

## بهینه‌سازی مسیریابی شبکه توزیع کالا با استفاده از سیستم حمل و نقل هوشمند

حسن دانشورا<sup>۱</sup>، صادق نیرومند<sup>۲\*</sup>، امید بویر حسنی<sup>۳</sup>، عبدالله هادی وینچه<sup>۴</sup>

<sup>(۱)</sup> گروه مهندسی صنایع، برنامه‌ریزی و مدیریت تولید، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

<sup>(۲)</sup> گروه مهندسی صنایع، مرکز آموزش عالی فیروزآباد، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

<sup>(۴)</sup> گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، واحد خوراسگان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱

### چکیده

با توجه به اینکه یافتن مسیر مناسب در ساعات روز و پرترافیک شهر با محدودیت‌های تردد ایجاد شده معضل بزرگی است که نه تنها باعث عملکرد غیربهینه در شبکه‌های توزیع می‌شود بلکه خسارات جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی نیز به جامعه وارد می‌کند، این پژوهش توجه خود را به بهبود مسیریابی شبکه توزیع کالا با استفاده از سیستم حمل و نقل هوشمند معطوف نموده است؛ در همین راستا پس از مدل‌سازی مسئله در قالب توسعه مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن محدودیت تردد و پنجره زمانی و NP-hard بودن آن، با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات مسئله حل و مسیر بهینه و تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز جهت ارسال کالا مشخص می‌شود. بر همین اساس ابتدا مکان مشتریان با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی دسته‌بندی و زیر خوشه‌هایی با توجه به پنجره زمانی تحویل ایجاد می‌شود، سپس یک واسط کاربری، مبدا و مقصد ارائه شده توسط کاربر را به عنوان ورودی دریافت می‌کند، این واسط با ارتباط با نقشه گوگل مسیرهای موجود بین مبدا و مقصد را دریافت می‌کند. مسیرهای پیشنهادی با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی ایجاد و با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی شبکه ادهاک خودرو اتفاقات مسیرها مانند ترافیک اعلام و در صورت نیاز وسیله نقلیه از مسیر جایگزین تردد می‌کند. روش پیشنهادی از نظر کمینه کردن مسافت و تعداد وسایل نقلیه نتایج بهتری نسبت به جواب‌های بهینه داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** مسیریابی شبکه توزیع کالا، سیستم حمل و نقل هوشمند، الگوریتم فراابتکاری، الگوریتم خوشه‌بندی.

## ۱- مقدمه

حمل و نقل در سیستم‌های اقتصادی، تولیدی و خدماتی از جایگاه مهمی برخوردار است و بخش قابل توجهی از سهم تولید ناخالص ملی هر کشوری را به خود اختصاص می‌دهد. از طرفی توزیع فیزیکی محصولات یکی از کلیدی‌ترین فعالیت‌های شرکت‌های تولیدی در زمینه حمل و نقل می‌باشد، زیرا به طور متوسط ۲۰٪ قیمت تمام شده محصولات صرف توزیع فیزیکی آنها می‌شود؛ لذا بهبود سیستم توزیع فیزیکی کالا، علاوه بر کاهش هزینه، موجب ارتقا بهره‌وری نیز خواهد شد این در حالی است که توزیع فیزیکی کالا بر خلاف سایر فعالیت‌ها، پیشرفت فناوری ممکن است باعث بهبود آن گردد ولی هرگز نمی‌تواند جایگزینی برای آن باشد به همین دلیل بهبود آن ضروری می‌باشد. یکی از روش‌های بهبود سیستم توزیع فیزیکی، بهینه‌سازی مسیریابی شبکه توزیع کالا می‌باشد. مساله مسیریابی وسیله نقلیه<sup>۱</sup> (VRP) از دو نگاه برای محققین حائز اهمیت است: (۱) مساله مطرح شده مساله‌ای کاربردی است و توفیق در دستیابی به جواب‌های بهتر سبب صرفه‌جویی اقتصادی می‌گردد و (۲) حل مساله به خاطر NP-Hard بودن، مساله‌ای چالش برانگیز است. مساله مسیریابی وسایل نقلیه یک نام عمومی برای تمامی مسائلی است که در آن باید مجموعه‌ای از مسیرها برای جریانی از وسایل نقلیه که مستقر در یک یا چند دپو می‌باشند تعیین گردد تا مجموعه‌ای از مشتریان که در نقاط مختلف شهر پراکنده شده‌اند، خدمت دهند که این خدمت‌رسانی می‌تواند با ظرفیت محدود وسایل نقلیه همراه باشد [۱]. به طور کلی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، یعنی تعیین مسیر حمل کالا از حداقل یک مبدا به چند مقصد، به گونه‌ای که وسایل نقلیه در مجموع کمترین مسیر را در کمترین زمان ممکن طی کنند [۲]. همچنین در مساله مسیریابی وسایل نقلیه فرض بر این است که هر کدام از وسایل نقلیه از دپو شروع به حرکت می‌کنند و بایستی به همان دپو بازگردند.

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه یا VRP نامی کلی است که به تمامی کلاس مسائلی که شامل ملاقات مشتری‌ها با وسیله نقلیه است، اطلاق می‌شود. VRP در مقالات، تحت عنوان زمان‌بندی وسیله نقلیه، توزیع وسیله نقلیه یا به بیان ساده‌تر به صورت مسأله تحویل نیز بیان شده است. با گذشت زمان انواع مسأله مسیریابی با محدودیت‌هایی که بیشتر در عالم واقعی کاربرد داشت، به وجود آمده است [۳-۴].

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی تعمیم یافته‌ای از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با محدودیت ظرفیت است که در آن سرویس به هر مشتری باید در یک بازه زمانی معین (این بازه زمانی به پنجره زمانی معروف است) صورت گیرد. این مسئله با توجه به اهمیت بالایی که به بحث زمان در حل مساله می‌دهد در عمل از کاربرد بیشتری برخوردار بوده و لذا توجه بیشتری را در محافل علمی به خود اختصاص داده است [۱]. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه یکی از مهم‌ترین مسائل مدیریت زنجیره تامین است. این اهمیت از آنجا ناشی می‌شود که تخصیص مطلوب وسایل نقلیه به مسیرهای مختلف، تاثیر بسیار زیادی بر کاهش هزینه‌ها دارد [۵]. در تحقیق حاضر، این مسئله با در نظر گرفتن شرایط دنیای واقعی از جمله ظرفیت و تنوع وسایل حمل و همچنین محدودیت تردد برخی وسایل در بعضی از مسیرها که بیانگر شرایط کاربردی آن می‌باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. پس از تشریح مسئله و تعریف متغیرها و پارامترهای آن، مدل ریاضی این مسئله با در نظر گرفتن پنجره زمانی توسعه داده می‌شود.

اهداف عمده این مدل تخصیص مطلوب وسایل نقلیه به مسیرهای مختلف با توجه به محدودیت تردد بر اساس ظرفیت وسایل حمل و همچنین تحویل کالا به مشتریان در بازه زمانی مدنظر آنها جهت کمینه کردن مسیر طی

<sup>۱</sup> Vehicle routing problem (VRP)

شده و تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز جهت سرویس‌دهی می‌باشد که با تحقق این امر، علاوه بر دستیابی به اهداف کلی مسئله VRP که همان تحویل کالا به مشتریان در کوتاهترین زمان، از طریق بهترین مسیر و با کمترین تعداد وسایل نقلیه و کمترین هزینه ارسال می‌باشد؛ سطح رضایت مشتریان نیز افزایش یافته و زیان‌های ناشی از دست دادن مشتریان کاهش خواهد یافت.

با توجه به مطالعات پیشین، مدل‌سازی‌های ریاضی را با الگوریتم‌های کامپیوتری نظیر داده‌کاوی و فراابتکاری جهت یافتن مسیرهای بهینه ادغام می‌کنند. حمل و نقل هوشمند<sup>۲</sup> یک قطعه حیاتی از شهر هوشمند<sup>۳</sup> برای مسیریابی لجستیک است. اهمیت حمل و نقل هوشمند در ایمنی، تحرک و تأثیرات زیست‌محیطی در شهر هوشمند برای زنجیره تامین و لجستیک کارا و مفید است. این کار برخی از برنامه‌های کاربردی و فناوری‌های مهمی را تشکیل می‌دهد که یک سیستم حمل و نقل هوشمند را در کنار فعالیت‌های استانداردسازی و مسائل مربوط به این منطقه تشکیل می‌دهد [۱۳]. با توجه به اینکه حمل و نقل از اساسی‌ترین نیازهای بشر، همواره به عنوان شاخصی مطرح در هر جامعه، مورد توجه ویژه قرار گرفته است، فناوری اطلاعات و ارتباطات بعنوان ابزاری کارآمد، موجبات تسهیل و تسریع ارائه خدمات را فراهم نموده است. مهندسی حمل و نقل نیز سعی بر آن داشته‌اند تا از فناوری اطلاعات بهره جسته و مشکلات آن را به حداقل ممکن کاهش دهند. یکی از این فناوری‌ها، سیستم حمل و نقل هوشمند<sup>۴</sup> (ITS) است که در واقع سیستم حمل و نقل مبتنی بر اینترنت اشیا<sup>۵</sup> (IoT) بوده و برای ارائه خدمات سریع، ایمن و قابل اعتماد به کاربر، هوشمندتر شده است. وسایل نقلیه می‌توانند با استفاده از ابزارهای سیستم حمل و نقل هوشمند نظیر: شبکه‌های سیار بین خودرویی<sup>۶</sup> (VANET) از قرار گرفتن در یک موقعیت خاص در مسیرها نظیر ترافیک و خرابی جاده‌ها اجتناب نموده و مسیر جایگزین مناسب‌تری را انتخاب نمایند. با توجه به اینکه مسئله VRP از لحاظ پیچیدگی محاسباتی جز مسائل NP-Hard محسوب می‌شود نیاز به محاسبات زیادی دارد. با توجه به مسئله فوق و اهمیت کاهش مسیر و پنجره زمانی ما از الگوریتم خوشه‌بندی، ابزارهای ITS (سنسورهای GoogleMap، شبکه vanet) و الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مدل پیشنهادی استفاده می‌کنیم. برای این کار ابتدا از الگوریتم خوشه‌بندی برای خوشه‌بندی مکان مشتریان و سپس ایجاد زیر خوشه‌ها براساس پنجره زمانی استفاده می‌کنیم، در مرحله بعد با استفاده از سنسورهای GoogleMap مسیرهای اولیه مشخص شده و در اختیار شبکه VANET قرار داده می‌شوند. از آنجایی که VANET، مسیرهای بهینه را انتخاب نمی‌کند از الگوریتم‌های فراابتکاری جهت یافتن مسیر بهینه متناسب با اهداف مدل استفاده می‌شود [۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹]. بنابراین ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری و ابزارهای سیستم حمل و نقل هوشمند برای حل مسئله مسیریابی می‌تواند منجر به بهینه‌سازی مسیریابی شبکه توزیع کالا گردد. از این رو تحقیق و مطالعه در این حوزه برای صنعت لجستیک از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین با توجه به اینکه در نظر گرفتن محدودیت‌ها بیانگر شرایط کاربردی مسئله می‌باشد، لذا توسعه مدل‌های ارائه شده با در نظر گرفتن محدودیت‌ها در راستای نزدیک‌تر کردن مسئله با شرایط دنیای واقعی و کاربردی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به تحقیقات انجام شده، توسعه مدل‌سازی مسئله مسیریابی وسایل حمل و نقل با در نظر گرفتن پنجره زمانی و محدودیت تردد و همچنین حل آن با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی، ابزارهای سیستم حمل و نقل هوشمند (GoogleMap) و شبکه

