بهینه‌سازی مسیریابی تکنسین‌های ارائه‌دهندهٔ خدمات پس از فروش با تقاضای احتمالی و محدودیت ظرفیت با استفاده از خوشه‌بندی: مطالعه موردی در شهر اصفهان

محمد جعفری امین‌آبادی،[۱] جاوید جوزدانی،[۲] هادی شیرویه زاد[۳] خالق بهروز دهکردی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۳۰

چکیده:
با توجه به افزایش روز افزون سهم خدمات در سراسر دنیا یکی از عوامل تأثیرگذار بر رضایت مشتریان ارائه خدمات به موقع با کمترین میزان تأخیر است و همواره یکی از دغدغه‌های اصلی مراکز ارائه خدمات حضوری، نحوه تخصیص کارها، برنامه‌ریزی و سازماندهی و ترتیب رسیدگی و مسیریابی ارائه خدمات به مشتریان بوده است و عدم برنامه‌ریزی صحیح در این زمینه موجب افزایش بار ترافیکی در سطح شبکه و افزایش آلودگی زیست محیطی، آلودگی صوتی و اتلاف وقت، اتلاف سوخت و درنهایت نارضایتی مصرف‌کنندگان و تکنسین‌ها را به‌همراه خواهد داشت. از جهتی تقسیم کار روزانه جهت ارائه سرویس به‌صورت دلخواه و با در نظر گرفتن نظر افراد انتخاب بهینه‌ای نخواهد بود در این پژوهش با مطالعه موردی در یک شرکت خدمات پس از فروش در صنعت لوازم خانگی و با استفاده تقاضاهای مشتریان در شهر اصفهان، با بکارگیری ازروش‌های داده‌کاوی، نقاط تقاضای جغرافیایی مشتریان با الگوریتم K-means خوشه‌بندی شده و سعی شده است با استفاده از خوشه‌بندی مناطق جغرافیایی، فضای جستجوی مسئله را کاهش داده شود و با توجه به این‌که مسئله مسیریابی جز مسائل NP-Hard قرارمی‌گیرد از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید جهت یافتن مسیر تکنسین‌ها با تقاضای احتمالی مشتریان با رعایت ظرفیت کار روزانه در هر خوشه استفاده شده و به‌منظور مقایسهٔ نتایج، مسئله مسیریابی تکنسین‌ها و با همان محدودیت‌ها و بدون اعمال خوشه‌بندی، نیز انجام شده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که در مسئله مسیریابی تقاضای احتمالی با رعایت محدودیت ظرفیت کار روزانه برای سرویسکاران پس از خوشه‌بندی با الگوریتم K-means، تابع هدف، در مقایسه با حل مسئله بدون اعمال خوشه‌بندی بهبود قابل توجهی داشته است. مسیریابی تکنسین خدمات، بااستفاده از خوشه‌بندی ضمن جوابگو بودن در زمان بسیار کمتر دارای آزمون تکرار پذیری بالاتری بوده و موجب ایجاد نظم و افزایش حس مسئولیت و افزایش تسلط بر مناطق ارائه خدمات می‌گردد و نقش مؤثری در کاهش زمان رسیدگی به مصرف‌کننده و جلب رضایت آنها دارد.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی وسیله نقلیه، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، الگوریتم K-means.

۱ مقدمه

حمل‌ونقل در سیستم‌های اقتصادی و تولیدی و خدماتی از جایگاه مهمی برخوردار است و بخش قابل توجهی از تولید ناخالص

[۱] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران
[۲] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مهندسی مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران
[۳]، دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مهندسی مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران
[۴] دانش‌آموختهٔ کارشناسی مهندسی کامپیوتر نرم‌افزار، دانشگاه آزاد اسلامی، مبارکه، اصفهان، ایران

[۵] Gross national product

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

ملی (GNP) [۵] هر کشوری را به خود اختصاص می‌دهد و به همین جهت محققان نسبت به بهبود مسیرها و حذف سفرهای غیر ضروری و با ایجاد مسیرهای کوتاه جایگزین اقدام نموده‌اند و از طرف دیگر توزیع فیزیکی محصولات یکی از کلیدی‌ترین فعالیت‌های تولیدی است زیرا به‌طور متوسط بیش از ۲۰ درصد قیمت تمام شده محصولات، صرف توزیع فیزیکی آنها می‌شود [۳]. از طرفی سهم بخش خدمات تقریبا در تمامی کشورها در سراسر دنیا رو به افزایش است و به سمتی پیش می‌رود که علاوه بر کشورهای توسعه یافته در کشورهای در حال توسعه نیز کاربرد داشته باشد و سهم بخش خدمات در تولید ناخالص داخلی در کشورهای توسعه یافته بین سی تا چهل‌وپنج درصد است [۶]. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه (VRP) [۶]، درصدد است تا با مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی به‌گونه‌ای عمل کند که مسافت طی شده، زمان کل سفر، تعداد وسایل حمل‌ونقل، جریمه‌های دیرکرد و درنهایت رضایت مشتریان به حد اکثر برسد. وجود محدودیت‌های مختلف در این‌گونه مسائل انواع مختلفی از مسائل کلاسیکی تشکیل می‌دهد. این‌گونه مسائل جز مسائل NP-Hard بوده و حل آن از طریق برنامه‌ریزی ریاضی‌خطی و نرم‌افزارهای موجود مدت زمان بالایی را به خود اختصاص می‌دهد [۷]. برخی از مسائلی که شامل مسائل NP-Hard می‌شوند عبارت‌اند از: توالی و زمان‌بندی کارها، گروه‌بندی داده‌ها مانند خوشه‌بندی، تخصیص منابع، مسیریابی وسیله نقلیه، کوله پشتی و مسائل برش و بسته‌بندی و غیره هستند [۲۱]. در حل مسائل مسیریابی اگر تعداد محدودیت‌ها و مسئله بزرگ باشد رسیدن به یک راه حل با جواب دقیق بسیار مشکل بوده و گاهی غیر ممکن است و زمان حل به‌صورت نمایی رشد می‌کند [۱۹]. از طرفی جمع‌آوری و مدل‌سازی حجم عظیمی از داده‌ها به‌صورت مدام از همهٔ بخش‌ها، کار پیچیده‌ای است و تکنیک‌های داده‌کاوی برای شکل دادن داده‌های بدون ساختار به فرم ساختار یافته و تسهیل در فرایند تصمیم گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۰]. منطقه‌بندی مناطق اختصاص داده‌شده به وسایل نقلیه حمل و نقل، جنبه مهمی از مدیریت ناوگان خودرو است. این موضوع اهمیت ویژه‌ای برای تعادل کار بین ناوگان مختلف وسایل نقلیه و حتی برای تعیین پوشش خدمات حمل و نقل برخوردار است [۲۴]. با توجه کارائی روش‌های خوشه‌بندی[۷] مانند روش K میانگین[۸] در پایگاه‌های داده‌ای فاصله محور، به همین دلیل است که از الگوریتم‌های خوشه‌بندی استفاده می‌شود [۲۵].

