International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2012)

November 2012, Volume 23, Number 3
pp. 303-315

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

# Offering a Mathematical Model and Heuristic Method for Solving Multi-Depot and Multi-Product Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Vehicle

**V. Mahdavi Asl, H. Khademi Zare* & H. Hosseini Nasab**

***Vahid mahdavi Asl,*** *Ms.c student of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran*
***Hassan Khademi Zare,*** *Assistant professor of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran*
***Hassan Hosseini Nasab,*** *Associated professor of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran*

**Keywords**

Multi-Depot Vehicle Routing Problem,
Integer Programming,
Heuristic Method,
Minimize cost

**ABSTRACT**

*A mathematical model and heuristic method for solving multi-depot and multi-product vehicle routing problem with heterogeneous vehicle have been proposed in this paper. Customers can order several products and depots must deliver customer's orders before due date with different vehicle. Hence mathematical model of multi-depot vehicle routing problem has been developed to represent these conditions. Aim of this model is to minimize total delivery distance or time spent in servicing all customers. As this problem is very complex, we have offered a heuristic method that includes four steps. Grouping, routing and vehicle selection, scheduling and packing of products and improvement are the aforementioned steps. Efficiency of heuristic has been tested by a case study and several numerical examples. Comparing the results of heuristic and optimal solving has revealed that the deviation of heuristic results from optimal answer is lower than eight perce.*

**© 2012 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 23, No. 3, All Rights Reserved**

* **Corresponding author. Hassan Khademi Zare**
**Email**: *hkhademiz@yazduni.ac.ir*

[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۳، جلـــد ۲۳، آذر ۱۳۹۱
صفحـــه ۳۱۵-۳۰۴

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

# ارائه یک مدل ریاضی و روش ابتکاری جدید برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی و چند محصولی با وسایل نقلیه متفاوت

وحید مهدوی اصل، حسن خادمی زارع* و حسن حسینی نسب

**کلمات کلیدی**

مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی،
برنامه‌ریزی عدد صحیح،
روش ابتکاری،
حداقل کردن هزینه

**چکیده:**

در این مقاله یک مدل ریاضی و یک روش ابتکاری جدید برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی و چند محصولی با وسایل نقلیه متفاوت ارائه شده است. مشتریان امکان سفارش کالاهای متفاوت را دارند، قرارگاهها نیز باید با وسایل نقلیه‌ای که دارای ظرفیت، سرعت و هزینه‌های مختلفی هستند، به سفارشات مشتریان خود قبل از موعد تحویل پاسخ دهند. به همین منظور مدل ریاضی مسئله مسیریابی چند قرارگاهی توسعه یافته است تا بتواند بازتاب دهنده شرایط مطرح شده باشد. هدف این مدل کاهش مسافت سرویس‌دهی است، که منجر به کاهش در هزینه‌ها و زمان سرویس‌دهی می‌شود. به دلیل پیچیدگی زیاد این مسئله و زمان‌بر یا غیر ممکن بودن حل دقیق مدل توسعه یافته، یک روش ابتکاری پیشنهاد شده است. این روش دارای چهار گام اصلی شامل: گروهبندی مشتریان، مسیریابی و تعیین نوع وسیله نقلیه، زمانبندی و بسته‌بندی سفارشات و بهبود است. کارایی این روش با مقایسه جواب‌های بهینه چندین مسئله و یک مطالعه موردی در شرکت کاله یزد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل، موثر بودن این روش و قابلیت استفاده از آن در صنعت را نشان داد.

## ۱. مقدمه

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP[2]) یک نام عمومی برای مجموعه مسائل بهینه سازی است که بوسیله تعدادی وسیله نقلیه به مشتریان سرویس داده می‌شود. وسایل نقلیه قرارگاه را ترک می‌کنند، به مشتریان شبکه سرویس می‌دهند و بعد از طی کامل مسیرشان به قرارگاه باز می‌گردند. به عبارت دیگر VRP طراحی یک مجموعه از مسیرها برای یک ناوگان از وسایل نقلیه است که شروع و پایان مسیرها، قرارگاه می‌باشد و در طول این مسیرها به تعدادی مشتری با تقاضای مشخص سرویس داده می‌شود. هر یک از مشتریان باید بوسیله یکی از این مسیرها ملاقات شوند و هدف حداقل کردن هزینه کل سرویس‌دهی است[۱]. VRP به نوع های متنوعی گسترش یافته مانند: مسئله مسیریابی وسایل نقلیه دوره‌ای (PVRP[3]) که به مشتریان در دوره‌های زمانی بیشتر از یک روز سرویس داده می‌شود. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با گرفتن و تحویل دادن کالا (VRPPD[4]) که مشتریان هر دو امکان گرفتن و ارسال محصول را دارند. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره-

**تاریخ وصول: ۸۹/۸/۸**
**تاریخ تصویب: ۹۰/۳/۲**

**وحید مهدوی اصل**، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، vahidmahdaviasl65@gmail.com

***نویسنده مسئول مقاله: دکتر حسن خادمی زارع**، استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، hkhademiz@yazduni.ac.ir

**دکتر حسن حسینی نسب**، دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، hhn@yazduni.ac.ir

[2] *Vehicle Routing Problem*

*3 Vehicle Routing Problem Periodic*
*4 Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem*



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

های زمانی (VRPTW[1]) که وسایل نقلیه باید به مشتریان قبل از دیرترین زمان ورود مجاز برسند، رسیدن در زمانی قبل از زودترین زمان ورود نیز منجر به جریمه می‌گردد[۲]. یک نکته مشترک تمام مسئله‌های ذکرشده در بالا این است که آنها برمبنای یک قرارگاه بنا شده‌اند.

بنابراین آنها در دسته VRP تک قرارگاهی قرار داده می‌شوند. VRPهای تک قرارگاهی بسیار زیاد مورد توجه قرارگرفته‌اند، اما به نسبت در مواردی که بیشتر از یک قرارگاه وجود دارد مطالعات کمتری صورت گرفته است. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی (MDVRP[2]) در دنیای واقعی دارای کاربردهای فراوانی است زیرا معمولا در زنجیره‌های تامین و یا شهرهای بزرگ برای ذخیره و توزیع کالاها از بیش از یک قرارگاه استفاده می‌شود. هر مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی را می‌توان به سه قسمت تجزیه کرد: قسمت اول مشخص می‌کند که هر مشتری توسط کدام قرارگاه سرویس داده شود. به این قسمت گروه‌بندی مشتریان نیز می‌گویند. قسمت دوم تعیین مسیر سرویس‌دهی یا مسیریابی است.

در این قسمت تمام مسیرهای سرویس دهی هر یک از قرارگاه‌ها مشخص می‌گردد. قسمت آخر نیز تعیین اولویت در سرویس‌دهی است که تقدم و تاخر ملاقات مشتریان در هر مسیر را مشخص می‌کند[۳].

مشخص است که این نوع مسئله بیشتر از VRP های تک قرارگاهی پیچیده و دشوار است. در نظر داشته باشید که مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی NP-hard است به این معنی که یک الگوریتم کارا برای حل کردن ابعاد بزرگ این مسئله و رسیدن به جواب بهینه در زمان کوتاه در دسترس نیست[۲، ۳، ۴ و ۵].

با توجه به اهمیت موضوع مسیریابی، در این مقاله مدل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی برای حالتی که چندین محصول مختلف برای توزیع وجود دارد و همچنین وسایل نقلیه در دسترس دارای ظرفیت‌های مختلفی می‌باشد، توسعه داده شده، سپس برای حل مدل پیشنهادی یک روش ابتکاری معرفی گردیده است.