<sup>۲</sup> Intelligent Transportation (IT)

<sup>۳</sup> Smart city

<sup>۴</sup> Intelligent transportation system (ITS)

<sup>۵</sup> Internet of Things (IOT)

<sup>۶</sup> vehicular ad hoc networks (VANET)

Vanet و الگوریتم‌های فراابتکاری (GA- PSO)، نوآوری این پژوهش محسوب می‌شوند. با توجه به مطالب فوق هدف اصلی این مقاله بهینه‌سازی مسیریابی شبکه توزیع کالا و وسایل نقلیه با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری و ITS می‌باشد.

سازماندهی این مقاله به این صورت است: بخش ۲ به مروری بر سوابق مرتبط در این حوزه می‌پردازد، بخش ۳ به معرفی روش تحقیق، بخش ۴ نتیجه و ارزیابی روش تحقیق و در نهایت بخش ۵ به نتیجه‌گیری و بحث می‌پردازد.

## ۲- پیشینه نظری

با توجه به پیشینه پژوهش مطالعات بسیاری برای مسیریابی و بهبود آن انجام شده همچنین تحقیقاتی نیز مبنی بر سیستم حمل و نقل هوشمند انجام شده است که هرکدام به صورت جداگانه نتایجی را ارائه کرده‌اند که موجب بهبود مسیریابی شده است که در جدول ۱ قابل مشاهده است. با توجه به تحقیقات انجام شده، توسعه مدل‌سازی مسئله VRP با در نظر گرفتن پنجره زمانی و محدودیت تردد و همچنین حل آن با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی، ابزارهای سیستم حمل و نقل هوشمند (GoogleMap و شبکه Vanet) و الگوریتم‌های فراابتکاری GA- PSO، نوآوری این پژوهش محسوب می‌شوند.

جدول ۱: مقایسه پیشینه تحقیق با مطالعه حاضر

روش حل	مطالعه موردی	سیستم حمل و نقل هوشمند		مسیریابی با استفاده از مدل سازی ریاضی			مرجع	
		شبکه Vanet	سنسور ITS	محدودیت تردد	تابع هدف			پنجره زمانی
					چند هدف	تک هدف		
فراابتکاری GA+تاگوچی	حمل کالا				×		مهدی‌زاده [۶]	
فراابتکاری کلونی مورچه	حمل کالا					×	عبادتی [۷]	
فراابتکاری GA	محصولات قابل فساد					×	هیاسات [۲۰]	
فراابتکاری جستجوی محلی	محصولات قابل فساد					×	روح مهر [۲۱]	
فراابتکاری GA	حمل کالا					×	آزاد [۲۲]	
فراابتکاری MOGWO	حمل کالا				×		معنوی [۲۳]	
فراابتکاری NSGA_II SPEA-II .MOPSO	حمل کالا				×		محبوب نیا [۸]	
فراابتکاری GA	حمل کالا				×		فاضلی [۲۴]	
مدل ریاضی	حمل کالا				×		رحیمی [۲۵]	
مدل برنامه‌ریزی غیرخطی	حمل کالا				×		عیدی [۹]	
برنامه‌نویسی ریاضی و یک الگوریتم ژنتیک	حمل کالا				×		نیک فرجام [۲۶]	
فراابتکاری SA	مواد غذایی				×		ساراگیه [۲۷]	
مدل ریاضی	حمل کالا				×		توکلی مقدم [۲۸]	
برنامه‌ریزی فازی و فراابتکاری	حمل کالا			×	×		نادی زاده [۱۰]	
فراابتکاری PSO و GA	حمل کالا					×	ژو [۲۹]	

فراابتکاری افتراقی آتش‌بازی	حمل کالا		×			×		چن [۳۰]
فراابتکاری PSO	حمل کالا					×		گومز [۳۱]
فراابتکاری GA	حمل کالا				×		×	کین [۳۲]
فراابتکاری ACO	حمل کالا			×		×		حسینی [۵]
فراابتکاری ACO	حمل کالا			×		×		حسینی [۱۱]
بررسی فناوری ITS			×					حسین بوک [۳۳]
بررسی قابلیت پهباد برای ITS			×					منور [۳۴]
ذخیره‌سازی داخلی و تجزیه و تحلیل داخلی برای داده‌های ITS			×					جوهر [۳۵]
فیلتر کالمن تمدید شده مبتنی بر چند مدل برای پیش‌بینی مکان آینده خودرو			×					عباس [۳۶]
مسئله تراکم ترافیک و همچنین کاهش زمان انتظار وسایل نقلیه در تقاطع جاده‌ها			×					آل کاتوان [۳۷]
پرداختن به چالش داده‌های حسگر با الگویی آگاه از زمینه			×					سوارنامیوگی [۳۸]
طرح جدید سیگنال راهنمایی و رانندگی به طور خاص برای سناریوی EVSP			×					لی [۳۹]
ارزیابی سیستم حمل و نقل و فناوری‌های نوظهور			×					اسکابارادونیز [۴۰]
کنترل ازدحام ترافیک شبکه جاده شهری با سیستم حمل و نقل هوشمند			×					لیو [۴۱]
منطق فازی و رویکرد حمل و نقل DTN		×						رحیمی [۴۲]
عملکرد دو پروتکل مسیریابی، MaxProp و مسیریابی بسته‌گرا (POR)		×						را [۴۳]
مدل ریاضی پروتکل HBR		×						دی آندراد [۴۴]
فناوری HashChain و پروتکل مسیریابی OLSR		×						مهرآر [۴۵]
بهبود پروتکل مسیریابی OLSR		×						اویاخیر [۴۶]
بهبود پروتکل مسیریابی OLSR		×						جاین [۴۷]
تئوری بازی بر پروتکل مسیریابی OLSR		×						اویاخیر [۴۸]
پروتکل مسیریابی و الگوریتم فراابتکاری تابو		×						آپولین [۴۹]

الگوریتم GA مبتنی بر پروتکل مسیریابی GABR		×						زانگ [۵۰]
پروتکل پیشنهادی RALAR با استفاده از الگوریتم GA		×						مونباندی [۵۱]
بهینه‌سازی ازدحام ذرات گسسته DPSO		×						چاهال [۵۲]
پروتکل LEACH و PSO		×						علمداری [۱۲]
پروتکل مسیریابی و الگوریتم GA		×						گوپتا [۵۳]
پروتکل مسیریابی جغرافیایی GR		×						کاسانا [۵۴]
یک پروتکل مسیریابی TDMP		×						بی [۵۵]
پروتکل شبکه ژنتیک G-net		×						وبلی [۵۶]
پروتکل DVRP و الگوریتم MPSO		×						اکلوپز [۵۷]
استفاده از خوشه‌بندی، GoogleMap و پروتکل مسیریابی VANET به همراه الگوریتم فراابتکاری GA-PSO	حمل کالا	×	×	×	×		×	مطالعه حاضر

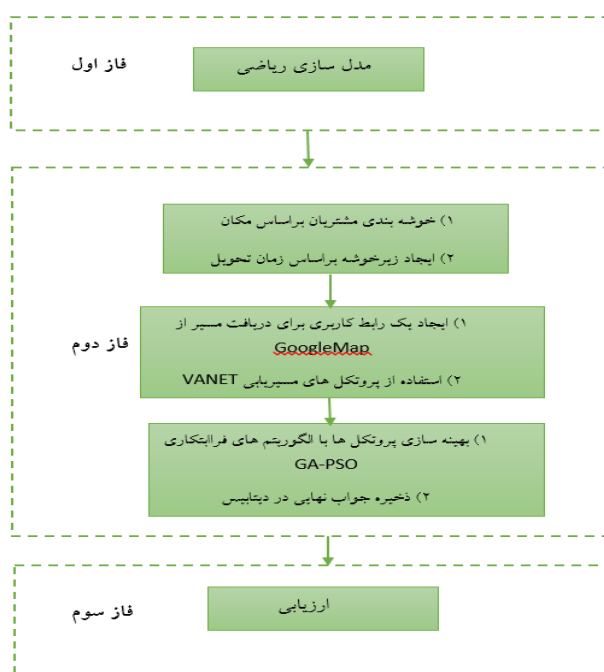
### ۳- روش پیشنهادی

این پژوهش به بهینه‌سازی مسیریابی شبکه توزیع کالا با استفاده از ITS و در سه فاز اصلی مدل‌سازی، حل مدل و ارزیابی ارائه می‌شود. با توجه به اینکه مسئله مسیریابی Np-hard می‌باشد و هرچه تعداد متغیرها بیشتر شود زمان حل با استفاده از مدل‌سازی ریاضی به صورت تصاعدی افزایش پیدا می‌کند و همچنین مسیرهای بهینه را ارائه نمی‌کند برای حل مدل ریاضی از روش فراابتکاری در کنار ITS استفاده شده است که شامل مراحل زیر است:

(۱) مدل‌سازی مسئله با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و در قالب یک مسئله VRP با در نظر گرفتن محدودیت تردد و پنجره زمانی.

