چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال نهم، شماره ۳۶، زمستان ۱۳۹۸
شاپا چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۱۰۶ – ۸۹

حل مسئله مسیریابی ظرفیت‌دار با استفاده از تقلیل به مسئله کوله‌پشتی و ارائه روش ابتکاری مبتنی بر کلاسه‌بندی حریصانه

امین فرح‌بخش*، جواد بهنامیان**

چکیده

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه یکی از شناخته‌شده‌ترین مسائل بهینه‌سازی محسوب می‌شود که هدف آن، طراحی مجموعهٔ بهینه‌ای از مسیرها با کمترین هزینه برای سرویس‌دهی به مشتریان است؛ به‌گونه‌ای که با محدودیت‌های موجود سازگار باشد. کاربرد عملی زیاد و وسعت حوزه این مسئله باعث توجه بسیار زیاد پژوهشگران به این مسئله شده است؛ اما سختی حل این مسئله مشکلاتی را ایجاد کرده که نیاز به وجود روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری را افزایش داده است. این پژوهش یک روش ابتکاری حریصانه بر پایه روش‌های ابتدا دسته‌بندی، سپس مسیریابی، برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت‌دار (CVRP) با استفاده از قابلیت‌های تقلیل مسئله به مسئله کوله‌پشتی ارائه کرده است. از مزایای این روش می‌توان به مواردی همچون درنظرگرفتن توأم معیارهای مؤثر مانند فاصله بین مشتری‌ها، فاصله تا دپو و تقاضای نقاط در تصمیم‌گیری، سرعت و کیفیت جواب خوب و توانایی استفاده از مزایای تقلیل اشاره کرد. برای بررسی نتایج و مقایسه آن‌ها از نمونه‌های استاندارد مربوط به CVRPLIB استفاده شده است.

کلیدواژه‌ها: تقلیل؛ مسیریابی وسایل نقلیه؛ روش ابتکاری حریصانه؛ مسئله کوله پشتی؛ روش کلاسه‌بندی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۲۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸.

* دانشجوی دکتری، دانشگاه بوعلی‌سینا.
** دانشیار، دانشگاه بوعلی‌سینا (نویسنده مسئول).
E-mail: Behnamian@basu.ac.ir

۱. مقدمه

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه یکی از مفاهیم کاربردی در حوزه تحقیق در عملیات است که از دهه ۶۰ میلادی به آن پرداخته شده و تلاش‌های زیادی توسط پژوهشگران در این حوزه صورت گرفته و به دنبال آن پیشرفت‌های بزرگی در این زمینه به‌دست آمده است. انواع مختلفی از سرویس‌دهی در مسائل دنیای واقعی مشاهده می‌شود. در این میان «تحویل فیزیکی کالا» متداول‌ترین نوع آن است. این مسئله در حالت عادی شامل یک انبار، ناوگانی از وسایل نقلیه که در انبار استقرار یافته‌اند و مجموعه‌ای از مشتریان است که باید سرویس‌دهی شوند. هدف مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در ساده‌ترین و معمول‌ترین حالت، حداقل‌سازی هزینه‌های کلی طی مسیر بر اساس حداکثر زمان کاری و حداکثر محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه است [۲۸].

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، نخستین بار توسط دانتزیگ و رامسر (۱۹۵۹) مطرح شد. این مسئله که حالت ترکیبی از دو مسئله فروشنده دوره‌گرد (نامحدود درنظرگرفتن ظرفیت وسیله نقلیه) و بسته‌بندی (صفر درنظرگرفتن هزینه حمل‌ونقل بر روی یال‌ها) است، سعی در طراحی بهینه مجموعه‌ای از مسیرها برای ناوگان حمل‌ونقل به‌نحوی دارد که به تعداد معینی مشتری خدمت‌رسانی شود و دارای محدودیت‌های جانبی مختلفی است [۸].

مسائل مسیریابی وسایل نقلیه، کاربردهای فراوانی در دنیای واقعی دارند. برای مثال می‌توان به جمع‌آوری زباله‌های جامد، پخش سوخت، مسیریابی اتوبوس مدرسه، جمع‌آوری نامه‌ها از صندوق‌های پستی و یا سکه‌ها از تلفن‌های عمومی، دوره‌های بازرسی برای نگهداری پیشگیرانه ماشین‌آلات و یا مسیریابی حرکت کارگران در انبارها برای جمع‌آوری سفارش‌های مشتری از نواحی مختلف انبار اشاره کرد. پژوهشگران به دو علت به مطالعه و بررسی گسترده مسایل موجود در زمینه مسیریابی وسایل نقلیه می‌پردازند و پژوهش در این حوزه همچنان ادامه دارد: ۱. کاربرد عملی این مسائل و ۲. سختی حل آن‌ها.

لنسترا و رینوی کان (۱۹۷۹)، پیچیدگی مسائل مسیریابی وسایل نقلیه را محاسبه و اثبات کردند که عملاً تمامی این مسائل از نوع NP-hard هستند [۲۱]. خصوصیات فیزیکی مسئله از جمله طراحی شبکه حمل‌ونقل، جهت‌گیری مجاز کمان‌ها (یک‌سویه یا دوسویه)، مکان مشتری‌ها (گره‌ها یا یال‌ها)، تعداد و نوع وسایل نقلیه، محدودیت‌های ظرفیت و زمان سفر، علت به‌وجودآمدن گستردگی و پیچیدگی این مسائل شده است [۱۱].

این پژوهش یک روش ابتکاری حریصانه بر پایه روش‌های ابتدا دسته‌بندی، سپس مسیریابی، برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت‌دار[1] با استفاده از قابلیت‌های تقلیل مسئله به مسئله کوله‌پشتی ارائه کرده است. از مزایای این روش می‌توان به مواردی همچون درنظرگرفتن توأم معیارهای مؤثر مانند فاصله بین مشتری‌ها، فاصله تا دپو و تقاضای نقاط در تصمیم‌گیری، سرعت و کیفیت جواب خوب و توانایی استفاده از مزایای تقلیل اشاره کرد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

توسعه مدل‌های مسیریابی در دو حوزه وسیع ساختار اصلی مسئله و روش‌های حل مسئله صورت گرفته است. از همان سال‌های اولیه معرفی این مسئله، توسعه‌های زیادی روی این موضوع شکل گرفت. پژوهشگران به توسعه مدل‌های ریاضی پیچیده‌تر و در عین حال کاربردی‌تر و منطبق با دنیای واقعی پرداختند. دانتزیک و رامسر (۱۹۵۹)، نخستین افرادی بودند که مسئله توزیع کامیون را مطرح کرده و چگونگی خدمت‌رسانی برای تأمین سوخت ایستگاه‌های پمپ بنزین را از یک هاب مرکزی با حداقل مسافت طی‌شده توسط ناوگانی همگن از کامیون‌ها مدل‌سازی کردند. آن‌ها دیدگاه الگوریتمی بر مبنای فرمول‌بندی خطی عدد صحیح برای یافتن جواب نزدیک به بهینه در این مسئله ارائه دادند [۹].

پنج سال بعد، کلارک و رایت (۱۹۶۴) مسئله مسیریابی را به یک مسئله بهینه‌سازی خطی تعمیم دادند. برای مثال، چگونه یک سری از مشتریان را که در اطراف یک انبار مرکزی پراکنده هستند، با استفاده از ناوگانی از کامیون‌ها که ظرفیت‌های مختلفی دارند، خدمت‌رسانی کرد. این موضوع به‌عنوان مسئله مسیریابی وسایل‌نقلیه[2] شناخته شد که یکی از موضوع‌های مطرح موردمطالعه در زمینه تحقیق در عملیات است [۶].

انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید از طریق بخش حمل‌ونقل، بخش عمده‌ای از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد. فعالیت‌های لجستیک سبز شامل اندازه‌گیری تأثیر محیطی استراتژی‌های مختلف توزیع، کاهش مصرف انرژی در فعالیت‌های لجستیک و کاهش ضایعات و مدیریت عملیات مربوط به آن می‌شود [۲۶]. اجرای ایده‌های لجستیک سبز در مسائل مسیریابی وسایل حمل‌ونقل و دیگر گونه‌های آن به مسائل مسیریابی سبز وسایل حمل‌ونقل[3] (GVRP) منجر می‌شود. این مسائل مربوط به یافتن مسیرها است که مطابق با نگرانی‌های فزاینده زیست‌محیطی بوده و از لحاظ مالی توجیه‌پذیر باشد. مسائل مسیریابی سبز وسایل حمل‌ونقل در سال‌های اخیر وارد مبانی نظری موضوع مسیریابی شده است و نیاز مداوم به توسعه مطالعات مربوط

1. Capacitated Vehicle Routing
2. Vehicle Routing Problem
3. Green Vehicle Routing Problem

به آن، چه از طریق مشارکت‌های نظری و چه از راه کاربردهای عملی دارد [۲۲]. مرتضوی و همکاران (۲۰۱۸)، با درنظرگرفتن اولویت انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید در سیستم حمل‌ونقل مربوط به یک زنجیره تأمین سبز و همچنین برنامه‌ریزی مکان مربوط به آن، مسئله را به‌صورت دوهدفه مدل‌سازی کردند [۲].

کرینیک و همکاران (۲۰۱۰)، تحلیلی درباره مسائل مسیریابی دوسطحی انجام داده و مدل‌های ریاضی مربوط به مسئله را نشان دادند [۷]. لاپورت و نوبرت (۱۹۸۷)، یک الگوریتم دقیق برای حل مسئله مسیریابی ظرفیت‌دار نامتقارن ارائه کردند [۱۹] و ویگو (۱۹۹۶)، یک الگوریتم ابتکاری برای این مسئله ارائه داد [۲۹]. بالداکی و همکاران (۲۰۰۴)، با استفاده از یک الگوریتم دقیق، مسئله مسیریابی ظرفیت‌دار را حل کردند [۵]. تصمیم‌گیری هم‌زمان درباره مکان و مسیر بهینه، تحول زیادی را در مسائل ایجاد کرد که پژوهش‌های بسیاری را به خود اختصاص داده است. از جمله پرودون و پرینز (۲۰۱۴)، مبانی نظری موجود در این باره را تحلیل کرده و راههای جست‌وجوی جدیدی در این جهت ارائه کردند [۲۳]. نیکجو و جوادیان (۲۰۱۹)، در شرایط بحران، مسئله‌ای را مطرح کردند که به تعیین مکان و مسیر بک زنجیره تأمین چندکالایی و چندسطحی می‌پردازد. مواجه با عدم‌قطعیت در این مسئله از طریق برنامه‌ریزی استوار صورت گرفت [۳]. فرحبخش و فرقانی (۲۰۱۹)، یک مدل پایدار برای برنامه‌ریزی مکان ایستگاه‌های جمع‌آوری و تفکیک زباله و مسیر بهینه مربوط به آن‌ها ارائه کردند [۱۲].

هدف در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی این است که در یک دوره زمانی مشخص، همه مشتریان خدمت دریافت کنند. سالومون (۱۹۸۷)، روش‌ها، راه‌حل‌ها و کاربردهایی را در این‌باره ارائه داد. در پژوهش وی، طراحی و تحلیل الگوریتم‌ها برای مسیریابی وسایل نقلیه و مسائل زمانبندی با محدودیت پنجره زمانی در نظر گرفته شدند. وی چندین روش ابتکاری برای برخی مسائل VRP ارائه کرد [۲۷]. کومار و پانرسلوام (۲۰۱۲)، انواع اصلی مسائل CVRP و VRPTW[1] را که در بحث زنجیره تأمین شکل گرفته‌اند، ارائه کرده و نوآوری‌های پژوهشگران مختلف را به سه دسته روش‌های ابتکاری، فراابتکاری و مرکب تقسیم کردند [۱۸].

درنظرگرفتن عدم‌قطعیت‌های موجود در مسائل علمی باعث نزدیک‌شدن مسئله به شرایط واقعی می‌شود. در این راستا فرازمند و پیشوایی (۲۰۱۸) با به‌درنظرگرفتن عدم‌قطعیت مربوط به تقاضاها و هزینه‌های حمل‌ونقل، یک مدل ریاضی استوار برای طراحی شبکه حمل‌ونقل ترکیبی بار با استفاده از دو روش حمل‌ونقل ریلی و جاده‌ای ارائه کردند و از سیستم توزیع سیمان به‌عنوان مطالعه موردی برای بررسی مسئله استفاده کردند [۱].

1. Vehicle Routing Problem with Time Windows

مسیریابی کلاسیک با عنوان «مسیریابی ظرفیت‌دار (CVRP)» شناخته می‌شود. روش‌های حل زیادی برای مسئله مسیریابی ارائه شده است که به سه دسته روش‌های دقیق، ابتکاری و فراابتکاری تقسیم می‌شوند؛ اما تعداد روش‌های دقیق به علت اینکه نمی‌توانند در زمان منطقی برای ابعاد بزرگ مسئله تضمین بهینگی ایجاد کنند، کم است. یکی از موفق‌ترین روش‌های دقیق برای CVRP روش K-tree ارائه‌شده توسط است که مبتنی بر نگرش جدیدی بر روش شاخه و برش و با ایجاد زیرمجموعه‌های کوچک از مشتریان است [۱۳]. روش‌های ابتکاری به‌جای جست‌وجوی تمام فضای جواب محدوده، فضای جست‌وجو را محدودتر می‌کنند تا در زمانی معقول به جوابی با کیفیت خوب برسند. این نوع از الگوریتم‌ها برای مسئله مسیریابی به دو گروه ایجادکننده و دومرحله‌ای تقسیم می‌شوند. الگوریتم ذخیره‌سازی کلارک و رایت (۱۹۶۴) یکی از معروف‌ترین الگوریتم‌های ابتکاری ایجادکننده است که به‌دنبال درنظرگرفتن یک برچسب ذخیره‌سازی برای ادغام دوبه‌دوی مسیرها است [۶].