خوشه‌بندی از مهمترین تکنیک‌های داده‌کاوی[۹] و شاخه‌ای از تحلیل آماری چندمتغیره بوده و روشی برای گروه‌بندی داده‌های مشابه در خوشه‌های یکسان است. با بزرگ‌تر شدن بانک‌های داده‌ای، تلاش محققان برای یافتن روش‌های خوشه‌بندی کارا و مؤثر متمرکز شده است تا از این راه بتوانند زمینه تصمیم‌گیری سریع و منطبق با واقعیت را فراهم آورند [۸]. در خوشه‌بندی مجموعه‌داده‌ها با کمک معیارهای ارزیابی شباهت در گروه‌هایی قرار گرفته و سپس به هر گروه برچسبی به‌عنوان کلاس زده می‌شود. با کمک خوشه‌بندی خودکار، مناطق متراکم و غیر متراکم از فضای نمونه داده‌ها مشخص می‌شوند و همچنین الگوی توزیع نمونه‌ها و همبستگی میان صفات خاصهٔ هر نمونه هویدا می‌شود. خوشه‌بندی به‌منظور کشف داده‌های خارج از محدوده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

۲ پیشینه تحقیق

در خصوص بهینه سازی مسیر یابی و خوشه‌بندی مطالعه‌های مختلفی انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است.

[۱۰] طی پژوهشی به ارائه روشی برای مسیریابی بهینه در حمل‌ونقل همگانی یکپارچه شبکه اتوبوس و اتوبوس تندرو پرداختند که در این پژوهش به توسعه روشی در تعیین مسیر

[۶] Vehicle routing problem

[۷] Clustering

[۸] k-means

[۹] Data mining

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

بهینه برای یک شبکه اتوبوسرانی یکپارچه با یک خط اتوبوس تندرو بوده است که در آن تقاضای حمل‌ونقل همگانی، شبکه خیابانی و تعداد ناوگان اتوبوس تندرو ورودی‌های مسئله و کل زمان سفر استفاده‌کنندگان به‌صورت شبکه اتوبوسرانی به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده‌اند و با استفاده از الگوریتم سرد و گرم مجازی و سریع‌ترین فرود بهترین مسیر و سر فاصله زمانی برای سیستم اتوبوسرانی جستجو نمودند.

[۱۶] به بررسی مسیر تردد سرویس‌های حمل‌ونقل یک شرکت و بهینه نمودن آن با استفاده از خوشه‌بندی و حل مسئله مسیریابی با الگوریتم ژنتیک پرداخته‌اند. این پژوهش در یک قسمت از شهر تهران که با استفاده از روش خوشه‌بندی فضای جستجوی مسئله را کاهش داده شده و سپس با استفاده از الگوریتم جمعیت ژنتیک مسیر بهینه در هر خوشه برای سرویس حمل‌ونقل کارمندان شرکت جستجو نموده‌اند و نتایج حاصل نشان می‌دهد این الگوریتم در برنامه‌ریزی بهینه سرویس‌های شرکت موفق بوده است.

[۱۲] طی پژوهشی به ارائه مدل مسیریابی تعمیرکار سیار با تمرکز به مشتری پرداختند که هدف آن کمینه کردن مجموع زمان انتظار برای تمامی متقاضیان بوده است. جهت حل مسئله مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته توسعه داده‌شده که می‌تواند مسائل تا اندازه ۲۵ گره را با استفاده از حل‌کننده‌های عمومی و در زمان کوتاهی به‌صورت بهینه حل نماید. و به‌منظور حل مسائل بزرگ‌تر تا اندازه ۳۰ گره از الگوریتم شاخه و کران استفاده شده است.

شورورزی و دیگران در سال ۱۳۹۵ طی پژوهشی با عنوان بهینه سازی سیستم حمل و نقل ادارات با خوشه‌بندی به روش k میانگین و ترکیب الگوریتم saving و جستجوی ممنوع پرداختند و با استفاده از الگوریتم k-means مسئله را به چند مسئله کوچک‌تر تقسیم نموده و با استفاده ترکیب دو الگوریتم saving و جستجوی ممنوع کوتاه‌ترین مسیر سرویس حمل و نقل ادارات ارائه نمودند.

حسینی مطلق و دیگران در سال ۱۳۹۶ طی پژوهشی به ارائه یک روش ابتکاری ترکیبی دو فازی مبتنی بر روش خوشه‌بندی و شبیه‌سازی تبرید برای حل مسئله مکان یابی- مسیریابی دو سطحی پرداختند که در فاز اول ساخت جواب اوّلیه و در فاز دوم بهبود جواب اوّلیه انجام شده است و در فاز اول جواب اوّلیه با استفاده از خوشه‌بندی با سه روش ابتکاری ایجاد شده و فاز دوم شامل دو مرحله که عبارت‌اند از مرحله اول بهبود جواب اوّلیه به‌صورت هوشمند و مرحله دوم ایجاد جواب‌های همسایه به‌صورت تصادفی بوده است در فاز دوم برای فرار از جواب بهینه محلی از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده نموده‌اند.

[۱۸] طی پژوهشی با عنوان بهینه سازی سیستم حمل و نقل ادارات با خوشه‌بندی به روش k میانگین و ترکیب الگوریتم saving و جستجوی ممنوع پرداختند و با استفاده از الگوریتم k-means مسئله را به چند مسئله کوچک‌تر تقسیم نموده و با استفاده ترکیب دو الگوریتم saving و جستجوی ممنوع کوتاه‌ترین مسیر سرویس حمل و نقل ادارات ارائه نمودند.

[۹] طی پژوهشی به ارائه یک روش ابتکاری ترکیبی دو فازی مبتنی بر روش خوشه‌بندی و شبیه‌سازی تبرید برای حل مسئله مکان یابی- مسیریابی دو سطحی پرداختند که در فاز اول ساخت جواب اوّلیه و در فاز دوم بهبود جواب اوّلیه انجام شده است و در فاز اول جواب اوّلیه با استفاده از خوشه‌بندی با سه روش ابتکاری ایجاد شده و فاز دوم شامل دو مرحله که عبارت‌اند از مرحله اول بهبود جواب اوّلیه به‌صورت هوشمند و مرحله دوم ایجاد جواب‌های همسایه به‌صورت تصادفی بوده است در فاز دوم برای فرار از جواب بهینه محلی از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده نموده‌اند.

[۲۶] طی پژوهشی با عنوان الگوریتم ساختار برای مسئله مسیریابی تجمعی خودرو بامحدودیت زمان پرداختند و در آن با هدف کوتاه کردن مسیرها با استفاده از الگوریتم کلارک و وایت، مصرف سوخت کامیون به حد اقل برسد. در این پژوهش در دو مرحله شامل خوشه‌بندی به الگوریتم k-means و مسیریابی انجام شده که عملکرد محاسباتی بهبود داشته است.

[۲۸] طی پژوهشی با عنوان پیاده‌سازی مکان خدمات در شبکه وسیله نقلیه به‌وسیله خوشه‌بندی گره‌ها در محیط‌های شهری پرداخته‌اند که در این پژوهش مسئله به دو بخش تقسیم شده است که عبارت است از مسئله تخصیص مکان و بخش دیگر مسئله مسیریابی در محیط‌های پویا که در بخش اول از الگوریتم

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

k-means استفاده شده و در بخش دوم با استفاده از الگوریتم فراابتکاری کلونی مورچگان به حل مسئله مسیریابی پرداخته شده است و نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این روش می‌تواند عملکرد الگوریتم کلونی مورچگان را از لحاظ کیفیت و استحکام بهبود بخشد.

[۳۲] طی پژوهشی با عنوان یک مطالعه بازنگری برای حفره‌زایی بر روی دیتابیس بسته‌بندی و تحویل در کسب و کار پرداخته‌اند که در آن پس از یکپارچه نمودن تقاضا با شرکت‌های رقیب، خوشه‌بندی نقاط بسته‌بندی و تحویل انجام شده و پس از آن مسیریابی در بین خوشه‌ها صورت گرفته و جهت مقایسه مدل بدون خوشه‌بندی نیز انجام گرفته است. مدل پیشنهاد شده با بررسی شاخص‌های مختلف خدمات کمی شامل هزینه کل نشان داده است که مدل پیشنهادی می‌تواند تضمین عملکرد بهتر از نظر ارائه دهندگان خدمات و مشتریان داشته باشد.