(۲) حل مدل در سه گام: گام اول: با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی مشتریان بر اساس مکان خوشه‌بندی، سپس زیرخوشه‌هایی با توجه به پنجره زمانی تحویل ایجاد می‌شود. گام دوم: یک واسط کاربری، مبدا و مقصد ارائه شده توسط کاربر را به عنوان ورودی دریافت می‌کند، این واسط با ارتباط با Google Map مسیرهای موجود بین مبدا و مقصد را دریافت می‌کند. مسیرهای موجود به عنوان ورودی مرحله بعد هستند که با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی شبکه VANET اتفاقات مسیرها را اعلام و در نهایت مسیرهای ممکن به عنوان ورودی الگوریتم فراابتکاری GA-PSO تعیین می‌شوند. گام سوم: بکارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری GA-PSO جهت بهینه‌سازی و تعیین جواب (مسیر)‌های نهایی.

(۳) ارزیابی روش پیشنهادی. در نهایت روش پیشنهادی با بکارگیری ابزارهای برنامه‌نویسی پایتون پیاده‌سازی و ارزیابی خواهد شد. فلوجارت روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. فلوچارت روش پیشنهادی

### فاز اول) تعریف مسئله و مدل سازی ریاضی

مبحث مهم در سیستم‌های حمل و نقل و لجستیکی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه می‌باشد که در آن هدف، تعیین مسیرهای بهینه برای تعدادی وسیله حمل و نقل مستقر در مرکز توزیع است که باید به مجموعه‌ای از مشتریان که هر یک دارای تقاضای معینی دارند، مراجعه نموده و خدمتی ارائه دهند که مسأله مسیریابی را عنوان می‌کند. راه‌حل پیشنهادی مجموعه‌ای از مسیرهای حاوی یک صف مرتب شده از مشتریان است که در آن یک وسیله نقلیه از انبار خارج می‌شود، به ترتیب از این مشتریان بازدید می‌کند و به انبار برمی‌گردد. هدف از الگوریتم طراحی شده به حداقل رساندن مسافت کلی سفر و وسایل نقلیه با در نظر گرفتن پنجره زمانی و همچنین کمینه کردن هزینه ارسال است. مدل ریاضی به شرح زیر است:

مسئله مسیریابی شبکه توزیع مورد بررسی شامل یک ناوگان از وسایل نقلیه با ظرفیت مشخص، یک مرکز توزیع (انبار)، چند مرکز تقاضا (خرده فروش) و مسیرهایی بین مرکز توزیع تا مراکز تقاضا می‌باشد. هر وسیله نقلیه برای تامین تقاضا از یک گره مشترک به نام انبار شروع به حرکت می‌کند و ضمن مراجعه به محل‌های تقاضا، تقاضاها را تامین و مجدداً به انبار باز می‌گردد. در تعریف کلاسیک این مسئله: ۱. هر وسیله نقلیه از مرکز توزیع شروع به حرکت می‌کند و در نهایت باید به مرکز بازگردد. ۲. هر مرکز تقاضا فقط از یک وسیله نقلیه توزیع کننده خدمت دریافت می‌کند. ۳. تقاضای هر مرکز کمتر از ظرفیت وسیله نقلیه است. ۴. هیچ کدام از وسایل نقلیه بیشتر از ظرفیت  $Q$  بارگذاری نمی‌شوند. ۵. هر مرکز تقاضا دارای پنجره زمانی مشخص برای دریافت خدمت بوده و هر وسیله نقلیه باید در این بازه شروع به خدمت کند. ۶. حداکثر مسافتی که وسیله نقلیه می‌تواند طی نماید مشخص شده و بیش از آن مجاز نیست. هدف اصلی این پژوهش، کمینه‌سازی کل مسافت سفر به وسیله هدایت وسایل نقلیه به مسیرهای بهینه می‌باشد. در این پژوهش علاوه بر فرض‌ها و خصوصیات عمومی مسئله مسیریابی، وسایل

حمل و نقل نیز بصورت مختلف و متنوع در نظر گرفته شده‌اند و برای تردد وسایل نقلیه نیز محدودیت‌هایی لحاظ می‌شود به طوریکه برخی از وسایل حمل امکان تردد در بعضی از مسیرها را ندارند. مثلا در برخی مسیرها امکان تردد وسایل حمل سنگین وجود ندارد و فقط مسایل حمل و نقل سبک امکان تردد دارند.

در این تحقیق به منظور ارائه مدل VRP از گراف  $G(V,A)$  استفاده شده است که در آن  $V=(0,1,2,3,\dots,n)$  مجموع گره‌ها و  $A=\{(u,v)/u,v \in V, u \neq v\}$  مجموعه کمان‌های موجود در آن است. در این مسئله هر یک از گره‌های  $u$  به غیر از گره  $0$  که نشان‌دهنده گره انبار مرکزی است، یک مرکز تقاضا را نشان می‌دهد که دارای تقاضای  $q_u$  است. همچنین به هر کمان موجود در  $A$  فاصله  $d_{uv}$  متناظر شده است که به عنوان مسافت بین مشتریان  $u$  و  $v$  در نظر گرفته می‌شود. از طرفی ناوگانی از  $k$  نوع وسیله نقلیه متفاوت در مبدا قرار دارد به طوریکه هر وسیله نقلیه دارای ظرفیت بار  $Q_k$  می‌باشد و  $I_{uv}$  مجموعه وسایل نقلیه  $i$  هستند که بدلیل محدودیت تردد، امکان تردد بین دو گره  $u, v$  ندارند. همچنین هر گره با مقدار تقاضای  $q_u$ ، زمان سرویس  $s_u$  و یک پنجره زمان  $[e_u, l_u]$  همراه است. هر کمان  $(V_u$  و  $V_v)$  با زمان سفر  $t_{uv}$  بین گره‌های  $V_u$  و  $V_v$  مرتبط است. اگر وسیله نقلیه زودتر از  $V_u$  به مشتری برسد، می‌تواند تا  $e_u$  برای خدمات به مشتری صبر کند و یا خدمات خود را ارائه کند. اگر وسیله نقلیه بعد از  $l_u$  به مشتری برسد، نمی‌تواند به  $V_u$  سرویس‌دهی کند. هزینه متغیر برای وسیله نقلیه از  $u$  به  $v$  با استفاده از  $c$  نشان داده می‌شود که کمان‌های بین گره‌های  $(V_u$  و  $V_v)$  به عنوان هزینه آن مسیر در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای هزینه ثابت هر وسیله نقلیه با یک ارزش ثابت برای کامیون‌ها و یک ارزش ثابت کمتر از کامیون‌ها برای وانت بارها با  $\gamma^k$  نشان داده می‌شود، متغیر  $\theta$  نیز هزینه ثابت بکارگیری تجهیزات Vanet می‌باشد.

$$\begin{aligned} \text{Min} D &= \sum_{k=1}^K \sum_{u=0}^N \sum_{v=0}^N d_{uv} x_{uv}^k \\ \text{Min}(C(x)) &= \sum_{k \in V} \sum_{(u,v)} c_{uv} x_{uv}^k + \gamma^k + \theta \end{aligned} \quad (1)$$

$$x_{uv}^k = \begin{cases} 1, & \text{اگر ماشین } u \text{ به } v \text{ حرکت کند} \\ 0, & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{v=0}^N x_{v0}^k = \sum_{u=0}^N x_{u0}^k = 1 \quad (\forall k = 1, 2, \dots, K) \quad (3)$$

$$\sum_{v=0}^N x_{uv}^k = \sum_{v=0}^N x_{vu}^k = 1 \quad (u \neq v, \forall u = 1, 2, \dots, N; \forall k = 1, 2, \dots, K) \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{u=0}^N x_{uv}^k = 1 \quad (u \neq v, \forall u = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{v=0}^N x_{uv}^k = 1 \quad (u \neq v, \forall u = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$\sum_{u=0}^N q_u x_{uv}^k \sum_{v=0}^N x_{uv}^k \leq Q \quad (u \neq v, \forall k = 1, 2, \dots, K) \quad (7)$$

$$x_{uv}^k \leq 1 \quad \text{for } k \in \{I_{uv}^-\} \forall u, v = 0, 1, 2, \dots, n, u \neq v \quad (8)$$

$$\begin{aligned} t_u^k + s_u + t_{uv} - t_v^k &\leq (1 - x_{uv}^k) \cdot M \\ (u \neq v, \forall u = 0, 1, \dots, N; \forall k = 1, 2, \dots, K) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} e_v \sum_{v=0}^N x_{uv}^k &\leq t_v^k \leq l_v \sum_{v=0}^N x_{uv}^k \\ (u \neq v, \forall u = 0, 1, \dots, N; \forall k = 1, 2, \dots, K) \end{aligned} \quad (10)$$

$$x_{uv}^k \in \{0, 1\} \quad (u \neq v, \forall u, v = 0, 1, \dots, N; \forall k = 1, 2, \dots, K) \quad (11)$$

$$t_u^k + d_{uv} - t_v^k \leq M(1 - x_{uv}^k) \quad (u \neq v, \forall u \in N; \forall v \in N; \forall k = 1, 2, \dots, K) \quad (12)$$

$$\gamma^k = \begin{cases} 1, & \text{اگر وسیله نقلیه وانت باشد} \\ 2, & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$



معادله (۱) تابع هدف مسئله است که به حداقل رساندن کل مسافت سفر  $D$  است، تعداد وسایل حمل و نقل و هزینه سفر  $\text{Min}(C)$  و زمان است. معادله (۲) متغیر تصمیم‌گیری است. معادله (۳) نشان‌دهنده خروج هر وسیله نقلیه از انبار و در آخر بازگشت به محل عزیمت است. معادله (۴) محدودیت‌های حفظ جریان یک گره است. معادله (۵) و (۶) اطمینان حاصل می‌کند که هر مشتری دقیقاً یک‌بار فقط با یک وسیله نقلیه سرویس می‌یابد. معادله (۷) نشان می‌دهد که کل خواسته‌های مشتریانی که توسط یک وسیله نقلیه خدمت می‌کنند نمی‌تواند بیش از ظرفیت آن باشد. معادله (۸) محدودیت تردد وسایل نقلیه در برخی از مسیرها را تضمین می‌کند. معادله (۹) و (۱۰) محدودیت پنجره زمان را تعریف می‌کند، جایی که  $t_{ii}$  زمانی است که وسیله نقلیه  $k$  به مشتری  $u$  می‌رسد.  $M$  یک ثابت بزرگ است. معادله (۱۱) شرایط باینری را به متغیر تصمیم تحمیل می‌کند. در نهایت معادله (۱۲) با توجه به معادله (۹ و ۱۰) برای محدودیت زمانی را برای هزینه تعریف می‌کند.

