیه و تقاضاهای مشتریان و غیره مدنظر قرار می‌گیرند (شکری و میرابی: ۱۳۹۲، ۲۰؛ قاسم‌پور و سلیمان‌پور: ۱۳۹۵، ۴۱). بر اساس آمار بانک جهانی سهم هزینه‌های ترابری از قیمت تمام‌شده کالا در دنیا شش تا هفت درصد و در ایران این رقم، حدود ۱۲ درصد می‌باشد (تیموری و افخم، ۱۳۹۳، ۷۲).

در حال حاضر، بیش‌ترین میزان توزیع مایحتاج سازمان‌های کشوری و لشگری و به تبع آن سازمان‌های نظامی - انتظامی، از طریق ترابری زمینی و به خصوص ترابری جاده‌ای، صورت می‌گیرد (تیموری و افخم: ۱۳۹۳، ۷۵). از طرفی، سازمان‌های نظامی - انتظامی نیز در سال‌های اخیر تمایل زیادی در برنامه‌ریزی و اجرای برنامه‌های لجستیک نظامی - انتظامی داشته‌اند. یکی از مسئولیت‌های بنیادی و اساسی لجستیک دفاعی، تأمین تقریباً تمام اقلامی است که توسط نیروهای دفاعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (زیمپکیس^۱ و همکاران، ۲۰۱۵) لذا انتخاب مسیر مناسب در صحنه نبرد نیز از اهمیت بالایی برخوردار است به طوری که وجود یک سیستم خودکار که بتواند دارایی‌های ترابری را نظام ببخشد به گونه‌ای که باعث ارتقاء خدمت دهی لجستیک در سطوح مختلف شود، اولویت بزرگ و نیاز فوری آمریکا شناخته شده است. مسئله مسیریابی و زمان‌بندی وسیله نقلیه برای توزیع در صحنه نبرد، مربوط به تخصیص مناسب افراد و مواد به ناحیه جغرافیایی مشخصی از عملیات است. توزیع در صحنه نبرد متشکل از تسهیلات، تأسیسات، روش‌ها و رویه‌هایی است که برای دریافت، ذخیره، نگهداری، کنترل و توزیع به کاربران نهایی و

واحد‌های حاضر در صحنه، طراحی شده است (کراینو^۱ و همکاران ۲۰۰۴) تاکنون تحقیقات زیاد در حوزه مسیریابی وسیله نقلیه صورت گرفته است که سازمان‌های نظامی - انتظامی نیز از آن بی‌بهره نبوده‌اند؛ اما تحقیقی که به طور ویژه بر اساس معیارهای عملیاتی و شرایط خاص در مأموریت‌های این نوع سازمان‌ها صورت گرفته باشد، کمتر به چشم می‌خورد. تحقیقات موجود نیز به دلیل کلاسیک بودن نحوه مدل‌سازی در آنان، توانایی پوشش دهی تعداد قابل قبولی معیار را ندارند لذا اینکه مسئله تا چه حد به دنیای واقعی نزدیک باشد، به این بستگی دارد که از چه رویکردهایی برای مدل‌سازی مسئله و حل آن استفاده شود. در این تحقیق سعی شده است یک رویکرد از مسیریابی ارائه شود که به طور خاص منطبق با معیارهای موجود در دنیای واقعی برای مسیریابی وسایل نقلیه در سازمان‌های نظامی - انتظامی باشد.

از طرفی آماد و پشتیبانی یکی از ارکان اصلی و مورد توجه در سازمان‌های نظامی - انتظامی است. آماد و پشتیبانی در ادبیات دانشگاهی به تلفیق چندین زنجیره تامین و مدیریت آنان دلالت دارد. بخش عمده‌ای از موفقیت مأموریت‌ها، ناشی از پشتیبانی موثر است. آماد و پشتیبانی موظف است قبل و در طول اجرای مأموریت رده‌ها، اقلام و تجهیزات مورد نیاز آن‌ها را تأمین و در اختیار آنان قرار دهد. در فلسفه وجودی آماد ذکر شده است که «تأمین و رفع نیازهای آمادی رده‌های سازمانی زیر مجموعه، در زمان و مکان مناسب، به تعداد مناسب، با کیفیت مطلوب و با حداقل هزینه ممکن باید صورت گیرد» (اصغری و حسن‌نژاد: ۱۳۹۶، ۷۰). از تعریف مذکور دو نکته بسیار مهم استنباط می‌گردد؛ اول اینکه صرفاً حداقل کردن هزینه‌ها در این سازمان‌ها مورد نظر نیست و نیازهای دیگری نیز وجود دارد که باید به آن‌ها دقت شود. چه بسا در پاره‌ای از مواقع معیار هزینه حذف شده و وزن خود را به دیگر معیارها دهد. نکته دومی که استنباط می‌گردد، نقش موثر ترابری در تحقق سیاست‌های مذکور است. با در کنار هم قراردادن این دو نکته این نیاز مطرح می‌گردد که چگونه یک سیاست توزیع در بخش ترابری سازمان‌های نظامی - انتظامی تبیین شود که سیاست‌های آمادی، در بخش ترابری محقق گردد؟ به طوری که در زمان تقاضای کالاهای راهبردی (اسلحه، مهمات و غیره) از سوی رده‌ها با توجه به اولویت دریافت کالا متناسب با ویژگی‌های رده، یک چارچوب مشخص گردد. در تحقیق پیش رو، در نظر است با معیارهای مناسب یک چارچوب عملیاتی برای تعیین اولویت تحویل کالا به رده‌های متقاضی کالاهای راهبردی در سازمان‌های نظامی - انتظامی ارائه گردد به نحوی که با سیاست‌های آماد و پشتیبانی در سازمان‌های مذکور و بالأخص بخش ترابری، سازگاری داشته باشد.

یک رویکرد معروف برای حل این مسئله، تکنیک "ابتدا دسته‌بندی و سپس مسیریابی" می‌باشد که می‌تواند با کاهش ابعاد مسئله مسیریابی وسیله نقلیه کلاسیک در مرحله دسته‌بندی، فضای جواب را کاهش دهد که این امر موجب تسریع فرآیند حل می‌گردد (مطیعیان و همکاران: ۱۵، ۱۳۹۱)؛ اما این رویکرد علاوه بر کاهش ابعاد مسئله، می‌تواند فواید دیگری نیز داشته باشد. رویکردهای نوین این روش که حاصل تلفیق مدل‌سازی ریاضی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، علاوه بر کاهش ابعاد مسئله، باعث نزدیک تر شدن مسئله به دنیای واقعی خواهد شد (بالاجی^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). این تحقیق از این رویکرد نوین استفاده کرده تا هم سرعت حل مسئله را افزایش دهد و هم تطابق مناسبی با نیازهای سازمان‌های نظامی - انتظامی در دنیای واقعی برای انجام امور مسیریابی ایجاد نماید.

همانطور که گفته شد، تحقیق حاضر دومرحله‌ای است. در مرحله اول امر دسته‌بندی مشتریان با استفاده از الگوریتم صرفه‌جویی کلارک و رایت که بک الگوریتم کلاسیک حوزه مسیریابی است، انجام خواهد شد. این کار باعث یافتن دسته‌هایی شدن از مشتریان خواهد شد که از لحاظ فاصله، بیشترین نزدیکی به یکدیگر را دارند. هر دسته نیز به یک کامیون تخصیص پیدا می‌کند. به عبارتی در این مرحله امر کاهش هزینه‌ها از طریق کمینه کردن فواصل پیموده شده توسط همه‌ی کامیون‌ها محقق می‌گردد. در مرحله بعدی با استفاده از روش تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس، اولویت تحویل مشتریان موجود در هر دسته تعیین می‌گردد. لذا این تحقیق یک تکنیک نوین برای اولویت‌بندی و مسیریابی ارائه می‌کند که همخوان با اهداف راهبردی سازمان‌های مذکور است.

پیشینه تحقیق

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP^2) که اولین بار در مجلات ددانشگاهی توسط رامسر^۳ و دانتزیگ^۴ (۱۹۵۰) فرموله شد (بادلی و شفایی: ۴۵، ۱۳۹۲)، یک نام عمومی برای تمام مسائلی است که در آن‌ها باید یک مجموعه‌ای از مسیرها برای جریانی از وسایل نقلیه که مستقر در یک یا چند دپو هستند تعیین گردد تا به مجموعه‌ای از مشتریان و یا شهرهایی که به صورت جغرافیایی پراکنده شده‌اند، خدمت دهند.