ساختار این مقاله در ادامه به این صورت می‌باشد. در بخش ۲ مروری بر کارهای انجام شده در زمینه مسیریابی صورت گرفته است. بخش ۳ شامل تعریف پارامترها، متغیرها و مدل مسئله MDVRP چند محصولی با وسایل نقلیه متفاوت است. در بخش ۴ گام‌های روش ابتکاری و طریقه کد کردن جواب‌های مسئله بیان شده است. در بخش ۵ کارایی روش پیشنهادی با چندین مسئله واقعی در ابعاد مختلف نشان داده شده است. در بخش ۶ یک مطالعه موردی آورده شده است و نتایج مقاله در بخش ۷ بیان شده‌اند.

## ۲. مرور ادبیات

در طی سال‌های گذشته انواع مختلف VRP تک قرارگاهی در مقالات متعددی مورد توجه قرار گرفته است، در مقایسه با آن تعداد پژوهش‌ها در MDVRP بسیار کمتر است[۳]. در ادامه به برخی از کارهایی که در زمینه مسیریابی انجام شده است، پرداخته می‌شود.

روش ابتکاری جستجوی ممنوع برای MDVRP بوسیله رناود و همکارانش پیشنهاد شد. آنها روش پیشنهادیشان را با آوردن مثال‌هایی با روش‌های دیگر مقایسه نمودند. [۶]. کوردوآ و همکارانش یک روش ابتکاری جامع که مسئله‌های مسیریابی وسایل نقلیه دوره ای و مسئله های فروشنده دوره‌گرد را حل می-کند، ارائه دادند[۷].

چاوو و همکارانش روش ابتکاری بهبود دهنده برای MDVRP پیشنهاد داده‌اند[۸]. تقاضای غیر قطعی با توزیع نامشخص در VRP اخیرا توسط فرهنگ مقدم و سیدحسینی مورد توجه قرارگرفته است. آنها از الگوریتم پرندگان برای حل این نوع مسئله‌ها استفاده نموده‌اند[۹]. هوو و همکارانش دو الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای MDVRP توسعه دادند که تفاوت اصلی بین دو الگوریتم در جواب‌های اولیه است[۲].

پسینجر و راپک یک روش ابتکاری یکتا شده که می‌توانست مسائل مسیریابی وسایل نقلیه متنوع را حل کند، معرفی کردند[۱۰]. کریویر و همکارانش یک مدل MDVRP گسترده که وسایل نقلیه امکان بارگیری مجدد در قرارگاه‌های میان راهشان را داشتند، ایجاد کردند[۱۱].

صالحی و ساری یک روش ابتکاری سه مرحله‌ای برای حل MDVRP پیشنهاد دادند. مرحله اول یک جواب اولیه شدنی ایجاد می‌کرد و مرحله‌های دوم و سوم به ترتیب مسیرهای تمام قرارگاه‌ها را که بیرون قرارگاهی و مسیرهای درون هر یک از قرارگاه‌ها که درون قرارگاهی است، را بهبود می‌دهند[۱۲]. سپهری و کارگری بر روی مسائل چند سطحی و چند محصولی و چند قرارگاهی وسایل نقلیه با هدف حداقل کردن هزینه‌های توزیه مطالعه نمودند. آنها الگوریتم کارایی ارائه دادند، که بر مبنای ضرایب لاگرانژ مسئله مسیریابی چند محصولی را به چندین مسئله تک محصولی تبدیل و سپس حل می‌کرد[۱۳].

1 *Time Windows Vehicle Routing Problem*
2 *Vehicle Routing Problem Multi-Depot*



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

سوو یک سیستم کنترل و زمانبندی پویا وسایل نقلیه برای حل MDVRP ارائه کرد. همه تصمیمات کنترل بر طبق زمان و حالت-های سیستم واقعی، همچون مکانیابی، مقدار و موعد تحویل تقاضا، در نظر گرفته شده است[۱۴].

واو و همکارانش مسئله مسیریابی-مکانیابی چند قرارگاهی(MDLRP) که گسترش‌یافته MDVRP است، را مورد مطالعه قراردادند. MDLRP مذکور به مسئله تخصیص مکان و VRP تجزیه شد، سپس آنها به ترتیب و به طور تکراری با استفاده از شبیه‌سازی آنلینگ حل شدند. تفاوت اصلی بین MDLRP و MDVRP تقدم تعیین تعداد و مکان قرارگاه‌ها است[۱۵]. گیوسا و همکارانش MDVRP با پنجره‌های زمانی را مورد بررسی قرار دادند، که گسترش یافته MDVRP بود.

نویسندگان شش روش ابتکاری برای تخصیص مشتری ها به قرارگاه ها طراحی و آنها را مقایسه کردند[۱۶]. واسنر و زاپفل بر روی MDVRP برای برنامه‌ریزی بسته سرویس مطالعه کردند و یک روش ابتکاری بر مبنای جستجوی محلی با مجموعه حلقه‌های بازگشتی برای حل مسئله مذکور توسعه دادند[۱۷]. ناجی و صالحی تعدادی روش ابتکاری حل VRP با تحویل و ارسال برای یک قرارگاه ارائه کردند. این روش ها می‌توانند اصلاح شوند تا از پس VRPPD چند قرارگاهی نیز برآیند[۱۸]. حقانی و جونگ یک الگوریتم ژنتیک برای حل VRP پویا با زمان وابسته به زمان های سفر ارائه دادند[۱۹].

بائه و همکارانش از یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته برای حل MDVRP استفاده کردند. آنها برای یافتن جواب اولیه برای الگوریتم خودشان از سه روش ابتکاری بهره جستند تا هزینه‌های تدارکات را با رعایت بازه‌ی زمانی تحویل کالا و ظرفیت وسایل نقلیه کمینه کنند[۲۰]. بتینلی و همکارانش با استفاده از الگوریتم انشعاب و برش و هزینه یک روش دقیق برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ناهمسان چند قرارگاهی با پنجره‌های زمانی ارائه کردند. آنها روش خود را با انجام آزمایش‌های عددی بررسی کردند[۲۱]. در زمینه VRP چند محصولی، فلاحی و همکارانش مسئله VRP سنتی را در حالتی که هر مشتری امکان سفارش چندین نوع محصول را دارد مورد بررسی قرار دادند. در نظر گرفتن امکان سفارش چندین محصول برای هر مشتری مسئله VRP را به دنیای واقعی نزدیک‌تر می‌کند. در مدل پیشنهادی آنها تقاضای هر مشتری برای یک محصول باید توسط یک وسیله نقلیه پاسخ داده شود، بنابراین محصول‌های مختلف مورد نیاز یک مشتری ممکن است از طریق چند وسیله نقلیه تامین شوند. آنها برای حل مدلشان از الگوریتم ژنتیک ترکیبی و روش جستجوی ممنوع استفاده نمودند[۲۲].

موین و همکارانش یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی کارا در زمینه مسیریابی موجودی‌ها بین کارخانه مونتاژ و تامین‌کنندگان ارائه دادند. در تحقیق آنها محصولی که هر تامین کننده ارائه می‌دهد و مقدار تقاضای آن محصول مشخص می‌باشد. یک ناوگان از وسایل نقلیه همسان برای انتقال محصولات مختلف در یک افق برنامه-ریزی محدود که از چندین دوره زمانی تشکیل شده، وجود دارد. آنها در پایان چندین مسئله کوچک و متوسط برای نشان دادن کارایی الگوریتم خود آورده‌اند[۲۳].

کووا و همکارانش یک روش حل بهینه برای تخصیص کالاها و مسئله مسیریابی وسایل نقلیه ارائه نمودند. آنها در تحقیق خود زمان سفر را وابسته به سرعت وسیله نقلیه در نظرگرفتند. سپس در یک مطالعه موردی آنها کارایی روش ارائه شده را نسبت به روش‌های موجود نشان دادند[۲۴]. کواچن و همکارانش یک مدل ریاضی غیر خطی پیشنهاد دادند که زمانبندی تولید و مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره‌های زمانی را برای محصولات غذایی فاسد شدنی در نظر می‌گرفت. هدف مدل آنها حداکثر کردن کل سود انتظاری بود. در این مدل تقاضای خرده‌فروش‌ها احتمالی فرض شده همچنین محصولات غذایی بعد از تولید به مرور زمان کیفیت خود را از دست خواهند داد.

