International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2012)

November 2012, Volume 23, Number 3
pp. 333-349

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

Model and Solution Approach for Multi-Period and Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Flexibility in Specifying the Last Depot of Each Route

A.R. Eydi*, H. Abdorahimi

Alireza Eydi, *Assistant Professor in the Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*
Hojat Abdorahimi, *M. SC. in Industrial Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*

Keywords

Vehicle Routing Problem, Multi-Period Multi - Depot Vehicle Routing, Flexible Depot Assignment, Genetic Algorithm

ABSTRACT

Nowadays transportation problems are drawing more attention with respect to increasing demand for receiving products and services due to population increase and expansion of cities. One of the most important issues of transportation problems which are drawing the attention of the most researchers is vehicle routing problem. In this research, a new linear integer programming for multi-depot vehicle routing problem with multiple consecutive periods is formulated such that there is no obligation for vehicle to return to the fist depot and the first and the last depot for each route, in each period are specified based on the customers of other periods. The main goal of the presented model is servicing the set of customers during different periods through via different depots. Then a met-heuristic algorithm (genetic algorithm) is analyzed as a solution approach of the problem. One of the main results of this research is the reduction of routing costs due to flexibility in determining the last depot of each route. Some of the generated benchmark instances are used to show the performance and validity of the algorithm.

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

*
Corresponding author. Alireza Eydi
Email: *Alireza. eydi@uok.ac.ir*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۳، جلـــد ۲۳، آذر ۱۳۹۱
صفحـــه ۳۴۹-۳۳۴

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

ISSN: 2008-4870

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

ارائه و حل مدل مسأله مسیریابی وسائل نقلیه در حالت چند دوره‌ای و چند قرارگاهی به همراه انعطاف‌پذیری در تعیین قرارگاه پایانی هر مسیر

علیرضا عیدی* و حجت عبدالرحیمی

کلمات کلیدی

مسأله مسیریابی وسیله نقلیه،
مسیریابی چند دوره‌ای وسیله نقلیه با چند قرارگاه،
تخصیص انعطاف‌پذیر قرارگاه‌ها،
الگوریتم ژنتیک

چکیده:

امروزه با توجه به افزایش جمعیت و گسترش شهرها و در پی آن افزایش تقاضا برای دریافت کالا و خدمات، مسائل مربوط به حمل و نقل اهمیت بسزایی پیدا کرده‌اند. یکی از مسائل مهم در بحث حمل و نقل که توجه محققین بسیاری را به خود معطوف ساخته است مسأله مسیریابی وسیله نقلیه می‌باشد. در این پژوهش، مدل جدیدی از مسأله مسیریابی چند قرارگاهی و برای چند دوره متوالی به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح فرموله می‌شود که در آن الزامی به بازگشت وسائل نقلیه به قرارگاه اولیه نبوده و قرارگاه ابتدایی و انتهایی برای هر مسیر در هر دوره با توجه مشتریان سایر دوره‌ها مشخص می‌گردد. هدف اصلی مدل ارائه شده نیز سرویس‌دهی به مجموعه‌ای از مشتریان در طی دوره‌های مختلف از طریق چندین قرارگاه می‌باشد. سپس یک الگوریتم فرا ابتکاری(الگوریتم ژنتیک) به عنوان راه حل مدل ارائه شده مورد مطالعه و توسعه قرار خواهد گرفت. از نتایج مهم این مقاله می‌توان به کاهش مجموع هزینه‌های مسیریابی با لحاظ نمودن ویژگی انعطاف‌پذیری در تعیین قرارگاه پایانی هر مسیر اشاره نمود. معتبر بودن و کارایی محاسباتی الگوریتم ارائه شده در بررسی تعدادی از مسائل نمونه تولید شده نشان داده شده است.

۱. مقدمه

امروزه با توجه به افزایش جمعیت و گسترش شهرها و در پی آن افزایش تقاضا برای دریافت کالا و خدمات، مسائل مربوط به حمل و نقل اهمیت بسزایی پیدا کرده‌اند. از سوی دیگر روزانه بسیاری از شرکتها با امر توزیع و تحویل کالا مواجه می‌باشند. از اینرو در دهه‌های اخیر یکی از مسائل مهم در بحث حمل و نقل که توجه محققین بسیاری را به خود معطوف ساخته است مسأله مسیریابی وسیله نقلیه[۲] می‌باشد.

مسأله مسیریابی وسیله نقلیه به دسته‌ای از مسائل گفته می‌شود که در آن ناوگانی[۳] از وسائل نقلیه مستقر در یک یا چند قرارگاه[۴] به منظور ارائه خدمت به تعدادی از مشتریان با مکان جغرافیایی مشخص مورد استفاده قرار گرفته و هدف از این مسائل مشخص نمودن مسیرهای مناسب جهت سرویس‌دهی به مشتریان با کمترین هزینه ممکن می‌باشد[۱].

سناریوها و ویژگی‌های فیزیکی مختلفی را می‌توان برای مسیریابی وسیله نقلیه در نظر گرفت نظیر: مسیریابی با پنجره زمانی[۵]، مسیریابی با چند قرارگاه، مسیریابی دوره‌ای و ...[۲]. اما با توجه به تمرکز این تحقیق روی مسأله مسیریابی چند قرارگاهی و چند دوره‌ای، در ادامه؛ پیشینه این مسائل مورد بررسی بیشتری قرار خواهد گرفت.