الگوریتم ذخیره‌سازی مبتنی بر جورسازی از جمله الگوریتم‌های ابتکاری ایجادکننده ذخیره‌سازی جذاب در این زمینه است که با توسعه‌ای بر دو روش ذخیره‌سازی ارائه‌شده توسط دسروچر و ورهوگ (۱۹۸۹) و آلتینکمر و گاویش (۱۹۹۱) بهبود مناسبی را ایجاد شده است. [۴و۱۰]. الگوریتم‌های ابتکاری دومرحله‌ای در دو مرحله به حل مسئله می‌پردازند. این الگوریتم‌ها به دو گروه «اول دسته‌بندی، بعد مسیر» و «اول مسیر، بعد دسته‌بندی» تقسیم می‌شوند که گروه نخست از اقبال بیشتری برخوردار است. الگوریتم شناخته‌شده فیشر و جایکومار (۱۹۹۴)، مسئله تخصیص نقاط به وسیله نقلیه را در شکل دسته‌بندی حل می‌کند [۱۴]. الگوریتم Sweep ابتدا با ایجاد یک مدار دایره‌ای‌شکل با مرکزیت دپو اصلی اقدام به دسته‌بندی مشتری‌ها با توجه به ظرفیت وسایل نقلیه می‌کند و سپس برای هر دسته از مشتری‌ها به حل یک مسئله TSP می‌پردازد [۱۵]. یک استخراج طبیعی از الگوریتم Sweep ایجاد مسیرهای متعدد برای ساخت گلبرگ‌ها و سپس انتخاب نهایی با حل مسئله تقسیم مجموعه ها می‌باشد [۲۵]. گسترشی بر روی الگوریتم Sweep برای مسئله با ناوگان حمل‌ونقل با ظرفیت متفاوت صورت گرفته است [۲۴]. در سال‌های اخیر نیز به روش‌های حل این مسائل توجه زیادی شده‌است. از جمله وی و همکاران (۲۰۱۸)، یک الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده برای حل مسئله مسیریابی ظرفیت‌دار با وجود دو نوع محدودیت بارگذاری ارائه دادند [۳۰]؛ همچنین هان و همکاران (۲۰۱۸)، مسئله مسیریابی ظرفیت‌دار را برای جمع‌آوری زباله‌های خشک با ارائه الگوریتم PSO تعدیل‌شده حل کردند [۱۶].

۳. روش‌شناسی پژوهش

مدل‌های کنونی VRP به‌طور عمده با مدلی که توسط دانتزیک و رامسر (۱۹۵۹) و کلارک و رایت (۱۹۶۴) ارائه شد، تفاوت دارند؛ به‌طوری‌که به‌طور فزاینده‌ای بر پیچیدگی‌های دنیای واقعی،

مثل سفرهای وابسته به زمان (منعکس‌کننده شلوغی ترافیک)، پنجره زمانی برای بارگیری و تحویل و اطلاعات ورودی (مثلاً اطلاعات مربوط به تقاضا) که در طول زمان تغییر می‌کنند، تمرکز دارند. این ویژگی‌ها باعث پیچیدگی‌های اساسی می‌شوند. وجود این پیچیدگی‌ها از طرفی باعث نزدیک‌شدن مسائل به دنیای واقعی و ایجاد شرایط برای استفاده عملی شده‌اند و از طرف دیگر با شدت‌یافتن این پیچیدگی‌ها مدل‌سازی این مسائل بسیار دشوار می‌شود و زمان حل مربوط به این مدل‌ها بسیار افزایش می‌یابد که این امر خود موضوع مهمی است. با توجه به بررسی مبانی نظری موضوع، فرموله‌بندی مدل پایه مسئله مسیریابی ظرفیت‌دار به شیوه‌های متفاوتی انجام شده است. یک حالت مدل‌سازی این مسئله به‌صورت زیر است:

$$\min \ Z=\sum_{i\in v}\sum_{j\in v} c_{ij}.x_{ij}+\sum_{j\in v} f.x_{0j} \qquad (۱)$$

$$\sum_{i\in v} x_{ij}=1 \qquad \forall j\in v\setminus\{0\} \qquad (۲)$$

$$\sum_{j\in v} x_{ij}=1 \qquad \forall i\in v\setminus\{0\} \qquad (۳)$$

$$\sum_{i\in v} q_{ij}-\sum_{i\in v} q_{ji}=d_j \qquad \forall j\in v\setminus\{0\} \qquad (۴)$$

$$q_{ij}\le s.x_{ij} \qquad \forall i,j\in v \qquad (۵)$$

$$\sum_{j\in v} q_{j0}=0 \qquad (۶)$$

$$x_{ij}\in\{0,1\} \ , \quad q_{ij}\ge 0 \qquad (۷)$$

در مدل بالا رابطه ۱، تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد که به‌دنبال حداقل‌کردن هزینه‌های ثابت تخصیص وسیله نقلیه (f) و هزینه متغیر حمل‌ونقل (فاصله (c_{ij})) است. روابط ۲ و ۳، الزام خدمت‌رسانی به مشتری‌ها را فقط توسط یک وسیله نقلیه ایجاد می‌کنند. رابطه ۴، الزام پوشش تقاضای هر گره را مشخص کرده و از ایجاد حلقه جلوگیری می‌کند. رابطه ۵، تضمین عدم‌تجاوز بارگذاری وسیله نقلیه از ظرفیت آن را ایجاد می‌کند. رابطه ۶، تضمین می‌کند که بارگذاری هر وسیله نقلیه باید با میزان تقاضای گره‌های پوشش‌دهنده برابر باشد. رابطه ۷، نیز نوع متغیرها را مشخص می‌کند. درضمن مجموعه‌ها، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل در جدول ۱، توضیح داده شده‌اند.

جدول ۱. مجموعه‌ها، اندیس‌ها، متغیرها و پارامترهای مربوط به مسئله CVRP

مجموعه‌ها	v	مجموعه گره‌های مقصد در شبکه
	0	گره مبدأ (دپو)
اندیس‌ها	i & j	شمارنده هر یک از گره‌های مبدأ، اعم از مبدأ و مقصد
متغیرها	x_{ij}	اگر مسیر از گره i به j تخصیص داده شود ۱؛ در غیر این صورت صفر.
	q_{ij}	میزان بارگذاری وسیله نقلیه در مسیر از گره i به گره j
پارامترها	c_{ij}	فاصله یا هزینه بین گره i تا گره j
	d_j	میزان تقاضای گره j
	S	ظرفیت وسیله نقلیه
	f	هزینه ثابت تخصیص وسیله نقلیه

مفروضات مدل بالا در ادامه ارائه شده است.

یکی از خواصی که اثرات زیادی در مسائل دارد، خاصیت متریک‌بودن یا مثلثی است که عنوان می‌کند که در یک شبکه G(V,A) با مجموعه رئوس V و با مجموعه کمان‌های A قاعده $d_{if} < d_{ij}+d_{jf}$ وجود دارد. این قاعده در تبدیل صحیح فواصل به سود کمک می‌کند؛ بنابراین با توجه به این موضوع در این پژوهش فواصل به‌صورت خط مستقیم فرض می‌شود.

ـ همه نقاط حتماً و تنها یک بار باید پوشش داده شوند؛

ـ تعداد و ظرفیت وسایل نقلیه معین، محدود و ثابت است؛

ـ تقاضای هر گره معین و ثابت است.

الگوریتم پیشنهادی. با بررسی مسئله مسیریابی در ساده‌ترین و اصلی‌ترین حالت آن در زمینه بهینه‌سازی ترکیبیاتی اثبات می‌شود که این مسئله از دسته مسائل NP-hard است [۲۰]. با توجه به این مطالب، الگوریتم‌های دقیق که می‌توانند تضمین بهینگی ایجاد کنند فقط برای مسائل در اندازه کوچک کارا هستند و برای مسائل با ابعاد بزرگ در زمان‌های بسیار نامعقول می‌توانند به جواب برسند. دو دسته روش‌های ابتکاری و فراابتکاری معمولاً برای کاربردهای عملی مناسب‌تر هستند؛ زیرا مقیاس مسائل دنیای واقعی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بزرگ‌تر هستند. هر دو دسته این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند که استفاده از آن‌ها را به شرایطی محدود می‌کنند. هیچ‌یک از این دو گروه از روش‌ها، تضمین بهینگی ایجاد نمی‌کنند.