[۲۹] طی پژوهشی با عنوان الگوریتم ابتکاری مؤثر برای محل ایستگاه‌های شارژ برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه الکتریکی پرداختند که در آن به بررسی دو مسئله که عبارت‌اند از محل ایستگاه‌های شارژ و مسئله مسیریابی وسیله نقلیه نمودند و نتایج به ارائه چهار راه حل برای محل ایستگاه‌های شارژ و یک راه راه حل اکتشافی برای مسئله مسیریابی ارائه نمودند که راه‌حل با استفاده از k-means بهترین عملکرد را نشان داده است.

[۳۴] در پژوهشی با عنوان مسئله مسیریابی وسیله نقلیه پویا با الگوریتم کلونی مورچگان پیشرفته که در آن مسئله مسریابی وسیله نقلیه پویا با دو روش خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم k-means و بدون خوشه‌بندی انجام شده است و نتایج نشان داده است که استفاده از خوشه‌بندی امکان‌پذیر و کارآمد است.

[۳۱] در پژوهشی با عنوان بهینه‌سازی حمل و نقل دانشگاه از طریق روش سلسله مراتبی انقباضی و الگوریتم‌های خوشه‌بندی به بررسی تخصیص مسیرهای دانشجویان، جهت دسترسی به امکانات دانشگاه پرداخته‌اند. در این پژوهش برای تهسیل و بهبود خدمات حمل و نقل دانشجویان و همچنین بهینه سازی زمان انتقال و استفاده از حمل و نقل در دسترس واحدها، از روش‌های تحقیق در عملیات مانند نظریه گراف و مسائل مربوط به مسیریابی وسیله نقلیه استفاده شده است. بااستفاده از روش خوشه‌بندی k-means و روش سلسله مراتبی انقباضی جهت مدیریت بهینه مسیر و حد اکثر رساندن سطح خدمات حمل و نقل دانشجویان استفاده شده است.

۳ خوشه‌بندی

اصطلاح خوشه‌بندی نخستین بار توسط تریان در سال ۱۹۳۹ به‌کار برده شد و یک روش متداول توصیفی است که در جستجوی تشخیص تعداد محدود خوشه، برای توصیف داده‌ها است [۱۱]. گروه‌بندی رکوردها، مشاهدات و موارد مختلف دیگر درون کلاس‌هایی با اهداف مشابه را خوشه‌بندی می‌نامند. یک خوشه مجموعه‌ای از رکوردهایی است که مشابه یکدیگر بوده و با رکوردهای دیگر خوشه‌ها تفاوت دارد [۳۳]. خوشه‌بندی یکی از روش‌های متداول داده‌کاوی است که دیدی سطح بالا نسبت به داده‌ها فراهم می‌کند [۲۵]. به‌طور کلی روش‌های خوشه‌بندی به دو دسته کلّی قطعی [۱۰] و فازی[۱۱] تقسیم می‌شوند. روش‌های قطعی به دو نوع تفکیکی[۱۲] و سلسله مراتبی[۱۳] تقسیم می‌شوند. روش سلسه مراتبی نیز به دو نوع شکافتی[۱۴] و ادغامی[۱۵] تقسیم می‌شود [۱۷].

۱.۳ الگوریتم k-means

روش k-means، کاربردی‌ترین روش خوشه‌بندی داده‌ها است این روش اوّلین بار توسط (مک کویین، ۱۹۶۷) ارائه شد [۱۷].

[۱۰] Crisp or Hard

[۱۱] Fuzzy

[۱۲] Partitional

[۱۳] Hierarchical

[۱۴] Divisive

[۱۵] Agglomerative

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

در این روش از یک مرکز ثقل استفاده می‌کند و تابع هدف حد اقل نمودن فواصل درون یک خوشه از مرکز خوشه می‌پردازد. گام‌های الگوریتم تا زمان یافتن حد اقل فاصله ادامه می‌یابد. در این الگوریتم میانگین نقاط موجود در یک خوشه به‌عنوان مرکز خوشه یا گرانیگاه یا نماینده خوشه معرفی می‌شود. روند کار این الگوریتم به‌گونه‌ای است که ابتدا از میان اشیاء موجود در مجموعه‌داده‌های D به‌صورت تصادفی تعداد k شی به‌عنوان نمایندگان خوشه انتخاب می‌شوند. با محاسبهٔ فاصلهٔ اقلیدسی میان اشیاء باقی‌مانده و این k شی، هر یک از این اشیاء به یکی از این k خوشه تعلق می‌گیرند. الگوریتم k-means با تکرار سعی می‌کند تا اختلاف درون خوشه‌ها را بهبود بخشد. پس از هر تکرار، با کمک اشیاء موجود در هر خوشه مقدار میانگین جدید خوشه محاسبه می‌شود. همانند قبل اشیاء با کمک این میانگین‌های به هنگام شده به‌عنوان نمایندگان و مراکز خوشه‌های جدید در خوشه‌های خود قرار خواهندگرفت. تکرارها تا جایی ادامه می‌یابد که انتساب پایدار شود بدین معنی که خوشه‌های شکل گرفته در مرحله جاری با آنهایی که در مرحله قبل شکل گرفته بود، یکسان باشند و تغییری نکند [۵].

۲.۳ معیارهای اعتبارسنجی خوشه‌ها

خوشه‌بندی داده‌ها فرایندی بدون نظارت است و تعداد طبقات ازپیش تعیین شده و یا مثال‌هایی وجود ندارند که نشان دهد نتایج به‌دست‌آمده، از اعتبار لازم برخوردار هستند یا خیر. برخی از معیارهای ارزیابی زمانی به‌خوبی جواب می‌دهند که خوشه‌ها به‌صورت فشرده باشند [۱۷]. معیار پیوستگی خوشه، نشان می‌دهد که چه‌قدر نمونه‌های مربوط به یک خوشه به هم نزدیک هستندو معیارهای جدایی خوشه، مقدار جدایی و منفک بودن یک خوشه از خوشه‌های دیگر را اندازه می‌گیرد. این معیارها اغلب برای روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر مرکز مناسب هستند. زیرا خوشه‌های مبتنی بر چگالی یا خوشه‌های پیوسته می‌توانند شامل نقاطی باشند که نه کاملاً شبیه همدیگر هستند و نه کاملاً از نقاط دیگر خوشه‌ها جدا هستند [۲].

۱.۲.۳ شاخص دیویس-بولدین (DB)

[۲۷] شاخص دیویس بولدین[۱۶]، بر اساس نسبت فواصل درون خوشه‌ای و برون خوشه‌ای ایجاد شده است. این شاخص به تعداد خوشه‌ها و الگوریتم‌های خوشه‌بندی وابستگی ندارد [۱۷]. این نسبت با استفاده از رابطهٔ (۱) محاسبه می‌گردد.

$$DB = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} max_{i\neq j} D_{i,j} \qquad (۱)$$

که در آن $D_{i,j}$ نسبت فاصله درون خوشه‌ای به برون خوشه‌ای است [۲۷]. هرچه‌قدر مقدار این شاخص بیشتر شود از کیفیت خوشه‌بندی کاسته شده و لذا بهترین خوشه‌بندی دارای کمترین مقدار شاخص DB است و هر چه‌قدر این عدد به صفر نزدیک تر باشد حاکی از بیشتر بودن اعتبار خوشه‌ها است [۱۷].