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

***نویسنده مسئول مقاله: دکتر علیرضا عیدی**، استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان Alireza. eydi@uok.ac.ir
حجت عبدالرحیمی، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان

[2] *Vehicle Routing Problem (VRP)*

[3] *Fleet*
[4] *Depot*
[5] *Time Window*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

در مسأله مسیریابی وسیله نقلیه با چند قرارگاه[1]، سرویس‌دهی به مشتریان از طریق وسائل نقلیه مستقر شده در یکی از چند قرارگاه موجود که مکان‌های متفاوتی دارند انجام می‌گیرد. مسأله مسیریابی با چند قرارگاه اولین بار توسط سامیچراست و مارخام[۳] فرمول‌بندی شد. لیکن قبل از آنها؛ محققین دیگری نظیر تیلمان و کین[۴] و گیلت و جانسون[۵] این مسأله را مطرح نموده و برای آن روش‌های حل ابتکاری ارائه کرده بودند بدون آنکه مدل ریاضی برای مسأله پیشنهاد نمایند. ویو و همکاران[۶] مسأله مکانیابی_ مسیریابی چند قرارگاهی را به عنوان توسعه‌ای از مسأله *MDVRP* مطالعه نمودند.

همچنین گیوسا و همکاران[۷] مسأله مسیریابی چند قرارگاهی با پنجره زمانی را مورد بررسی قرار دادند. ناگی و سالهی[۸] مسأله مسیریابی چند قرارگاهی با بارگیری[2] و تخلیه[3] همزمان را تحلیل نمودند. کروبر و همکاران[۹] مدلی از مسأله مسیریابی با چند قرارگاه را بررسی کردند که در آن هر وسیله نقلیه می‌توانست در بین مسیر برای بارگیری مجدد به یک قرارگاه غیر از قرارگاه اولیه مراجعه نماید. مسائل مسیریابی چند قرارگاهی جزء مسائل *NP-hard* محسوب می‌شوند و الگوریتم مشخصی برای حل بهینه آنها وجود ندارد از اینرو محققین زیادی سعی در ارائه روش‌های حل ابتکاری و کارا برای این دسته از مسائل داشته‌اند. روش حل مسائل مسیریابی چند قرارگاهی در ابعاد کوچک توسط لاپورته و همکاران[۱۰] توسعه داده شد.

سالهی و ساری[۱۱] یک روش ابتکاری چند سطحی را برای حل مسأله چند قرارگاهی پیشنهاد نمودند. رینود و همکاران[۱۲] از روش فرا ابتکاری جستجوی ممنوع[4] برای حل مسأله مسیریابی با چند قرارگاه استفاده نمودند. تانگیا و سالهی[۱۳]، هو و همکاران[۱۴] و دوندو و سردا[۱۵] نیز روش‌های ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک[5] را برای حل مسأله مزبور توسعه دادند.

نوع دیگر از مسائل مسیریابی، مسائل مسیریابی دوره‌ای وسیله نقلیه[6] می‌باشد که در آن هر مشتری نیازمند دریافت خدمات در دوره‌های مختلف(یا روزهای مختلف) از افق برنامه‌ریزی بوده و مسیریابی باید برای هر دوره از افق برنامه‌ریزی انجام شود. هدف از مسیریابی دوره‌ای، مشخص نمودن مسیرهای سرویس‌دهی به مشتریان در هر دوره می‌باشد بگونه‌ای که کل هزینه‌های مسیریابی طی افق برنامه‌ریزی کمینه گردد. مسأله مسیریابی دوره‌ای اولین بار توسط بلترامی و بادین[۱۶] معرفی شد. سپس محققان دیگر سعی در توسعه مسیریابی دوره‌ای داشتند که از آن جمله می‌توان به فاستر و رایان[۱۷] اشاره کرد که حالتی از مسیریابی دوره‌ای با محدودیت‌های جدید از قبیل روزهای مشخص شده جهت ملاقات مشتریان را مورد بررسی قرار دادند. در ادامه راسل و ایگو[۱۸] به طور رسمی مسأله مسیریابی دوره‌ای را مطرح نمودند. بعد از تعریف رسمی مسیریابی دوره‌ای، کریستوفیدس و بیزلی[۱۹] اولین مدل ریاضی مسأله مسیریابی دوره‌ای را مطرح نمودند.

فرانسیس و همکاران[۲۰] حالتی از مسیریابی دوره‌ای را مطرح نمودند که دفعات ملاقات مشتریان در افق برنامه‌ریزی جزء متغیرهای تصمیم‌گیری مسأله محسوب می‌شد. مورگایا و وندربیک[۲۱] مدل تاکتیکی از مسیریابی دوره‌ای وسیله نقلیه را بررسی نمودند که در آن زمان‌بندی ملاقات و تخصیص مشتریان به وسائل نقلیه به صورت همزمان انجام می‌شد. این محققین در تخصیص مشتریان به وسائل حمل، دو هدف را شامل موازنه بارگذاری بین وسائل نقلیه و محدود کردن مسیرها در یک ناحیه جغرافیایی مطالعه نمودند. بسیاری از مسائل واقعی نیز به صورت *PVRP* مدل می‌شوند نظیر عملیات ادواری نگهداری آسانسور[۲۲] و جمع آوری شیر در صنایع لبنی[۲۳]. مسأله مسیریابی دوره‌ای نیز همانند سایر مسائل مسیریابی جزء مسائل *NP-hard* محسوب می‌شود از اینرو مطالعات زیادی بر روی روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک، جستجوی همسایگی متغیر[7] و جستجوی ممنوع برای حل مسیریابی دوره‌ای انجام شده است که از آن جمله می‌توان به تان و بیزلی[۲۴]، چاو و همکاران[۲۵]، درامند و همکاران[۲۶]، همل مایر و همکاران[۲۷] و آلونسیو و همکاران[۲۸] اشاره نمود.