^۱ Balaji

^۲ Vehicle Routing Problem

^۳ Ramser

^۴ Dantzig

سالومون^۱ (۱۹۸۷) در مقاله‌ای با عنوان "یک الگوریتم جدید بهینه‌سازی مسئله *VRP* با پنجره زمانی" روش‌های ابتکاری جاسازی متوالی را پیشنهاد داد. نتایج محاسباتی گسترده او یک الگوریتم جاسازی دو مرحله‌ای را مشخص کرد. در مرحله اول، هر مشتری مسیریابی نشده در بهترین موقعیت جاسازی شدنی بر اساس حداقل فاصله و زمان اضافی مورد نیاز، تخصیص داده می‌شود. در مرحله دوم، مسیر بهینه خودرو را با استفاده از مفهوم حداکثر صرفه‌جویی انتخاب می‌کند. مطیعان و همکارانش (۱۳۹۱) برای بهینه‌سازی مسیر تردد سرویس‌های ترابری یک شرکت با استفاده از یک روش خوشه‌بندی ساده (*K-Mean*)، فضای جستجوی مسئله را کاهش دادند و سپس با استفاده از تلفیق الگوریتم صرفه‌جویی و الگوریتم جمعیت مبنای ژنتیک، مسیر بهینه در هر خوشه برای کارمندان را جستجو کردند. همچنین نعیمی و همکارانش (۱۳۹۵) در پژوهشی شبیه به پژوهش مطیعان و همکارانش از روش خوشه‌بندی *k-mean* و تلفیق الگوریتم صرفه‌جویی و الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی ممنوع برای حل مسئله بهینه‌سازی سیستم ترابری ادارات استفاده کردند. سوتیکارنارونای^۲ (۲۰۰۸) مسئله *CVRP* را با مدل‌سازی عدد صحیح فرموله کرد و آن را با الگوریتم دقیق و با نرم‌افزار *CPLEX* حل نمود و دریافت برای ابعاد بزرگ، این روش جوابگو نیست پس از الگوریتم تلفیقی جارو و الگوریتم *2-opt* استفاده نمود و مسئله را حل کرد. پیچی‌بول^۳ و کانتوماچای^۴ (۲۰۱۳) یک مدل *OVRP*^۵ را ارائه دادند و برای حل آن از روش صرفه‌جویی کلارک و رایت برای دسته‌بندی و سپس مسیریابی آن استفاده کردند همچنین سعی در اصلاح ساختار قدیمی روش کلارک^۶ و رایت^۷ نموده و آن را با الگوریتم *2-OPT* برای مسیریابی تلفیق نمودند. هنریکه ایوانک و همکارانش^۸ (۲۰۱۵) در پژوهشی، از یک روش خوشه‌بندی مرحله‌ای بر اساس می‌نیم فاصله برای خوشه‌بندی مشتریان و سپس از روش *2-OPT* برای مسیریابی هر خوشه در حالت ناوگان همگن استفاده کردند. در سال ۲۰۱۴ الگوریتم فراابتکاری جدید به نام "الگوریتم گرگ خاکستری"^۹ برای حل مسائل بهینه‌سازی مقید و نامقید ابداع شد. کورایم^{۱۰} و همکارش کاسم^۱ (۲۰۱۵) از این الگوریتم برای حل مسئله *Cvrp*

1 Solomon, M

2 N. Suthikarnnarunai

۳ Pichpibul

4 Kawtummachai

5 Open Vehicle Routing Problem

۶ Clarke

۷ Wright

8 Ewbank, Henrique

9 Grey Wolf Algorithm

۱۰ Korayem

استفاده کردند؛ اما آنان رویکردی دو مرحله‌ای برای حل این مسئله برگزیدند. ابتدا با الگوریتم k - $mean$ با در نظر گرفتن تقاضای هر مشتری و ظرفیت هر وسیله، مشتریان را دسته‌بندی کردند و سپس در هر خوشه مسئله فروشنده دوره‌گرد را با الگوریتم گرگ خاکستری حل نمودند که به این ترتیب مسیر بهینه در هر خوشه پیدا می‌شد. آخند و همکارانش^۱ (۲۰۱۷) در رویکردی دو مرحله‌ای ابتدا از الگوریتم اصلاح‌شده جارو برای خوشه‌بندی مشتریان استفاده کردند و سپس به حل مسئله TSP با یک الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر هوش دسته‌جمعی به نام $VTPSO$ ^۳ برای یافتن مسیر بهینه در هر خوشه پرداختند و نتایج را با الگوریتم‌های کلونی زنبور عسل و ژنتیک مقایسه کردند. همچنین نوحا مصطفی^۴ و همکارش (۲۰۱۷) برای دسته‌بندی مشتریان از الگوریتم خوشه‌بندی k - $mean$ استفاده کرده و سپس یک مدل ILP (برنامه‌ریزی غیرخطی) جدید برای مسئله مسیریابی با حالت ناوگان ناهمگن ارائه کردند. کامرت^۵ و همکارانش (۲۰۱۷) برای حل مسئله $VRPTW$ ^۶ در مرحله خوشه‌بندی از سه روش k - $mean$ ، k - $medoids$ و $DBSCAN$ استفاده کردند و برای مرحله دوم یعنی مسیریابی از یک مدل سلسله‌مراتبی برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح غیرخطی استفاده کرده و نشان دادند با ترفند سلسله‌مراتبی کردن می‌توان مدل را در زمان کمی با الگوریتم‌های دقیق حل نمود. سپس مدل خود را برای سفارشات یک سوپر مارکت پیاده‌سازی و تصدیق کردند. لی هو و همکارش (۲۰۰۳) در مقاله‌ای با عنوان "روش دسته‌بندی مرحله‌ی مشتریان برای عملیات توزیع لجستیک پاسخگو به تقاضا" یک روش دسته‌بندی مشتریان قبل از اجرای مسیریابی ناوگان در عملیات لجستیکی بر اساس راهبرد های پیشرفته توزیع لجستیک ارائه دادند. در روش پیشنهادی آنان، مشتریان بر اساس ویژگی‌های تقاضای خود، به جای خاصیت‌های جغرافیایی استاتیک که در اکثر الگوریتم‌های مسیریابی وسایل نقلیه در نظر گرفته شده، مورد توجه قرار گرفت. کاکر^۷ و همکارانش (۲۰۱۵) در مقاله‌ای با عنوان "بازنگری در رویکرد ابتدا دسته‌بندی و سپس مسیریابی برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه" مسئله خوشه‌بندی را به یک مسئله بهینه‌سازی تبدیل کردند که قابل حل با استفاده از الگوریتم‌های دقیق و یا بهینه‌سازی هوشمند و تکاملی بود. مدل آن‌ها یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح بود، به طوری که شکل خوشه‌ها را مدل می‌کرد. ورودی و معیار اصلی این مدل،

1 Kassem

2 Akhand

3 Velocity SS Particle Swarm Optimization

۴ Mostafa, Noha

5 COMERT

6 Vehicle Routing Problem With Time Window

۷ Cakir

فاصله مشتریان با یکدیگر و دپو بود. حسن پور و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای با عنوان "ارائه رویکرد دو مرحله‌ای در حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با ملاحظات معیارهای لجستیک دفاعی"، با ارتباط مستقیم با خبرگان حوزه ترابری دفاعی، بعد از اولویت‌بندی معیارها، پنج معیار با بیش‌ترین اوزان اهمیت را انتخاب کردند. مدل ریاضی مسئله بر اساس این پنج معیار، در بستر ترابری سازمان‌های دفاعی، بومی‌سازی شد و در نهایت مدل ریاضی مطرح‌شده با استفاده از نرم-افزار *GAMS* حل شد. معیارهای آنان عبارت بود از: وجود پنجره زمانی، دریافت و تحویل به صورت هم‌زمان، در نظر گرفتن ایمنی در حمل مواد خطرناک، وجود چندین انبار (چند قرارگاهی)، ناهمگن بودن ناوگان، وجود چندین محصول، وجود حمل بار در بازگشت، عدم قطعیت در دسترس بودن مسیرها، تقسیم تحویل تقاضا، وجود پوشش در مسئله، وجود سفر چندگانه.

جیو یانگ شو (۲۰۰۷) در مقاله‌ای تحت عنوان "یک روش بهینه‌سازی مرحله‌ی ترکیبی برای عملیات توزیع لجستیک مبتنی بر گروه‌بندی مشتری" یک روش یکپارچه بهینه‌سازی مرحله‌ی گروه‌بندی مشتری مبتنی بر روش توزیع لجستیک برای پاسخ سریع به انواع خواسته‌های مشتری ارائه کرد. معیارها عبارت بودند از: نیاز خاص تحویل مشتریان، میزان ارزشمند بودن کالا برای مشتری، سازگاری داخلی کالاها از لحاظ همگن بودن، سازگاری خارجی کالاها از لحاظ همگن بودن، مجاورت جغرافیایی، مهلت تحویل، پنجره زمانی تحویل.

بلاجی^۱ و همکارانش (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با عنوان "کاربرد فرایند سلسله مراتبی تحلیلی در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه" که نزدیک به پژوهش حاضر است، یک رویکرد دو مرحله‌ای با کمک الگوریتم صرفه‌جویی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار ارائه نمودند که علاوه بر هدف سنتی حل مسئله مسیریابی خودرو (کاهش طول مسیر یا هزینه)، افزایش رضایت مشتری را نیز در پی داشت. در ابتدا با کمک الگوریتم صرفه‌جویی، کلیه مشتریان (از نظر فاصله و ظرفیت ماشین‌ها) دسته‌بندی شده‌اند و سپس برای تعیین مسیر بهینه از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. معیارهای در نظر گرفته‌شده در مرحله دوم تحقیق بلاجی عبارت بودند از: اعتبار مشتری برای فرصت‌های تجاری در آینده، نرخ سود دهی بالقوه مشتری، میزان سطوح سفارش، سطح اعتماد مابین مشتری و شرکت.

روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق با توجه به رویکرد آن، طبیعتاً در دو مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله اول امر دسته‌بندی مشتریان صورت می‌گیرد و در مرحله بعدی مسیریابی هر دسته انجام می‌شود. در مرحله اول با کمک ادبیات موضوع در حیطه دسته‌بندی مشتریان ترابری جاده‌ای، معیارهای پر تکرار شناسایی شده و با توجه به آن یک الگوریتم دسته‌بندی ارائه و صحت نتایج آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در مرحله دوم ابتدا معیارهای مهم در انتخاب مسیر بهینه برای حمل بار در لجستیک نظامی - انتظامی و نظامی - انتظامی بر اساس منابع کتابخانه‌ای و همچنین نظر خبرگان شناسایی شده و از سپس این معیارها را در قالب یک روش تلفیقی از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره برای انجام مسیریابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جامعه آماری تحقیق شامل کارشناسان و مسئولین آماج و پشتیبانی آشنا به حوزه ترابری و افراد دانشگاهی متخصص بودند؛ بنابراین برای بررسی روایی و پایایی پرسشنامه‌های پیشنهادی و انجام مقایسات زوجی، پرسشنامه‌ها بین خبرگان جامعه آماری توزیع شد که تعداد ۱۵ پرسش‌نامه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه و جامعه آماری تحقیق برابر در نظر گرفته شده است؛ یعنی به طور کلی ۱۵ متخصص و خبره برای نظرخواهی در دسترس بودند. ابزار گردآوری اطلاعات در این تحقیق، پرسشنامه بود.