سود تامین کننده غیر قطعی می‌باشد و به ارزش و مقدار محصولات معامله شده بستگی دارد. مقدار بهینه تولید، زمان شروع تولید و مسیرهای وسایل نقلیه به طور هم زمان می‌توانند در مدل مشخص شوند. آنها یک الگوریتم حل برای این مسئله پیچیده شرح دادند، و کارایی وموثر بودن الگوریتم‌شان را با حل مثال مشخص نمودند[۲۵]. سپهری و جعفری از رویکرد مساله مسیریابی ادواری وسایل نقلیه به منظور مدلسازی و حل مساله جمع آوری بهنگام قطعات سیستم‌های تولیدی استفاده کردند[۲۶].

رزمی و همکارانش مدلی پویا VRP با در نظر گرفتن تعداد دوره-های مختلف برای مشتریان ارائه کرده و برای حل آن الگوریتم مورچگان را به کار بردند[۲۷]. محمدی و همکارانش یک الگوریتم رقابتی استعماری چند هدفه برای مسئله مکانیابی پوششی ارائه دادند[۲۸].

## ۳. فرمولبندی مسئله MDVRP چند محصولی با وسایل نقلیه متفاوت

در این بخش مدل ریاضی مسئله مسیریابی چند قرارگاهی- چند محصولی با وسایل نقلیه متفاوت با هدف حداقل نمودن هزینه-های توزیع و حمل و نقل کالاها بیان گردیده است. جواب مدل



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

مطرح شده مسیرهای تحویل از قرارگاه به مشتریان است، یعنی توالی مشتریان در هر مسیر برای هر وسیله نقلیه مشخص می‌گردد. تقاضاهای مشتریان قطعی و مشخص است. زمان مورد نیاز برای طی مسیر بین مشتری‌ها و قرارگاه قطعی است. وسایل نقلیه دارای ظرفیت‌های متفاوت می‌باشند. هر وسیله نقلیه از یک قرارگاه شروع به خدمت‌دهی می‌کند و در پایان به همان قرارگاه باز می‌گردد. کل تقاضای هر مشتری با یک وسیله نقلیه تامین می‌گردد.

### ۳-۱. تعریف پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری

$I= 1,2,...,m$: مجموعه m قرارگاه یا انبار منطقه‌ای

$J= m+1,m+2,...,m+n$: مجموعه n مشتری یا فروشگاه مجاز (n= تعداد کل مشتریان)

$k= 1,2,...,K$ : مجموعه k وسیله نقلیه موجود(هر وسیله دارای ظرفیت خاص خود می‌باشد.)

$r = 1,2,...,R$: مجموعه r مسیر

$a= 1,2,...,A$: مجموعه a کالا قابل توزیع

$Q_k$: ظرفیت وسیله نقلیه k به واحد حجم

$P_a$: حجم هر قلم کالای a به صورت بسته‌بندی شده

$d_{ja}$: تقاضای مشتری j برای کالای a

$V_{ia}$: ظرفیت قرارگاه i برای عرضه کالای a

$t_i^k$ : زمان اتمام جمع‌آوری و آماده سازی کالاهای درخواستی وسیله k در قرارگاه i

$t_{ij}$: زمان مسافرت از گره i به گره j

$T_j$: مدت زمان تخلیه بار مشتری j

$F_j$: موعد تحویل سفارش مشتری j

$C_{ij}^k$: هزینه خدمت‌دهی قرارگاه i به مشتری j توسط وسیله k

$U_{ir}^k$ : زمان شروع حرکت وسیله نقلیه k در مسیر r از قرارگاه i

$W_j^k$ : زمان رسیدن وسیله k به مشتری j

$X_{ijr}^k$ : اگر وسیله k در مسیر r بلافاصله بعد از نقطه i به نقطه j برود یک و در غیر این صورت صفر

$Z_{ij}$ : اگر مشتری j به قرارگاه i اختصاص یابد یک و در غیر این صورت صفر

$Y_{ir}$ : متغیر کمکی برای حذف زیر تورهای مسیر r

### ۳-۲. مدل ریاضی مسئله

تابع هدف:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{n+m}\sum_{j=1}^{n+m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R} C_{ij}^k . X_{ijr}^k \qquad (۱)$$

محدودیت‌های مدل:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{r=1}^{R} X_{ijr}^k = 1 \qquad (۲)$$
$$j = m+1, m+2, ..., m+n$$

$$\left[\sum_{j=m+1}^{m+n}\sum_{a=1}^{A} d_{ja} . P_a\right]\left[\sum_{i=1}^{m+n} X_{ijr}^k\right] \le Q_k \qquad (۳)$$
$$k = 1,2,...,K \quad r = 1,2,...,R$$

$$Y_{ir} - Y_{jr} + N . X_{ijr}^k \le N - 1 \qquad (۴)$$
$$k = 1,2,...,K \quad r = 1,2,...,R$$
$$i = 1,2,...,m \quad j = m+1, m+2, ..., m+n$$

$$\sum_{i=1}^{n+m} X_{ijr}^k - \sum_{j=1}^{n+m} X_{ijr}^k = 0 \qquad (۵)$$
$$k = 1,2,...,K \quad r = 1,2,...,R$$

$$\sum_{j=m}^{n+m} X_{0jr}^k = 1 \qquad (۶)$$
$$k = 1,2,...,K \quad r = 1,2,...,R$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{i0r}^k = 1 \qquad (۷)$$
$$k = 1,2,...,K \quad r = 1,2,...,R$$

$$\sum_{i=1}^{n+m}\sum_{j=1}^{n+m} X_{ijr}^k \le 1 \qquad (۸)$$
$$k = 1,2,...,K \quad r = 1,2,...,R$$

$$\sum_{i=1}^{n+m}\sum_{a=1}^{A} d_{ja} . Z_{ij} \le V_{ia} \qquad (۹)$$
$$j = m+1, m+2, ..., m+n \quad r = 1,2,...,R$$

$$\sum_{g=1}^{m+n}\left(X_{igr}^k + X_{gjr}^k\right) - Z_{ij} \le 1 \qquad (۱۰)$$
$$i = 1,2,...,m \quad j = m+1, m+2, ..., m+n$$
$$k = 1,2,...,K \quad r = 1,2,...,R$$



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

$$X_{jir}^{k}\left(W_{j}^{k}+t_{ij}+T_{j}-W_{i}^{k}\right)\le 0 \quad k=1,2,...,K \quad r=1,2,...,R \tag{۱۱}$$

$$W_{j}^{k}+t_{ij}+T_{j}-W_{i}^{k}\le\left(1-X_{jir}^{k}\right).M \quad k=1,2,...,K \quad r=1,2,...,R \tag{۱۲}$$

$$t_{i}^{k}+t_{ij}-W_{j}^{k}\le(1-X_{ijr}^{k}).M \quad k=1,2,...,K \quad r=1,2,...,R \tag{۱۳}$$

$$W_{j}^{k}\le F_{j}\cdot\sum_{i=1}^{m}X_{ijr}^{k} \quad j=m+1,m+2,...,m+n \quad k=1,2,...,K \quad r=1,2,...,R \tag{۱۴}$$

$$U_{ir}^{k}\ge t_{i}^{k} \quad i=1,2,...,m \quad k=1,2,...,K \quad r=1,2,...,R \tag{۱۵}$$

$$X_{ijr}^{k}\in\{0,1\} \quad i=1,2,...,m \quad j=m+1,m+2,...,m+n \quad k=1,2,...,K \quad r=1,2,...,R \tag{۱۶}$$

$$Z_{ij}\in\{0,1\} \quad i=1,2,...,m \quad j=m+1,m+2,...,m+n \tag{۱۷}$$

$$Y_{ir}\ge 0 \quad i=1,2,...,m \quad r=1,2,...,R \tag{۱۸}$$

$$W_{j}^{k}\ge 0\ ,\ U_{ir}^{k}\ge 0 \quad i=1,2,...,m \quad j=m+1,m+2,...,m+n \quad k=1,2,...,K \quad r=1,2,...,R \tag{۱۹}$$