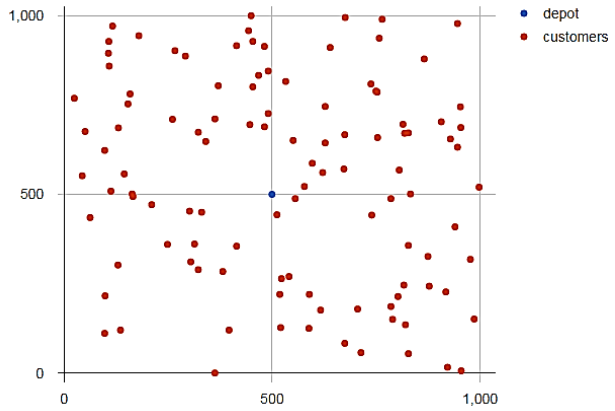
در زمینه بهینه‌سازی ترکیبیاتی، یکی از راه‌های جذاب دیگر مواجه با حل چنین مسائلی استفاده از تقلیل‌های مؤثر و در زمان چندجمله‌ای است که به حل برخی از مسائل در شرایط خاص کمک می‌کند. از تقلیل هم برای تعیین درجه سختی مسائل و هم برای حل مسائل با درجه سختی بالا استفاده می‌شود؛ اما نکته بسیار مهم این است که خود مسئله تقلیل نیز دارای زمان چندجمله‌ای

باشد و در غیر این صورت هیچ مزیتی ایجاد نمی‌کند. این نوع از روش‌ها به‌نوعی با تبدیل مسئله به مسئله‌ای دیگر، به دنبال حل آن در زمان معقول‌تری هستند. از جمله تقلیل‌های معروف می‌توان به تقلیل مسئله خوشه و مجموعه مستقل اشاره کرد. زمینه اصلی این پژوهش، استفاده از روش‌های تقلیل برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت‌دار (CVRP) است. مسئله شناخته‌شده دیگری که توجه بسیاری به آن می‌شود، «مسئله کوله‌پشتی»[1]است. کوهنوردی برای طی مسیر برای صعود به مجموعه‌ای از اقلام نیاز دارد که هر یک در مسیر صعود، کاربردی برای او دارند؛ اما به‌دلیل محدودبودن حجم کوله‌پشتی او نمی‌تواند تمامی این اقلام را همراه خود ببرد؛ بنابراین او به‌دنبال بهترین انتخاب با توجه به حجم کوله و اهمیت کاربرد اقلام (سود) است. یک روش ابتکاری شناخته‌شده در زمینه این مسئله، «روش انتخاب حریصانه» است؛ به این شکل که ابتدا نسبتی از حجم و سود اقلام محاسبه و مرتب شده و سپس از ابتدای فهرست مرتب‌شده تا جایی که حجم کوله‌پشتی اجازه می‌دهد، انتخاب صورت گرفته و داخل کوله قرار می‌گیرد.

روش ارائه‌شده در این پژوهش از ماهیت مسئله کوله‌پشتی و الگوریتم حریصانه مربوط به آن برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت‌دار استفاده می‌کند. در ادامه روش مربوط به این تقلیل ارائه و همچنین به فواید قابل‌ملاحظه‌ای که این تقلیل ایجاد می‌کند، اشاره می‌شود.

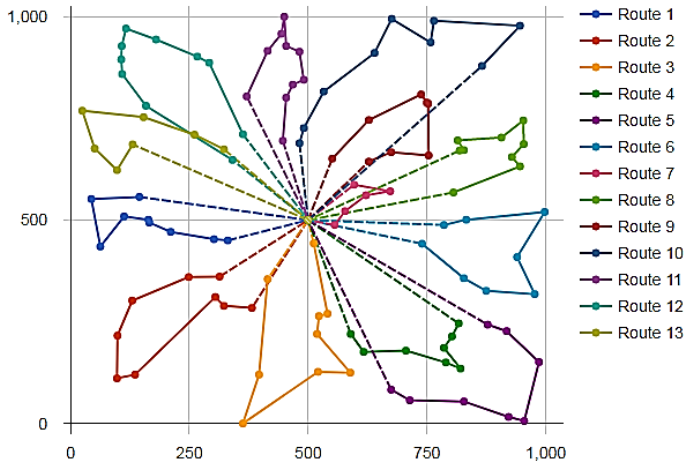
نخستین مرحله در تقلیل یک مسئله، تبدیل صحیح ورودی‌ها و خروجی‌های دو مسئله به یکدیگر استکه اگر این کار به‌درستی صورت نگیرد نمی‌توان از آن استفاده کرد. با توجه به این موضوع، روشن می‌شود که ورودی‌های مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت‌دار که شامل ظرفیت وسایل نقلیه، تقاضای گره‌ها و فواصل بین گره‌ها است باید به ورودی‌های مسئله کوله‌پشتی شامل حجم اقلام، حجم کوله‌پشتی و سود اقلام تبدیل شوند. با درنظرگرفتن ظرفیت وسایل نقلیه به‌عنوان ظرفیت کوله‌پشتی، تقاضای گره‌های مسئله مسیریابی به‌عنوان حجم اقلام مسئله کوله‌پشتی و فواصل بین گره‌ها به‌عنوان هزینه اقلام (نسبت معکوس فواصل بین گره‌ها در مسئله مسیریابی به‌عنوان سود اقلام مسئله کوله‌پشتی) می‌توان یک تبدیل صحیح از ورودی‌های مسئله ایجاد کرد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با توجه به تعداد وسایل نقلیه مسئله مسیریابی در این تبدیل به نوعی یک مسئله مسیریابی به چند زیرمسئله کوله‌پشتی (به تعداد وسیله نقلیه مورد نیاز) تبدیل می‌شود. برای روشن‌شدن این موضوع فرض کنید مجموعه‌ای از نقاط برای خدمت‌رسانی در مسئله مسیریابی مطابق شکل ۱، وجود دارد.

1. Knapsack



شکل ۱. نمونه‌ای از مختصات دپو و نقاط

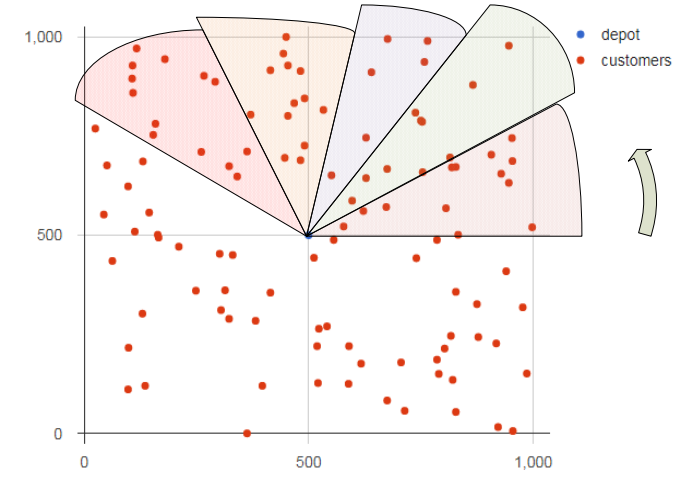
ابتدا چنین فرض می‌شود که به‌دنبال بهترین انتخاب از این مجموعه نقاط با توجه به ظرفیت (حجم قلم) و فاصله (سود قلم) آن‌ها به اندازه حجم وسیله نقلیه (حجم کوله) هستیم. با حل یک مسئله کوله‌پشتی در این شرایط می‌توان به یک انتخاب موجه رسید؛ سپس با حذف نقاط انتخاب‌شده دوباره رویه قبل را تکرار شده و مجموعه نقاط دوم انتخاب می‌شود و این رویه حل کوله‌پشتی‌های متوالی آنقدر تکرار می‌شود تا دیگر نقطه‌ای باقی نماند. نتیجه این مراحل در شکل ۲، ارائه شده است.