مرحله اول: دسته‌بندی مشتریان

همان طور که قبلاً گفته شد، دسته‌بندی مشتریان یک گام اساسی برای کاهش پیچیدگی بهینه‌سازی شبکه لجستیک در مقیاس بزرگ است. با گروه‌بندی صحیح مشتریان با مشخصات مشابه، کاربران تدارکات قادر به کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهبود سطح رضایت مشتری هستند (لی هووا و همکاران^۱، ۲۰۰۳، ۴۴۰) با توجه به پیشینه پژوهش، روش داده کاوی و ابتکاری، اقبال بیشتری برای انجام امر دسته‌بندی از سوی پژوهشگران داشته‌اند. در میان روش‌های داده کاوی، روش $K-mean$ و در میان روش‌های ابتکاری، الگوریتم صرفه‌جویی کلارک و رایت^۲ بیش‌ترین استفاده را داشته‌اند. روش‌های ابتکاری خاص یک مسئله طراحی می‌شوند. لذا در تحقیق حاضر از روش صرفه‌جویی کلارک و رایت برای انجام امر دسته‌بندی استفاده می‌گردد. معیارهایی که در دسته‌بندی استفاده می‌گردد، مطابق معیارهایی است که پژوهشگران در پژوهش‌های پیشین خود استفاده کرده‌اند. در پژوهش‌های مذکور معیار فاصله مشتریان از یکدیگر و دپو، بیش‌ترین استفاده

1 Lai Hua

2 Clarke And Wright's Saving Algorithm

را داشته و همچنین یافتن دسته‌هایی با کمترین فاصله، تابع هدف بوده است و محدودیت‌هایی از قبیل ظرفیت کامیون‌ها و بیش‌ترین صرفه‌جویی در فاصله ملاک قرار گرفته است. استفاده از دیگر معیارها به مرحله دوم (مسیریابی) انتقال داده خواهد شد تا مسیر بهینه در هر دسته مشخص شود.

الگوریتم صرفه‌جویی

الگوریتم صرفه‌جویی کلارک و رایت از محبوب‌ترین الگوریتم‌های ابتکاری برای دسته‌بندی مشتریان در VRP است. بنای این الگوریتم بر یافتن بیش‌ترین صرفه‌جویی در بین فاصله‌های پیموده شده است.

ورودی‌های این الگوریتم عبارت‌اند از:

- ۱- تعداد گره‌ها (مشتریان)
- ۲- تعداد کامیون‌ها
- ۳- مختصات x و y مشتریان و دپو (جهت محاسبه ماتریس فاصله)
- ۴- مقدار تقاضا (سفارش) مشتریان
- ۵- ظرفیت کامیون‌ها

خروجی و هدف الگوریتم، یافتن دسته‌هایی از مشتریان است که کمترین فاصله را با یکدیگر دارند و به عبارتی بیش‌ترین صرفه‌جویی در پیمودن مسافت‌ها توسط کامیون‌ها صورت پذیرد.

محدودیت‌ها عبارت‌اند از:

- ۱- رعایت سقف مجاز ظرفیت هر کامیون
- ۲- رعایت حداکثر صرفه‌جویی در پیمودن مسافت‌ها
- ۳- برآورده کردن تمام تقاضای مشتریان.

در این الگوریتم ابتدا فرض می‌شود که هر گره تقاضا به همراه قرارگاه مرکزی در یک مسیر قرار می‌گیرند. سپس بر مبنای صرفه‌جویی‌های ممکنه و رعایت محدودیت‌های مسئله (حداکثر ظرفیت خودرو) مسیرها باهم ادغام می‌شوند. اگر شبکه دارای n گره بوده و قرارگاه مرکزی در گره یک باشد، مراحل این الگوریتم به شرح زیر است:

گام ۱. دریافت اطلاعات مورد نیاز: در اولین گام محل مشتریان و میزان سفارش آنان دریافت می‌شود. دقت شود که کالاها همگن بوده و از لحاظ قرارگیری کنار یکدیگر، تضادی ندارند. همچنین واحد سفارشات بر اساس یک واحد یکتا است.

گام ۲. شناسایی ماتریس فاصله: این ماتریس، فاصله مشتریان از یکدیگر و همچنین دپو را مشخص می‌کند. برای هر مشتری بر روی یک نقشه، مختصات x و y دلخواه در نظر گرفته و با کمک فرمول (یک) فاصله گره‌ها از یکدیگر و دپو به دست می‌آید.

$$Dist(A, B) = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} \quad (1)$$

گام ۳. یافتن ماتریس صرفه‌جویی: ماتریس صرفه‌جویی معرف صرفه‌جویی‌هایی است که با یک کاسه‌سازی بار مشتریان در یک کامیون حاصل می‌شود. صرفه‌جویی $S(i, j)$ فاصله صرفه‌جویی شده است اگر که سفر^۱ های $(D \rightarrow i \rightarrow D)$ و $(D \rightarrow j \rightarrow D)$ به یک سفر به صورت $(D \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow D)$ ترکیب شوند. این صرفه‌جویی‌ها با فرمول (دو) محاسبه می‌شوند:

$$S(i, j) = Dist(D, i) + Dist(D, j) - Dist(i, j) \quad (2)$$

که در آن $Dist(i, j)$ مسافت بین گره‌های i و j می‌باشد و رابطه $Dist(i, j) = Dist(j, i)$ برقرار است. $Dist(D, i)$ فاصله گره i از دپو و همچنین $Dist(D, j)$ فاصله گره j از دپو می‌باشد.

گام ۴. S_{ij} را به صورت نزولی مرتب کنید.

گام ۵. تخصیص مشتریان به وسایل نقلیه (دسته‌بندی): در این مرحله یک رویه تکراری و بازگشتی برای انجام تخصیص مشتریان به وسایل نقلیه یا مسیرها انجام می‌شود. در ابتدا هر مشتری به یک مسیر جدا از بقیه تخصیص داده می‌شود. دو مسیر وقتی می‌توانند به یک مسیر تبدیل شوند که کل بار تحویلی در دو مسیر از ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز نکند. در هر قدم این رویه، مسیرهایی با بیش‌ترین صرفه‌جویی در قالب یک مسیر ادغام می‌شوند. رویه آن‌قدر تکرار می‌شود تا هیچ ترکیب شدنی پیدا نشود. این مرحله را تا جایی که تمامی بهبودهای ممکنه انجام گردد، ادامه دهید.

۱ یک سفر، توالی از مشتریان است که با یک وسیله نقلیه ملاقات می‌شوند. سفر $(D \rightarrow i \rightarrow D)$ یعنی کامیون از مرکز توزیع حرکت کرده و به مشتری i رفته و به D یا مرکز

گام ۶. توقف (تیموری و احمدی: ۱۳۸۸، ۱۴۰؛ ویگو و توس، ۲۰۱۴؛ کلارک و رایت، ۱۹۶۴).

مرحله دوم تحقیق: مسیریابی دسته‌ها

در مرحله قبلی با کمک الگوریتم صرفه‌جویی کلارک و رایت، مشتریان متقاضی بار در دسته‌هایی شدنی قرار گرفتند. در این مرحله ترتیب پیمودن گره‌ها در هر دسته مشخص می‌گردد. برای این کار از یک روش تلفیقی از مباحث تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است. تصمیم‌گیری چند معیاره ($MADM^1$) نوعی از مدل‌های ریاضی است و به رویکردی از حل مسئله اشاره دارد که به منظور انتخاب یک گزینه از تعداد محدودی گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد (راوو^۲ و همکاران، ۲۰۰۸). روش‌های ترکیبی (چنانچه به درستی ترکیب شوند) می‌توانند این نقطه قوت را حفظ کنند و منابع چندگانه‌ای از دانش و تجربه ایجاد کنند (شیخ^۳ و همکاران، ۲۰۰۷).

در این مرحله تحقیق، یک رویکرد تلفیقی از دو تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP^4) و تاپسیس جهت رتبه‌بندی مشتریان موجود در هر دسته برای دریافت خدمات استفاده شده است. این امر در واقع معادل ادبیات مسیریابی وسیله نقلیه است. تابع هدف اصلی در این مرحله، عبارت است از انتخاب مسیر (و تعیین اولویت تحویل بار به رده‌های متقاضی) در لجستیک نظامی - انتظامی بر اساس سیاست‌های آماد و پشتیبانی.

روش تلفیقی $AHP-TOPSIS$

در این بخش یک روش تلفیقی از Ahp و $Topsis$ ارائه خواهد شد. روش AHP در تعیین چارچوب معیارها و اوزان آن‌ها و روش تاپسیس در رتبه‌بندی گزینه‌ها خوب عمل می‌کنند؛ لذا در این پژوهش به منظور دستیابی به مزایای هر دو روش در رتبه‌بندی و انتخاب بهترین گزینه، از روش ترکیبی ($AHP - TOPSIS$) استفاده می‌شود. در ادامه این رویه مرحله به مرحله توضیح داده می‌شود. (برای مطالعه بیشتر به پژوهش (راوو و همکاران، ۲۰۰۸؛ شیخ و همکاران، ۲۰۰۷) مراجعه شود).