در مدل ریاضی بیان شده رابطه (۱) بیانگر هدف مدل می‌باشد که حداقل کردن کل هزینه‌های توزیع و حمل و نقل را دنبال می‌کند. رابطه (۲) سبب می‌شود تا هر مشتری به یک وسیله نقلیه و به یک مسیر توزیع اختصاص یابد. رابطه (۳) بیان می‌کند که حجم کل کالاهایی که در هر مسیر به یک وسیله نقلیه اختصاص می‌یابند، نباید از حجم وسیله نقلیه بیشتر باشد. رابطه (۴) باعث حذف زیر تور در هر مسیر توسط هر وسیله نقلیه می‌گردد. رابطه (۵) سبب ایجاد حلقه می‌شود، یعنی هر وسیله نقلیه از هر انباری که شروع به حرکت می‌کند باید دوباره به همان انبار برگردد (هر وسیله به هر گره‌ای که وارد می‌شود باید از همان گره نیز خارج شود). رابطه (۶) باعث می‌شود که هر مسیر، توسط هر وسیله نقلیه از یک انبار شروع شود. رابطه (۷) باعث می‌شود که هر مسیر، توسط هر وسیله نقلیه به یک انبار ختم شود. رابطه (۸) اطمینان می‌دهد که هر مسیر توسط یک وسیله نقلیه سرویس داده شود. رابطه (۹) سبب می‌شود تا حداکثر کالایی که از هر قرارگاه خارج می‌شود از ظرفیت آن قرارگاه تجاوز نکند. رابطه (۱۰) بیان می‌کند که مشتری می‌تواند به یک قرارگاه اختصاص یابد اگر و تنها اگر بین مشتری j و قرارگاه i مسیری وجود داشته باشد.

رابطه (۱۱) باعث می‌شود تا زمان رسیدن به هر مشتری زودتر از زمان رسیدن به مشتری قبلی بعلاوه زمان تخلیه بار و طی مسیر تا رسیدن به مشتری فعلی نباشد. این رابطه غیر خطی می‌باشد و را بطه (۱۲) در واقع خطی شده رابطه (۱۱) است که M یک عدد مثبت بزرگ و حداقل برابر $W_{j}^{k}+t_{ij}+T_{j}$ می‌باشد. در مدل فقط از رابطه (۱۲) استفاده می‌شود. رابطه (۱۳) باعث می‌شود تا زمان رسیدن کالا به مشتری از زمان اتمام جمع آوری و آماده سازی درخواست بعلاوه زمان رسیدن از انبار تا مشتری کمتر نباشد. در این رابطه M یک عدد مثبت بزرگ و حداقل برابر $t_{ij}+t_{i}^{k}$ می‌باشد.

رابطه (۱۴) سبب می‌گردد تا زمان رسیدن به هر مشتری از حداکثر زمان تحویل کالا به مشتری تجاوز نکند. رابطه (۱۵) بیان می‌کند که زمان شروع به حرکت هر وسیله نقلیه باید حداقل برابر زمان اتمام جمع آوری و آماده سازی سفارش باشد. روابط (۱۶)، (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) بیانگر علامت متغیرهای تصمیم‌گیری می‌باشند.

## ۴. روش ابتکاری

همانطور که پیش از این بیان گردید مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در ابعاد بزرگ NP-hard می‌باشد به همین دلیل برای حل آن در زمان کم و دستیابی به یک جواب مناسب در این مقاله یک روش ابتکاری ارائه شده است. در ارائه این الگوریتم ابتکاری فرض شده تمام پارامترهای بیان شده در بخش قبل و همچنین مختصات مکانی تمام قرارگاه‌ها و مشتریان اعداد قطعی و مشخص می‌باشند. روش ابتکاری معرفی شده دارای ۴ گام اصلی است. گام ۱ اختصاص هر مشتری به یک قرارگاه یا گروهبندی مشتریان. گام ۲ تعیین مسیر و نوع وسیله نقلیه سرویس‌دهی به مشتریان در هر یک از قرارگاه‌ها یا مسیریابی و تعیین نوع وسیله نقلیه. گام



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

۳ مشخص کردن تقدم و تاخر سرویس‌دهی به مشتریان و بسته-بندی سفارشات یا زمانبندی و بسته‌بندی سفارشات. گام ۴ ایجاد بهبود در جواب‌های بدست آمده یا فاز بهبود می‌باشد. در ادامه گام‌های روش ابتکاری به طور کامل شرح داده می‌شوند.

### ۴-۱. گروهبندی مشتریان

شکستن یک مسئله پیچیده به چندین زیر مسئله یکی از شیوه‌های ساده‌سازی مسائل پیچیده می‌باشد. در روش پیشنهادی ابتدا با استفاده از گروهبندی مشتریان مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی به چندین مسئله مسیریابی تک قرارگاهی تجزیه گردیده است. به دلیل اینکه مشتریان و قرارگاه‌ها درون یک شهر فرض شده‌اند معیار فاصله مختصاتی برای گروهبندی مشتریان در نظر گرفته شده است. فاصله مختصاتی برای مسیرهای عمود بر هم مناسب می‌باشد. اگر یک شهر بصورت یک گراف در نظر گرفته شود، قرارگاه‌ها و مشتریان به صورت گره‌هایی در این گراف نمایش داده می‌شوند. این گره‌ها با هم ارتباط دارند و دارای مختصات دو بعدی، $(x,y)$ می‌باشند.

$D(A, j)$: فاصله مختصاتی بین قرارگاه A و مشتری j

$D(B, j)$: فاصله مختصاتی بین قرارگاه B و مشتری j

$$D(A, j) = \left|x_A - x_j\right| + \left|y_A - y_j\right| \qquad (۲۰)$$

$$D(B, j) = \left|x_B - x_j\right| + \left|y_B - y_j\right| \qquad (۲۱)$$

$$\begin{cases} 1)\, D(A, j) \succ D(B, j) \\ 2) D(A, j) = D(B, j) \\ 3) D(A, j) \prec D(B, j) \end{cases} \qquad (۲۲)$$

فرض کنید دو قرارگاه A و B موجود باشند. فاصله هر یک از مشتریان از این دو قرارگاه محاسبه می‌گردد. سپس هر مشتری به نزدیکترین قرارگاه به خود اختصاص می‌یابد. در صورت تساوی فاصله یک مشتری از دو قرارگاه به صورت تصادفی یکی از آن قرارگاه‌ها انتخاب می‌گردد. در این گام از الگوریتم باید توجه داشت که هر مشتری تنها می‌تواند از یک قرارگاه سرویس دریافت کند، پس تنها به یک قرارگاه اختصاص می‌یابد.

### ۴-۲. مسیریابی و تعیین نوع وسیله نقلیه

در این مرحله مسیرهای سرویس‌دهی به مشتریان هر قرارگاه و نوع وسیله نقلیه هر یک از مسیرها مشخص می‌شود. به عبارت دیگر در این گام دقیقا مشخص می‌گردد که هر مشتری از کدام مسیر و توسط چه نوع وسیله نقلیه‌ای سرویس دریافت می‌نماید. تفاوت وسایل نقلیه در ظرفیت بار قابل حمل و هزینه آنها می-باشد. هر یک از انواع وسایل نقلیه برای طی یک مسیر یک هزینه ثابت دارند، که بسته به نوع وسیله متفاوت می‌باشد. با توجه به ظرفیت قابل حمل یک وسیله و هزینه ثابت آن می‌توان هزینه حمل بار برای هر واحد از حجم کالا را برای هر یک از وسایل به روش زیر محاسبه نمود:

$\varphi_k$: هزینه اسمی حمل هر واحد از حجم کالا با وسیله نوع k

$Q_k$: ظرفیت وسیله نقلیه نوع k به واحد حجم

$\varsigma_k$: هزینه ثابت وسیله نوع k

$$\varphi_k = \frac{\varsigma_k}{Q_k} \qquad (۲۳)$$

برای مسیریابی و تعیین نوع وسیله روش Clarke و Wright توسعه داده شده است. به این صورت که ابتدا برای هر یک از مشتریان یک قرارگاه، یک مسیر جداگانه در نظر گرفته می‌شود. سپس بر مبنای صرفه‌جویی‌های ممکن و رعایت محدودیت‌های مسئله مسیرها با هم ادغام می‌گردند. در ابتدا وسیله نقلیه‌ای که کوچکترین $\varphi_k$ را دارد، برای تمام مسیرها در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که دو یا چند $\varphi_k$ به طور مشترک کمینه باشند وسیله‌ای که بزرگترین حجم را دارد، انتخاب می‌گردد. طریقه محاسبه درایه‌های ماتریس صرفه جویی در زیر آمده است:

$S_{jw}$: مقدار صرفه جویی ادغام مسیرهایی که گره‌های j و w گره‌های ابتدایی یا انتهایی آنها می‌باشند.