شکل ۲. نمایش نتیجه دسته‌بندی و مسیریابی توسط الگوریتم پیشنهادی

در بخش مرور مبانی نظری موضوع مربوط به مسئله مسیریابی، عنوان شد که تا به حال روش‌های حل زیادی از نظر نحوه عملکرد، ماهیت، سرعت و تضمین بهینگی ارائه شده است. یک گروه مهم از این روش‌ها مربوط به روش‌های ابتکاری است که به‌دنبال جوابی با کیفیت قابل‌قبول و در زمان معقول هستند. دو گروه عمده و شناخته‌شده از این روش‌ها مربوط به روش‌های مبتنی بر صرفه‌جویی و روش‌های شعاعی است. ایده اولیه روش‌های صرفه جویی توسط کلارک و رایت (۱۹۶۳)، ارائه شد [۶]. این روش‌ها از جمله روش‌های »ابتدا مسیر، بعد دسته‌بندی» هستند که ابتدا با تخصیص یک مسیر به هر یک از نقاط به یک جواب اولیه می‌رسند و سپس با درنظرگرفتن یک مقدار صرفه‌جویی برای ادغام هر دو نقطه به‌دنبال بیشترین میزان صرفه‌جویی با توجه به حجم وسایل نقلیه هستند. گروه بعدی، یعنی روش‌های شعاعی، از جمله روش‌های «ابتدا دسته‌بندی، سپس مسیر» هستند که به این نوع از روش‌ها «گلبرگی» نیز گفته می‌شود که شناخته‌ترین آن‌ها الگوریتم Sweep است. این روش با تبدیل موقعیت نقاط به مختصات قطبی و شروع از یک نقطه در جهت عقربه‌های ساعت و یا خلاف آن به انتخاب نقاط تا پُرشدن نخستین وسیله نقلیه می‌پردازد و سپس وسایل نقلیه بعدی تا انتخاب تمام نقاط، ادامه می‌دهد.

روش حل ارائه‌شده مربوط به این پژوهش نیز از نوع روش‌های ابتکاری «ابتدا دسته‌بندی، سپس مسیر» است که دسته‌بندی اولیه را به‌وسیله حل زیرمسئله‌های کوله‌پشتی ایجاد می‌کند. از جمله مشکلات مربوط به الگوریتم Sweep می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: نخست اینکه از این روش به‌دلیل نیاز به مختصات قطبی نمی‌توان در حل مسائلی مانند زمانبندی استفاده کرد و دوم اینکه معیار انتخاب نقاط، تنها ارتباط آنها با یکدیگر است و از معیارهایی مانند نزدیکی به دپو و همچنین ظرفیت مربوط به هر گره استفاده نمی‌کند؛ اما الگوریتم حریصانه ارائه‌شده علاوه بر اینکه با مشکلات مربوط به مختصات قطبی روبه‌رو نیست، از هر سه عامل مهم نزدیک نقاط، نزدیکی به دپو و ظرفیت اقلام برای انتخاب نقاط استفاده می‌کند. تفاوت دسته‌بندی نقاط توسط دو روش Sweep و الگوریتم پیشنهادی را می‌توان در شکل‌های ۲ و۳، مشاهده کرد.

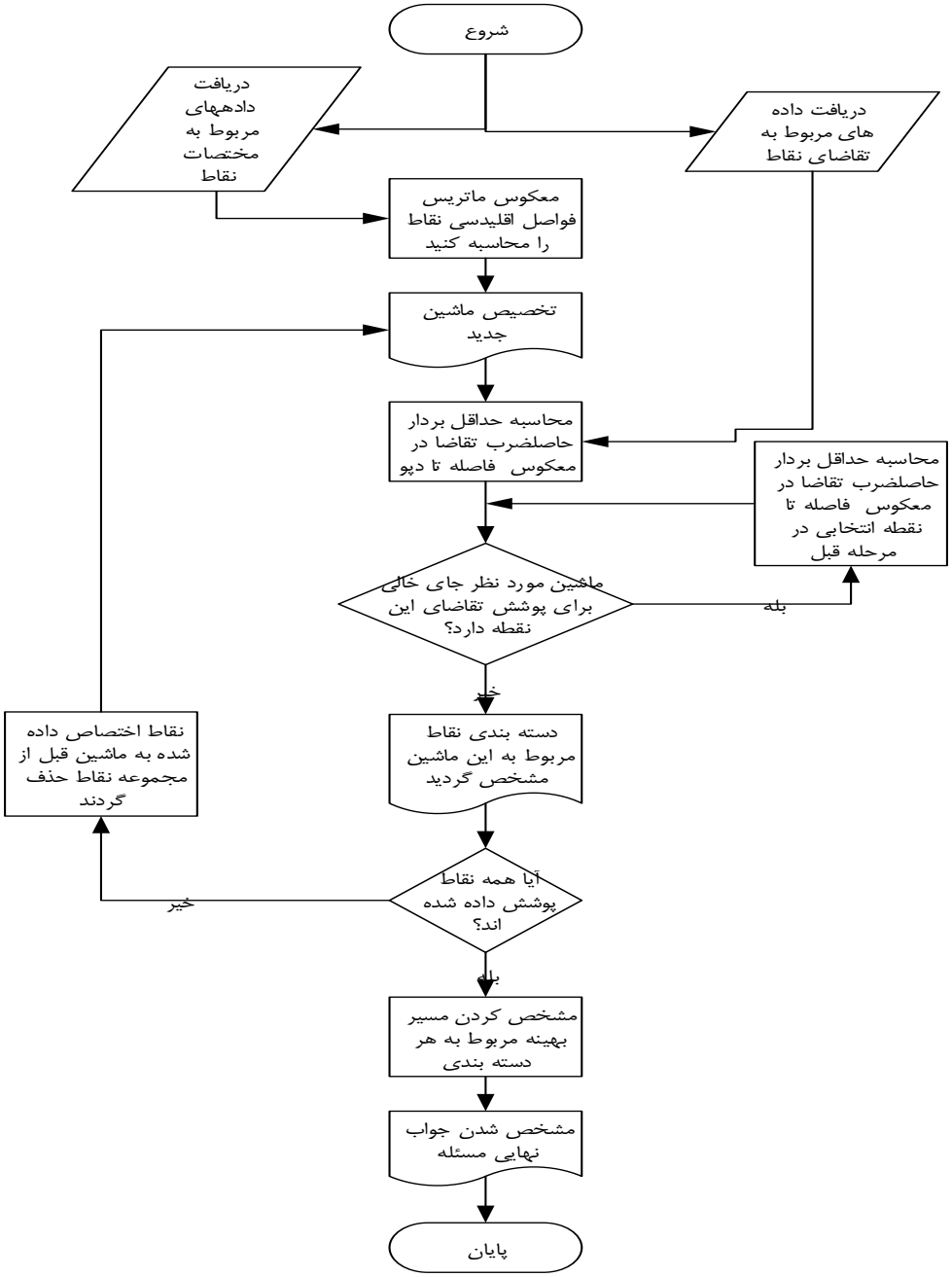


شکل ۳. نحوه دسته‌بندی نقاط توسط الگوریتم Sweep

بعد از مشخص‌شدن مجموعه گره‌هایی که توسط یک وسیله نقلیه باید خدمت‌رسانی شوند، الگوریتم به پیداکردن مسیر بهینه مربوط به هر دسته می‌پردازد. الگوریتم برای یافتن مسیر بهینه مربوط به هر دسته از مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP) استفاده می‌کند. مسئله فروشنده دوره‌گرد به دنبال گشتی[1] با کمترین طول (هزینه) است که طی آن از یک نقطه شروع کرده و تمامی نقاط را فقط‌وفقط یک بار مشاهده کرده و دوباره به نقطه اول باز می‌گردد [۱۷]. با توجه به ماهیت مسئله TSP مشخص می‌شود که با حل این مسئله برای هر یک از دسته‌بندی‌های به‌دست‌آمده از مسئله مسیریابی توسط الگوریتم می‌توان مسیر بهینه خدمت‌رسانی به نقاط هر دسته را مشخص کرد.