1 Multiple Attribute Decision Making

۲ Rao

۳ Shih

4 Analytical Hierarchy Process

گام‌های روش AHP-TOPSIS

گام‌های مدل پیشنهادی به شکل زیر است:

گام ۱. تعیین اهداف و شناسایی شاخص‌های ارزیابی با موضوع با کمک پیشینه پژوهش و پرسشنامه‌های شماره (یک) و (دو).

گام ۲. تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی: در این ماتریس عنصر a_{ij} نشان‌دهنده ترجیح معیار i در مقایسه با معیار j ، مطابق نظر خبرگان است. چنانچه $i=j$ باشد، همواره $a_{ij}=1$ است. همچنین در این ماتریس همواره $a_{ij}=a_{ji}$ (به کمک پرسشنامه شماره سه)

گام ۳. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی جامع. این ماتریس از ترکیب نظرات خبرگان (ماتریس‌های مقایسه زوجی در گام دو) ایجاد شده و با توجه به آن، وزن معیارها محاسبه می‌شود. ماتریس فوق‌الذکر با استفاده از رابطه (سه) به دست می‌آید:

$$GM = \left\{ \prod_{j=1}^N a_{ij} \right\}^{\frac{1}{N}} \quad (3)$$

ماتریس مقایسه زوجی جامع باید سازگار باشد تا اعتبار پرسشنامه مورد تأیید قرار گیرد. چنانچه سازگاری ماتریس تأیید نشود، پرسشنامه‌ها مجدداً توزیع می‌شود. محاسبه نرخ ناسازگاری^۱، مکانیزی است که میزان اعتماد به اولویت‌های به دست آمده را نشان می‌دهد. به طوری که اگر کمتر از ۰/۱ باشد می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت، در غیر این صورت باید مقایسه‌ها را دوباره انجام داد (خسروانیا و آذر، ۶۹، ۱۳۹۱؛ اماموردی و همکاران، ۷، ۱۳۹۳).

گام ۴. تعیین اهمیت نسبی هر معیار: وزن هر معیار پس از بی مقیاس سازی ماتریس مقایسه زوجی جامع توسط رابطه (چهار) با استفاده از رابطه (پنج) محاسبه می‌گردد:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n n_{ij}}{n} \quad (5)$$

گام ۵. ماتریس تصمیم بر مبنای اطلاعات موجود معیارها تشکیل می‌شود. در این ماتریس، عنصر d_{ij} نشان‌دهنده ارزش معیار j ام برای گزینه i ام است.

گام ۶. به دست آوردن ماتریس تصمیم نرمال، R_{ij} با استفاده از رابطه (۶):

$$R_{ij} = \frac{d_{ij}}{\left(\sum_{j=1}^M d_{ij}^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

گام ۷. محاسبه ماتریس نرمال وزن دار V_{ij} : این ماتریس با ضرب ماتریس R_{ij} در وزن مربوطه W_j (ماتریس قطری) به دست می‌آید که در رابطه (هفت) نشان داده شده است.

$$V_{ij} = W_j \times R_{ij} \quad (7)$$

گام ۸. به دست آوردن راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین راه حل) و راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین راه‌حل). این راه‌حل‌ها به صورت روابط (هشت) و (نه) تعریف می‌شوند:

$$V^+ = \left\{ \left(\sum_i^{\max} v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\sum_i^{\min} V_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, 2, \dots, M \right\} = \{V_1^+, V_2^+, V_3^+, \dots, V_N^+\} \quad (8)$$

$$V^- = \left\{ \left(\sum_i^{\min} v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\sum_i^{\max} V_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, 2, \dots, M \right\} = \{V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_N^-\} \quad (9)$$

در روابط فوق J' ، J معرف معیارهای از جنس سود (مثبت) و معرف معیارهای از نوع هزینه (منفی) هستند. در خصوص معیارهای از نوع سود V_i^- و V_i^+ به ترتیب نشان‌دهنده ارزش بالاتر و پایین‌تر معیار می‌باشند و در خصوص معیارهای از نوع هزینه V_i^- و V_i^+ به ترتیب نشان‌دهنده ارزش بالاتر و پایین‌تر معیار می‌باشند

گام ۹. محاسبه اندازه‌های فاصله‌ای: فاصله هر گزینه تا راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی به کمک فاصله اقلیدسی به ترتیب بر اساس روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌گردد:

$$S_i^+ = \left\{ \sum_{J=1}^N (V_{ij} - V_J^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (10)$$

$$S_i^- = \left\{ \sum_{J=1}^N (V_{ij} - V_J^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (11)$$

گام ۱۰. محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل با استفاده از رابطه (۱۲).

$$C_i = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)} \quad (12)$$

مقدار C_i بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد راه‌کار به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر است و راه‌کار بهتری می‌باشد.

گام ۱۱. در این گام بر طبق ارزش‌های ترجیحی که نشان‌دهنده بیش‌ترین و کمترین ترجیح راه‌حل‌ها هستند، گزینه‌ها به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند (ایسیکلار و همکاران^۱، ۲۰۰۷، ۲۷۰).

تعیین معیارهای اولیه

با استفاده از منابع کتابخانه‌ای، شش معیار کیفی که جنبه نظامی - انتظامی بارزتری دارند، مشخص گردید. این شش معیار با استفاده از پرسش‌نامه شماره اول و دوم بر اساس نظر خبرگان

حوزه ترابری، اولویت‌بندی می‌شوند که ضریب اهمیت هرکدام از معیارها با استفاده از مقایسات زوجی که خبرگان جامعه آماری با کمک پرسشنامه شماره (سوم) انجام داده‌اند و به وسیله نرم‌افزار اکسپرت چویس^۱ به دست می‌آید. معیارها در جدول (یک) قابل مشاهده هستند.

جدول ۱. معیارهای کیفی اولیه برای مسیریابی دسته‌ها

ردیف	معیار	توضیح معیار
۱	ضرورت تحویل گره	این معیار به میزان ضرورت نیاز یک گره (متقاضی بار/ رده) به کالای درخواستی را نشان می‌دهد. این نیاز برای بقای فعالیت و به ثمر رساندن مأموریت‌های محوله به آن گره ضروری است و در صورت عدم تأمین نیاز آن، گره نمی‌تواند به مأموریت خود ادامه دهد. هرچه ضرورت بیشتر باشد، اولویت تحویل به آن گره بالاتر است.
۲	درجه امنیتی بودن گره	این معیار معرف شرایطی است که اهمیت ذاتی یک گره را مشخص می‌کند. به طور مثال برخی گره‌ها به دلیل محل استقرارشان، همواره در معرض تهدیدات امنیتی هستند که این امر باعث ملاحظه اولویت بالا در دریافت کالای مورد تقاضای آن‌ها می‌گردد. هرچه درجه امنیتی بودن گره بالا باشد، اولویت دریافت کالای آن گره نیز بالاتر است.
۳	میزان صعب‌العبور بودن	این معیار معرف میزان صعب‌العبور بودن جاده‌های مواصلاتی منتهی به گره است. هرچقدر این مقدار بیشتر باشد، اولویت تحویل به آن گره بالاتر است.
۴	بدی شرایط جوی	این معیار معرف شرایط آب و هوایی گره و اطراف آن است. هرچه شرایط آب و هوایی بدتر باشد، اولویت تحویل کالا به آن گره بالاتر است.
۵	کمبود امکانات سوخت - گیری	این معیار به این امر دلالت دارد که هرچقدر امکانات سوخت‌گیری پیرامون گره کمتر باشد، اولویت تحویل به آن گره بالاتر است.
۶	میزان دورافتادگی و امکانات پشتیبانی ضعیف‌تر	این معیار به دورافتاده بودن گره، محرومیت منطقه و امکان پشتیبانی ضعیف‌تر اشاره دارد. هرچقدر یک گره دورافتاده‌تر، مستقر در منطقه محروم‌تر و امکان پشتیبانی ضعیف‌تر باشد، شایستگی آن برای دریافت کالا، در اولویت بالاتری قرار دارد.

مقایسه زوجی معیارها

در این قسمت اطلاعات مربوط به پرسش‌نامه موردبررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. همانطور که بیان شد، در پرسش‌نامه، خبرگان تحقیق، مقایسات زوجی را بین معیارهای موردنظر انجام داده‌اند و اهمیت هر کدام از معیارها را به صورت دوجه‌دو نسبت به هدف مسأله بیان کرده‌اند. شش معیار موردنظر در تحقیق را c_1 تا c_6 مانند جدول (دو) نام‌گذاری می‌کنیم.