### فاز دوم: حل مدل

با توجه به  $NP\text{-hard}$  بودن مسئله  $VRP$ ، با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری  $GA\text{-}PSO$  مسئله حل و مسیر بهینه جهت ارسال کالا مشخص می‌شود. برای ایجاد جمعیت اولیه از یک روش کنترل شده استفاده می‌شود تا از ایجاد جمعیت‌های تصادفی که درصد بسیار ناچیزی از آنها ممکن است مسیری را تشکیل دهند جلوگیری گردد. این روش در سه گام به شرح زیر انجام خواهد شد:

### گام اول: خوشه‌بندی

در این گام، با بکارگیری یکی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی به نام الگوریتم خوشه‌بندی  $k\text{-means}$ ، مشتری‌ها براساس مکان خوشه‌بندی می‌شوند و تمامی مشتریانی که در یک منطقه خاص هستند در یک خوشه قرار می‌گیرند. تعداد خوشه‌ها براساس تعداد منطقه‌ها به عنوان  $k$  مشخص می‌شود. پس از آن هر خوشه به زیرخوشه‌های دیگر براساس محدودیت زمانی تقسیم می‌شوند بدین صورت که مشتریان موجود در یک خوشه براساس اولویت زمان تحویل کالا به زیرخوشه‌ها تقسیم می‌شوند.

### گام دوم: تعیین جمعیت (مسیرهای) اولیه با استفاده از ابزارهای سیستم حمل و نقل هوشمند

#### الف) ایجاد رابط کاربری

اکثر سیستم‌های مسیریاب خودرو از داده‌های نقشه محلی استفاده می‌کنند و فقط می‌توانند تقاضای مشتری و اطلاعات حمل و نقل را کنترل کنند. در این بخش یک رابط کاربری<sup>۷</sup> یا  $API$  ایجاد می‌شود که مبدا و مقصد را دریافت می‌کند و با استفاده از فناوری  $Google\ Map$  به نقشه‌های مسیر دسترسی و مسیرهای موجود برای مبدا و مقصد را استخراج می‌کند و در اختیار مرحله بعدی قرار می‌دهد.

#### ب) مسیریابی اولیه با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی شبکه $Vanet$

مسئله مسیریابی خودرویی که در سیستم ما در نظر گرفته شده است، مقیاس بزرگ مسیریابی پنجره زمانی است. این نوع مشکلات چندین ویژگی دارد: (۱) پنجره زمانی مشتری سخت بنظر می‌رسد، چراکه وسیله نقلیه زودرس باید منتظر بماند تا باز شدن مشتری و ورود دیر هنگام رد می‌شود. (۲) خواسته مشتری اطلاعات بلادرنگ است، به این معنی که هنگام شروع روند مسیریابی، کلیه اطلاعات خواسته مشتری توسط برنامه‌ریز شناخته نمی‌شود و

<sup>۷</sup> Application Programming Interface (API)

قبل از شروع مسیریابی اطلاعات مشتریان وارد سیستم می‌شود. (۳) زمان سفر یا سرعت بین مشتری و انبار بسته به زمان عزیمت می‌تواند نوسان داشته باشد. (۴) تقاضای مشتری بسیار زیاد است. در طول دوره برنامه‌ریزی و انتخاب مسیر، اگر تقاضای زمان واقعی یا اطلاعات ترافیک تغییر کند، سیستم با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی، مسیرهای خودرو را به طور خودکار باید تنظیم کند به همین دلیل از پروتکل مسیریابی OLSR (پروتکل مبتنی بر توپولوژی) و GPSR (پروتکل مبتنی بر موقعیت) استفاده می‌شود. این پروتکل‌ها، پروتکل مسیریابی بوده که در شبکه‌های سیار موردی خودرو VANET استفاده می‌شود و جزو بهترین پروتکل‌های مبتنی بر توپولوژی و موقعیت هستند [۴۵]. با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی شبکه VANET اتفاقات مسیرهای انتخاب شده توسط Google Map را بررسی و در نهایت مسیرهای ممکن به عنوان جمعیت اولیه الگوریتم فراابتکاری GA-PSO تعیین می‌شوند. در صورتی که وضعیت‌های ترافیکی تغییر کند، شبکه VANET به عنوان بخش پویای مدل، وضعیت‌های ترافیکی جدید را بررسی و اطلاعات جدید را جهت بررسی مجدد مسیر به الگوریتم فراابتکاری ارسال می‌کند.

### گام سوم: بهینه‌سازی مسیریابی با استفاده از الگوریتم فراابتکاری GA-PSO

طی چند سال گذشته، روش‌های جدیدی برای حل مشکلات بهینه‌سازی ترکیبی با پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های یادگیری ابداع شده است که به آنها بهینه‌سازی ترکیبی می‌گویند. با تطبیق پارامترها در پروتکل‌های مسیریابی، این روش می‌تواند بار محاسباتی را از مرحله توسعه راه‌حل مبتنی بر برنامه‌ریزی آنلاین و پروتکل به مرحله آفلاین منتقل کند. در نتیجه، فرایند تصمیم‌گیری می‌تواند به سرعت تسریع شود، که در آن کیفیت راه‌حل‌ها به شدت وابسته به معماری الگوریتم‌های فراابتکاری انتخابی است. طیف گسترده‌ای از مشکلات تحقیقاتی از روش‌های فراابتکاری برای حل مشکلات یکپارچه توزیع استفاده می‌کند. هدف از این روش‌ها دستیابی به یک راه‌حل تقریباً بهینه برای یک مشکل معین است. استفاده گسترده از الگوریتم‌های GA همراه با استفاده از دیگر روش‌های فراابتکاری مختلف برای چنین مشکلاتی راه‌حلی مرسوم است، که در این تحقیق از الگوریتم PSO برای فرار از بهینه محلی در GA استفاده شده است.

با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش، کمینه کردن کل مسیر سفر به وسیله هدایت وسایل نقلیه به جای استفاده از مسیرهای طولانی است، لذا از هر دو توانایی جستجوی فراگیر (الگوریتم GA) و محلی (الگوریتم PSO) و همچنین مسیریابی شبکه VANET برای دستیابی به بهترین جواب ممکن با کارایی بهتر به طور هم‌زمان استفاده خواهد شد. پس از ارائه بهترین مسیر به کاربر، مسیر در پایگاه داده/دیتابیس ذخیره و در مسیریابی‌های آتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این بخش تمامی مسیرهای رفت وسایل حمل و نقل با میانگین زمان، به همراه روز، تاریخ و زمان ارسال، ذخیره می‌شود. پس از جمع‌آوری موارد فوق تا زمانی که برای هر خرده فروش/مشتری حداقل ۱۰ رکورد ثبت شده باشد، عملیات انتخاب بهترین مسیر برای هر مشتری/خرده فروش براساس روز و ساعت حرکت انجام می‌شود و به عنوان یک راه حل برای تشکیل جمعیت (الگوریتم GA-PSO) نشان داده می‌شود.

### فاز سوم: ارزیابی مدل و پیاده‌سازی

پیاده‌سازی با توجه به محدودیت‌های تردد در تعداد کم، متوسط و زیاد انجام می‌شود که با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون اجرا شده است. در این مساله هدف اولیه این است که با تعداد وسیله نقلیه‌های کمتری به همه

مشتریان سرویس‌دهی شود و هدف بعدی میزان کل مسافت طی شده را کمینه کنیم. بنابراین جهت ارزیابی الگوریتم‌های مختلف می‌بایست این دو پارامتر مدنظر قرار گرفته شود.

۱. کمینه‌سازی تعداد وسایل نقلیه استفاده شده

۲. کمینه‌سازی کل مسیره‌ها (مسافت کل پیموده شده توسط وسایل نقلیه)

برای گرفتن نتایج اجرای الگوریتم از سیستمی با سیستم عامل ویندوز ۱۰، پردازنده مرکزی ۵I Core-۱۰ با میزان حافظه اصلی ۸ گیگابایت استفاده شده است.

#### ۴- مجموعه داده

در این پژوهش جهت اجرا و ارزیابی الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده، از مجموعه داده‌های Solomon استفاده شده است. این مجموعه داده‌ها در سال ۱۹۸۴ جهت مساله VRPTW ارایه شده‌اند. در این مجموعه داده‌ها جهت بررسی و هایلایت کردن تاثیرات مختلف بر روی کارایی الگوریتم بر روی پارامترهای مختلفی کار شده است. این فاکتورها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بر روی رفتار زمان‌بندی و مسیریابی الگوریتم تاثیر می‌گذارند. فاکتورهای موثر جهت تاثیرگذاری شامل موارد زیر می‌باشد:

- چیدمان جغرافیایی مشتریان

- درصد قیده‌های زمانی مشتریان

- تعداد مشتریانی که توسط یک وسیله نقلیه سرویس داده می‌شود

این مجموعه داده به دسته‌هایی تقسیم بندی می‌شود. این مجموعه‌ها C, R و RC نامیده می‌شوند. در مجموعه‌های R داده‌ها از نظر مکانی به صورت تصادفی تولید شده‌اند. در مجموعه‌های C داده‌ها از نظر مکانی دسته‌بندی شده‌اند. در مجموعه‌های RC نیز داده‌ها به صورت تصادفی دسته‌بندی شده و به صورت همزمان قرار گرفته‌اند. مشخصات مجموعه داده Solomon در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱) مشخصات مجموعه داده Solomon

مجموعه داده	تعداد مشتریان	نام در نتایج
C <sub>۱۰۱</sub>	۲۵	C <sub>۱۰۱_۲۵</sub>
	۵۰	C <sub>۱۰۱_۵۰</sub>
	۱۰۰	C <sub>۱۰۱_۱۰۰</sub>
R <sub>۱۰۱</sub>	۲۵	R <sub>۱۰۱_۲۵</sub>
	۵۰	R <sub>۱۰۱_۵۰</sub>
	۱۰۰	R <sub>۱۰۱_۱۰۰</sub>
RC <sub>۱۰۱</sub>	۲۵	RC <sub>۱۰۱_۲۵</sub>
	۵۰	RC <sub>۱۰۱_۵۰</sub>
	۱۰۰	RC <sub>۱۰۱_۱۰۰</sub>

### ۵- نتایج عددی

در ابتدا مدل ریاضی پیشنهادی با مجموعه ۱۰-۱۰۱ C اجرا شده که نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به نتایج درمی‌یابیم که مدل ریاضی به تنهایی نمی‌تواند جواب‌های بهینه را برای مسیریابی ارائه دهد. همانطور که قبلاً عنوان شده این امر موجب افزایش زمان و ارائه مسیرهای غیربهینه می‌شود که برای جبران این موضوع از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است.