۲.۲.۳ شاخص نیم رخ

شاخص نیم رخ[۱۷] بر اساس ماتریس فاصله (عدم تشابه) بنا نهاده شده و ابزاری برای کیفیت خوشه‌بندی است این شاخص به‌وسیله روسیوف در سال ۱۹۸۷ ارائه گردید [۱۷]. مقدار نیم‌رخ برای هر نقطه بر اساس میزان شباهت به خوشه خودش نسبت به میزان شباهت به خوشه‌های دیگر از طریق رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود.

$$S_i = \frac{b_i - a_i}{max(a_i.b_i)} \qquad (۲)$$

در این رابطه، a_i نشان‌دهندهٔ میانگین فاصله از نقطه i-ام تا سایر نقاط هم خوشه‌ای آن است و b_i نماد کمترین مقدار متوسط فاصله میان نقطه i-ام تا سایر خوشه‌هاست [۲۳]. شاخص نیم رخ در بازه ۱+ تا۱- قرار می‌گیرد که بزرگ‌ترین مقدار آن، بهترین تعداد خوشه را نشان می‌دهد.

۴ مسیریابی وسیله نقلیه

مسئله مسیریابی وسیله نقلیه یکی از مسائل بهینه سازی ترکیبی بسیار پیچیده است که بیش از ۴۰ سال پیش تعریف شده و در

[۱۶] Davies-bouldin index

[۱۷] Silhouette index

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

برگیرنده طراحی و بهینه‌سازی مجموعه‌ای از مسیرها برای جریانی از وسیله نقلیه که می‌بایست به‌مجموعه‌ای معین از مشتریان خدمت ارائه دهند، است در این مسئله وسیله نقلیه دارای ظرفیت محدود و در یک یا چند دپو مستقر بوده و می‌بایست به تعدادی از مشتریان که دارای تقاضای مشخص و معلومی هستند و در اطراف دپو پراکنده شده‌اند ارائه سرویس نمایند [۱۵]. به‌مجموعه‌ای از مسائل اطلاق می‌شود که شامل ناوگانی از وسایل نقلیه به‌منظور جستجوی مسیر کارآمد که با شروع و پایان از یک انبار مرکزی جهت ارائه خدمت به مشتریان می‌پردازد [۲۲]. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه VRP یک نام عمومی برای تمام مسائلی است که در آنها می‌بایست یک مجموعه‌ای از مسیرها برای جریانی از وسایل نقلیه که مستقر در یک یا چند دپو هستند تعیین گردد تا به مجموعه از مشتریان و یا شهرهایی که به‌صورت جغرافیایی پراکنده شده‌اند خدمت دهند [۱۵]. مسئله VRP به‌دنبال تعیین مجموعه‌ای از مسیرهاست که در آن هر وسیله نقلیه با شروع از انبار خود یکی از مسیرها را طی کرده و به‌همان انبار باز می‌گردد. به‌گونه‌ای که تمام نیازهای مشتریان تحقق یابد، تمام محدودیت‌های اجرایی برآورده شوند و کل هزینه حمل و نقل کمینه گردد. شبکه راهی که در حمل و نقل محموله‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد معمولاً با استفاده از یک گراف توصیف می‌شود که در آن گره‌ها، تقاطع‌ها، و اتصالات راه‌ها و محل قرار گرفتن مشتریان و انبارها را نشان می‌دهند و یال‌ها نشان‌دهندهٔ راه (ارتباط) بین گره‌ها هستند [۴].

۱.۴ مدل مسئله مسیریابی با محدودیت ظرفیت

شبکه مسئله VRP به‌صورت گرافی است به‌صورت $G=(N,E)$ که یک گراف کامل است. هر مشتری باید تنها از یک وسیله سرویس بگیرد و تقاضای مشخصی دارد همچنین ظرفیت وسایل نقلیه نیز مشخص است. هدف اصلی در این مسئله کمینه کردن هزینه سفر است و اطلاعات دیگر مورد نیاز عبارت‌اند از: وسایل نقلیه مورد استفاده و ظرفیت و هزینه آنها، میزان تقاضای مشتریان و اطلاعات دیگر شامل مشخصات نقاط و هزینه و زمان سفر بین هر کدام از دو نقطه [۳۰].

در این‌جا ما به معرفی مدلی می‌پردازیم که در سال ۱۹۷۷ توسط گلدن و دیگران ارائه شده است. پارامترهای ورودی مدل را به این صورت تعریف می‌کنیم:

$g=۱,۲,\dots,n-۱$: مجموعه مکان‌های مشتریان و نقطه n مکان اوّلیه بارگیری.

$G=(N,E)$: گرافی است که شبکه مسیرهای وسایل نقلیه را بیان می‌کند به‌طوری که:

n: تعداد گره‌ها

NV: تعداد وسایل نقلیه

P_k: ظرفیت و سیله نقلیه K

T_k: حد اکثر زمان مجاز برای یک مسیر وسیله نقلیه K

Q_i: تقاضای مشتری (گره‌ها)

t_i^k: زمان سرویس دهی به نقطه i توسط وسیله نقلیه k

t_{ij}^k: زمان طی مسیر بین نقاط i به j توسط وسیله نقلیه k

d_{ij}: کوتاه‌ترین فاصله بین نقطه i به نقطه j

X_{ij}: برابر با ۱ است اگر یک وسیله بین نقاط i و j سفر کند و در غیراینصورت برابر با ۰ است.

با توجه به تعاریف بالا مدل ریاضی مسئله VRP به‌صورت زیر است:

$$Min\sum_{i=۱}^{n}\sum_{j=۱}^{n}\sum_{k=۱}^{NV}d_{ij}x_{ij}^k \quad (۳)$$

$$\sum_{i=۱}^{n}\sum_{k=۱}^{NV}x_{ij}^k=۱,\quad j=۱,۲,\dots,n \quad (۴)$$

$$\sum_{j=۱}^{n}\sum_{k=۱}^{NV}x_{ij}^k=۱,\quad i=۱,۲,\dots,n \quad (۵)$$

$$\sum_{i=۱}^{n}x_{ip}^k-\sum_{j=۱}^{n}x_{pj}^k=۰,\quad k=۱,۲,\dots,NV\ p=۱,۲,\dots,n \quad (۶)$$

$$\sum_{i=۱}^{n}Q_i\Big(\sum_{j=۱}^{n}x_{ij}^k\Big)\le P_k,\quad k=۱,۲,\dots,NV \quad (۷)$$

$$\sum_{i=۱}^{n}t_i^k\sum_{j=۱}^{n}x_{ij}^k+\sum_{i=۱}^{n}\sum_{j=۱}^{n}t_{ij}^kx_{ijk}^k,\quad k=۱,۲,\dots,NV \quad (۸)$$

$$\sum_{j=۲}^{n}x_{۱j}^k\le ۱,\quad k=۱,۲,\dots,NV \quad (۹)$$

$$\sum_{i=۲}^{n}x_{i۱}^k\le ۱,\quad k=۱,۲,\dots,NV \quad (۱۰)$$

رابطهٔ (۳) تابع هدف را در حالت کلاسیک نشان می‌دهد که هزینه کل مسافت طی شده بین نقاط را کمینه می‌کند. رابطه‌های (۴) و (۵) نشان می‌دهند که هر نقطه فقط و فقط از یک نقطه سرویس می‌گیرند. رابطهٔ (۶) که پیوستگی مسیر را تضمین می‌کند می‌گوید که اگر خودرویی به یک نقطه وارد شود باید از همان نقطه خارج شود. رابطه‌های (۷) و (۸) به‌ترتیب مربوط به حد اکثر ظرفیت خودروها و حد اکثرزمان طی مسیرها به

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

وسیله آنها و همچنین فواصل زمانی ارائه خدمات به نقاط است. رابطه‌های (۹) و (۱۰) نشان می‌دهند که مسیر هر خودرو از مبدأ آغاز می‌شود و در همان مکان پایان می‌یابد و در غیر اینصورت غیر فعال محسوب می‌شوند.