جدول ۲. نام‌گذاری معیارهای مورد نظر در تحقیق

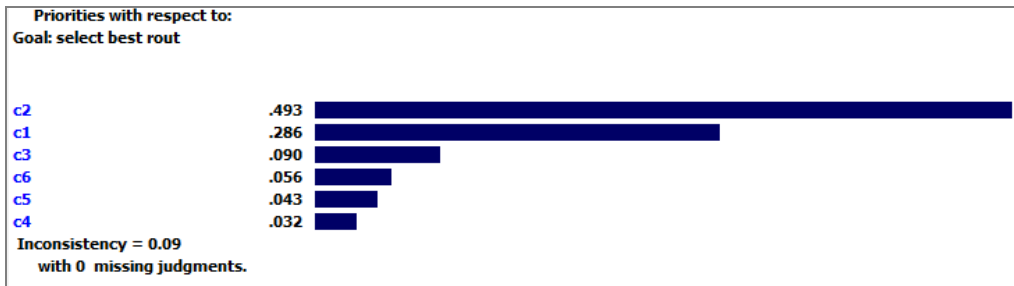
ردیف	معیار	نام‌گذاری معیار
۱	ضرورت تحویل (نیاز رده متقاضی)	c_1
۲	درجه امنیتی بودن (محل استقرار رده)	c_2
۳	میزان صعب‌العبور بودن (جاده منتهی به رده)	c_3
۴	بدی شرایط جوی (اطراف رده)	c_4
۵	کمبود امکانات سوخت‌گیری (پیرامون رده)	c_5
۶	میزان دورافتادگی رده (استقرار در منطقه محروم)	c_6

از آنجایی که پانزده پرسش‌نامه توسط خبرگان تحقیق تکمیل گردیده است، بنابراین برای هر کدام از سطر از پرسشنامه شماره، پانزده مقایسه زوجی وجود دارد که میانگین هندسی آنها $(GE_{\bar{y}} = \sqrt[n]{y_1 y_2 \dots y_n})$ به عنوان مقایسه زوجی نهایی در نظر گرفته و وارد نرم‌افزار اکسپرت چویس شده است. لازم به ذکر است از آنجایی که شش معیار وجود دارد، تعداد ۱۵ مقایسه زوجی در پرسشنامه وجود دارد. در شکل شماره یک مقایسات زوجی که وارد نرم‌افزار اکسپرت چویس شده است، نمایش داده شده است.

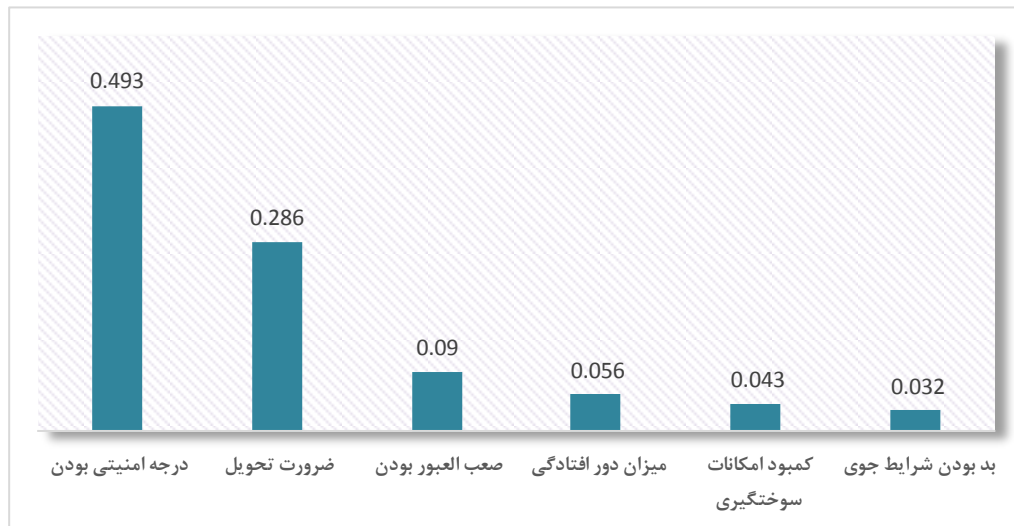
Compare the relative importance with respect to: Goal: select best rout							
	c1	c2	c3	c4	c5	c6	
c1			4.33	6.1	7.1	6.9	7.33
c2				6.7	6.9	7.1	6.9
c3					5.0	2.1	2.3
c4						2.0	2.1
c5							2.2
c6							
	Incon: 0.09						

شکل ۱. مقایسات زوجی معیارها در نرم‌افزار اکسپرت چویس

همانطور که قبلاً بیان شد، نرخ سازگاری سازوکاری است که میزان اعتماد به اولویت‌های به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد. اگر IR کمتر از $0/1$ باشد می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت، در غیر این صورت باید مقایسه‌ها را دوباره انجام داد. همانطور که در شکل بالا مشخص است، نرخ ناسازگاری مقایسات انجام‌شده برابر با $0/09$ است که نشان‌دهنده‌ی قابل‌قبول بودن مقایسات می‌باشد. در نمودار شماره یک اوزان اهمیت هرکدام از معیارها که از نرم‌افزار اکسپرت چویس به‌دست‌آمده، مشخص است. طبق این نتایج اولویت‌بندی معیارها نسبت به هدف، مطابق نمودار (دوم) می‌باشد.



نمودار ۱. نتایج حاصل از نرم‌افزار اکسپرت چویس برای اوزان اهمیت معیارها



نمودار ۲. وزن معیارها بر اساس اولویت

نوع کالای مد نظر در پژوهش حاضر

کالاهایی که جنبه عمومی و عادی دارند و به نوعی اولویت تحویل آنان چندان تفاوتی ندارد (مانند میز، صندلی و غیره) در این تحقیق مورد نظر نبوده و کالاهایی که باعث تعیین اولویت تحویل می‌شوند (مانند اسلحه، مهمات و غیره) مد نظر است. لذا به طور مثال اگر گره‌ای شرایط امنیتی بالایی داشته باشد (درگیری با دشمن) و متقاضی مهمات باشد، طبیعتاً دارای بالاترین اولویت دریافت کالا (مهمات) است و کامیون باید هرچه سریع‌تر به این گره خدمت‌رسانی کند. همچنین کالاها نباید از لحاظ همگن بودن، تضادی با یکدیگر داشته باشند؛ یعنی در کنار هم قرار گرفتن کالاها نباید موجب از بین رفتن آن‌ها شود.

مطالعه موردی و طراحی مسئله

در این بخش، یک مسئله نزدیک به واقعیت، با توجه به مطالعه موردی سازمان لجستیک نظامی - انتظامی، طراحی می‌شود. همان طور که قبلاً بیان شد، تحقیق جاری در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول، از پارامترهای واقعی ولی داده‌های فرضی مسائل شناخته‌شده (تیموری و احمدی، ۱۳۸۸ و ویگو و توس، ۲۰۱۴) برای رعایت مسائل طبقه‌بندی استفاده می‌شود. در مرحله دوم، از معیارهای واقعی یک سازمان لجستیک نظامی - انتظامی برای تحویل بار به رده‌های متقاضی استفاده می‌شود و مسئله مورد مطالعه، حل می‌گردد.

مشخصات مسئله

همان طور که توضیح داده شد، پژوهش حاضر دو مرحله‌ای است. در مرحله اول مشتریانی که تقاضای دریافت کالا داده‌اند، در دسته‌هایی مشابه تقسیم‌بندی شده و در مرحله دوم، هر دسته توسط روش *AHP-TOPSIS* مسیریابی می‌شوند.

❖ داده‌های مسئله در مرحله اول (دسته‌بندی) به شرح زیر است: (منظور از مشتری، رده متقاضی بار است)

۱- تعداد مشتریان ۲- میزان تقاضای مشتریان ۳- مختصات x و y مشتریان بر روی نقشه مورد توافق ۴- فاصله مشتریان از هم و دپو ۵- تعداد کامیون‌های در اختیار ۶- ظرفیت کامیون‌ها.

❖ داده‌های مسئله در مرحله دوم (مسیریابی) نیز به شرح زیر است:

- داده‌های مورد نیاز برای تاپسیس: تشکیل ماتریس جامع تاپسیس برای مشتریان با توجه به معیارهای شش گانه

در مرحله اول، با الگوریتم صرفه‌جویی امر دسته‌بندی مشتریان انجام گرفته و در مرحله دوم، با روش تاپسیس مسیریابی هر دسته انجام می‌شود. داده‌های مورد نیاز در هر دو مرحله در مطالعه موردی در جداول شماره سه تا شش آورده شده است.

جدول ۳. تعداد قرارگاه، مشتریان و مشخصات خودروها در مطالعه موردی

مؤلفه	مقدار	توضیحات
تعداد قرارگاه	۱	-
تعداد گره (مشتریان)	۱۳	-
تعداد خودروها	۴	ظرفیت هر خودرو حداکثر ۲۰۰ واحد

جدول ۴. مختصات و اندازه سفارش مشتریان در مطالعه موردی

شماره مشتری	مختصات x	مختصات y	میزان سفارش
انبار	۰	۰	-
مشتری ۱	۰	۱۲	۴۸
مشتری ۲	۶	۵	۳۶
مشتری ۳	۷	۱۵	۴۳
مشتری ۴	۹	۱۲	۹۲
مشتری ۵	۱۵	۳	۵۷
مشتری ۶	۲۰	۰	۱۶
مشتری ۷	۱۷	-۲	۵۶
مشتری ۸	۷	-۴	۳۰
مشتری ۹	۱	-۶	۵۷
مشتری ۱۰	۱۵	-۶	۴۷
مشتری ۱۱	۲۰	-۷	۹۱
مشتری ۱۲	۷	-۹	۵۵
مشتری ۱۳	۲	-۱۵	۳۸

جدول ۵. ماتریس فاصله در مطالعه موردی (گرد شده)

فاصله از														شماره مشتری
۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	انبار	
												۰	۱۲	۱
											۰	۹	۸	۲
										۰	۱۰	۸	۱۷	۳
									۰	۴	۸	۹	۱۵	۴
								۰	۱۱	۱۴	۹	۱	۱۵	۵
							۰	۶	۱۶	۲۰	۱۵	۲	۲۰	۶
						۰	۴	۵	۱۶	۲۰	۱۳	۲	۱۷	۷
					۰	۱۰	۱۴	۱۱	۱۶	۱۹	۹	۱	۸	۸
				۰	۶	۱۶	۲۰	۱۷	۲۰	۲۲	۱۲	۱	۶	۹
			۰	۱۴	۸	۴	۸	۹	۱۹	۲۲	۱۴	۲	۱۶	۱۰
		۰	۵	۱۹	۱۳	۶	۷	۱۱	۲۲	۲۶	۱۸	۲	۲۱	۱۱
	۰	۱۳	۹	۷	۵	۱۲	۱۶	۱۴	۲۱	۲۴	۱۴	۲	۱۱	۱۲
۰	۸	۲۰	۱۶	۹	۱۲	۲۰	۲۳	۲۲	۲۸	۳۰	۲۰	۲	۱۵	۱۳