جدول (۲) مقایسه نتایج مسیریابی با مدل ریاضی و الگوریتم ژنتیک

زمان اجرا (S)	نتایج	روش
۳۹۵	۳۷۰	مدل ریاضی ۱۰-۲۵ C
۱۸۰	۳۶۳	الگوریتم فراابتکاری ژنتیک C ۱۰-۲۵

به منظور اجرای الگوریتم‌های GA-PSO می‌بایست پارامترهای آن تنظیم شوند. در جدول (۳) پارامترهای تنظیم شده برای الگوریتم‌های فوق آورده شده است. شایان ذکر است جهت رسیدن به تنظیمات بهینه پارامترها مقادیر مختلفی آزمایش شده است و این مقادیر از بین آن‌ها انتخاب شده است.

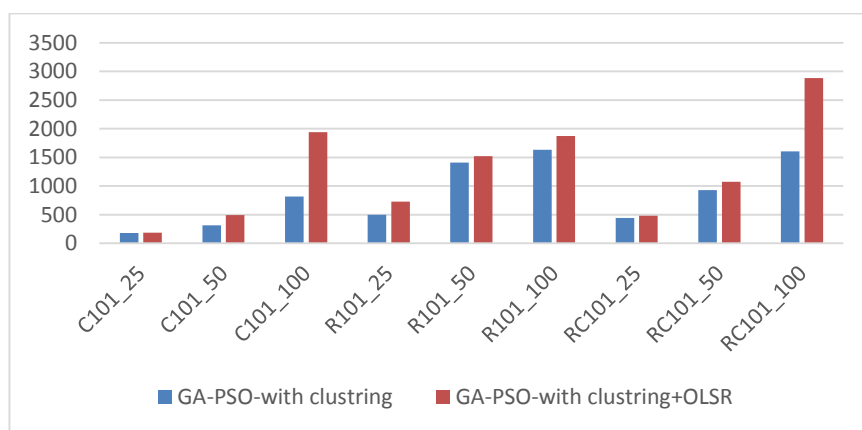
جدول (۳) پارامترهای تنظیم شده برای الگوریتم‌های GA-PSO

الگوریتم PSO		الگوریتم GA	
۱۰۰	تعداد ذرات	۱۰۰	تعداد جمعیت
۱۰۰۰	تعداد تکرار الگوریتم	۱۰۰۰	تعداد تکرار الگوریتم
۲	سرعت ذرات	۰,۹۵	نرخ تقاطع
۲	سرعت جمعی	۰,۰۲	نرخ جهش
۱,۵	محدوده سرعت	جایگزینی فرزندها به صورت کامل + بهترین جواب	نوع انتخاب نسل بعد

یکی از ایده‌های مطرح در این پژوهش استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی در ورودی الگوریتم‌ها می‌باشد. به گونه‌ای که ابتدا الگوریتم خوشه‌بندی k-means را بر روی داده‌ها اجرا کرده و سپس مشتریانی که در نزدیکی هم قرار دارند، در یک خوشه قرار می‌گیرند. سپس مشتریان خوشه‌بندی شده براساس بازه زمانی سرویس‌دهی به زیرخوشه‌هایی تقسیم می‌شوند بنابراین پس از انجام خوشه‌بندی، الگوریتم‌های فوق بر روی داده‌های خوشه‌بندی شده اجرا می‌شوند.

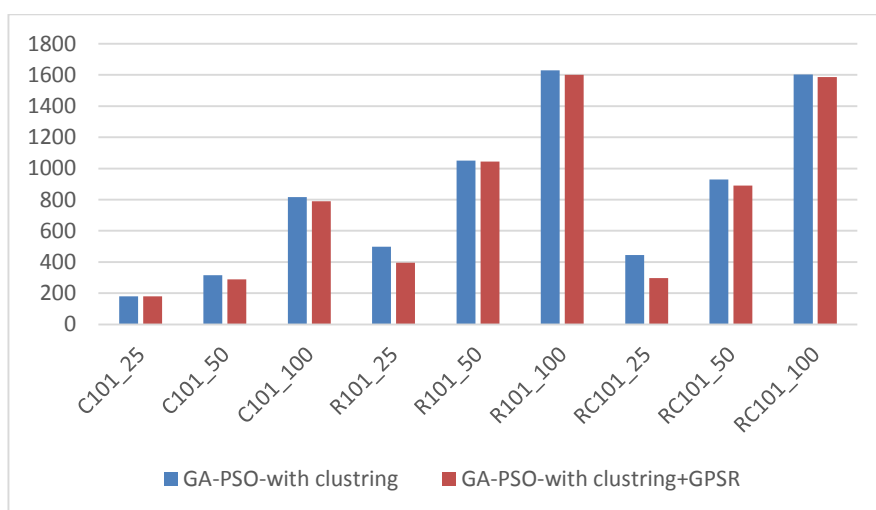
جهت ارزیابی ایده خوشه‌بندی مطرح شده در این پژوهش، ابتدا مجموعه داده‌ها براساس موقعیت مکانی با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی k-means خوشه‌بندی می‌شوند. برای انتخاب تعداد K یا خوشه‌ها،  $k=[2,3,\dots,10]$  تست شد که بهترین جواب مربوط به  $K=5$  بود که در این پژوهش داده‌های مجموعه داده به ۵ خوشه تقسیم‌بندی می‌شوند. سپس خوشه‌ها، با توجه به بازه زمانی مشتریان جهت سرویس‌دهی به ۲ زیرخوشه ( $k=2$ ) تقسیم می‌شوند.

همچنین از شبکه Vanet برای استفاده از اطلاعات مربوط به اطلاعات حرکت وسایل نقلیه (به عنوان مثال، موقعیت، جهت، سرعت و نقشه‌برداری دیجیتال از جاده‌ها) برای پیش‌بینی یک رویداد احتمالی قطع اتصال قبل از وقوع آن استدلال می‌شود. با توجه به اینکه با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری و خوشه‌بندی توانستیم مسیریابی برای سرویس‌دهی به مشتریان و تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده را بهینه‌سازی کنیم، در اینجا از دو پروتکل Vanet جهت استفاده از اطلاعات مسیر استفاده می‌شود که نتایج در شکل (۲ و ۳) نشان داده شده است.



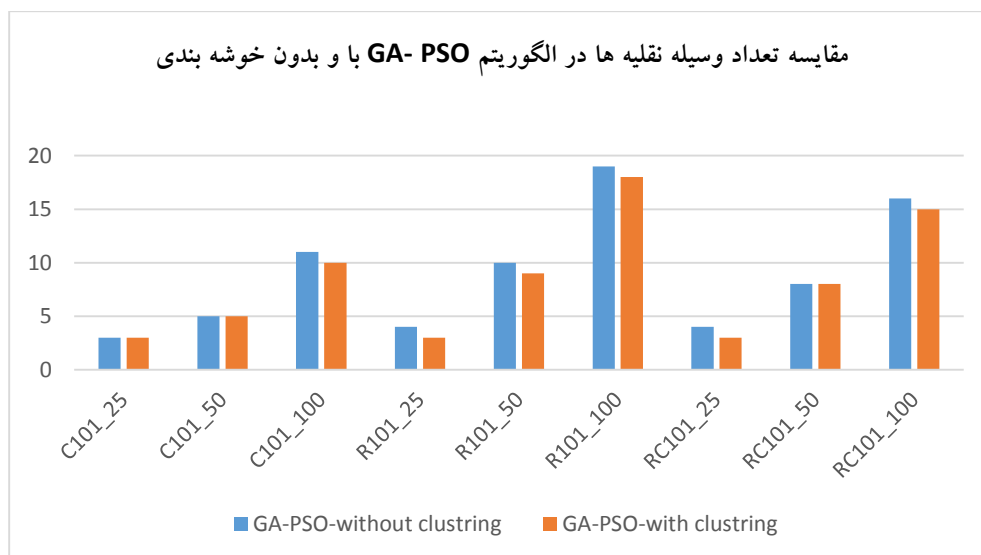
شکل (۲) مقایسه الگوریتم با خوشه‌بندی مجموعه داده و استفاده از پروتکل OLSR مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه

استفاده از پروتکل OLSR برای روش پیشنهادی مناسب نبوده چراکه باعث شده مسافت بیشتری نسبت به حالت عادی طی شود که این امر منجر به افزایش مسافت و همچنین افزایش هزینه می‌شود.



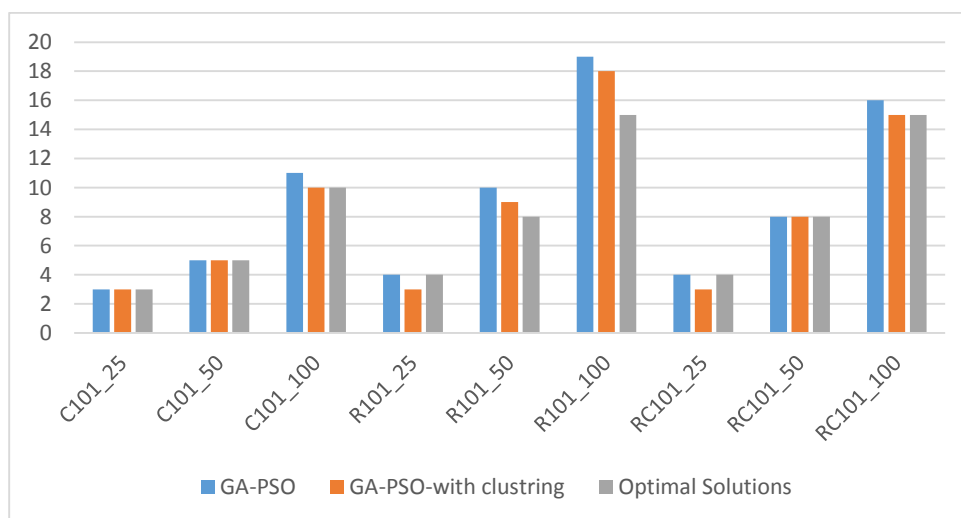
شکل (۳) مقایسه الگوریتم با خوشه‌بندی مجموعه داده و استفاده از پروتکل GPSR مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه

با توجه به نتایج فوق استفاده از پروتکل GPSR در جهت مسیریابی باعث بهبود نتایج ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری می‌شود، اگرچه این بهبود مسافت کم می‌باشد. براین اساس پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت در ترکیب با الگوریتم‌های فراابتکاری عملکرد بهتری را نسبت به پروتکل‌های مبتنی بر توپولوژی دارند. تمامی مسیرهای انتخاب شده در این مرحله در دیتابیس ذخیره می‌شود که برای مسیریابی‌های آتی از آن استفاده شود. در شکل‌های (۴) تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز جهت سرویس‌دهی نشان داده شده است.