$C_{jw}$: مسافت بین گره j و w (رابطه $C_{jw} = C_{wj}$ برقرار است).

$C_{dj}$: مسافت بین قرارگاه d و گره j

$C_{dw}$: مسافت بین قرارگاه d و گره w

$$S_{jw} = C_{dj} + C_{dw} - C_{jw} \qquad (۲۴)$$

$S_{jw}$های بزرگتر از صفر را به صورت نزولی مرتب شده، و از بزرگترین $S_{jw}$ شروع و مسیرهای مرتبط با آنها موقتا ادغام می-شود. در صورتی که مسیر جدید محدودیت‌های مسئله را ارضا می‌کرد و زیر گردشی ایجاد نمی‌نمود پذیرفته شده، در غیر این صورت ادغام انجام نمی‌شود. بعد از مشخص شدن مسیرها برای انتخاب نهایی نوع وسیله حجم کل تقاضاها در مسیر r با ظرفیت وسایل نقلیه مقایسه می‌گردد. اگر امکان حمل کل تقاضاها در مسیر r با وسیله(های) نوع دیگر نیز وجود داشت. $\varphi'_k$ برای



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

انتخاب اقتصادی‌ترین وسیله نقلیه به صورت زیر محاسبه و سپس کوچکترین $\varphi'_k$ برای سرویس‌دهی به مسیر r انتخاب می‌شود.

$\varphi'_k$: هزینه واقعی حمل هر واحد از حجم کالا با وسیله نوع k در مسیر r

$Q_r$: حجم کل تقاضاها در مسیر r

$\varsigma_k$: هزینه ثابت وسیله نوع k

$$\varphi'_k = \frac{\varsigma_k}{Q_r} \qquad (۲۵)$$

### ۴-۳. زمانبندی و بسته‌بندی سفارشات

تا این مرحله از الگوریتم مشخص گردیده است که هر مشتری از کدام قرارگاه و توسط چه نوع وسیله نقلیه‌ای و از کدام مسیر خدمت دریافت نماید. مسیرها می‌توانند شامل یک یا چند مشتری باشند، از این رو تقدم و تاخر دریافت خدمت در هر مسیر یکی از مباحث دارای اهمیت می‌باشد که باید پاسخ داده شود. از طرف دیگر سفارش هر مشتری می‌تواند شامل کالاهای مختلفی باشد، پس هر سفارش باید به گونه‌ای از دیگر سفارشات متمایز گردد. برای مشخص شدن اولویت هر مشتری در هر مسیر از معیار دیرترین مهلت شروع سرویس‌دهی که به صورت زیر محاسبه می‌شود، استفاده می‌گردد:

$LS_j$: دیرترین مهلت شروع سرویس‌دهی به مشتری j

$D(j)$: فاصله مختصاتی بین مشتری j و قرارگاه آن

$V_k$: متوسط سرعت وسیله نوع k که به مشتری j سرویس می‌دهد.

$F_j$: موعد تحویل سفارش مشتری j

$$LS_j = F_j - \frac{D(j)}{V_k} \qquad (۲۶)$$

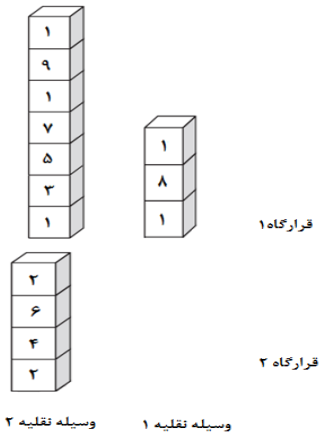
برای زمانبندی هر مسیر معیار $LS_j$ برای تمام مشتریان آن مسیر محاسبه شده سپس $LS_j$ها به ترتیب صعودی مرتب می‌گردد. از کوچکترین $LS_j$ در هر مسیر خدمت‌دهی شروع شده سپس به ترتیب صعودی خدمت‌دهی ادامه می‌یابد.

در صورت برابر بودن $LS_j$ برای چند مشتری به ترتیب نزدیک بودن به آخرین مشتری سرویس داده شده اولویت آنها مشخص می‌شود. هر کدام نزدیک‌تر به آخرین مشتری سرویس داده شده بود، زودتر سرویس می‌گیرد. سفارش هر مشتری به صورت بسته‌ای از کالاهای مورد تقاضای آن مشتری جمع آوری می‌گردد، و با توجه به اولویت آن مشتری بارگیری می‌شود. بسته‌های محصولات می‌توانند دارای ابعاد و حجم‌های متفاوتی باشند. در ضمن در بارگیری وسایل نقلیه سیستم LIFO باید رعایت شود. یعنی مشتری که ابتدا سرویس دریافت می‌کند بسته‌ی کالاهای آن باید آخرین بسته‌ی بارگیری شده باشد.

### ۴-۴. طریقه کد کردن جواب

برای نمایش مسیرها از کدگذاری جواب مسئله استفاده شده است. منظور از نمایش مسیر مشخص کردن این است که هر مشتری از کدام قرارگاه، با کدام وسیله نقلیه و با چه اولویتی سرویس دریافت می‌کند. جواب مسئله به صورت یک کروموزوم[1] سه بعدی کدگذاری شده است. به عنوان مثال ژن[2] (i,j,k) معرف مشتری است که از قرارگاه i با وسیله نقلیه نوع k و با اولویت q سرویس دریافت می‌کند.

فرض کنید ۲ قرارگاه با دو نوع وسیله نقلیه بخواهند به ۶ مشتری که با اعداد ۳ تا ۹ نشان داده شده‌اند، سرویس بدهند. یک جواب کدگذاری شده این مسئله در شکل ۴ نشان داده شده است. در تفسیر جواب شکل ۴ باید گفت که قرارگاه ۱ دارای ۳ مسیر می‌باشد. مسیری که توسط وسیله نقلیه نوع ۱ سرویس داده می‌شود، از قرارگاه شروع شده به مشتری ۸ سرویس می‌دهد و دوباره به قرارگاه ختم می‌گردد. دو مسیر دیگر قرارگاه ۱ توسط وسیله نقلیه نوع ۲ سرویس داده می‌شوند. ابتدا مشتری ۳ بعد مشتری ۵ و در آخر مشتری ۷ سپس وسیله نقلیه دوباره به قرارگاه ۱ بازگشته و در دیگر مسیر به مشتری ۹ سرویس داده و به قرارگاه باز می‌گردد. قرارگاه ۲ دارای یک مسیر است که توسط وسیله نقلیه نوع ۲ سرویس داده می‌شود. در این مسیر ابتدا مشتری ۴ و سپس ۶ خدمت می‌گیرند.




**شکل ۱. نمایش مسیرها با کروموزوم ۳ بعدی**

[1] *Chromosome*
[2] *Gene*



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

### ۴-۵. بهبود

حال با هدف حداقل کردن مسافت طی شده برای سرویس‌دهی که منجر به کاهش زمان سرویس‌دهی می‌شود، جواب‌های بدست آمده تغییر می‌یابند.