مسیریابی دوره‌ای وسیله نقلیه با چند قرارگاه[8] حالت تعمیم یافته مسیریابی دوره‌ای محسوب می‌شود. در این حالت از مسیریابی، سرویس‌دهی دوره‌ای به مشتریان به وسیله ناوگانی از وسائل نقلیه از طریق چندین قرارگاه انجام می‌شود.

مطالعات کمی در زمینه مسیریابی در حالت دوره‌ای و چند قرارگاهی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به حادجی کانستنتینو و بلداس[۲۹] اشاره کرد که ایده دوره‌ای بودن و استفاده از چند قرارگاه را در مسأله سرویس‌های نگهداری پیشگیرانه با هم ترکیب کردند. کوردیو و همکاران[۳۰] یک روش ابتکاری مبتنی بر جستجوی ممنوع را برای حل دو مسأله مهم *PVRP* و *MDVRP* پیشنهاد نمودند. آنجلیلی و اسپرانزا[۳۱]

[1] *Multi-Depot / Multiple depot VRP (MDVRP)*
[2] *Pick up*
[3] *Delivery*
[4] *Tabu Search (TS)*
[5] *Genetic Algorithm (GA)*
[6] *Periodic / Multi- Period VRP(PVRP)*
[7] *Variable Neighborhood Search*
[8] *Multiple depot & Periodic VRP(MDPVRP)*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

حالتی از مسیریابی دوره‌ای را بررسی کردند که در آن هر وسیله نقلیه می‌توانست جهت بارگیری مجدد[1] به یک سری از تسهیلات میانی(انبار) مراجعه نماید.

کانگ و همکاران[۳۲] نیز از یک الگوریتم دقیق برای حل مسأله زمانبندی دوره‌ای وسائل نقلیه در یک زنجیره تأمین با چند قرارگاه استفاده نمودند. در حقیقت، *PVRP* با تسهیلات میانی مشابه *MDVRP* می‌باشد.

در اکثر مسائل مسیریابی وسیله نقلیه؛ به جز مسائل مسیریابی باز[2]، هر مسیر ایجاد شده جهت سرویس‌دهی به مشتریان از یک قرارگاه ابتدایی آغاز شده و بعد از اتمام سرویس دهی به زیر مجموعه‌ای از مشتریان مجدداً به همان قرارگاه اولیه خاتمه می‌یابد. در این پژوهش حالت جدیدی از مسیریابی چند دوره‌ای وسیله نقلیه با چند قرارگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد که در آن مسیریابی برای چند دوره متوالی به صورت همزمان انجام شده و قرارگاه ابتدایی و پایانی هر مسیر با توجه به مشتریان تمام دوره‌ها مشخص می‌گردد که این امر می‌تواند باعث کاهش کل هزینه‌های مسیریابی گردد. به عبارت دیگر، در مدل پیشنهادی؛ هر مسیر از یک قرارگاه ابتدایی آغاز شده و بعد از سرویس‌دهی به زیر مجموعه‌ای از مشتریان به قرارگاهی خاتمه می‌یابد که سرویس-دهی به مشتریان دوره بعد با هزینه کمتری انجام شود و در نهایت هزینه سرویس‌دهی به مشتریان تمام دوره‌ها کمتر گردد. ایده آزادی در ملاقات قرارگاه ابتدایی و پایانی تحت عنوان " تخصیص انعطاف پذیر" توسط کک و همکاران[۳۳] مطرح گردید. بر اساس این تحقیق، دو حالت جدید از مسأله مسیریابی ظرفیت‌دار مورد مطالعه قرار گرفت. حالت اول به بررسی مسأله مسیریابی ظرفیت-دار با در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت وسائل حمل و حداکثر طول مجاز هر مسیر مربوط می‌شود اما در مسأله دوم علاوه بر محدودیت‌های موجود در حالت اول به واسطه قابلیت‌های سیستم‌های هوشمند حمل و نقل[3]، هر خودرو مجاز به بارگیری مجدد در قرارگاه‌های دیگر بوده و قرارگاه پایانی در هر مسیر می-تواند متفاوت از قرارگاه اولیه باشد. از اینرو در ادامه با بکارگیری این ایده در مسأله مسیریابی وسیله نقلیه با چند قرارگاه و به صورت چند دوره‌ای، مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مسأله مذکور مورد مطالعه و توسعه قرار خواهد گرفت. هدف از این تحقیق نیز سرویس‌دهی به مجموعه‌ای از مشتریان در طی دوره‌های مختلف افق برنامه‌ریزی، از طریق چندین قرارگاه می‌باشد به قسمی که امکان افزایش صرفه‌جویی در کل هزینه‌های مسیریابی با وارد نمودن ایده تخصیص انعطاف‌پذیر قرارگاه‌ها در مسأله فراهم شود. از کاربردهای مدل بیان شده می‌توان به بحث سرویس‌دهی به چند گروه از مشتریان متفاوت که هر گروه نیازمند دریافت خدمات در دوره‌ای از افق برنامه‌ریزی می‌باشند اشاره کرد و یا استفاده در مباحث زنجیره تأمین، وقتی که مشتریان محصولات آن در هر دوره متفاوت از دوره قبل می‌باشند و یا اینکه شرکتهایی که برای توزیع محصولات خود از پیمانکارانی استفاده می‌کنند که ضرورتی به بازگشت وسائل نقلیه آنها به همان قرارگاه اولیه نباشد. مسیریابی وسیله نقلیه یکی از مسائل مشهور در حوزه بهینه‌سازی ترکیبی[4] است که چندین الگوریتم دقیق نظیر شاخه و کران[5]، شاخه و برش[6] و چندین الگوریتم ابتکاری و فرا ابتکاری نظیر بهبود مسیر[7]، ساختن مسیر[8]، دو مرحله‌ای[9]، جستجوی ممنوع، باز پخت شبیه‌سازی شده[10]، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی[11] و اجتماع مورچگان[12] برای حل انواع متفاوتی از آن ارائه شده است[۳۴و ۳۵]. از آنجایی که الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجوی قوی، انعطاف‌پذیر و پر کاربرد برای حل مسائل بهینه-سازی ترکیبی محسوب می‌شود، از اینرو در این مقاله برای حل مسأله تحقیق، یک الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌گردد. در ادامه ساختار مقاله شامل بخش‌های زیر می‌باشد: دربخش ۲ فرضیات و چگونگی فرموله نمودن مسأله تحقیق مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. در بخش ۳ مقاله، متدولوژی جواب شامل طراحی الگوریتم ژنتیک و کد گذاری‌های مسأله تحقیق ارائه خواهد گردید. در بخش ۴ نیز آزمایشات مدل شامل محاسبات و اجرای الگوریتم ارائه شده در مورد مجموعه داده‌های محک[13] با استفاده از نرم افزار *Visual Basic (VB)* انجام شده است. نهایتاً در بخش ۵ جمع‌بندی، طرح نتایج مهم، محدودیت‌ها و برخی از افق‌های تحقیقات آتی در ارتباط با موضوع تحقیق بیان گردیده است.