بعد از حل مدل و به‌دست‌آوردن نتایج، مجدداً خروجی‌های مسئله کوله‌پشتی به مسئله مسیریابی تبدیل می‌شود به این صورت که تعداد دفعاتی که مسئله کوله‌پشتی حل شده است تا تمام گره‌ها مشاهده شوند، برابر است با تعداد وسیله نقلیه تخصیص‌داده‌شده و نتیجه هر یک از حل‌های کوله‌پشتی نشان‌دهنده گره‌های قابل‌پوشش با وسیله نقلیه موردنظر است. رویه کار الگوریتم در شکل ۴، نشان داده شده است.

1. Tour



شکل ۴. نمایش گرافیکی نمودار جریان مربوط به الگوریتم پیشنهادی

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

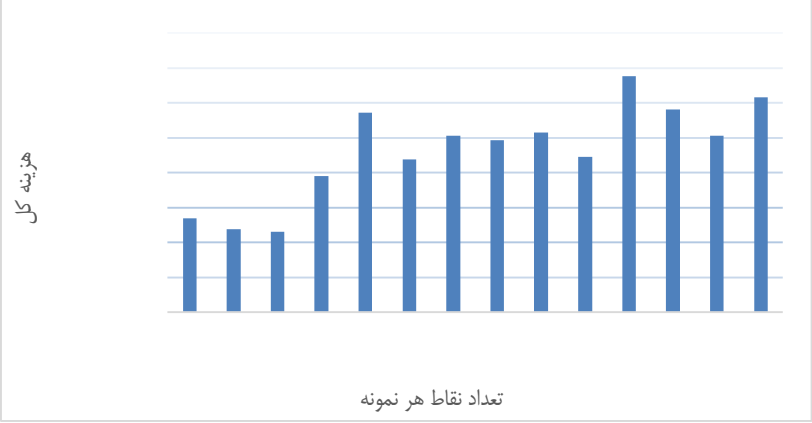
در این پژوهش برای بررسی و آزمایش الگوریتم ارائه‌شده و مقایسه نتایج از یک مجموعه نمونه استاندارد موجود در کتابخانه استاندارد CVRP.LIB استفاده شده است. نوع نمونه، جزئیات مربوطه، نتایج حاصل از الگوریتم ارائه‌شده و همچنین نتایج مربوط به روش‌های دیگر در جدول ۲، آمده است.

جدول ۲. نتایج مقایسه‌ای حاصل از روش پیشنهادی و سایر روش‌ها

اطلاعات نمونه‌ها					جواب حاصل از روش‌های موجود			جواب حاصل از روش ارائه‌شده
نام نمونه	تعداد مشتری	حداقل تعداد وسایل نقلیه	ظرفیت	جواب بهینه	HHA	Centroid based 3-phase	Sweep	
X-n۱۰۱-k۲۵	۱۰۰	۲۵	۲۰۶	۲۷۵۹۱	۵۶۹۸۰	۵۶۱۰۲	۵۵۹۳۰	۵۵۸۷۴
X-n۱۰۶-k۱۴	۱۰۵	۱۴	۶۰۰	۲۶۳۶۲	۳۲۰۵۴۸	۳۲۰۳۵۷	۳۱۹۸۹۵	۳۲۰۵۶۴
X-n۱۱۰-k۱۳	۱۰۹	۱۳	۶۶	۱۴۹۷۱	۱۳۵۰۰۲	۱۳۵۱۲۶	۱۳۵۰۳۰	۱۳۶۶۵۴
A-n۳۲-k۵	۳۲	۵	۱۰۰	۷۸۴	۱۰۱۲	۸۸۱	۸۷۲	۱۱۴۲
A-n۳۳-k۵	۳۳	۵	۱۰۰	۶۶۱	۸۴۷	۷۲۸	۷۸۸	۸۷۴
A-n۳۳-k۶	۳۳	۶	۱۰۰	۷۴۲	۹۱۹	۷۷۰	۸۲۹	۱۰۱۴
A-n۳۴-k۵	۳۴	۵	۱۰۰	۷۷۸	۹۹۸	۸۱۲	۸۵۲	۹۸۸
P-n۱۶-k۸	۱۶	۸	۳۵	۴۵۰	۵۴۶	۵۵۶	۵۶۸	۵۳۷
P-n۱۹-k۲	۱۹	۲	۱۶۰	۲۱۲	۲۵۳	۲۵۶	۲۳۶	۴۸۰
P-n۲۰-k۲	۲۰	۲	۱۶۰	۲۱۶	۵۲۷	۲۴۰	۲۳۸	۴۶۵
P-n۲۳-k۸	۲۳	۸	۴۰	۵۲۹	۷۴۳	۷۰۳	۶۴۵	۷۰۲
P-n۵۰-k۱۰	۵۰	۱۰	۱۰۰	۶۹۶	۸۰۸	۷۴۰	۷۷۹	۸۸۸
P-n۵۱-k۱۰	۵۱	۱۰	۸۰	۷۴۱	۸۵۷	۷۷۹	۸۰۶	۸۰۱
A-n۳۶-k۵	۳۶	۵	۱۰۰	۷۹۹	۱۱۲۶	۸۱۴	۸۸۴	۱۰۲۵
A-n۳۷-k۵	۳۷	۵	۱۰۰	۶۶۹	۸۷۶	۷۵۶	۷۳۴	۹۰۳
A-n۳۷-k۶	۳۷	۶	۱۰۰	۹۴۹	۱۱۸۰	۱۰۲۷	۱۰۵۰	۱۳۲۱
A-n۳۸-k۵	۳۸	۵	۱۰۰	۷۳۰	۹۲۰	۸۱۹	۸۷۴	۱۱۶۱
A-n۳۹-k۵	۳۹	۵	۱۰۰	۸۲۲	۱۱۴۷	۸۶۴	۹۷۱	۱۰۱۵
A-n۳۹-k۶	۳۹	۶	۱۰۰	۸۳۱	۱۰۶۵	۸۸۱	۹۶۶	۱۲۵۶

با توجه به جدول ۲، نتایج در بیشتر نمونه‌ها از دیگر روش‌های موجود بهتر هستند و در برخی از آن‌ها اختلاف چشمگیری وجود دارد. محاسبه درصد بهبود در جواب‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم حداکثر حدود ۲۲ درصد بهبود در جواب‌ها ایجاد کرده است.