یک راهکار دو مرحله‌ای برای ایجاد بهبود در جواب‌ها معرفی گردیده است. در مرحله اول مشتریان یک قرارگاه می‌توانند بین مسیرهای مختلف جا به جا شوند و در مرحله دوم اولویت سرویس‌دهی به مشتریان یک مسیر می‌تواند تغییر یابد. در هر دو مرحله محدودیت‌های مسئله در نظر گرفته می‌شوند تا شدنی بودن جواب حفظ شود.

#### ۴-۵-۱. جا به جایی مشتریان بین مسیرهای یک قرارگاه

به صورت تصادفی دو مشتری در دو مسیر مختلف یک قرارگاه جا به جا می‌گردند. این جا به جایی‌ها با هدف کمتر کردن فاصله خدمت‌دهی به مشتریان صورت می‌پذیرد. در صورتی انتقال به طور قطعی انجام می‌گیرد که ضمن بهبود جواب، شدنی بودن آن نیز حفظ شود.

فرض کنید مشتری $j$ در مسیر $r_1$ می‌خواهد با مشتری $w$ در مسیر $r_2$ در یک قرارگاه جا به جا شود. برای حفظ شدنی بودن جواب‌ها هر دو رابطه زیر باید برقرار باشند.

$D_j$: کل تقاضای مشتری $j$ به واحد حجم

$D_w$: کل تقاضای مشتری $w$ به واحد حجم

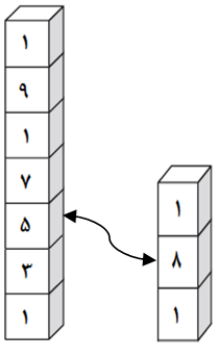
$G_{r_1}$: ظرفیت خالی وسیله نقلیه $k$ که به مسیر $r_1$ خدمت می‌دهد به واحد حجم که از رابطه $G_{r_1} = Q_k - Q_{r_1}$ بدست می‌آید.

$G_{r_2}$: ظرفیت خالی وسیله نقلیه $k'$ که به مسیر $r_2$ خدمت می‌دهد به واحد حجم که از رابطه $G_{r_2} = Q_{k'} - Q_{r_2}$ بدست می‌آید.

$$D_j \le D_w + G_{r_2} \quad (۲۷)$$

$$D_w \le D_j + G_{r_1} \quad (۲۸)$$

اگر جا به جایی منجر به بهبود تابع هدف شود ولی شدنی بودن جواب حفظ نشود، آن جا جه جایی انجام نمی‌گیرد. تنها در صورت برقرار بودن هر دو شرط انتقال به طور قطعی انجام می‌گیرد، زیرا باعث حفظ شدنی بودن جواب می‌شود.




**شکل ۲. جا با جایی بین دو مسیر در یک قرارگاه**

#### ۴-۵-۲. تغییر اولویت سرویس‌دهی در یک مسیر

تقدم و تاخر سرویس‌دهی به مشتریان هر یک از مسیرها با هدف کمینه کردن مسافت طی شده برای خدمت‌دهی تغییر می‌کند. ضمن توجه به کاهش مسافت با اضافه نمودن محدودیت تعداد تقاضاهای دارای تاخیر این معیار نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. حداکثر تعداد تقاضاهای دارای تاخیر به عنوان یک پارامتر وارد برنامه می‌گردد تا شدنی بودن جواب‌ها با توجه به این معیار بررسی شود. در هر اجرای برنامه پارامتر تعداد تقاضاهای دارای تاخیر می‌تواند تغییر کند.

## ۵. مسائل حل شده

برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی در حالت کلی به دلیل آنکه مسئله استانداردی در زمینه MDVRP وجود نداشت تا جواب‌های بدست آمده از روش پیشنهادی با آن مقایسه گردد. چندین مسئله واقعی با ابعاد متفاوت انتخاب شد، تا کارایی روش پیشنهادی با مقایسه جواب برنامه نوشته شده در MATLAB با جواب نرم افزار Lingo12نشان داده شود. ابعاد مسئله با I.J.K.A مشخص شده‌اند، که I تعداد قرارگاه‌ها، J تعداد مشتریان، K تعداد انواع وسایل نقلیه و A تعداد انواع کالا است. مسافت کل حمل و نقل‌ها و زمان مورد نیاز برای رسیدن به جواب در جدول ۱ آمده است.

همانطور که در جدول ۱ مشخص است روش پیشنهادی در ابعاد کوچک و متوسط مسئله به جواب بهینه یا نزدیک به بهینه، در زمان بسیار کمتر می‌رسد. در ابعاد بزرگ مسئله نیز که رسیدن به جواب بهینه غیر ممکن یا بسیار وقت‌گیر است، برنامه MATLAB روش ابتکاری حداقل ۲۴ برابر نسبت به مدل لینگو سریع‌تر به جواب می‌رسد. جواب‌های روش ارائه شده در مقایسه با جواب‌های بهینه مسائل حداکثر حدود ۸ درصد انحراف دارند.



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

**جدول ۱. مقایسه نتایج بدست آمده از روش ابتکاری و نرم افزار Lingo 12**

| مقایسه زمان حل و جواب دو روش (٪) | | مسافت کل حمل ونقل (کیلومتر) | | زمان حل[1] (ثانیه) | | ابعاد مسئله |
|---|---|---|---|---|---|---|
| انحراف از جواب بهینه | کاهش در زمان حل | روش پیشنهادی | جواب بهینه | روش پیشنهادی | جواب بهینه | I.J.K.A |
| ۰ | ۹۹/۰۴ | ۴۷ | ۴۷ | ۰/۰۸۶ | ۹ | ۲×۸×۲×۵ |
| ۰ | ۹۸/۶۲ | ۱۰۵ | ۱۰۵ | ۰/۱۹۳ | ۱۴ | ۲×۱۰×۲×۵ |
| ۰ | ۹۹/۰۶ | ۱۶۴ | ۱۶۴ | ۰/۵۴۸ | ۵۸ | ۲×۱۵×۲×۵ |
| ۳/۲۴ | ۹۹/۹۲ | ۱۹۱ | ۱۸۵ | ۱/۹۶۷ | ۲۴۹۵ | ۲×۲۰×۳×۱۰ |
| ۴/۹۸ | ۹۹/۹۴ | ۲۵۳ | ۲۴۱ | ۲/۳۰۴ | ۴۱۴۳ | ۲×۲۵×۳×۱۰ |
| ۵/۶۷ | ۹۹/۶۷ | ۲۰۵ | ۱۹۴ | ۰/۸۷۰ | ۲۶۱ | ۳×۱۵×۲×۵ |
| ۵/۱۶ | ۹۹/۷۸ | ۳۲۶ | ۳۱۰ | ۱/۱۶۳ | ۵۲۴ | ۳×۲۰×۲×۵ |
| ۷/۳۹ | ۹۹/۹۵ | ۳۷۸ | ۳۵۲ | ۴/۴۷۵ | ۹۳۹۱ | ۳×۲۵×۳×۱۰ |
| ۶/۹۱ | ۹۹/۹۶ | ۴۰۲ | ۳۷۶ | ۵/۱۹۲ | ۱۳۲۹۷ | ۳×۳۰×۳×۱۰ |
| ۳/۱۱ | ۹۹/۹۰ | ۴۳۱ | ۴۱۸ | ۱۵/۷۰۲ | ۱۶۲۸۱ | ۳×۳۵×۳×۱۰ |
| ۷/۸۵ | ۹۹/۸۵ | ۳۵۷ | ۳۳۱ | ۱/۵۴۹ | ۱۰۶۸ | ۴×۲۰×۲×۵ |
| ۴/۵۳ | ۹۹/۹۲ | ۴۱۵ | ۳۹۷ | ۱/۷۱۶ | ۲۱۸۶ | ۴×۲۵×۲×۵ |
| ۷/۴۷ | ۹۹/۹۲ | ۵۱۸ | ۴۸۲ | ۲/۰۱۳ | ۲۵۷۴ | ۴×۳۰×۲×۵ |
| ۴/۹۵ | ۹۹/۹۴ | ۶۷۸ | ۶۴۶ | ۲/۶۰۲ | ۴۰۹۱ | ۴×۳۵×۲×۵ |
| ۴/۰۱ | ۹۹/۸۴ | ۷۵۲ | ۷۲۳ | ۲۸/۴۶۱ | ۱۸۰۷۲ | ۴×۴۰×۳×۱۰ |
| ۲/۸۹ | ۹۹/۸۰ | ۸۱۹ | ۷۹۶ | ۴۷/۵۳۸ | ۲۳۸۶۷ | ۴×۴۵×۳×۱۰ |
| ۲/۰۰ | ۹۹/۷۱ | ۹۶۷ | ۹۴۸ | ۶۲/۹۵۴ | ۲۱۹۷۴ | ۵×۴۰×۳×۱۰ |
| ۷/۷۱ | ۹۹/۷۰ | ۱۲۸۵ | ۱۱۹۳ | ۸۶/۴۳۲ | ۲۸۶۴۴ | ۵×۴۵×۳×۱۰ |
| – | – | ۱۴۸۵ | – | ۱۵۴/۱۷۹ | – | ۵×۵۰×۳×۱۰ |
| – | – | ۱۸۴۲ | – | ۲۹۳/۵۸۴ | – | ۵×۷۵×۳×۱۰ |
| – | – | ۲۳۵۴ | – | ۴۸۱/۱۷۳ | – | ۵×۱۰۰×۳×۱۰ |
| – | – | ۲۷۸۱ | – | ۸۳۹/۴۶۹ | – | ۵×۱۵۰×۳×۱۰ |
| – | – | ۳۳۷۹ | – | ۱۱۷۳/۴۸۱ | – | ۵×۲۰۰×۳×۱۰ |
| – | – | ۴۹۶۲ | – | ۲۶۶۲/۹۳۷ | – | ۵×۳۰۰×۳×۱۰ |
| ۴/۳۳ | ۹۹/۷۰ | – | – | – | – | **میانگین** |