۲. مدل ریاضی

در این قسمت ابتدا به بیان فرضیات مدل، تعریف پارامترها، اندیس‌ها و متغیرهای تصمیم‌گیری جهت ساخت مدل پرداخته می‌شود. سپس فرمولاسیون مسأله تحقیق و در نهایت جزئیات مدل ریاضی(تابع هدف و محدودیت‌ها) بیان می‌گردد.

[1] *Reload*
[2] *Open VRP*
[3] *Intelligent Transportation Systems(ITS)*
[4] *Combinatorial Optimization*
[5] *Branch & Bound(B & B)*
[6] *Branch & Cut*
[7] *Route improvement*
[8] *Route construction*
[9] *Two phase*
[10] *Simulated Annealing(SA)*
[11] *Neural Network(NN)*
[12] *Ant Colony(AC)*
[13] *Bench mark*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

۲-۱. فرضیات مدل

مهمترین فرضیاتی که در این تحقیق لحاظ گردیده است می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

- تعداد دوره‌ها در طی افق برنامه‌ریزی مشخص است(تعداد دوره‌ها محدود است).
- تعداد قرارگاه‌ها مشخص است.
- خودروهای ناوگان غیر همگن[1] فرض می‌شوند.
- ظرفیت خودروها مشخص و ثابت است.
- تعداد خودروها ثابت و معین است.
- تقاضای هر مشتری در هر دوره مشخص است.
- تعداد مشتریانی که در هر دوره خدمت می‌گیرند معین می‌باشند.
- مشتریان هر دوره از مشتریان سایر دوره ها متفاوت می‌باشند.
- هزینه‌های حمل و نقل به مسافت پیموده شده وابسته است.
- مسیر هر وسیله نقلیه، از یک قرارگاه شروع شده لیکن قرارگاه پایانی می‌تواند متفاوت از قرارگاه ابتدایی باشد.
- شبکه حمل و نقل در نظر گفته شده متقارن[2] می‌باشد.

۲-۲. اندیس‌ها

اندیس‌های مدل عبارتند از:

i : اندیس مربوط به مشتریان قرار گرفته در ابتدای یک یال $(i = 1,2,\dots,N)$

j : اندیس مربوط به مشتریان قرار گرفته در انتهای یک یال $(j = 1,2,\dots,N)$ و $(j \neq i)$

t : اندیس مربوط به دوره زمانی $(t = 1,2,\dots,T)$

k : اندیس مربوط به وسائل نقلیه $(k = 1,2,\dots,V)$

d : اندیس مربوط به قرارگاه‌ها $(d = 1,2,\dots,D)$

۲-۳. پارامترها

پارامترهای مدل نیز عبارتند از:

$c_{i,j,t}$: هزینه پیموده شدن یال (i,j) بین دو مشتری i و j مستقر در گره‌های شبکه در دوره t