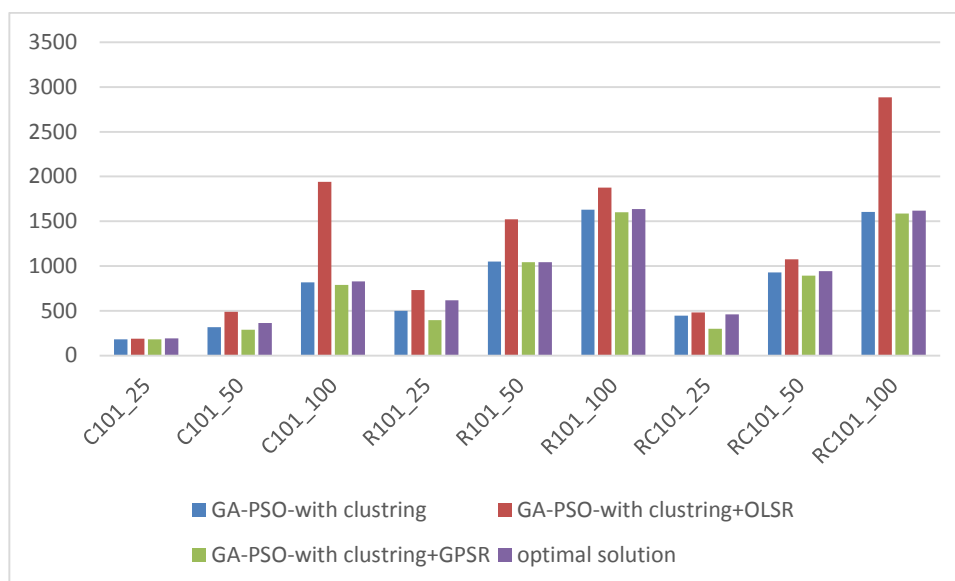


شکل (۴) مقایسه الگوریتم GA-PSO بدون خوشه‌بندی و در حالت خوشه‌بندی و استفاده تعداد وسایل نقلیه

در شکل (۵) مقایسه‌ای از نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی به همراه خوشه‌بندی و بدون آنها، برای تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز با نتایج بهینه مجموعه داده موجود در کوهل، هومبرگر و همکاران، روچت و همکاران و تایلرد و همکاران [۵۸-۵۹-۶۰-۶۱] نشان داده شده است.



شکل (۵) تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده



شکل (۶) مقایسه‌ای از نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی به همراه خوشه‌بندی و پروتکل Vanet و بدون آنها با نتایج بهینه مجموعه داده

با توجه به نتایج شکل (۵) در بیشتر مجموعه داده‌ها جواب بهینه با جواب نهایی روش پیشنهادی مشابه است و در برخی مجموعه‌ها مانند R101-50 و R101-100 حتی تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده کمتر از مقدار بهینه مجموعه داده است. با این حال روش پیشنهادی این تحقیق توانسته به جواب‌های بهینه‌ای در مورد وسایل نقلیه مورد استفاده برای سرویس‌دهی به مشتریان برسد.

در شکل (۶) استفاده از خوشه‌بندی برای مجموعه داده‌ها باعث شد که مسافت طی شده روش پیشنهادی نسبت به جواب‌های بهینه مجموعه داده Solomon جز مجموعه داده R101-50 کاهش پیدا کرده است. همچنین استفاده از Vanet برای مسیریابی و ارسال اطلاعات مربوط به جاده بسیار کارآمد بوده که مسافت طی شده را نسبت به جواب‌های بهینه جهانی کاهش داده است و جای امیدواری است که در پژوهش‌های کاربردی آتی از این مورد برای مسیریابی لجستیک استفاده شود.

با توجه به اینکه یکی دیگر از اهداف این پژوهش بهینه کردن هزینه ارسال است، نتایج هزینه ارسال برای روش پیشنهادی با Vanet و بدون آن، نتایج اولیه Solomon و برای مقایسه با نتایج مقاله [۶۵] در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴) مقایسه نتایج تابع هزینه با نتایج Solomon و نتایج مقاله [۶۵]

مجموعه داده	نتایج روش پیشنهادی با Vanet	نتایج روش پیشنهادی بدون Vanet	نتایج اولیه Solomon	نتایج مقاله [۶۵]
R101	۱۶۴۴,۵۸	۱۶۴۳,۲۵	۱۷۴۷,۱۲	۱۶۴۵,۷۹
C101	۸۲۴,۶۴	۸۲۳,۲۱	۹۲۹,۲۱	۸۲۸,۹۴
RC101	۱۶۹۶,۷۳	۱۶۹۵,۰۱	۱۷۹۳,۰۱	۱۷۰۱,۲۱

از جدول فوق می‌توان مشاهده کرده که روش پیشنهادی بدون ونت نسبت به نتایج اولیه Solomon و مقاله [۶۵]، نتایج بهتر را نشان می‌دهد. همچنین نتایج روش پیشنهادی با ونت نیز نسبت به سایر نتایج بهبود داشته و تفاوت کمی در مقایسه با هزینه روش پیشنهادی بدون ونت دارد که با توجه به موارد ترافیک یا محدودیت جاده‌ای، وسیله نقلیه مجبور به تغییر مسیر شده که این امر در برخی مسیرها موجب افزایش هزینه و در برخی مسیرهای دیگر موجب کاهش هزینه شده است.

#### ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه‌سازی ذرات و ترکیب آن‌ها را بر روی مجموعه داده‌های استاندارد Solomon اجرا کرده و نتایج آن گرفته شده است. با استفاده از خوشه‌بندی می‌توان مشتریان نزدیک به هم را در یک خوشه قرار داده و براساس محدودیت زمان به آن‌ها سرویس داد. هر چقدر مشتری‌های نزدیک به هم توسط یک وسیله نقلیه سرویس‌دهی شوند هم در تعداد وسیله نقلیه‌های مورد استفاده و هم در مسافت طی شده کلی صرفه‌جویی می‌شود. الگوریتم ترکیبی ژنتیک-بهینه‌سازی ذرات فضای مساله را بسیار بیشتر جستجو می‌کند. همان گونه که قبلاً ذکر گردید ممکن است الگوریتم ژنتیک نتواند بهینه‌های محلی را خوب پیدا کند، یا برعکس در بهینه‌های محلی گیر کند، استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ذرات به همراه الگوریتم ژنتیک باعث می‌شود شانس پیدا کردن بهینه سراسری بسیار بیشتر شود. همچنین استفاده از پروتکل GPSR باعث بهبود نتایج نسبت به پروتکل OLSR شد. با توجه به نتایج پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت در ترکیب با الگوریتم‌های فراابتکاری عملکرد بهتری را نسبت به پروتکل‌های مبتنی بر توپولوژی دارند.

با توجه به اینکه سوال اصلی این پژوهش مربوط به بهینه‌سازی مسیریابی شبکه توزیع کالا با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری و حمل و نقل هوشمند بود، می‌توان عنوان کرد که با توجه به یافته‌های بخش نتایج ترکیب این دو الگوریتم با هم نسبت به دو الگوریتم به تنهایی نتایج قابل قبولی داشتند که با توجه به نتایج بهینه مجموعه داده برای تعداد وسایل نقلیه درگیر سرویس‌دهی و مسافت طی شده که سایر پژوهشگران از مجموعه داده بدست آورده‌اند نتایج این پژوهش نزدیک به نتایج بهینه است [۵۸]. همان گونه که قبلاً ذکر گردید الگوریتم ژنتیک در یافتن جواب‌های بهینه‌های محلی ناکارآمد بود که با ترکیب با الگوریتم PSO این مشکل برطرف شد و الگوریتم ترکیبی در جستجوی محلی بهینه‌ترین مسیر را با وجود محدودیت‌های تردد انتخاب کرد. همچنین استفاده از پروتکل مبتنی بر موقعیت GPSR نسبت به پروتکل مبتنی بر توپولوژی OLSR کل مسافت طی شده را بهبود داده است.

مطالعه جدول [۶۲] با الگوریتم‌های فراابتکاری کلونی مورچه و کرم شب تاب توانسته به نتایج مشابه به نتایج بهینه و روش پیشنهادی این مطالعه دست یابد. همچنین مطالعه جرنهدن [۶۳] نیز با استفاده از الگوریتم‌های ترکیبی SPSO و MILP نیز توانسته نتایجی نزدیک به نتایج بهینه بدست آورد. تحقیق کانس و همکاران [۶۴] هم با ادغام الگوریتم‌های MVO-GHO نیز نتایجی مشابه به کارهای قبلی بدست آورد.

نتایج تابع هزینه محاسبه شده برای روش پیشنهادی بدون و با ونت نتایج بهتری را نسبت به مقاله مهدی و همکاران [۶۵] و نتایج اولیه Solomon به همراه داشت. همچنین نتایج روش پیشنهادی بدون ونت نسبت به روش پیشنهادی با ونت کمتر بود که به دلیل مسیریابی جدید در ترافیک نتایج تابع هزینه روش پیشنهادی با ونت کمی افزایش نسبت به روش پیشنهادی بدون ونت داشته است که دلیل آن هزینه تجهیزات ونت می‌باشد.