۲.۴ الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید

الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (SA)[۱۸] ازکارهای کریک پاتریک و کرنی در سال‌های ۱۹۸۳ و ۱۹۸۵ است. آنها برای حل مسائل سخت بهینه‌سازی، روشی مبتنی بر تبرید تدریجی پیشنهاد کردند. مهندسان مواد برای رسیدن به حالتی که در آن ماده جامد به خوبی مرتب و انرژی آن کمینه باشد از روش تبرید تدریجی استفاده می‌کنند. این روش شامل قرار دادن ماده در دمای بالا و کاهش تدریجی دما است. تابع هدف این مسئله مشابه انرژی ماده‌ای است که باید به‌کمک تعریف دمای مجازی کمینه شود. دما در این حالت پارامتری در الگوریتم است که می‌توان آن را کنترل کرد. این الگوریتم احتمالی است که در آن سازوکاری برای خروج از بهینه‌های محلی ارائه شده است [۱۴].

عبارت فیزیکی تبرید تدریجی، به فرایند شبیه‌سازی تبرید تدریجی در جامدات مربوط است که منجر به کاهش انرژی در یک جامد است و به صورت زیر تعریف شده است:

در هر مرحله، یک اتم به میزان کمی جابجا شده که این کار موجب تغییر در انرژی سیستم (ΔE) می‌شود اگر $\Delta E \leq 0$ باشد، جابجایی دو اتم پذیرفته شده و ساختار جامد یا اتم جابجا شده به‌عنوان نقطعه شروع مرحله بعد مورد استفاده قرارمی گیرد و اگر $\Delta E > 0$ باشد، به‌صورت احتمالی برخورد می‌گردد و احتمال این‌که ساختار جامد پذیرفته شود از رابطهٔ (۱۱) تعیین می‌گردد:

$$P = e^{\left(\frac{-\Delta E}{k_b T}\right)} \qquad (۱۱)$$

پارامتر ΔE از رابطهٔ (۱۲) محاسبه می‌شود

$$\Delta E = E(x) - E(x') \qquad (۱۲)$$

که در آن x و x' به‌ترتیب یک جواب و همسایه آن است و $E(x)$ و $E(x')$ مقادیر سازگاری این جواب‌ها هستند.

k_b ثابت بولتزمن شناخته می شود و P احتمال پذیرش و T دما است که در ابتدا مقداری بزرگ داشته و مقدار آن در تکرارهای بعدی الگوریتم به‌صورت رابطهٔ (۱۳) کاهش می‌یابد:

$$T_{\alpha+1} = \frac{T_\alpha}{1 + \beta \times \sqrt{T_\alpha}} \qquad (۱۳)$$

در این رابطه T_α و $T_{\alpha+1}$ به‌ترتیب دما در مرحله α و $\alpha+1$ بوده و N تعداد مراحل تکرار الگوریتم و $\beta \in (0,1)$ سرعت سرد شدن نامیده می‌شوند [۱۳].

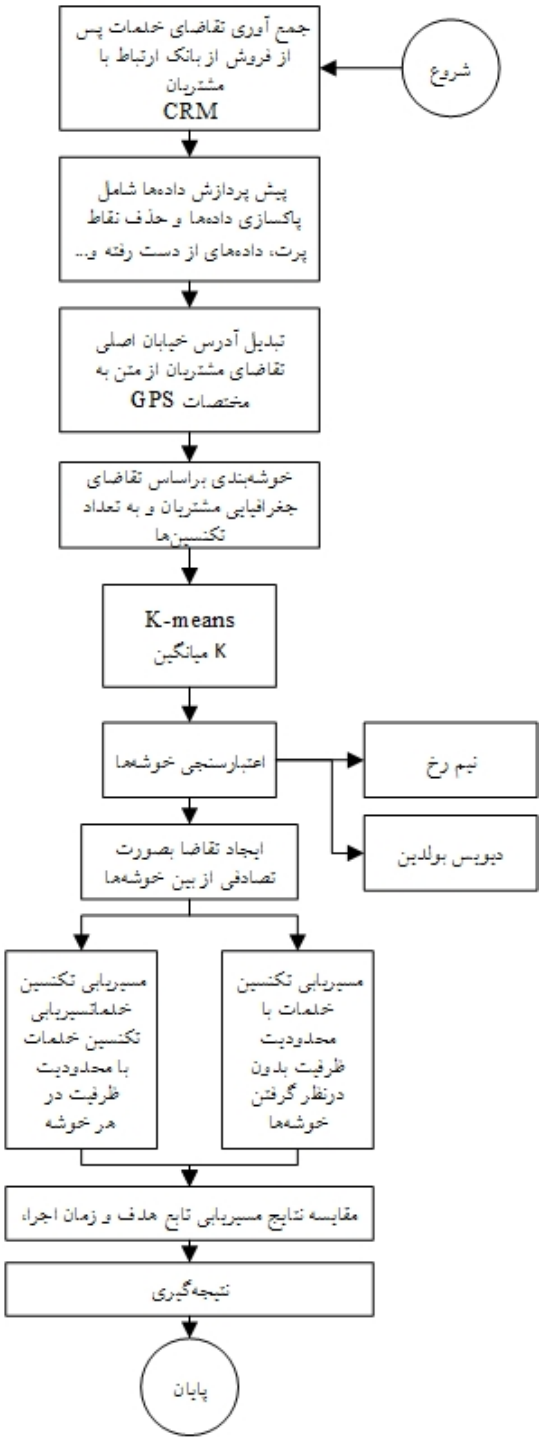
۵ روش تحقیق

روشی که برای انجام این تحقیق در نظر گرفته شده است شامل مراحل ذیل است: درگام اول داده‌ها و تقاضای مشتریان درشهر اصفهان در سال‌های ۹۵ و ۹۶ از مرکز ارتباط با مشتریان یک شرکت خدمات پس از فروش در صنعت اوازم خانگی جمع‌آوری شده و بعد از پیش پردازش داده‌ها و حذف نقاط پرت و اطلاعات نادرست، درگام بعدی داده‌های متنی به مختصات GPS تبدیل و سپس به تعداد تکنسین ($k = ۱۱$) با روش $k-means$ خوشه‌بندی شده و پس از آن تقاضا احتمالی در خوشه‌بندی در مسئله مسیریابی با محدودیت ظرفیت قرارگرفته پس از حل مسئله‌های با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نتایج بدون اعمال خوشه‌بندی مقایسه شده است. به‌عبارت دیگر تقاضاهای مشتریان جهت خدمات نصب و تعمیر در شهر اصفهان، با حجم داده‌های بزرگ و به تعداد ۱۰۸۳۴ بودند که پس از پیش پردازش داده‌ها تعداد ۳۴۶ سطر حذف و تعداد ۱۰۴۸۸ تقاضا جهت استفاده در مرحله بعد مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعد پس از تبدیل آدرس‌ها از متن به طول و عرض جغرافیایی، با استفاده از الگوریتم $k-means$ نقاطی که با کمترین فاصله را یکدیگر داشته و به‌عبارتی بیشترین شباهت را از نظر مختصات به با یگدیگر داشتند و به تعداد تکنسین فعال در دفتر اصفهان خوشه‌بندی شدند و نتایج آن در مسئله مسیریابی قرار گرفت. باتوجه به این‌که تقاضای مشتریان احتمالی است ۳۶ مرتبه