## ۶. مطالعه موردی

شرکت کاله یکی از بزرگترین تولیدکنندگان محصولات لبنی در ایران است که دارای فرآورده‌های متنوعی می‌باشد. در این تحقیق به منظور نشان دادن کارایی روش معرفی شده برنامه‌ریزی و مسیریابی وسایل نقلیه این شرکت در شهر یزد مورد مطالعه قرار گرفته است.

شرکت کاله در شهر یزد دارای ۳ نمایندگی فروش می‌باشد که به ۱۹۸ خرده فروش سرویس می‌دهند. موقعیت مکانی قرارگاه‌ها و مشتریان در شهر مشخص می‌باشد. شکل ۶ نقشه شهر یزد و یک برش از یک محدوده آن را نشان می‌دهد که در آن مکان مشتریان با علامت مشخص شده است. در این تحقیق میدان مرکزی شهر به عنوان مبدا مختصات انتخاب گردید و مختصات مشتریان و قرارگاه‌ها نسبت به آن تعیین شد. سرویس‌دهی توسط سه نوع وسیله نقلیه با ظرفیت‌های مختلف انجام می‌شود. سبدهای استانداردی برای حمل محصولات در کارخانه در نظر گرفته شده است که با توجه به آنها حجم وسایل اندازه‌گیری گردیده‌اند. ویزیتورها مقدار سفارش هر یک از مشتریان را قبل از شروع سرویس‌دهی می‌گیرند. در روش کنونی تقاضای تمام مشتریان یک مسیر مشخص شده و بارگیری می‌شود. اما در روش پیشنهادی سفارش هر مشتری به عنوان یک بسته در نظر گرفته می‌شود که این بسته‌ها طبق سیستم LIFO در ماشین‌ها بارگیری می‌گردند. متمایز بودن هر سفارش سبب می‌شود تا هنگام بارگیری و تخلیه کالاها در وقت صرفه‌جویی شود.

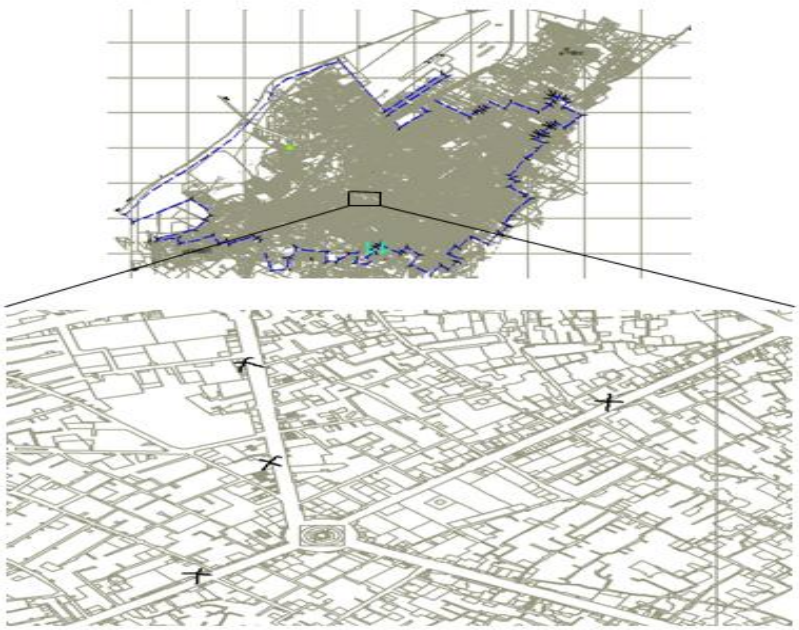
روش پیشنهادی با استفاده از نرم افزار MATLAB کدنویسی گردید. برنامه نوشته شده توسط کامپیوتری با مشخصات پردازشگر Core2 Dou CPU 2.53 GHz و حافظه RAM 4 MB

[1] *Elapsed Runtime*



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

اجرا شد، که در تمام اجراها زمان رسیدن به جواب کمتر از ۸ دقیقه بود. جواب‌های بدست آمده از روش پیشنهادی با اطلاعات موجود از روش کنونی در جدول ۲ مقایسه شده است. روش معرفی شده موجب بهبود در مسافت کل حمل و نقل، و کاهش تعداد تاخیرها در سرویس‌دهی گردیده است. همچنین با کاهش بزرگترین زمان خدمت‌دهی، سبب اتمام حمل و نقل‌ها در زمان کوتاه‌تری می‌شود.



**شکل ۳. نقشه شهر یزد و یک برش کوچک از آن شامل موقعیت مکانی مشتریان این محدوده**

**جدول۲. مقایسه نتایج روش ابتکاری و وضعیت موجود در مطالعه موردی**

| | مسافت کل حمل ونقل (کیلومتر) | طولانی مدت‌ترین مسیر برای خدمت‌دهی (دقیقه) | تعداد کل مشتریان دارای تاخیر |
|---|---|---|---|
| **روش پیشنهادی** | ۴۱۷ | ۳۰۴ | - |
| **وضعیت موجود** | ۴۸۶ | ۳۸۹ | ۳۸ |

## ۷. نتایج

حمل و نقل‌های صورت گرفته در داخل یا خارج مراکز صنعتی قسمت قابل توجهی از قیمت تمام شده کالاها و خدمات را شامل می‌شود. در این تحقیق تلاش شده تا روشی برای بهبود حمل و نقل‌ها در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چند قرارگاهی ارائه شود. کاهش حمل و نقل‌ها سبب کاهش در هزینه‌ها و زمان سرویس-دهی، و به طبع آن افزایش رضایت مشتریان می‌شود. از این رو مدل ریاضی این مسئله با هدف کمینه کردن کل حمل و نقل‌ها توسعه یافته است. از طرف دیگر به دلیل پیچیدگی زیاد و زمان‌بر بودن حل دقیق مسائل مسیریابی یک روش ابتکاری معرفی گردیده است. در این روش امکان سرویس‌دهی با وسایل نقلیه با حجم و سرعت متفاوت و امکان سفارش چندین محصول در نظر گرفته شده است.