$c'_{d,i,t}$: هزینه پیمودن یال (i,d) و یا یال (d,i) بین مشتری i و قرارگاه d در دوره t

$d_{i,t}$: مقدار تقاضای مشتری i ام در دوره t

N_t : تعداد مشتریان در دوره t

B : زیر مجموعه‌ای از مشتریان در هر دوره

C_k : ظرفیت وسیله نقلیه(خودرو) k ام

V : تعداد وسائل نقلیه در دسترس در هر دوره

T : تعداد دوره‌های افق برنامه‌ریزی

A : مجموعه قرارگاه‌ها

D : تعداد قرارگاه‌ها

G : مجموعه تمام مشتریان و قرارگاه‌ها در هر دوره

M : عددی بسیار بزرگ

۲-۴. متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم‌گیری مدل را نیز به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$x_{i,j,k,t}$ = ۱ اگر وسیله نقلیه k در دوره t از یال (i,j) عبور کند.
۰ در غیر اینصورت

$y_{d,i,k,t}$ = ۱ اگر وسیله نقلیه k در دوره t از یال (d,i) عبور کند.
۰ در غیر اینصورت

$z_{i,d,k,t}$ = ۱ اگر وسیله نقلیه k در دوره t از یال (i,d) عبور کند.
۰ در غیر اینصورت

$s_{k,d,t}$ = ۱ اگر وسیله نقلیه k در ابتدای دوره t در قرارگاه d مستقر باشد.
۰ در غیر اینصورت

$f_{k,d,t}$ = ۱ اگر وسیله نقلیه k در انتهای دوره t در قرارگاه d مستقر باشد.
۰ در غیر اینصورت

۲-۵. مدل ریاضی

فرمولاسیون برنامه‌ریزی عدد صحیح این مسأله را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

$$Min \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N_t}\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N_t}\sum_{k=1}^{V} x_{i,j,k,t} * c_{i,j,t} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{N_t}\sum_{k=1}^{V} y_{d,i,k,t} * c'_{d,i,t} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N_t}\sum_{d=1}^{D}\sum_{k=1}^{V} z_{i,d,k,t} * c'_{d,i,t} \quad (۱)$$

[1] *Heterogeneous*
[2] *Symmetric*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

s.t.

$$\sum_{d=1}^{D}\sum_{k=1}^{V} y_{d,i,k,t} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N_t}\sum_{k=1}^{V} x_{j,i,k,t} = 1 \qquad \forall i,t \qquad (۲)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N_t}\sum_{k=1}^{V} x_{i,j,k,t} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{k=1}^{V} z_{i,d,k,t} = 1 \qquad \forall i,t \qquad (۳)$$

$$\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{N_t} y_{d,i,k,t} - \sum_{j=1}^{N_t}\sum_{d=1}^{D} z_{j,d,k,t} = 0 \qquad \forall k,t \qquad (۴)$$

$$\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{N_t} y_{d,i,k,t} * d_{i,t} + \sum_{i=1}^{N_t}\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N_t} x_{i,j,k,t} * d_{j,t} \leq c_k \qquad (۵)$$

$$\sum_{d=1}^{D} y_{d,i,k,t} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N_t} x_{j,i,k,t} - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N_t} x_{i,j,k,t} - \sum_{d=1}^{D} z_{i,d,k,t} = 0 \qquad \forall i,k,t \qquad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{N_t}\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N_t} x_{i,j,k,t} \leq \left(\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{N_t} y_{d,i,k,t}\right) * M \qquad \forall k,t \qquad (۷)$$

$$\sum_{i\in B}\sum_{\substack{j\in B \\ j\neq i}}^{N_t} x_{i,j,k,t} \leq |B| - 1 \quad \forall k,t \quad \forall B \subseteq G\backslash\{A\}, |B| \geq 2 \qquad (۸)$$

$$\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{N_t} y_{d,i,k,t} \leq 1 \qquad \forall k,t \qquad (۹)$$

$$\sum_{d=1}^{D} s_{k,d,t} = 1 \qquad \forall k,t \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{d=1}^{D} f_{k,d,t} = 1 \qquad \forall k,t \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{i=1}^{N_t} y_{d,i,k,t} \leq s_{k,d,t} \qquad \forall k,d,t \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^{N_t} z_{i,d,k,t} \leq f_{k,d,t} \qquad \forall k,d,t \qquad (۱۳)$$

$$f_{k,d,t-1} = s_{k,d,t} \qquad \forall k,d \quad \forall t \geq 2 \qquad (۱۴)$$

$$x_{i,j,k,t} \in \{0,1\} \qquad \forall i,k,t \quad \forall j \neq i \qquad (۱۵)$$

$$y_{d,i,k,t} \in \{0,1\} \qquad \forall d,i,k,t \qquad (۱۶)$$

$$z_{i,d,k,t} \in \{0,1\} \qquad \forall i,d,k,t \qquad (۱۷)$$

$$s_{k,d,t} \in \{0,1\} \qquad \forall k,d,t \qquad (۱۸)$$

$$f_{k,d,t} \in \{0,1\} \qquad \forall k,d,t \qquad (۱۹)$$

مدل ریاضی پیشنهاد شده شامل تابع هدف(۱) و محدودیت‌های (۲)- (۱۹) می‌باشد. رابطه (۱) نشان دهنده مجموع هزینه‌های مسیریابی در کل دوره برنامه‌ریزی بوده که می‌بایست کمینه شود. در این رابطه هزینه‌های مسیریابی از سه بخش؛ شامل هزینه لازم جهت پیمودن مسیرهای بین مشتریان، هزینه لازم جهت پیمودن مسیرهای بین قرارگاه‌ها و مشتریان و سرانجام هزینه لازم جهت طی نمودن مسیرهای بین مشتریان و قرارگاه‌ها تشکیل شده است. محدودیت‌های (۲) و (۳) تضمین می‌کنند که هر مشتری در هر دوره زمانی فقط یکبار ملاقات شود.