با توجه به اینکه شهرها به سوی ITS گام برمی‌دارند می‌توان از این تحقیق برای اجرای سیستم‌های مسیریابی حوزه توزیع استفاده نمود. حتی استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی نیز باعث کاهش استفاده از وسایل نقلیه شد که این امر تاثیر به‌سزایی در کاهش هزینه و استهلاک برای زنجیره تامین به همراه دارد.

نتایج ما پیامدهای مدیریتی مهمی دارد، به‌ویژه برای تصمیم‌گیرندگانی که می‌خواهند یک زنجیره تامین بسازند تا تقاضای رو به رشد بازارها را برآورده کنند. از نظر روش این مقاله به طور ابتکاری اهداف متعددی را برای مطالعه جامع مسیریابی مکان و موجودی مرکز توزیع و مشتریان در نظر می‌گیرد که می‌تواند به طور جامع‌تری مشکلات عملیات مدیریت را تحلیل کند. علاوه بر این، در این مطالعه از دو الگوریتم اکتشافی برای حل مسائل چند هدفه به همراه ITS استفاده شده و استفاده از Vanet ایده جدیدی برای حل مسائل چندهدفه ارائه می‌دهد. همچنین برای تصمیم‌گیرندگان، مکان، موجودی و برنامه‌ریزی مسیریابی بین مرکز توزیع و مشتریان بسیار مهم است. هر پیوندی بر هزینه اقتصادی و انتشار کربن تأثیر می‌گذارد که تصمیم‌گیرندگان باید هنگام برنامه‌ریزی وضعیت خود را به دقت در نظر بگیرند. علاوه بر این، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند مسیریابی توزیع و زمان تحویل را با توجه به وضعیت مسیر اعم از ترافیک، خرابی جاده و غیره تنظیم کنند تا سود خود را بهبود بخشند. همچنین سرعت خودرو می‌تواند به طور قابل‌توجهی بر هزینه‌های اقتصادی و انتشار کربن تأثیر بگذارد.

از آنجایی که در این پژوهش از الگوریتم‌های فراابتکاری GA و PSO استفاده شده، پژوهشگران دیگر می‌توانند ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر به همراه خوشه‌بندی و شبکه Vanet برای مسیریابی استفاده کنند. همچنین می‌توان از الگوریتم‌های خوشه‌بندی دیگر و طبقه‌بندی برای دسته‌بندی مجموعه داده نیز استفاده کرد. در این پژوهش از دو پروتکل شبکه Vanet استفاده شد که سایر محققان می‌توانند از سایر پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت و مبتنی بر مکان استفاده کنند و نتایج را با این پژوهش مقایسه کنند. با توجه به اینکه مدت زمان اجرا بر روی سیستم موردنظر بسیار زیاد بود، پیشنهاد می‌گردد جهت پیاده‌سازی از ابزار کلان داده‌ها مانند هادوپ، اسپارک و غیره استفاده شود که با ایجاد Master-Slave، پردازش بین Slaveها تقسیم می‌شود و مدت زمان اجرا به طور چشمگیری کاهش خواهد یافت.

## فهرست منابع و مراجع

- [۱] Dehbari, S., and Pourrosta, A., and Naderi Bani, M., and Ghobadian, A., and Tavakoli Moghadam, R. (۱۳۹۱). Multi-purpose transport routing with potential service time and fuzzy demand under time window constraints. *Operations Research in Its Applications (Applied Mathematics)*, ۹(۴ (۳۵ consecutive)), ۸۵-۱۰۶.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=۱۸۹۱۷۵>(Persian)
- [۲] Khademi Zare, Hassan, Taqwa, & Lotfi. (۲۰۱۸). The problem of routing multi-seat vehicles and multi-product with fuzzy time window, multiple goals and flexibility in determining the seat. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, ۲۸ (۴), ۵۵۹-۵۷۱. (Persian)
- [۳] Rahimi Amir Massoud, Rajabi Tawarat, Vahid (۲۰۱۵). Provide a hybrid algorithm to solve the vehicle routing problem with the simultaneous receipt and delivery of goods. *Amirkabir Scientific Research Journal. Civil and Environmental Engineering*. ۳۸۵ to ۳۷۵, Page ۱۳۹۵, Winter ۴, No. ۴۸ Volume. (Persian)
- [۴] Jafari, Azizaleh, Tavakoli Moghadam, Reza, Forghani, Mohsen, Arab, Rahmat. (۱۳۹۵). Mathematical modeling for the problem of routing vehicles with reverse transport and solving it with multiple ant colony algorithm. *Production and Operations Management*, ۷ (۱), ۲۱۵-۲۳۴. doi: ۱۰.۲۲۱۰۸ / jpom.۲۰۱۶.۲۰۹۲۰(Persian)
- [۵] Hosseini, S., and Hassani, A. (۱۳۹۷). Modeling and solving the problem of vehicle routing (VRP) in the supply chain distribution sector, taking into account traffic restrictions (technical note). *Industrial Engineering and Management (Sharif Special Engineering Sciences)*, ۳۴-۱ (۱/۱), ۱۴۷-۱۵۵.  
<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=۴۸۴۶۲۶>(Persian)
- [۶] Mehdizadeh, Ismail, & Mirkhanzadeh. (۲۰۱۶). Optimal routing in the milkshake logistics problem with time constraints and incompatible demand. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, ۲۶ (۴), ۴۵۵-۴۷۱. (Persian)
- [۷] Ebadati Mehdi. (۱۳۹۲). Presenting an Algorithm for Integrated Location-Routing Problem (Comparison with Other Repetitive and Hierarchical Methods) Master Thesis. (Persian)
- [۸] Mahjoubnia, Meysam, Dabiri, Nouredin, Bozorgi Amiri, Ali. (۱۳۹۶). Introducing a new model of location-routing-green inventory under uncertainty. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, ۵ (۱۰), ۹۹-۱۱۵. doi: ۱۰۲۲۰۸۴ / ier.۲۰۱۷.۹۷۶۱.۱۴۶۷(Persian)

- [۹] Eidi, Alireza, Alavi, Seyed Hadi. (۱۳۹۴). Periodic reversing of vehicles in reverse logistics with eligible customers. *Scientific Journal of Supply Chain Management*, ۱۷ (۴۹), ۸۴-۹۳. (Persian)
- [۱۰] Nadizadeh Ardakani Ali. (. ۲۰۱۴) Government - Ministry of Science, Research, and Technology - Yazd University - Faculty of Engineering. ۱۳۹۳. PhD Development of a model for the problem of locating-routing vehicles in the supply chain in a dynamic state with an uncertainty approach
- [۱۱] Hosseini, Seyed Mohammad Hassan, Khalaji Aliaei, Soheila. (۱۳۹۴). Mathematical modeling of the location-routing problem taking into account the capacity, diversity and limitations of transportation and development of a solution model based on the ant colony algorithm. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, ۳ (۵), ۹۱-۱۰۵.
- [۱۲] Brown, M. (۲۰۲۰). Smart Transport. In *Smart Cities in Application* (pp. ۶۹-۸۳). Springer, Cham.
- [۱۳] Chang, Y. C., & Lee, C. Y. (۲۰۰۴). Machine scheduling with job delivery coordination. *European Journal of Operational Research*, ۱۵۸(۲), ۴۷۰-۴۸۷.
- [۱۴] Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L., & Paksoy, T. (۲۰۰۶). A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks. *Computers & industrial engineering*, ۵۱(۱), ۱۹۶-۲۱۵.
- [۱۵] Saeedi Mehrabad, M., Aazami, A., & Goli, A. (۲۰۱۷). A location-allocation model in the multi-level supply chain with multi-objective evolutionary approach. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, ۱۰(۳), ۱۴۰-۱۶۰.
- [۱۶] Bank, M., Mazdeh, M., & Heydari, M. (۲۰۲۰). Applying meta-heuristic algorithms for an integrated production-distribution problem in a two level supply chain. *Uncertain Supply Chain Management*, ۸(۱), ۷۷-۹۲.
- [۱۷] Djatna, T., & Amien, G. (۲۰۲۰). Bi-objective freight scheduling optimization in an integrated forward/reverse logistic network using non-dominated sorting genetic algorithm-II. *Decision Science Letters*, ۹(۱), ۹۱-۱۰۶.
- [۱۸] Parkhi, S., Jagadeesh, D., & Kumar, R. A. (۲۰۱۴). A study on transport cost optimization in retail distribution. *Journal of Supply Chain Management Systems*, ۳(۴), ۳۱-۳۸.
- [۱۹] Tseng, Y. Y., Yue, W. L., & Taylor, M. A. (۲۰۰۵, October). The role of transportation in logistics chain. *Eastern Asia Society for Transportation Studies*

- [۲۰] Hiassat, A., Diabat, A., & Rahwan, I. (۲۰۱۷). A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products. *Journal of manufacturing systems*, ۴۲, ۹۳-۱۰۳.
- [۲۱] Rohmer, S. U. K., Claassen, G. D. H., & Laporte, G. (۲۰۱۹). A two-echelon inventory routing problem for perishable products. *Computers & Operations Research*, ۱۰۷, ۱۵۶-۱۷۲.
- [۲۲] Azad, N., Aazami, A., Papi, A., & Jabbarzadeh, A. (۲۰۱۹, July). A two-phase genetic algorithm for incorporating environmental considerations with production, inventory and routing decisions in supply chain networks. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion* (pp. ۴۱-۴۲).
- [۲۳] Manavizadeh, N., Shaabani, M., & Aghamohamadi, S. (۲۰۱۹). Designing a green location routing inventory problem considering transportation risks and time window: a case study. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, ۰۰۰.
- [۲۴] Fazayeli, S., Eydi, A., & Kamalabadi, I. N. (۲۰۱۸). Location-routing problem in multimodal transportation network with time windows and fuzzy demands: Presenting a two-part genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, ۱۱۹, ۲۳۳-۲۴۶.
- [۲۵] Rahimi, M., Baboli, A., & Rekik, Y. (۲۰۱۷). Multi-objective inventory routing problem: A stochastic model to consider profit, service level and green criteria. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, ۱۰۱, ۵۹-۸۳.
- [۲۶] Nikfarjam, A., & Moosavi, A. (۲۰۲۰). An integrated (1, T) inventory policy and vehicle routing problem under uncertainty: an accelerated Benders decomposition algorithm. *Transportation Letters*, ۱-۲۲.
- [۲۷] Saragih, N. I., Bahagia, N., & Syabri, I. (۲۰۱۹). A heuristic method for location-inventory-routing problem in a three-echelon supply chain system. *Computers & Industrial Engineering*, ۱۲۷, ۸۷۵-۸۸۶.
- [۲۸] Tavakkoli-Moghaddam, R., Forouzanfar, F., & Ebrahimnejad, S. (۲۰۱۳). Incorporating location, routing, and inventory decisions in a bi-objective supply chain design problem with risk-pooling. *Journal of Industrial Engineering International*, ۹(۱), ۱۹.
- [۲۹] Zhu, L., & Hu, D. (۲۰۱۹). Study on the vehicle routing problem considering congestion and emission factors. *International Journal of Production Research*, ۵۷(۱۹), ۶۱۱۵-۶۱۲۹.
- [۳۰] Chen, D., Zhang, X., Gao, D., Gao, K., Wen, M., & Huang, Z. (۲۰۲۰, October). Logistics Distribution Path Planning Based on Fireworks Differential Algorithm. In *2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (pp. ۲۷۹۷-۲۸۰۲).