جدول ۶. ماتریس تصمیم جامع تاپسیس برای مشتریان با توجه به معیارهای ۶ گانه در مطالعه موردی

وزن معیار	۰,۲۸۶	۰,۴۹۳	۰,۰۹۰	۰,۰۳۲	۰,۰۴۳	۰,۰۵۶
معیار مشتری	ضرورت تحویل	درجه امنیتی بودن	میزان صعب‌العبور بودن	بد بودن شرایط جوی	کمبود امکانات سخت‌گیری	میزان دورافتادگی
مشتری ۱	۵۰	۷۵	۵۰	۳۰	۶۵	۵۰
مشتری ۲	۸۵	۵۰	۲۰	۷۰	۷۰	۶۰
مشتری ۳	۲۰	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۵	۵۰
مشتری ۴	۶۰	۳۵	۳۰	۶۰	۴۰	۶۰

مشتری ۵	۴۰	۲۰	۱۰۰	۵۰	۳۵	۷۵
مشتری ۶	۴۵	۸۵	۶۰	۷۰	۲۰	۶۵
مشتری ۷	۷۵	۳۵	۶۰	۸۰	۷۵	۳۵
مشتری ۸	۱۰۵	۲۵	۶۰	۹۰	۱۰۰	۵۰
مشتری ۹	۱۰۰	۳۵	۶۰	۴۰	۲۰	۵۰
مشتری ۱۰	۵۰	۱۰۰	۵۰	۶۰	۳۵	۷۰
مشتری ۱۱	۶۵	۴۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰	۳۰
مشتری ۱۲	۴۵	۵۰	۶۰	۷۰	۱۰۰	۵۰
مشتری ۱۳	۶۵	۴۰	۴۵	۳۰	۵۵	۱۰۰

نتایج مرحله دسته‌بندی

ماتریس صرفه‌جویی حاصله از ماتریس فاصله (جدول شماره پنج) به شکل زیر است (جدول شماره هفت).

جدول ۷. ماتریس صرفه‌جویی در مطالعه موردی

شماره مشتری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱	۰												
۲	۱۱	۰											
۳	۲۱	۱۵	۰										
۴	۱۸	۱۵	۲۸	۰									
۵	۱۰	۱۴	۱۸	۱۹	۰								
۶	۹	۱۳	۱۷	۱۹	۲۹	۰							
۷	۷	۱۲	۱۴	۱۶	۲۷	۳۳	۰						
۸	۳	۷	۶	۷	۱۲	۱۴	۱۵	۰					
۹	۰	۲	۱	۱	۴	۶	۷	۸	۰				
۱۰	۵	۱۰	۱۱	۱۲	۲۲	۲۸	۲۹	۱۶	۸	۰			
۱۱	۵	۱۱	۱۲	۱۴	۲۵	۳۴	۳۲	۱۶	۸	۳۲	۰		
۱۲	۱	۵	۴	۵	۱۲	۱۵	۱۶	۱۴	۱۰	۱۸	۱۹	۰	
۱۳	۰	۳	۲	۲	۸	۱۲	۱۲	۱۱	۱۲	۱۵	۱۶	۱۸	۰

در اولین قدم، بیشترین صرفه‌جویی به اندازه ۳۴ از ترکیب مسیرهای ۶ و ۱۱ حاصل می‌شود. مسیر ترکیبی، شدنی^۱ است چون کل بار $107 = 16 + 91$ کمتر از ۲۰۰ واحد است؛ بنابراین دو مشتری روی یک مسیر قرار می‌گیرند. سپس صرفه‌جویی ۳۴ از فهرست صرفه‌جویی‌های مورد ملاحظه حذف می‌شود. صرفه‌جویی بعدی که از بقیه بزرگ‌تر است، ۳۳ بوده که با اضافه کردن مشتری هفت به مسیر مشتری شش حاصل می‌شود. مسیر جدید شدنی است زیرا کل بار مسیر $163 = 107 + 56$ کمتر از ۲۰۰ واحد است، پس مشتری هفت نیز به مسیر شش اضافه می‌شود. سپس صرفه‌جویی ۳۳ از فهرست صرفه‌جویی‌های مورد ملاحظه حذف می‌شود. صرفه‌جویی بعدی که از بقیه بزرگ‌تر است، ۳۲ بوده که با اضافه کردن مشتری ۱۰ به مسیر مشتری شش حاصل می‌شود. ولی این ترکیب جدید شدنی نیست و نمی‌تواند انجام شود زیرا کل بار مسیر $210 = 163 + 47$ بیشتر از ۲۰۰ واحد است، پس مشتری هفت به مسیر شش اضافه نمی‌شود و به سراغ یافتن بیشترین صرفه‌جویی دیگر می‌رویم. صرفه‌جویی بعدی ۲۹ بوده که با اضافه کردن مشتری ۵ یا ۱۰ به مسیر مشتری شش حاصل می‌شود. ولی این ترکیب نیز شدنی نیست زیرا هرکدام از مشتریان ۵ یا ۱۰ به مسیر شش اضافه شوند، محدودیت بار نقض می‌شود. جستجو را ادامه داده و بیشترین صرفه‌جویی بعدی ۲۸ بوده حاصل ترکیب مسیرهای سه و چهار به مسیر شش است که مجدداً شدنی نیست. با ادامه‌ی جستجو به صرفه‌جویی ۱۶ می‌رسیم که حاصل ادغام دو مسیر ۱۱ و ۸ می‌باشد. مشتری شماره ۱۱ قبلاً به مسیر شش تخصیص یافته لذا مشتری هشت نیز به این مسیر اضافه‌شده و مجموع بار در این مسیر به عدد ۱۹۳ می‌رسد. با توجه به اینکه ظرفیت خالی باقیمانده کامیون هفت واحد می‌باشد و کمترین تقاضای بین مشتریان ۱۶ می‌باشد، لذا جستجوی صرفه‌جویی در ماتریس متوقف‌شده و به سراغ ساخت مسیر جدید می‌رویم. با تکرار روند فوق و تلفیق مسیرهای شدنی و یا ساختن مسیرهای جدید، به چهار دسته می‌رسیم که هر کدام از آن‌ها به یکی از کامیون‌ها اختصاص داده می‌شوند. در جدول شماره (هشت) دسته‌ها قابل مشاهده است.

جدول ۸. نتایج دسته‌بندی مشتریان با الگوریتم صرفه‌جویی در مطالعه موردی

شماره دسته	مشتریان موجود در هر دسته	شماره کامیون اختصاص یافته برای حمل کالاهای مشتریان هر دسته
۱	{۶،۷،۸،۱۱}	کامیون شماره ۱
۲	{۱،۳،۴}	کامیون شماره ۲
۳	{۵،۱۰،۱۲،۱۳}	کامیون شماره ۳
۴	{۲،۹}	کامیون شماره ۴

نتایج مرحله مسیریابی

نتایج دسته‌بندی به این مرحله وارد شده و با کمک داده‌های جدول شماره (شش) اولویت تحویل هر مشتری که (همان مسیریابی است) در هر دسته مشخص می‌گردد. در بخش (سه) یک روش تلفیقی به نام *AHP-TOPSIS* برای مسیریابی با کمک تصمیم‌گیری چندمعیاره در ۱۱ گام معرفی شد. همچنین بیان شد که تعیین معیارها و اوزان آن‌ها با کمک روش *AHP* و اولویت‌بندی (مسیریابی) با روش تاپسیس انجام خواهد شد. گام‌های یک تا چهار به تعیین معیارها و اوزان آن‌ها با کمک *AHP* و گام‌های ۵ تا ۱۱ به رتبه‌بندی با تاپسیس اختصاص دارد. در ادامه نتایج گام - های ارائه شده در روش تاپسیس برای اولویت‌بندی تحویل کالا به مشتریان هر دسته ارائه شده است. گام شش و هفت به ترتیب به محاسبه ماتریس تصمیم نرمال شده و محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزن دار اختصاص دارد. ماتریس نرمال با تقسیم مقادیر هر عنصر جدول شماره (شش) به رادیکال مجموع توان دو عناصر آن ستون به دست می‌آید و ماتریس تصمیم نرمال وزن دار با ضرب عناصر ماتریس نرمال (گام قبلی) در وزن مربوطه به دست می‌آید. این ماتریس برای مسئله مطالعه موردی در جدول شماره (نه) محاسبه شده است.