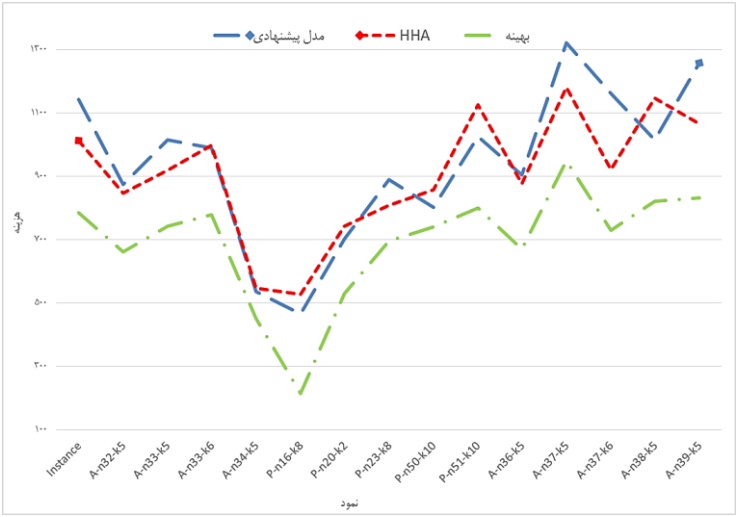
یکی از موارد مهم در بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت جواب‌های مربوط به حل مدل، تحلیل حساسیت پارامترهای مهم مدل است که نشان‌دهنده این است که تغییر یک پارامتر با چه شدتی و در چه جهتی می‌تواند نتیجه نهایی را تغییر دهد. با توجه به نوع مسئله، پارامترهای تأثیرگذار متفاوت بیان می‌شوند. مثلاً برای این مسئله می‌توان به مواردی مانند موقعیت نقاط، تعداد نقاط، تراکم نقاط، تقاضای نقاط، ظرفیت وسایل نقلیه و هزینه‌های ثابت اشاره کرد؛ اما علاوه بر ساختار مسئله، ساختار الگوریتم نیز تأثیر بسزایی بر این عوامل دارد. در این پژوهش با توجه به نوع مسئله و همچنین ساختار الگوریتم ارائه‌شده پس از بررسی مشخص شد که با وجود تأثیرگذاربودن همه عوامل با اندازه‌های متفاوت، هیچ عاملی به اندازه موقعیت نقاط تقاضا که نشان‌دهنده نوع و میزان پراکندگی نقاط است، نمی‌تواند جواب مسئله را تحت تأثیر قرار دهد. برای مثال، طبق در ۲، با وجود اینکه در دو نمونه A-n32-k5 و A-n33-k5، تعداد نقاط با یک عدد اختلاف بسیار نزدیک به هم است و ظرفیت وسایل نقلیه و تعداد آنها دقیقا، یکسان است، اما میزان تابع هدف تغییر چشمگیری دارد و تقریباً اختلافی حدود ۲۶۸ واحد پیدا کرده است. این اختلاف به‌معنای حدود ۲۴ درصد کاهش در تابع هدف در این دو نمونه است که قابل‌توجه بوده و نشان‌دهنده این است که موقعیت نقاط می‌تواند چه تأثیر بسزایی بر نتیجه مسئله بر جای گذارد؛ همچنین یک تغییر ۴۶ درصدی را می‌توان در دو نمونه A-n37-k5 و A-n37-k6 که تعداد نقاط و ظرفیت وسایل نقلیه یکسان است، مشاهده کرد. نمودار شکل ۵، بر اساس حل مسائل فقط با تغییر در موقعیت نقاط ایجاد شده است که حساسیت موجود بین این پارامتر و نتایج مربوط به الگوریتم را نشان می‌دهد. ازآنجاکه در این نمونه‌ها هزینه و ظرفیت وسایل نقلیه ثابت فرض شده است و فقط در موقعیت نقاط و به‌صورت جزئی در تعداد نقاط تغییر ایجاد شده است، نتایج حاصل با جواب‌های مربوط به جدول ۲، تفاوت دارند.



شکل ۵. نمودار تحلیل حساسیت مربوط به موقعیت نقاط

در مسائل بهینه‌سازی ترکیبیاتی به موضوعاتی چون ساختار مسئله، ساختار الگوریتم و اندازه نمونه توجه زیادی می‌شود. ساختار مسئله بر الگوریتم‌های ابتکاری تأثیرات زیادی دارد؛ زیرا یک ایده خاص، جدید و خلاق اساس آن‌ها را تشکیل می‌دهد. برای مثال هر یک از روش‌های ابتکاری حل مسائل مسیریابی با توجه به محور اصلی ایجاد روش و تمرکز روش بر هر یک از عوامل تأثیرگذار مسئله می‌توانند نتایج مطلوب‌تری را برای آن مسئله موردنظر ایجاد کنند. از جمله عوامل تأثیرگذار در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ظرفیت دار می‌توان به موقعیت قرارگیری نقاط در اطراف دپو، تعداد نقاط، تراکم نقاط در مناطق مختلف، میزان تقاضای نقاط، ظرفیت وسایل نقلیه، هزینه ثابت تخصیص وسایل نقلیه و سایر عوامل مؤثر بر آن اشاره کرد. با توجه به همین موضوع این روش نیز مانند دیگر روش‌های مطرح‌شده قاعدتاً در همه انواع مسائل از نظر ساختار مسئله مسیریابی نمی‌تواند به‌صورت بهترین عمل کند و به همین علت است که در جدول ۲، نتایج مطرح‌شده برای همه نمونه‌ها میزان بهبود یکسانی ندارند.

شکل ۶، نمایی از مقایسه جواب بهینه با الگوریتم پیشنهادی در این پژوهش و روش HHA به‌عنوان یکی از بهترین الگوریتم‌های موجود در مبانی نظری، ارائه کرده است. یادآوری این نکته ضروری است که سه مثال اول به‌دلیل مقیاس نمودار در شکل نیامده است.



شکل ۶. مقایسه نتایج الگوریتم‌ها

مسائل و مباحث علمی با هدف پاسخگویی به مسائل و مشکلات عملی به‌وجود آمده‌اند؛ یعنی بدون این هدف هیچ توجیهی برای ارائه مسائل علمی وجود ندارد. در این میان یکی از مسائلی که در بخش‌های بسیاری به چشم می‌خورد، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه است. از جمله موارد کاربرد