[۱۸] Simulated annealing

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

نقاط تصادفی در هر خوشه انتخاب شده و عملیات مسیریابی برای هر خوشه با رعایت محدودیت ظرفیت کار روزانه تکنسین خدمات پس از فروش (۱۵ عدد) انجام گرفته است و ۳۶ مرتبه نیز داده‌های تصادفی انتخاب شده بدون اعمال خوشه‌بندی در مسئله مسیریابی با رعایت محدودیت ظرفیت کار روزانه برای هر تکنسین قرار گرفته است و میانگین نتایج حاصل شده با یکدیگر مقایسه شده است این مراحل در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل۱. فرایند انجام پژوهش

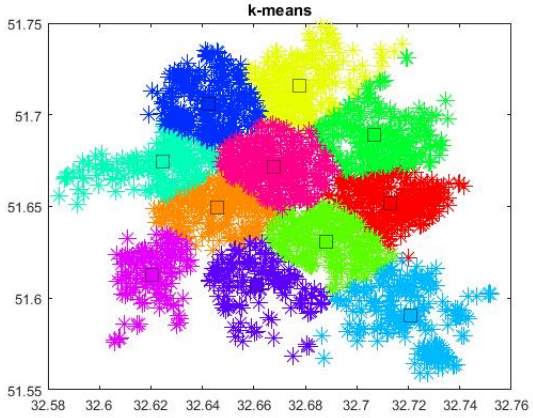
[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

۶ نتایج

با انجام خوشه‌بندی و مسیریابی در خوشه‌ها نتایج زیر حاصل گردید

۱.۶ نتایج خوشه‌بندی با الگوریتم k-means

تقاضای مشتریان با استفاده از الگوریتم‌های مانند k-means، به تعداد تکنسین‌ها $(k = ۱۱)$ خوشه در نظر گرفته می‌شود، در شکل ۲ نتایج خوشه‌بندی و جدول شماره ۱ نتایج اعتبار سنجی خوشه‌ها پرداخته شده است.



شکل۲. نتایج خوشه‌بندی در الگوریتم k-means

جدول ۱. نتایج شاخص‌ها برای روش k-means

شاخص	دیویس بولدین	نیم رخ
نمره	۰/۸۳۰۵	۰/۵۲۹۷

۲.۶ نتایج مسیریابی تکنسین خدمات پس از فروش

مسئله مسیریابی در دو بخش انجام شده است، بخش اول: در هر روش خوشه‌بندی و درون هر خوشه و مسئله مسیریابی با هدف کاهش زمان ارائه خدمات و با رعایت محدودیت ظرفیت تقاضا انجام شده است و تقاضای مشتریان، به‌صورت تصادفی از هر خوشه و به تعداد ظرفیت هر تکنسین، ۱۵ عدد (تعداد خدماتی که در یک روز تکنسین می‌تواند ارائه دهد) انتخاب و با توجه به حرکت همه تکنسین‌ها از دفتر خدمات منطقه‌ای در اصفهان واقع در خیابان چمران، مرکز (دپو) در آن نقطه لحاظ شده و مسیریابی برای هر خوشه به تفکیک انجام‌گرفت و در بخش دوم مسئله مسیریابی با در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت انجام کار و تعداد تکنسین‌ها و بدون در نظر گرفتن خوشه‌ها و با آزادی انتخاب هر نقطه جهت ارائه سرویس انجام شده است. تعداد کل تکنسین‌ها فعال در دفتر خدماتی برای ارائه سرویس حضوری به مشتریان ۱۱ نفر در نظر گرفته شده و برای حل مسئله مسیریابی از الگوریتم فراابتکاری تبرید استفاده شده است.

۱.۲.۶ نتایج مسیریابی در خوشه‌بندی با الگوریتم k-means

در خوشه‌های تفکیک شده به‌روش k-means، به تعداد ظرفیت کار روزانه تکنسین‌ها تقاضای مشتریان به‌صورت تصادفی انتخاب شده و در مسئله مسیریابی قرار گرفته است در حل مسئله مسیر یابی با الگوریتم فراابتکاری تبرید و تعداد اصلاح در هر مرحله در هر خوشه ۵۵۰ در دمای اوّلیه ۱۰۰ درجه و آلفای ۰.۹۸ که در هر خوشه ۳۶ مرتبه از تقاضای مشتریان نمونهٔ تصادفی انتخاب شده و در مسئله مسیر یابی قرارگرفته و از نتایج حاصل از مسیریابی با تقاضای تصادفی در هر خوشه میانگین گرفته شده است که نتایج میانگین بهترین هزینه (مجموع طول مسیرها) و میانگین زمان اجرا بر حسب ثانیه در جدول۲ قابل مشاهده است.

۲.۲.۶ نتایج مسیریابی تکنسین خدمات بدون در نظر گرفتن الگوریتم خوشه‌بندی k-means

حل مسئله مسیریابی با محدودیت ظرفیت کار روزانه تکنسین‌ها و بدون در نظر گرفتن خوشه‌ها با استفاده از الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید و تعداد اصلاح در هر مرحله ۶۰۵۰ (در مرحله قبل ۱۱ خوشه که در هر یک از آنها ۵۵۰ مرتبه اصلاح انجام شده بود) در دمای اوّلیه ۱۰۰ درجه و آلفای ۰/۹۸ که به تعداد ۳۶ مرتبه از تقاضای مشتریان نمونهٔ تصادفی انتخاب شده و در مسئله مسیر یابی قرارگرفته و از نتایج حاصل از مسیریابی با تقاضای تصادفی در هر خوشه میانگین گرفته شده است که نتایج میانگین بهترین هزینه (مجموع طول مسیرها) و میانگین زمان اجرا بر حسب ثانیه در جدول ۳ و نمونه‌ای از مسئله مسیریابی بدون اعمال خوشه‌بندی در شکل ۳ قابل مشاهده است.

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

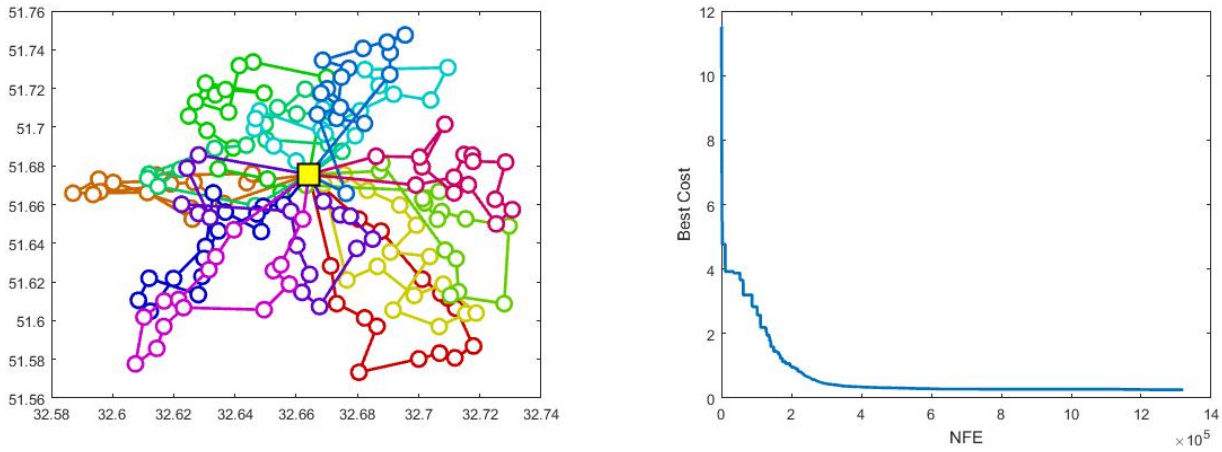
جدول ۲. نتایج زمانی و بهترین هزینه در روش k-means