جدول ۹. محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزن دار برای مسئله مطالعه موردی

وزن معیار	۰,۲۸۶	۰,۴۹۳	۰,۰۹۰	۰,۰۳۲	۰,۰۴۳	۰,۰۵۶
معیار مشتری	ضرورت تحویل	درجه امنیتی بودن	میزان صعب العبور بودن	بد بودن شرایط جوی	کمبود امکانات سوخت - گیری	میزان دورافتادگی
مشتری ۱	۰,۰۵۹۹	۰,۱۸۹۰	۰,۰۱۸۹	۰,۰۰۳۸	۰,۰۱۲۷	۰,۰۱۲۹
مشتری ۲	۰,۱۰۱۸	۰,۱۲۶۰	۰,۰۰۷۵	۰,۰۰۸۹	۰,۰۱۳۷	۰,۰۱۵۵
مشتری ۳	۰,۰۲۳۹	۰,۱۲۶۰	۰,۰۳۷۹	۰,۰۱۲۸	۰,۰۱۰۷	۰,۰۱۲۹
مشتری ۴	۰,۰۷۱۸	۰,۰۸۸۲	۰,۰۱۱۳	۰,۰۰۷۶	۰,۰۰۷۸	۰,۰۱۵۵
مشتری ۵	۰,۰۴۷۹	۰,۰۵۰۴	۰,۰۳۷۹	۰,۰۰۶۴	۰,۰۰۶۸	۰,۰۱۹۴
مشتری ۶	۰,۰۵۳۹	۰,۲۱۴۲	۰,۰۲۲۷	۰,۰۰۸۹	۰,۰۰۳۹	۰,۰۱۶۸
مشتری ۷	۰,۰۸۹۸	۰,۰۸۸۲	۰,۰۲۲۷	۰,۰۱۰۲	۰,۰۱۴۶	۰,۰۰۹۰
مشتری ۸	۰,۱۲۵۸	۰,۰۶۳۰	۰,۰۲۲۷	۰,۰۱۱۵	۰,۰۱۹۵	۰,۰۱۲۹
مشتری ۹	۰,۱۱۹۸	۰,۰۸۸۲	۰,۰۲۲۷	۰,۰۰۵۱	۰,۰۰۳۹	۰,۰۱۲۹
مشتری ۱۰	۰,۰۵۹۹	۰,۲۵۲۰	۰,۰۱۸۹	۰,۰۰۷۶	۰,۰۰۶۸	۰,۰۱۸۱
مشتری ۱۱	۰,۰۷۷۸	۰,۱۰۰۸	۰,۰۳۷۹	۰,۰۱۲۸	۰,۰۰۹۷	۰,۰۰۷۷
مشتری ۱۲	۰,۰۵۳۹	۰,۱۲۶۰	۰,۰۲۲۷	۰,۰۰۸۹	۰,۰۱۹۵	۰,۰۱۲۹
مشتری ۱۳	۰,۰۷۷۸	۰,۱۰۰۸	۰,۰۱۷۰	۰,۰۰۳۸	۰,۰۱۰۷	۰,۰۲۵۹

در گام ۸ راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی که به ترتیب عبارت‌اند از بهترین و بدترین مقادیر هر ستون در جدول شماره (نه) استخراج می‌شوند. این راه‌حل‌ها برای مسئله مطالعه موردی در جدول شماره (۱۰) آمده است.

جدول ۱۰. راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی برای مسئله مطالعه موردی

میزان دورافتادگی	کمبود امکانات سوخت - گیری	بد بودن شرایط جوی	میزان صعب‌العبور بودن	درجه امنیتی بودن	ضرورت تحویل	معیار
۰,۰۲۵۹	۰,۰۱۹۶	۰,۰۱۲۸	۰,۰۳۷۹	۰,۲۵۲۱	۰,۱۲۵۸	بهترین راه‌حل
۰,۰۰۷۸	۰,۰۰۳۹	۰,۰۰۳۸	۰,۰۰۷۶	۰,۰۵۰۴	۰,۰۲۴۰	بدترین راه‌حل

درگام ۹ فاصله هر گزینه در جدول شماره (نه) تا راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی (جدول شماره ۱۰) به کمک فاصله اقلیدسی (فرمول هشت و نه) محاسبه می‌گردد. این فواصل از راه‌حل‌ها برای مسئله مطالعه موردی در جدول شماره (۱۱) آمده است.

جدول ۱۱. راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی برای مسئله مطالعه موردی

فاصله از ایده‌آل‌ها مشتری	فاصله از ایده‌آل مثبت	فاصله از ایده‌آل منفی
مشتری ۱	۰,۰۹۴۷	۰,۱۴۴۰
مشتری ۲	۰,۱۳۲۴	۰,۱۰۹۳
مشتری ۳	۰,۱۶۲۸	۰,۰۸۲۴
مشتری ۴	۰,۱۷۵۳	۰,۰۶۱۹
مشتری ۵	۰,۲۱۶۷	۰,۰۴۰۵
مشتری ۶	۰,۰۸۴۶	۰,۱۶۷۵
مشتری ۷	۰,۱۶۹۳	۰,۰۷۸۴
مشتری ۸	۰,۱۹۰۱	۰,۱۰۵۳
مشتری ۹	۰,۱۶۶۰	۰,۱۰۴۲
مشتری ۱۰	۰,۰۷۰۳	۰,۲۰۵۴
مشتری ۱۱	۰,۱۵۹۹	۰,۰۸۰۵
مشتری ۱۲	۰,۱۴۶۵	۰,۰۸۴۵
مشتری ۱۳	۰,۱۶۰۵	۰,۰۷۶۹

در گام ۱۰ نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل محاسبه می‌گردد.

جدول ۱۲. نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل برای مسئله مطالعه موردی

مشتری	نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل
مشتری ۱	۰,۶۰۳۳
مشتری ۲	۰,۴۵۲۳
مشتری ۳	۰,۳۳۶۱
مشتری ۴	۰,۲۶۰۹
مشتری ۵	۰,۱۵۷۶
مشتری ۶	۰,۶۶۴۳
مشتری ۷	۰,۳۱۶۶
مشتری ۸	۰,۳۵۶۵
مشتری ۹	۰,۳۸۵۷
مشتری ۱۰	۰,۷۴۴۹
مشتری ۱۱	۰,۳۳۴۷
مشتری ۱۲	۰,۳۶۵۸
مشتری ۱۳	۰,۳۲۳۹

در گام ۱۱ بر طبق ارزش‌های ترجیحی که نشان‌دهنده بیش‌ترین و کمترین ترجیح راه‌حل‌ها هستند، گزینه‌های جدول شماره (۱۲) به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. اولویت نهایی گزینه‌ها (مشتریان) برای مسئله مطالعه موردی به شرح جدول شماره (۱۳) است.

جدول ۱۳. اولویت نهایی مشتریان با روش تاپسیس

اولویت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
مشتری	۱۰	۶	۱	۲	۹	۱۲	۸	۳	۱۱	۱۳	۷	۴	۵

با توجه به نتایج فوق، نتیجه مسیریابی مشتریان هر دسته در جدول شماره ۱۴ آمده است.

جدول ۱۴. مسیریابی نهایی دسته‌ها با اولویت‌های به‌دست آمده با روش تاپسیس

شماره دسته	مشتریان موجود در هر دسته	اولویت تحویل (مسیریابی)
۱	{۶،۷،۸،۱۱}	انبار → ۶ → ۸ → ۱۱ → ۷ → انبار
۲	{۱،۳،۴}	انبار → ۱ → ۳ → ۴ → انبار
۳	{۵،۱۰،۱۲،۱۳}	انبار → ۱۰ → ۱۲ → ۱۳ → ۵ → انبار
۴	{۲،۹}	انبار → ۲ → ۹ → انبار

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

سازمان‌های نظامی - انتظامی دارای خط مشی‌ها و چارچوب‌هایی برای انجام امور خود هستند که گاهی معیارهای متفاوتی با سازمان‌های غیرنظامی - انتظامی دارند. یکی از حوزه‌های مهم سازمان‌های مذکور، ترابری و ارسال کالا به رده‌های متقاضی بار است. یافتن بهترین مسیر برای این سازمان‌ها لزوماً یافتن کوتاه‌ترین مسیر یا کاهش هزینه نیست. چه بسا در پاره‌ای از مواقع، سازمان حاضر به انجام هزینه‌های زیاد برای حصول اطمینان از اثربخشی مأموریت‌ها و تحویل بار به رده متقاضی باشد. لذا در پژوهش حاضر، یک رویکرد نوین دومرحله‌ای برای مسیریابی و اولویت‌بندی تحویل کالا به متقاضیان بار در حوزه نظامی - انتظامی ارائه گردید. برای این منظور، الگوریتم‌های حوزه مسیریابی و مباحث تصمیم‌گیری چندمعیاره تلفیق شد. در مرحله اول، با کمک الگوریتم صرفه‌جویی کلارک و رایت که یک الگوریتم ابتکاری در حوزه مباحث مسیریابی وسیله نقلیه است، با در نظر گرفتن معیارهایی همچون فاصله مشتریان از یکدیگر و انبار، میزان تقاضای آن‌ها و همچنین قید ظرفیت کامیون‌ها، دسته‌هایی شدنی از مشتریان تعیین می‌کند. در این دسته‌ها، حداکثر صرفه‌جویی از لحاظ پیمودن فاصله کامیون‌های تخصیص‌یافته به هر دسته رعایت می‌شود. در مرحله بعد، با استفاده از تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس، یک الگوریتم برای تعیین اولویت تحویل کالا به مشتریان در هر دسته مشخص گردید. در این مرحله ابتدا معیارهای نظامی - انتظامی برای تعیین اولویت تحویل کالا (مسیریابی) از ادبیات موضوع استخراج گردید و سپس برای تعیین روایی و پایایی معیارها با ابزار پرسشنامه، از

نظر خبرگان استفاده شد. از این طریق، مشخص گردید که همه معیارهای استخراج شده، مورد تأیید خبرگان حوزه ترابری نظامی - انتظامی می باشند. در گام بعدی با کمک روش تحلیل سلسله مراتبی، مقایسات زوجی معیارها با کمک پرسشنامه توسط خبرگان انجام شد و سپس نتایج نظرات خبرگان در نرم افزار اکسپرت چویس وارد و در نهایت وزن هر معیار مشخص گردید. این شش معیار به ترتیب اهمیت عبارت بودند از: " درجه امنیتی بودن (محل استقرار رده)، ضرورت تحویل (نیاز رده متقاضی)، میزان صعب العبور بودن (جاده منتهی به رده)، میزان دورافتادگی رده (استقرار در منطقه محروم)، کمبود امکانات سوخت گیری (پیرامون رده) و بدی شرایط جوی (اطراف رده)". سپس با کمک روش تاپسیس شیوه ای برای اولویت بندی هر مشتری ارائه گردید که ترتیب تحویل کالا به مشتریان متقاضی بار با توجه به شش معیار نظامی - انتظامی در هر دسته را مشخص می کرد. استفاده از دیگر روش های دسته بندی مشتریان (مانند الگوریتم جارو، *Kmean*، روش های مرحله ای و غیره) و همچنین دیگر روش های تصمیم گیری چندمعیاره (مانند روش *Saw*، *Permutation*، *Vikor* و غیره) و همچنین بررسی دیگر روش ها مانند روش "ابتدا مسیریابی و سپس دسته بندی" با در نظر گرفتن معیارهای ارائه شده در این تحقیق، برای پژوهش های آتی، پیشنهاد می شود.