هر کدام از این محدودیت‌ها از دو نوع مسیر تشکیل شده‌اند که در محدودیت (۲) این دو مسیر شامل مسیر قرارگاه به مشتری و مسیر مشتری به مشتری دیگر بوده و باعث می‌شود که یک مشتری یا در ابتدای مسیر بعد از قرارگاه واقع شود و یا بعد از مشتری دیگر، و در محدودیت (۳) این دو مسیر شامل مسیر مشتری به مشتری دیگر و مسیر مشتری به قرارگاه می‌باشد و نشان می‌دهد که خروجی از هر مشتری فقط می‌تواند به یک قرارگاه و یا فقط به یک مشتری دیگر ختم گردد. همچنین این دو محدودیت موجب می‌شوند که در هر دوره به تمام مشتریان سرویس ارائه شود.

محدودیت (۴) مربوط به شروع و پایان هر مسیر بوده و تضمین می‌کند که در هر دوره، هر مسیر از یک قرارگاه شروع شده و به یک قرارگاه ختم گردد. محدودیت (۵) مربوط به ظرفیت وسائل نقلیه در هر دوره بوده و باعث می‌شود که تقاضای برآورده شده توسط هر وسیله نقلیه در هر دوره از ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز ننماید. محدودیت (۶) تضمین می‌کند هر مشتری فقط و فقط توسط یک مسیر سرویس دریافت کند.

این محدودیت باعث می‌شود که ورودی و خروجی به هر مشتری توسط هر وسیله نقلیه در هر دوره با هم برابر باشد. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که یک یال توسط یک وسیله نقلیه در صورتی می‌تواند پیموده شود که این وسیله مسیر خود را از یک قرارگاه آغاز کرده باشد. محدودیت (۸) از ایجاد زیرتورها[1] جلوگیری می‌کند. محدودیت (۹) باعث می‌شود که هر وسیله نقلیه در هر دوره یا مسیری را آغاز ننماید و یا مسیرخود را فقط و فقط از یک قرارگاه آغاز کند.

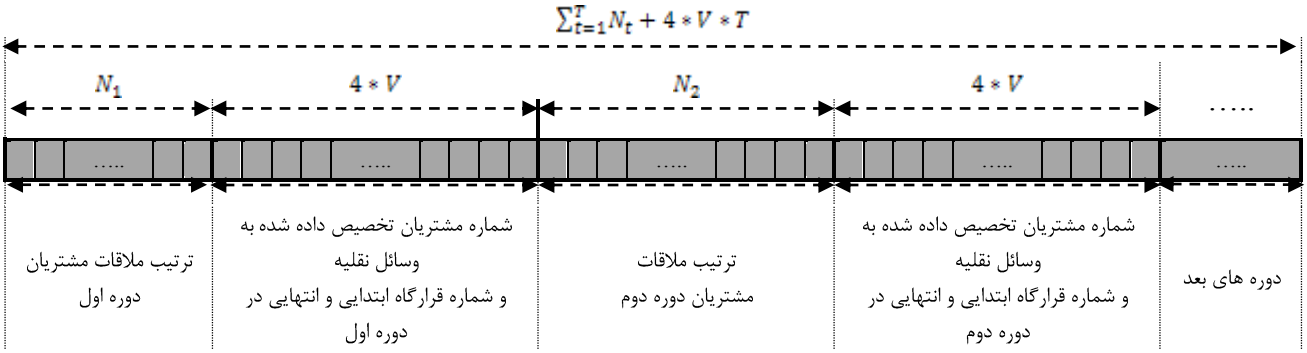
این محدودیت این امکان را بوجود می‌آورد که یک وسیله نقلیه در تعدادی از دوره‌ها در صورت لزوم مورد استفاده قرار نگیرد. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که هر وسیله نقلیه در ابتدای هر دوره باید در یک قرارگاه مستقر باشد و محدودیت (۱۱) نیز نشان می‌دهد که هر وسیله نقلیه باید در پایان هر دوره به یک قرارگاه