خوشه	خوشه اول	خوشه دوم	خوشه سوم	خوشه چهارم	خوشه پنجم	خوشه ششم
تعداد دفعات نمونهٔ تصادفی	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶
میانگین بهترین هزینه	۰/۱۹۱۰۷۴	۰/۳۸۰۹۳۸	۰/۲۲۴۸۶۶	۰/۱۲۹۸۰۵۴	۰/۱۱۷۱۶۶	۰/۱۸۹۰۷۱۱
میانگین زمان اجرا	۸/۸۱۱۴۱۱	۸/۴۴۴۴۰۵	۸/۴۳۵۰۲۳	۸/۷۴۰۶۰۶۵	۸/۹۱۳۰۸۸	۸/۸۲۱۹۱

خوشه	خوشه هفتم	خوشه هشتم	خوشه نهم	خوشه دهم	خوشه یازدهم	جمع
تعداد دفعات نمونهٔ تصادفی	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	–
میانگین بهترین هزینه	۰/۲۲۷۶۵۷	۰/۲۷۵۲۶۵	۰/۱۳۱۰۴۰۲۸	۰/۱۷۹۹۳۱۱	۰/۱۶۷۷۱۵۹	۲/۲۱۴۵۳
میانگین زمان اجرا	۸/۴۶۳۷۰۳	۸/۴۳۷۶۵۱	۸/۴۶۹۱	۸/۴۴۱۵۱	۸/۴۷۷۴۶	۹۴/۴۵۵۸۷

جدول ۳. میانگین نتایج زمانی و بهترین هزینه بدون خوشه‌بندی

تعداد دفعات نمونهٔ تصادفی	۳۶
میانگین بهترین هزینه	۲/۳۳۹۹
میانگین زمان اجرا	۱۹۹/۴۴۰۸



شکل۳. نمونه‌ای حل مسئله مسیریابی بدون خوشه‌بندی

جدول ۴. مقایسه نتایج مسئله مسیریابی با اعمال خوشه‌بندی k-means و بدون در نظر خوشه‌بندی

	K-means	بدون اعمال خوشه‌بندی	اختلاف	درصد بهبود با اعمال خوشه‌ها
مقدار تابع هزینه	۲/۲۱۴۵	۲/۳۳۹۹	۰/۱۲۵۴	۵/۳۶٪
زمان اجرا	۹۴/۴۵۵۹	۱۹۹/۴۴۰۸	۱۰۴/۹۸۴۹	۵۲/۶۴٪

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

۳.۶ مقایسه نتایج مسیریابی تکنسین خدمات با استفاده و بدون استفاده الگوریتم‌های خوشه‌بندی

جهت مقایسه نتایج مسئله مسیریابی تکنسین ارائه خدمات با اعمال خوشه‌بندی و بدون در نظر گرفتن خوشه، مسئله حل شده است که نتایج در جدول شماره ۴ قابل مشاهده است.

۷ نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی و سازماندهی تکنسین‌ها جهت کاهش زمان ارائه خدمات همواره یکی از دغدغه‌های اصلی شرکت‌های ارائه خدمات حضوری بوده است. خوشه‌بندی نقاط تقاضای مشتریان می‌تواند با کاهش فضای جستجوی مسئله و نیز سرعت در ارائه جواب مسئله مسیریابی به‌طور مؤثر عمل کند. از طرفی با فعالیت یک تکنسین در یک خوشه موجب تسلط بیشتر با آن منطقه شده و همین امر موجب تسهیل در ارائه خدمات به مشتریان می‌گردد. روش خوشه‌بندی مناطق برای تکنسین‌ها علاوه بر ایجاد نظم و افزایش حس مسئولیت، تعارضات بین آنها را به‌طور مؤثری کاهش می‌دهد.

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم k-means تقاضای خدمات مشتریان در شهر اصفهان خوشه‌بندی و به جهت ارزیابی کیفیت خوشه‌ها از دو شاخص دیویس بولدین و نیم رخ استفاده شد که نتایج آن نشان‌دهندهٔ کیفیت قابل قبول خوشه‌ها بود و پس از آن تقاضای احتمالی خدمات مشتریان در مسئله مسیریابی قرار گرفت و جهت حل مسئله مسیریابی تکنسین با محدودیت ظرفیت کار روزانه تکنسین‌ها از الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید استفاده شد و نیز به جهت مقایسه، حل مسئله مسیریابی، با اعمال محدودیت ظرفیت تکنسین‌ها بدون استفاده از تکنیک‌های خوشه‌بندی انجام گرفت. مقایسه نتایج مسیریابی بدون درنظر گرفتن خوشه‌بندی نشان‌داد که علاوه بر افزایش مقدار تابع هدف، زمان حل مسئله به‌صورت چشم‌گیری افزایش می‌یابد و از طرفی جواب‌های ارائه شده در حل مسئله مسیریابی بدون اعمال خوشه‌بندی با توجه به تقاطع وتداخل تورها، امکان اجرایی آن در واقعیت را بسیار مشکل می‌نماید. از جمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به این موضوعات اشاره کرد با توجه به این‌که خوشه‌بندی از الگوریتم‌های بدون نظارت است این روش‌ها درکی از محدودیت‌هایی مانند پل‌ها، محله‌ها و غیره ندارند و مبنای آنها بیشترین میزان شباهت و کمترین فاصله از مرکز خوشه است که این مسئله می‌تواند در واقعیت تأثیرگذار باشد از طرفی خوشه‌بندی بر اساس نرخ تقاضای مشتریان در سال‌های گذشته (درخواست‌های سرویس) انجام شده است و با این فرض که تقاضای مشتریان درحال حاضر نیز از همان الگو گذشته پیروی می‌کنند از دیگر محدودیت‌های این پژوهش استفاده از یک روش خوشه‌بندی و الگوریتم حل مسئله مسیریابی است که پژوهشگران آتی می‌توانند از الگوریتم مختلف جهت خوشه‌بندی و مسیریابی استفاده و نتایج را با یکدیگر مقایسه کنند. ظرفیت کار همه تکنسین‌ها در هر روز بدون توجه به سطح مهارت آنها، یکسان در نظر گرفته شده و از فاصلهٔ اقلیدسی بین نقاط استفاده شده است که در پژوهش‌های آتی می‌توان علاوه بر اضافه کردن محدودیت‌ها بر حسب مطالعه موردی از این تغییرات نیز بهره برد.

مراجع

[۱] ژیاوی، ه.، میشلین، ک.، ژان، پ. (۱۳۹۳). داده کاوی مفاهیم و تکنیک‌ها. اسماعیلی، مهدی (مترجم). نیاز دانش، چاپ ۱.

[۲] امامی، م.، فاروقی، ا.، جاویدان، ر. (۱۳۹۵). ارائه یک شاخص جدید اعتبار سنجی داخلی خوشه‌بندی. بیست و چهارمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه شیراز.

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

[۳] دهباری، ص.، پورروستا، ع.، نادری بنی، م.، قبادیان، ا.، توکلی مقدم، ر. (۱۳۹۱). مسیریابی وسایل حمل و نقل چند هدفه با زمان سرویس احتمالی و تقاضای فازی تحت محدودیت پنجره زمانی. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، سال ۹، شماره ۴، صفحات ۸۵-۱۰۶.

[۴] تات، پ.، ویگو، د. (۱۳۹۲). مسیریابی وسیله نقلیه. توکل نیا، امین (مترجم). شرکت چاپ و نشر بازرگانی. ستاک، م.، توکل نیا، ا. (۱۳۹۲). مسیریابی وسیله نقلیه، شرکت چاپ و نشر بازرگانی.