- [۳۱] Gómez-Montoya, R. A., Cano, J. A., Cortés, P., & Salazar, F. (۲۰۲۰). A Discrete Particle Swarm Optimization to Solve the Put-Away Routing Problem in Distribution Centres. *Computation*, ۸(۴), ۹۹.
- [۳۲] Qin, G. Y., Tao, F. M., & Li, L. X. (۲۰۱۹, December). A Green Vehicle Routing Optimization Model with Adaptive Vehicle Speed Under Soft Time Window. In ۲۰۱۹ IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (pp. ۱-۵). IEEE.
- [۳۳] Bouk, S. H., Ahmed, S. H., Kim, D., & Song, H. (۲۰۱۷). Named-data-networking-based ITS for smart cities. *IEEE Communications Magazine*, ۵۵(۱), ۱۰۵-۱۱۱.
- [۳۴] Menouar, H., Guvenc, I., Akkaya, K., Uluagac, A. S., Kadri, A., & Tuncer, A. (۲۰۱۷). UAV-enabled intelligent transportation systems for the smart city: Applications and challenges. *IEEE Communications Magazine*, ۵۵(۳), ۲۲-۲۸.
- [۳۵] Gohar, M., Muzammal, M., & Rahman, A. U. (۲۰۱۸). SMART TSS: Defining transportation system behavior using big data analytics in smart cities. *Sustainable cities and society*, ۴۱, ۱۱۴-۱۱۹.
- [۳۶] Abbas, M. T., Jibrán, M. A., Afaq, M., & Song, W. C. (۲۰۱۹). An adaptive approach to vehicle trajectory prediction using multimodel Kalman filter. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, e۳۷۳۴.
- [۳۷] Al-qutwani, M., & Wang, X. (۲۰۱۹). Smart Traffic Lights over Vehicular Named Data Networking. *Information*, ۱۰(۳), ۸۳.
- [۳۸] Swarnamugi, M., & Chinnaiyan, R. (۲۰۲۰). Context—Aware Smart Reliable Service Model for Intelligent Transportation System Based on Ontology. In *Proceedings of ICRIC ۲۰۱۹* (pp. ۲۳-۳۰). Springer, Cham.
- [۳۹] Lee, W. H., & Chiu, C. Y. (۲۰۲۰). Design and Implementation of a Smart Traffic Signal Control System for Smart City Applications. *Sensors*, ۲۰(۲), ۵۰۸.
- [۴۰] Skabardonis, A. (۲۰۲۰). Traffic management strategies for urban networks: smart city mobility technologies. In *Transportation, Land Use, and Environmental Planning* (pp. ۲۰۷-۲۱۶). Elsevier.
- [۴۱] Liu, L., Gao, C., Mao, J., Lu, W., & Chen, Y. (۲۰۲۰). The Theoretical Concept and Method System of Traffic Congestion Control of Urban Road Network with Intelligent Transportation Systems. In *ICTE ۲۰۱۹* (pp. ۱۹۰-۱۹۸). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

- [۴۲] Rahimi S, Jamali MA. A hybrid geographic-DTN routing protocol based on fuzzy logic in vehicular ad hoc networks. *Peer-to-Peer Networking and Applications*. ۲۰۱۸:۱-۴.
- [۴۳] Raw RS, Kadam A. Performance Analysis of DTN Routing Protocol for Vehicular Sensor Networks. In *Next-Generation Networks ۲۰۱۸* (pp. ۲۲۹-۲۳۸). Springer, Singapore.
- [۴۴] DE ANDRADE, Gil Eduardo, et al. Message routing in vehicular delay-tolerant networks based on human behavior. In: *Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP)*, ۲۰۱۶ ۱۰th International Symposium on. IEEE, ۲۰۱۶. p. ۱-۶.
- [۴۵] Mehra, R., & Dudeja, R. (۲۰۲۰). SECURE OLSR ROUTING PROTOCOL BASED ON HASH CHAIN FOR EFFICIENT CLUSTERING IN VANET. *Journal of Natural Remedies*, ۲۱(۲), ۱۱۳-۱۲۰.
- [۴۶] Oyakhire, O., & Gyoda, K. (۲۰۲۰, July). Improved OLSR considering node density and residual energy of nodes in dense networks. In *۲۰۲۰ ۳۵th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)* (pp. ۱۶۱-۱۶۵). IEEE.
- [۴۷] Jain, R., & Kashyap, I. (۲۰۲۰). Energy-Based Improved MPR Selection in OLSR Routing Protocol. In *Data Management, Analytics and Innovation* (pp. ۵۸۳-۵۹۹). Springer, Singapore.
- [۴۸] Oyakhire, O., & Gyoda, K. (۲۰۲۰). Improved Proactive Routing Protocol Considering Node Density Using Game Theory in Dense Networks. *Future Internet*, ۱۲(۳), ۴۷.
- [۴۹] Apolin, S. K., Veniston, B., & Krishnaraj, N. (۲۰۲۰). EFFICIENT ROUTING IN VANETS USING TABU SEARCH (TS) ALGORITHM. *Journal of Critical Reviews*, ۷(۱۳), ۹۸۹-۹۹۴.
- [۵۰] Zhang, G., Wu, M., Duan, W., & Huang, X. (۲۰۱۸). Genetic algorithm based QoS perception routing protocol for VANETs. *Wireless Communications and Mobile Computing*, ۲۰۱۸.
- [۵۱] Muniyandi, R. C., Qamar, F., & Jasim, A. N. (۲۰۲۰). Genetic Optimized Location Aided Routing Protocol for VANET Based on Rectangular Estimation of Position. *Applied Sciences*, ۱۰(۱۷), ۵۷۵۹.
- [۵۲] Chahal, M., & Harit, S. (۲۰۱۹). Optimal path for data dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks using meta-heuristic. *Computers & Electrical Engineering*, ۷۶, ۴۰-۵۵.
- [۵۳] Gupta, D., & Kumar, R. (۲۰۱۴, September). An improved genetic based routing protocol for VANETs. In *۲۰۱۴ ۵th International Conference-Confluence The Next Generation Information Technology Summit (Confluence)* (pp. ۳۴۷-۳۵۳). IEEE.

- [۵۴] Kasana, R., & Kumar, S. (۲۰۱۷, February). A geographic routing algorithm based on Cat Swarm Optimization for vehicular ad-hoc networks. In ۲۰۱۷ ۴th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN) (pp. ۸۶-۹۰). IEEE.
- [۵۵] Ye, M., Guan, L., & Quddus, M. (۲۰۲۰). TDMP\_Reliable Target Driven and Mobility Prediction based Routing Protocol in Complex Vehicular Ad hoc Network. arXiv preprint arXiv:۲۰۰۹.۰۱۳۰۲.
- [۵۶] Wille, E. C., Del Monego, H. I., Coutinho, B. V., & Basilio, G. G. (۲۰۱۶). Routing Protocols for VANETs: An Approach based on Genetic Algorithms. KSII Transactions on Internet & Information Systems, ۱۰(۲).
- [۵۷] Okulewicz, M., & Mańdziuk, J. (۲۰۱۷). The impact of particular components of the PSO-based algorithm solving the Dynamic Vehicle Routing Problem. Applied Soft Computing, ۵۸, ۵۸۶-۶۰۴.
- [۵۸] Kohl, N., Desrosiers, J., Madsen, O. B., Solomon, M. M., & Soumis, F. (۱۹۹۹). ۲-path cuts for the vehicle routing problem with time windows. Transportation Science, ۳۳(۱), ۱۰-۱۱۶.
- [۵۹] Homberger, J. (۲۰۰۰). Eine verteilt-parallele Metaheuristik. In Verteilt-parallele Metaheuristiken zur Tourenplanung (pp. ۱۳۹-۱۶۵). Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden.
- [۶۰] Rochat, Y., & Taillard, É. D. (۱۹۹۵). Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing. Journal of heuristics, ۱(۱), ۱۴۷-۱۶۷.
- [۶۱] Taillard, É., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., & Potvin, J. Y. (۱۹۹۷). A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows. Transportation science, ۳۱(۲), ۱۷۰-۱۸۶.
- [۶۲] Goel, R., Maini, R., & Bansal, S. (۲۰۱۹). Vehicle routing problem with time windows having stochastic customers demands and stochastic service times: Modelling and solution. Journal of Computational Science, ۳۴, ۱-۱۰.
- [۶۳] Jernheden, E., Lindström, C., Persson, R., Wedenmark, M., Erős, E., Roselli, S. F., & Åkesson, K. (۲۰۲۰, August). Comparison of Exact and Approximate methods for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. In ۲۰۲۰ IEEE ۱۶th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) (pp. ۳۷۸-۳۸۳). IEEE.
- [۶۴] Ganesh, C. S., Sivakumar, R., & Rajkumar, N. (۲۰۲۱). Hybrid Swarm Intelligence Algorithm for Solving Vehicle Routing Problem with Time Windows. Annals of the Romanian Society for C

---

[۶۵] Mehdi, N., Abdelmoutalib, M., & Imad, H. (۲۰۲۱). A modified ALNS algorithm for vehicle routing problems with time windows. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. ۱۷۴۳, No. ۱, p. ۰۱۲۰۲۹). IOP Publishing.