کارایی روش پیشنهادی در یک مطالعه موردی و چندین مسئله با ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به کارگیری این روش در شرکت کاله یزد سبب شد، تا هزینه‌های سرویس‌دهی به مشتریان تا ۱۵ درصد کاهش یابد، و نیز تاخیر در سرویس‌دهی دیگر وجود نداشته باشد. جواب‌های روش ارائه شده در مقایسه با جواب‌های بهینه مسائل به طور متوسط حدود ۴/۳۳ درصد انحراف دارند، ولی زمان رسیدن به جواب در این روش نسبت به مدل لینگو



[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

حداقل ۹۹ درصد کاهش می‌یابد. در مطالعات آتی می‌توان برای توسعه این روش دوره‌های زمانی برای سرویس‌دهی در نظر گرفت، و با وارد کردن پارامترهای فازی یا احتمالی این روش را توسعه داد.

## مراجع


[۱] تقوی فرد، محمد تقی.، شیخ، کیوان.، شهسواری، آرین.، « ارائه روش اصلاح شده کلونی مورچگان جهت حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به همراه پنجره‌های زمانی»، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۰، شماره ۲، صفحه ۳۰-۲۳، ۱۳۸۸.

[۲] ظفری، علی.، تشکری هاشمی، سید مهدی.، یوسفی خوشبخت، مجید.، « الگوریتم ترکیبی موثر ژنتیک برای حل مسیریابی وسیله نقلیه»، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۱، شماره ۲، صفحه ۷۶-۶۳، ۱۳۸۹.

[۳] سپهری، محمد مهدی.، کارگری، مهرداد.، « بهینه‌یابی سبد سرویس در مسائل مسیریابی چند سطحی-چند محصولی و چند قرارگاهی وسایل نقلیه با هدف حداقل نمودن هزینه‌های توزیع»، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۱، شماره ۱، صفحه ۶۱-۵۰، ۱۳۸۹.

[۴] سپهری، محمد مهدی.، جعفری، عزیزاله.، « جمع آوری بهنگام قطعات مورد نیاز سیستم‌های تولیدی از تامین‌کنندگان: رویکرد مساله‌ی مسیریابی ادواری وسایل نقلیه»، مجله علمی-پژوهشی فنی و مهندسی مدرس، جلد ۱۱، شماره ۱، صفحه ۴۴-۲۹، ۱۳۸۲.

[۵] رزمی، جعفر.، حاله، حسن.، عزتی، بهزاد.، « طراحی یک مدل پویای مسیریابی حمل و نقل و حل آن توسط الگوریتم مورچگان»، مجله علمی-پژوهشی مهندسی صنایع و مدیریت شریف، دوره‌ی ۲۶، شماره ۲، صفحه ۷۰-۶۵، ۱۳۸۹.

[6] Tan, K.C., Cheong, C.Y., Goh, C.K., *"Solving Multi Objective Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand"*, European Journal of operational research, No. 177, 2007, pp. 813-839.

[7] Ho, W., Ho, T.S., Ji, P., Lau, C.W., *"A Hybrid Genetic Algorithm for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem"*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, No.21, 2008, pp. 548–557.

[8] Mirabi, M., Fatemi Ghomi, S.M.T., Jolai, F., *" Efficient Stochastic Hybrid Heuristics for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem"* , Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, No.26, 2010, pp. 564–569.

[9] Renaud, J., Laporte, G., Boctor, FF., *"A Tabu Search Heuristic for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem"*, Computers & Operations Research, No.23, 1996, pp. 229-235.

[10] Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., *"A Tabu Search Heuristic for Periodic and Multi-Depot Vehicle routing problems"*, Networks, No.30, 1997, pp. 105-119.

[11] Chao, I., Golden, B.L., Wasil, E,. *"A New Heuristic for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem That Improves Upon Best Known Solutions"*, American Journal of Mathematical and Management Sciences, No.13, 1993, pp. 371-406.

[12] Farhang Moghadam, B., Seyedhosseini, S.M,. *"A Particle Swarm Approach to Solve Vehicle Routing Problem with Uncertain Demand: A Drug Dstribution Case Study"*, International Journal of Industrial Engineering Computations, No.1, 2010, pp.55-64.

[13] Pisinger, D., Ropke, S., *"A General Heuristic for Vehicle Routing Problems"*, Computers &Operations Research, No.34, 2007, pp.2403–2435.

[14] Crevier, B., Cordeau, J., Laporte, G., *"The Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Inter-Depot Routes"*, European Journal of Operational Research, No. 176, 2007, pp.756-773.

[15] Salhi, S., Sari, M., *"A Multi-Level Composite Heuristic for the Multidepot Vehicle Fleet Mix Problem"*, European Journal of Operational Research, No.103, 1997, pp.95-112.

[16] Su, C.T., *"Dynamic Vehicle Control and Scheduling of a Multi-Depot Physical Distribution System"*, Integration Manufacture System, No.10, 1999, pp.56-65.

[17] Wu, T.H., Low, C., Bai, J.W., *"Heuristic Solutions to Multi-Depot Location-Routing Problem"*, Computers & Operations Research, No.29, 2002, pp.1393-1415.

[18] Giosa, I.D., Tansini, I.L., Viera, I.O., *"New Assignment Algorithms for the Multi-Depot Vehicle Routing Problem"*, Journal of the Operational Research Society, No.53, 2002, pp.977-984.

[19] Wasner, M., Zapfel, G., *"An Integrated Multi-Depot Hub-Location Vehicle Routing Model for Network Planning of Parcel Service"*, International journal of Production Economics, No.90, 2004, pp.403-419.

[20] Nagy, G., Salhi, S., *"Heuristic Algorithms for the Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries"*, European Journal of Operational Research, No.162, 2005, pp.126-141.

[21] Haghani, A., Jung, S., *"A Dynamic Vehicle Routing Problem with Time-Dependent Travel Times"*,


[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

Computers &Operations Research, No.32, 2005, pp.2959-2986.

[22] Bae, T.S., Hwang, H.S., Cho, G,S., Goan, M.J., *"Integrated GA-VRP Solver for Multi-Depot System",* Computers & Industrial Engineering, No. 53, 2007, pp.233-240.

[23] Bettinelli, A., Ceselli, A., Righini, G., *"Branch-and-Cut-and-Price Algorithm for the Multi-Depot Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Windows"*, Transportation Research, part c, 2010, pp. 1-18.

[24] Fallahi, A.E., Prins, C., Calvo, R.W., *"A Memetic Algorithm and a Tabu Search for the Multi-Compartment Vehicle Routing Problem"*, Computers & Operations Research, No. 35, 2008, pp.1725 – 1741.

[25] Moin, N.H., Salhi. S., Aziz, N.A.B., "*An Efficient Hybrid Genetic Algorithm for the Multi-Product Multi-Period Inventory Routing Problem"*, International Journal Production Economics, Vol.10, 2010, pp. 1-10.

[26] Kuo, Y., Wanga, C.C., Chuang, P.Y., *"Optimizing Goods Assignment and the Vehicle Routing Problem with Time-Dependent Ttravel Speeds"*, Computers & Industrial Engineering, vol.57, 2009, pp. 1385–1392.

[27] Chen, H.K., Hsueh, C.F., Chang, M.S., *"Production Scheduling and Vehicle Routing with Time Windows for Perishable Food Products"*, Computers & Operations Research, Vol.36, 2009, pp. 2311-2319.

[28] Mohammadi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Rostami, H., *"A Multi-Objective Imperialist Competitive Algorithm for a Capacitated Hub Covering Location Problem"*, International Journal of Industrial Engineering Computations, Vol. 2, Issue. 3, 2011, pp. 671-688.

[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]

[ Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18 ]