- اصغری، محمد و حسن‌نژاد، رجبعلی (۱۳۹۶)، " **آشنایی با آماد و پشتیبانی سپاه ویژه دوره عالی رسته‌ای کلیه رسته‌ها** "، چاپ اول، تهران، دانشگاه جامع امام حسین (ع).
- امام وردی‌ملک، سعید؛ حسن‌پور، حسینعلی و نورنگ، احمد (۱۳۹۳)، " **ارائه مدل ارزیابی ناب چابکی زنجیره تأمین پوشاک کارکنان سپاه** "، تهران: دانشگاه جامع امام حسین.
- تیموری، ابراهیم و احمدی، مهدی (۱۳۸۸)، " **مدیریت زنجیره تأمین** "، چاپ اول، تهران، دانشگاه علم و صنعت.
- تیموری، محمد و افخم، علیرضا (۱۳۹۳)، " **نقش ترابری در زنجیره لجستیک** "، ماهنامه راهبران، شماره ۷۲، ۷۸ تا ۸۵.
- جبله، مرتضی (۱۳۹۵)، " **طراحی شبکه زنجیره تأمین چندهدفه، چندسطحی مبتنی بر چابکی و ارزش‌های سازمانی و حل آن با یک روش کارا** "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع گرایش لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکده و پژوهشکده فنی و مهندسی.
- حسن‌پور، ح. حاتمی، م؛ و نوروزی، پ. (۱۳۹۸). **ارائه رویکرد دو مرحله‌ای در حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با ملاحظات معیارهای لجستیک دفاعی مطالعه موردی: رده ترابری یک سازمان لجستیک دفاعی**، هفتمین کنفرانس بین‌المللی لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین، تهران.
- خسروانیان، حمیدرضا و آذر، عادل (۱۳۹۱)، " **طراحی مدل زنجیره تأمین و توزیع چابک در صنعت پخش با رویکرد شبکه‌ای** "، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته‌ی مدیریت صنعتی - گرایش تحقیق در عملیات، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۶۸-۷۱.
- شکری، نصیبه و میرابی، محمد (۱۳۹۲)، " **حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند انبار با پنجره زمانی با استفاده از یک الگوریتم فرا ابتکاری کارآمد** "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علم و هنر.
- قاسم‌پور، زهرا و سلیمان‌پور، مقصود (۱۳۹۵)، " **ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن پنجره زمانی** "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه دانشکده مهندسی صنایع.
- محمودی، افسانه و خرمی‌زاده، مصطفی (۱۳۹۴)، " **یک روش جستجوی موضعی تکراری ابتکاری برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با ناوگان ناهمگن** "، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته گرایش در تحقیق عملیات، دانشگاه صنعتی شیراز.

مطیعیان، حمید؛ سعدی مسگری، محمد و نعیمی، احید (۱۳۹۱)، " بهینه‌سازی مسیر تردد سرویس های ترابری یک شرکت، با استفاده از خوشه‌بندی و الگوریتم ژنتیک"، مهندسی ترابری، سال سوم، شماره چهارم.

نعیمی، احمد؛ شورورزی، حسین و طالعی، محمد (۱۳۹۵)، " بهینه‌سازی سیستم ترابری ادارات با روش خوشه‌بندی *k-mean* و ترکیب الگوریتم *saving* و جستجوی ممنوع". نشریه مهندسی ترابری، سال هفتم، شماره چهارم.

Akhand, M. A. H, Peya, Zahrul Jannat, Sultana, Tanzima and Hafizur Rahman, M. M. (۲۰۱۷) "Solving Capacitated Vehicle Routing Problem Using Variant Sweep and Swarm Intelligence", *Journal of Applied Science and Engineering*, Vol. ۲۰, No. ۴, pp.۵۱۱-۵۲۴.

Balaji, M. Santhanakrishnan, S. and Dinesh, S. N. (۲۰۱۹) "An Application of Analytic Hierarchy Process in Vehicle Routing Problem", *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, ۴۷(۳), pp. ۱۹۶-۲۰۵. doi: <https://doi.org/10.3311/PPtr.10701>.

Cakir, F. Street, W.N. and Thomas, B.W. (۲۰۱۵) *Revisiting Cluster First, Route Second for the Vehicle Routing Problem*, Department of Management Sciences Tippie College of Business University of Iowa Iowa City, Iowa, USA. Doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4007.8567>.

Crino, J. et al. (۲۰۰۴) "Solving the theater distribution vehicle routing and scheduling problem using group theoretic tabu search", *Mathematical and computer modelling*, vol.۳۹, pp۶۱۶-۵۹۹.

Ewbank, Henrique, Wanke, Peter and Hadi-Vencheh, Abdollah (۲۰۱۵) "An unsupervised fuzzy clustering approach to the capacitated vehicle routing problem", *Neural Comput & Applic*.

G. Clarke and J. Wright (۱۹۶۴) "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", *Operations Research*, ۱۲ ۴, ۵۶۸-۵۸۱.

Işıklar, G. Büyüközkan, G. (۲۰۰۷), "Using a Multi-Criteria Decision Making Approach to Evaluate Mobile Phone Alternatives", *Computer Standards and Interfaces*, ۲۹, ۲۶۵-۲۷۴.

Korayem, L. Khorsid, M. Kassem, S.S (۲۰۱۵) **“Using Grey Wolf Algorithm to Solve the Capacitated Vehicle Routing Problem”**, *Materials Science and Engineering Conf. Series*: ۸۳-۰۱۲۰۱۴
DOI: ۱۰.۱۰۸۸/۱۷۵۷-۸۹۹X/۸۳/۱/۰۱۲۰۱۴

Lai Hua, T. Sheu, J. B. (۲۰۰۳). **A fuzzy-based customer classification method for demand-responsive logistical distribution operations**, *Fuzzy Sets and Systems Volume ۱۳۹, Issue ۲*, pp.۴۳۱-۴۵۰. doi: [https://۱۰.۱۰۱۶/S۰۱۶۵-۰۱۱۴\(۰۲\)۰۰۵۱۶-X](https://۱۰.۱۰۱۶/S۰۱۶۵-۰۱۱۴(۰۲)۰۰۵۱۶-X)

Mostafa, Noha and Eltawil, Amr (۲۰۱۷) **“Solving the Heterogeneous Capacitated Vehicle Routing Problem using K-Means Clustering and Valid Inequalities”**, *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Rabat, Morocco, April ۱۱-۱۳*.

N. Suthikarnnarunai (۲۰۰۸) **“A Sweep Algorithm for the Mix Fleet Vehicle Routing Problem”**, *International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists Vol II IMECS ۲۰۰۸, Hong Kong*.

Pichpibul, Tantikorn and Kawtummachai, Ruengsak (۲۰۱۳) **“A Heuristic Approach Based on Clarke-Wright Algorithm for Open Vehicle Routing Problem”**, *Hindawi Publishing Corporation, The Scientific World Journal, Article ID ۸۷۴۳۴۹* DOI: ۱۰.۱۱۵۵/۲۰۱۳/۸۷۴۳۴۹

Rao, R. V. and Davim, J. P. (۲۰۰۸), **“Decision-Making Framework Models for Material Selection Using a Combined Multiple Attribute Decision-Making Method”**, *J. of Adv Manufacturing Technology*, ۳۵, ۷۵۱-۷۶۰.

SERAP ERCAN COMERT, HARUN RES, I'T YAZGAN, I' REM SERTVURAN and HANI'FE S, ENGU" L (۲۰۱۷), **“A new approach for solution of vehicle routing problem with hard time window: an application in a supermarket chain”**, *Sadhana, Vol. ۴۲, No. ۱۲*, pp. ۲۰۶۷-۲۰۸۰.

Sheu, J. B. (۲۰۰۷). **A hybrid fuzzy-optimization approach to customer grouping-based logistics distribution operations**, *Applied Mathematical Modelling, Volume ۳۱, Issue ۶*, pp. ۱۰۴۸-۱۰۶۶. doi: <https://۱۰.۱۰۱۶/j.apm.۲۰۰۶.۰۳.۰۲۴>.

Shih, H. Sh.; Shyur, H. J. and Lee, E. S. (۲۰۰۷), "**An Extension of TOPSIS for Group Decision Making**", *Mathematical and Computer Modelling*, ۴۵, ۸۰۱-۸۱۳.

SOLOMON, M. (۱۹۸۷), "**Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints**", *Operations Research*, ۳۵, pp. ۲۵۴-۲۶۵.

Vigo, D. and Toth, P. (۲۰۱۴) "**Vehicle Routing Problems, Methods, and Applications**", second edition, *Mathematical Optimization Society Philadelphia*.

Zeimpekis, V., Kaimakamis, G. and Daras, N.J. (۲۰۱۵) "**Military Logistics: Research Advances and Future Trends**", vol.۵۶.