[1] *Sub tour*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

تخصیص داده شود. محدودیت (۱۲) باعث می‌شود هر وسیله نقلیه در هر دوره مسیر خود را از قرارگاهی آغاز نماید که در ابتدای آن دوره به آن تخصیص داده شده است و محدودیت (۱۳) نشان می‌دهد که هر وسیله نقلیه مسیر خود را در هر دوره به قرارگاهی ختم می‌کند که به آن تخصیص یافته است. به عبارت دیگر محدودیت‌های (۱۰)، (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) موجب می‌شوند که ابتدا و انتهای مسیر مربوط به هر وسیله نقلیه در هر دوره فقط و فقط از یک قرارگاه آغاز و به یک قرارگاه دیگر (ممکن است مشابه قرارگاه ابتدایی باشد) خاتمه یابد. مجموعه این چهار محدودیت الزام بازگشت وسیله نقلیه به قرارگاه ابتدایی را حذف نموده و در جهت انعطاف پذیری در انتخاب قرارگاه‌ها می‌باشند. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که هر وسیله نقلیه در ابتدای هر دوره در قرارگاهی مستقر می‌شود که در پایان دوره قبل به آن قرارگاه تخصیص یافته باشد. محدودیت‌های(۱۹)_(۱۵) مربوط به مقادیر مجاز برای متغیرهای تصمیم‌گیری مدل بوده که همگی از نوع صفر و یک می‌باشند.

در بخش بعدی، متدولوژی حل مبتنی بر الگوریتم ژنتیک (GA) توسعه داده می‌شود.



شکل ۱. ساختار کلی کروموزوم یا نحوه نمایش یک جواب

۳. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجوی تصادفی بوده که با الهام از قوانین تکامل[1]، برای اولین‌بار توسط جان هالند و همکارانش معرفی گردید[۳۶]. این الگوریتم در ابتدا با یک جمعیت اولیه از جواب‌ها که معمولاً به صورت تصادفی تولید شده‌اند آغاز می‌شود. هر عضو از جمعیت، نماینده یک عضو از فضای جواب بوده که اصطلاحاً کروموزوم نامیده می‌شود. هر کروموزوم با یک مقدار برازندگی مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس کروموزوم‌ها بر مبنای برازندگی‌شان انتخاب شده و برای ایجاد جمعیت جدید ترکیب می‌شوند. کروموزوم‌ها طی دوره‌های مکرر یا نسل‌ها تکامل یافته و این فرایند تا برقراری شرایط توقف تکرار می‌شود[۳۶]. در ادامه کدگذاری‌ها و مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در ارتباط با مسأله مورد بررسی شرح داده می‌شود.

۱- ۳. نمایش جواب(کروموزوم)

یکی از اجزای مهم در الگوریتم ژنتیک، ساختار کروموزوم‌ها (جوابهای) مسأله می‌باشد. از آنجا که جواب مسأله تحقیق می‌بایست تخصیص قرارگاه‌ها و مسیرهای متناظر را به منظور سرویس‌دهی به مجموعه‌ای از مشتریان؛ برای هر دوره نشان دهد بنابراین در این تحقیق، ساختار هر کروموزوم به صورت آرایه‌ای[2] یک بعدی مشتمل بر اطلاعات مسیریابی تعریف می‌شود. همچنین طول یک کروموزوم نظیر شکل ۱ که ساختار کلی کروموزوم را نشان می‌دهد معادل $\sum_{t=1}^{T} N_t + 4 * V * T$ می‌باشد. هر کروموزوم؛ خود دارای چند بخش مشتمل بر ترتیب ملاقات مشتریان توسط وسائل نقلیه، مشتریان تخصیص داده شده به هر وسیله نقلیه و قرارگاه ابتدایی و انتهایی آن وسیله نقلیه می‌باشد. عناصر یا ژن‌های زیر بخش ترتیب ملاقات مشتریان، شماره گره مشتریان را اختیار می‌کند.

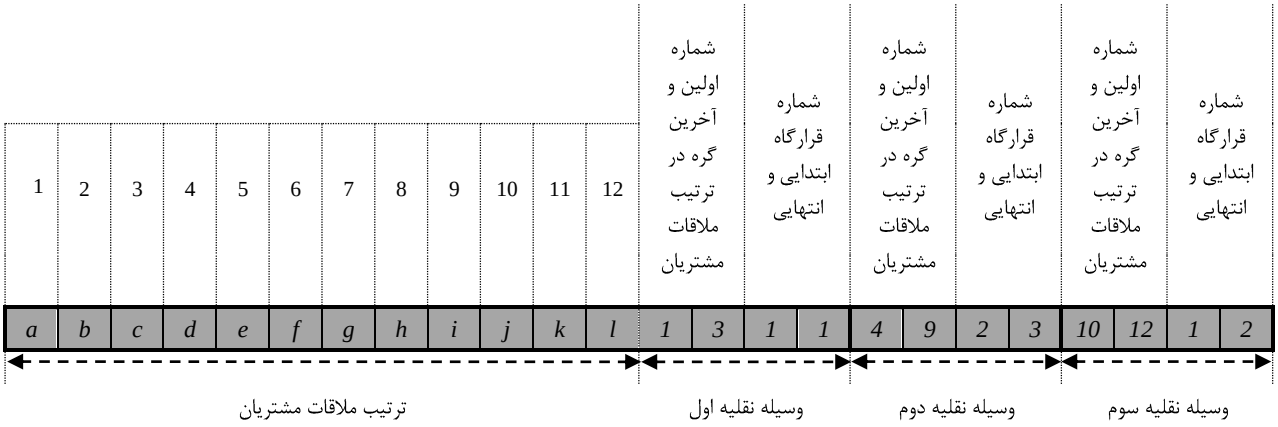
ژن‌های زیر بخش مشتریان تخصیص داده شده، شماره اولین و آخرین گره در ترتیب ملاقات مشتریان توسط وسیله نقلیه را اختیار نموده و ژن‌های زیر بخش قرارگاه ابتدایی و انتهایی، شماره گره قرارگاه‌ها را اختیار می‌کند. شکل ۲ به طور مثال اطلاعات مسیریابی مربوط به یک دوره با ۱۲ مشتری، ۳ قرارگاه و ۳ وسیله نقلیه در دسترس را نمایش می‌دهد. در این مثال، مشتریان اول تا سوم که عبارتند از a، b و c به وسیله نقلیه اول تخصیص داده شده و این وسیله نقلیه مسیر خود را از قرارگاه اول