[۵] سپهری، م. م.، کارگری، م. (۱۳۹۱). بهبود الگوریتم خوشه‌بندی مشتریان برای توزیع قطعات یدکی با رویکرد داده کاوی k-means، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۳، شماره۲، صفحات ۲۴۰-۲۴۹

[۶] لاولاک، و. (۱۳۹۲). بازاریابی خدمات. سلمانی، مراد.، سپهری، محمدرضا. (مترجم). انتشارات مؤسسه کار و تامین اجتماعی. سپهری، م. ر.، سلمانی، م. (۱۳۹۲). بازاریابی خدمات، انتشارات مؤسسه کار و تامین اجتماعی.

[۷] توکلی مقدم، ر.، ربانی، م.، شریعت، م. ع.، صفایی، ن. (۱۳۸۵). حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره‌های زمانی نرم با استفاده از یک الگوریتم فراابتکاری تلفیقی، نشریه دانشکده فنی، جلد ۴۰، شماره ۴، صفحات ۴۶۹-۴۷۶.

[۸] مینائی، ب.، فتحیان، م.، جعفریان مقدم، ا. ر.، نصیری، م. (۱۳۹۰). استفاده از تکنیک خوشه‌بندی سیستم کلونی مورچگان بهبود یافته با هدف خوشه‌بندی داده‌های زلزله ایران، نشیریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۵، شماره ۲، صفحات ۲۲۷-۲۲۱.

[۹] حسینی مطلق، س. م.، جوکار، ع. (۱۳۹۶). ارائه یک روش ابتکاری ترکیبی دوفازی مبتی بر خوشه‌بندی و شبیه‌سازی تبرید برای حل مسئله مکان‌یابی- مسیریابی دو سطحی، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۸، شماره ۴، صفحات ۶۸۱-۶۶۴.

[۱۰] حسنی نسب، س. ش.، صفارزاده، م.، ممدوحی، ا. (۱۳۹۰). روشی برای مسیریابی بهینه در حمل‌ونقل همگانی یکپارچه شبکه اتوبوس و اتوبوس تندرو، نشریه مهندسی حمل و نقل، سال ۲، شماره ۴، صفحات ۳۰۳-۳۱۶.

[۱۱] خدیور، آ.، حامدی، پ. (۱۳۹۴). ارائه یک الگو ترکیبی داده کاوی با استفاده از قواعد انجمنی و خوشه‌بندی برای تعیین استراتژی تخفیف دهی، مطالعه موردی شرکت پخش پگاه، فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه شاهد راهبردهای بازرگانی، سال ۲۲، شماره ۵، صفحات ۳۹-۵۲.

[۱۲] صالحی پور، ا.، سپهری، م. م. (۱۳۹۱). مدل جدید برای حل مسئله تعمیرکار سیار برپایه برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد۲۳، شماره ۳، صفحات ۲۸۴-۲۹۲.

[۱۳] قادری، ف.، پهلوانی، پ. (۱۳۹۵). استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی جهت مسیریابی بهینه چند حالته چند معیاره، همایش ملی ژئوماتیک، دانشگاه آزاد اسلامی، دوره ۲۳.

[۱۴] قدوسی، س.، تهرانی، ر.، بشیری، م. (۱۳۹۴). بهینه سازی سبد سهام با استفاده از روش تبرید شبیه‌سازی شده، تحقیقات مالی، دوره ۱۷، شماره ۱، صفحات ۱۵۸-۱۴۱.

[۱۵] قصیری، ک.، قناد پور، س. ف. (۱۳۸۶). مسئله مسیریابی وسیله نقلیه همراه با پنجره‌زمانی، مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، چاپ ۱.

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

[۱۶] مطیعیان، ح.، مسگری، م. س.، نعیمی، ا. (۱۳۹۱). بهینه‌سازی مسیر تردد سرویس‌های حمل‌ونقل یک شرکت، با استفاده از خوشه‌بندی و الگوریتم ژنتیک، مهندسی حمل‌ونقل، سال ۳، شماره ۴، صفحات ۳۶۵-۳۷۸.

[۱۷] مومنی، م. (۱۳۹۰). خوشه‌بندی داده‌ها-تحلیل خوشه‌ای، ناشر منصور مومنی.

[۱۸] شورورزی، ح.، نعیمی، ا.، طالعی، م. (۱۳۹۵). بهینه سازی سیستم حمل و نقل ادارات با خوشه‌بندی به روش k میانگین و ترکیب الگوریتم saving و جستجوی ممنوع، مهندسی حمل و نقل، سال ۷، شماره ۴، صفحات ۶۷۸-۶۶۵.

[19] CÖMERT, S. E., YAZGAN, H. R., Sertvuran, I., and ŞENGÜL, H. (2017). A new approach for solution of vehicle routing problem with hard time window: an application in a supermarket chain. *Sādhanā*, **42**(**12**), 2067-2080.

[20] Sumit, S. H., and Akhter, S. (2019). C-means clustering and deep-neuro-fuzzy classification for road weight measurement in traffic management system. *Soft Computing*, **23**(**12**), 4329-4340.

[21] Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation*, John Wiley and Sons, (**74**).

[22] Liu, B. (2009). Theory and Practice of Uncertain Programming. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg STUD-FUZZ*, **239**, 147-155.

[23] Rouseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **74**(**1**), 29-93.

[24] Shen, C.W., and Quadrifoglio, L. (2012). Evaluation of zoning design with transfers for paratransit services. *Transportation Research Record*, **2277**, 82-89.

[25] Jain, A. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, **31**(**8**) , 651-666.

[26] Cinar, D., Gakis, K., and Pardalos, P. M. (2016). A 2-phase constructive algorithm for cumulative vehicle routing problems with limited duration. *Expert Systems with Applications*, **56**, 48-58.

[27] Davies, D. L., and Bouldin, D. W. (1979). A cluster separation measure. *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **2**, 224-227.

[28] Gao, S., Wang, Y., Cheng, J., Inazumi, Y., and Tang, Z. (2016). Ant colony optimization with clustering for solving the dynamic location routing problem. *Applied Mathematics and Computation*, **285**, 149-173.

[29] Gatica, G., Ahumada, G., ESCOBAR, J. W., and Linfati, R. (2018). Efficient Heuristic Algorithms for Location of Charging Stations in Electric Vehicle Routing Problems. *Studies in Informatics and Control*, **27**(**1**), 73-82.

[30] Golden, B. L., Magnanti, T. L., and Nguyen, H. Q. (1977). Implementing vehicle routing algorithms. *Networks*, **7**(**2**), 113-148.

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]

[31] Herrera-Granda, I. D., Lorente-Leyva, L. L,. Peluffo-Ordóñez, D. H., Valencia-Chapi, R. M., Montero-Santos, Y., Chicaiza-Vaca, J. L., and Castro-Ospina, A. E. (2018) Optimization of the University Transportation by Contraction Hierarchies Method and Clustering Algorithms. *Hybrid Artificial Intelligent Systems, Lecture Notes in Computer Science, Springer*, **10870**, 95–107.

[32] Hong, H. W., and Shin, K. S. (2018). A Study on the Restructuring and Cavitation of the Data-based Pick-up and Delivery Business. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, **34**(**1**), 43-50.

[33] Larose, D. T., and Larose, C. D. (2014). *Discovering Knowledge in Data: an Introduction to Data Mining*. John Wiley and Sons.

[34] Xu, H., Pu, P., and Duan, F. (2018). Dynamic vehicle routing problems with enhanced ant colony optimization. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, **2018**.

[Downloaded from andisheyeamari.irstat.ir on 2025-05-10]