این مسئله می‌توان به مدیریت توزیع در شرایط بحران، مدیریت جمع‌آوری زباله‌های شهری و مدیریت حمل‌ونقل کالاهای خطرناک و حیاتی اشاره کرد؛ اما به‌وضوح بر همگان روشن است که بهترین و قوی‌ترین مدل‌ها مربوط به این مسائل تا زمانی که حل نشده باشند، هیچ ارزشی را ایجاد نمی‌کنند. علاوه بر این باید حل مدل هم دارای جواب با کیفیتی باشد و هم در زمان معقولی به‌دست آمده باشد. این امر نشان‌دهنده ارتباط زنجیره‌ای و به‌هم‌پیوسته مسائل است که نشان می‌دهد تا زمانی که مسئله عملی وجود نداشته باشد، مسئله علمی به‌وجود نمی‌آید و متقابلاً تا زمانی که مسئله علمی به‌درستی حل نشود نمی‌تواند مشکل مسئله عملی را حل کند. این پژوهش با تمرکز بر بخش سوم این زنجیره، یعنی حل درست مدل، به دنبال کمک به کاهش مشکلات مدیریتی موجود در زمینه مسیریابی وسایل نقلیه است. این پژوهش با هدف دستیابی به جواب‌های بهتر و با سرعت بیشتر به دنبال رفع دغدغه‌های مربوط به جواب مسائل، به‌خصوص در شرایط بحرانی و یا شرایطی است که مدیریت نیازمند سرعت بالایی برای تصمیم‌گیری است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مسیریابی وسایل نقلیه یکی از مسائل بسیار مهم در زمینه بهینه‌سازی است که به دلیل کاربردهای فراوان و پیچیدگی‌های زیاد، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. از طرفی پیچیدگی محاسباتی این مسائل باعث شده است که حل این مسائل بسیار زمان‌بر و سخت شود؛ از طرف دیگر کاربرد زیاد این مسائل در دنیای واقعی الزام نیاز به روش‌های حل در زمان منطقی و با دقت خوب را ایجاد می‌کند. این تضاد باعث به‌وجودآمدن گروهی از روش‌ها به نام «روش‌های ابتکاری و فراابتکاری» شده است. این پژوهش نیز با توجه به خواص مسئله کوله‌پشتی، یک تقلیل برای مسئله مسیریابی ارائه کرده و همچنین یک روش ابتکاری حریصانه مبتنی بر این تقلیل برای حل مسئله مسیریابی ظرفیت‌دار ارائه کرده است. کیفیت الگوریتم با استفاده از نمونه‌های استاندارد موجود در CVRP.LIB آزمون شده است. نتایج ارائه‌شده در بخش نتایج عددی، گواه بر ساختار مناسب این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌های ارائه‌شده برای حل این مسئله است. از ویژگی‌های روش ارائه‌شده، علاوه بر کیفیت جواب قابل‌قبول، می‌توان به سادگی روش هم از لحاظ مفهوم روش و هم اجرای آن و همچنین سرعت خوب روش اشاره کرد. از مزایای بسیار مهم روش‌هایی که از تقلیل استفاده می‌کنند، ارتباط سیستماتیک بین دو مسئله است که می‌تواند شرایط بسیار مفید و مؤثری را در بهبود روش، توسعه و تکامل آن ایجاد کند. برای نمونه به‌عنوان پیشنهادهای آتی می‌توان از وجود طرح تقریبی برای مسئله کوله‌پشتی استفاده کرد و آن را برای مسئله مسیریابی نیز گسترش داد؛ همچنین از بهبودهایی که در روش حریصانه انتخاب اقلام مربوط به کوله‌پشتی صورت گرفته است، می‌توان برای بهبود جواب حاصله و کم‌کردن فاصله جواب از بهینگی استفاده کرد.

منابع

1. Farazmand, M., Pishvaee, M. (2018). Multimodal Transportation Network Design Model under Uncertainty Conditions (Case Study: Cement Transportation in Iran). *Journal of Industrial Management Perspective, 8(3),* 115-139 (In Persian).
2. Mortazavi, S., Seif Barghy, M. (2018). Two-Objective Modeling of Location-Allocation Problem in a Green Supply Chain Considering Transportation System and CO2 Emission. *Journal of Industrial Management Perspective, 8(1),* 163-185 (In Persian).
3. Nikjoo, N., Javadian, N. (2019). A Multi-Objective Robust Optimization Logistics Model in Times of Crisis under Uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective, 8(4),* 121-147 (In Persian).
4. Altinkemer, K., & Gavish, B. (1991). Parallel savings based heuristics for the delivery problem. *Operations research, 39(3),* 456-469.
5. Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E., & Mingozzi, A. (2004). An exact algorithm for the capacitated vehicle routing problem based on a two-commodity network flow formulation. *Operations research, 52(5),* 723-738.
6. Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research, 12(4),* 568-581.
7. Crainic, T. G ,.Perboli, G., Mancini, S., & Tadei, R. (2010). Two-Echelon Vehicle Routing Problem: A satellite location analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2(3),* 5944-5955.
8. Dantzig, G. B., & Ramser ,J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science, 6(1),* 80-91.
9. Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Manage. Sci., 6(1),* 80-91.
10. Desrochers, M., & Verhoog, T. (1989). A matching based savings algorithm for the vehicle routing problem. *Cahiers du GERAD.*
11. Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009). Survey: The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Comput. Ind. Eng., 57(4),* 1472-1483.
12. Farahbakhsh, A., & Forghani, M. A. (2019). Sustainable location and route planning with GIS for waste sorting centers, case study: Kerman, Iran. *Waste Management & Research, 37(3),* 287-300.
13. Fisher, M. L. (1994). Optimal solution of vehicle routing problems using minimum k-trees. *Operations research, 42(4),* 626-642.
14. Fisher, M. L., & Jaikumar, R. (1981). A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks, 11(2),* 109-124.
15. Gillett, B. E., & Miller, L. R. (1974). A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem. *Operations research, 22(2),* 340-349.
16. Hannan, M., Akhtar, M., Begum, R. A., Basri, H., Hussain, A., & Scavino, E. (2018). Capacitated vehicle-routing problem model for scheduled solid waste collection and route optimization using PSO algorithm. *Waste Management, 71,* 31-41.
17. Jünger, M., Reinelt, G., & Rinaldi, G. (1995). The traveling salesman problem. *Handbooks in operations research and management science, 7,* 225-330.
18. Kumar, S. N., & Panneerselvam, R. (2012). A survey on the vehicle routing problem and its variants. *Intelligent Information Management, 4(3),* 66.
19. Laporte, G., & Nobert, Y. (1987). Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem*. In G. L. M. M. Silvano Martello & R. Celso (Eds.), *North-Holland*

Mathematics Studies, 132, 147-184.
20. Lawler, E., Lenstra, J., & Rinnooy Kan, A. (1981). Minimizing maximum lateness in a two-machine open shop. *Mathematics of Operations Research, 6(1),* 153-158 .
21. Lenstra, J. K., & Kan, A. H. G. R. (1979). *Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems*: Math. Centrum.
22. Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S., & Lam, H. (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert Systems with Applications, 41(4),* 1118-1138.
23. Prodhon, C., & Prins, C. (2014). A survey of recent research on location-routing problems. *European Journal of Operational Research, 238(1),* 1-17.
24. Renaud, J., & Boctor, F. F. (2002). A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research, 140(3),* 618-628.
25. Ryan, D. M., Hjorring, C., & Glover, F. (1993). Extensions of the petal method for vehicle routeing. *Journal of the Operational Research Society, 44(3),* 289-296
26. Sbihi, A., & Eglese, R. W. (2010). Combinatorial optimization and Green Logistics. *Annals of Operations Research, 175(1),* 159-175.
27. Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations research, 35(2),* 254-265.
28. Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*: SIAM.
29. Vigo, D. (1996). A heuristic algorithm for the asymmetric capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research, 89(1),* 108-126.
30. Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Leung, S. C. (2018). A simulated annealing algorithm for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research, 265(3),* 843-859.

Solving the CVRP with Reduction to Knapsack Problem and Greedy Clustering Heuristic Method

Amin Farahbakhsh[*], Javad Behnamian[**]

Abstract

The vehicle routing problem is one of the most well-known optimization problems, which aims to design an optimum set of routes with the lowest cost for servicing the customers in a way that is consistent with the existing constraints. The wide practical application and scope of this problem has attracted much attention from researchers. But in return, the severity of solving has created difficulties and increased the need for heuristic and meta-heuristic solutions. This research represents a greedy heuristic method based on first categorizing then routing methods, to solve the capacitated vehicle routing problem (CVRP) using the capabilities of problem reduction to the knapsack problem. The advantages of this method include the consideration of effective criteria such as distance between customers, distance between customers to depot and demand of points in decision making, decent speed and quality of solution and the ability to utilize the benefits of reduction. Standard samples from CVRPLIB were used to evaluate the results and comparing them.

Keywords: Reduction; CVRP; Greedy Heuristic Algorithm; Knapsack Problem; Clustering Method.

Received: August 13, 2019, Accepted: Jan. 28, 2020.
* Ph.D Student, Bu-Ali Sina University.
** Associate Professor, Bu-Ali Sina University (Corresponding Author).
E-mail: Behnamian@basu.ac.ir