[1] *Evolution*

[2] *Array*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

آغاز نموده و سپس به ترتیب به مشتریان a، b و c سرویس داده و مجدداً به قرارگاه اول بر می‌گردد. به همین ترتیب مسیر وسیله نقلیه دوم عبارتست از $2,d,e,f,g,h,i,3$ و مسیر وسیله نقلیه سوم نیز $1,j,k,l,2$ می‌باشد. در ادامه بر مبنای شکل ۳ جزئیات مراحل مختلف الگوریتم ژنتیک پیشنهادی شرح داده می‌شود.



شکل ۲. مثالی از اطلاعات مربوط به مسیریابی در یک دوره

۲-۳. جمعیت اولیه

دو جنبه مهم جمعیت عبارتست از؛ الف- تولید جمعیت اولیه ب- اندازه جمعیت. در این بخش رویه تولید کروموزوم‌ها برای تشکیل جمعیت اولیه شرح داده می‌شود. برای ایجاد یک کروموزوم؛ سه مرحله زیر می‌بایست اجرا شود. در **مرحله اول**، برای هر دوره؛ یک مسیر از توالی(ترتیب) تمام مشتریان آن دوره با الهام از روش ابتکاری ارزانترین الحاق[1] [۳۷] به شرح زیر ایجاد می‌شود.

گام اول: انتخاب تصادفی دو گره مشتری i و j از بین مشتریان آن دوره

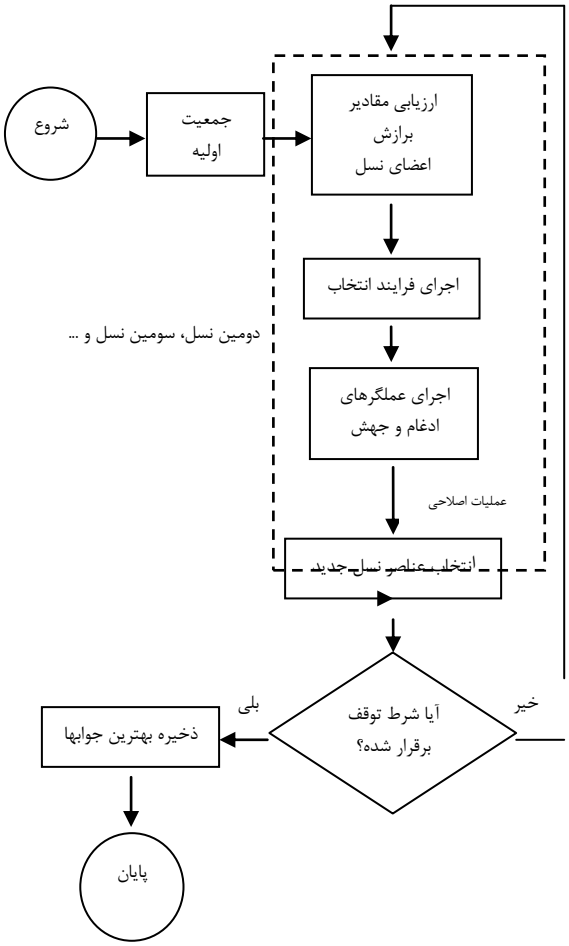
گام دوم: ایجاد یک مسیر شامل دو مشتری انتخاب شده i و j در این گام برای ایجاد مسیر، ابتدا مقادیر c_1 و c_2 را با استفاده از روابط زیر محاسبه کرده و سپس چنانچه $c_1 < c_2$ باشد مسیر بصورت $i \to j$ و در غیر اینصورت مسیر بصورت $j \to i$ در نظر گرفته می‌شود.

$$c_1 = d(i,j) \qquad (۲۰)$$

$$c_2 = d(j,i) \qquad (۲۱)$$

در روابط (۲۰) و (۲۱)، $d(i,j)$ و $d(j,i)$ به ترتیب نشان دهنده هزینه پیمودن یال (i,j)و (j,i) می‌باشد.

گام سوم: انتخاب گره مشتری k از بین مشتریان انتخاب نشده به عنوان گره بعدی جهت قرار دادن در مسیر تشکیل شده



شکل ۳. نمودار جریان الگوریتم ژنتیک طراحی شده

[1] *Cheapest Insertion*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

در این گام برای تمام مشتریان انتخاب نشده مقدار c_m با استفاده از رابطه (۲۲) محاسبه می‌گردد و سپس مشتری با کمترین c_m به عنوان گره مشتری k (گره مشتری بعد) انتخاب می‌گردد.

$$c_m = min[d(k,x), d(y,k), \{d(p,k) + d(k,z) - d(p,z)\}] \quad (۲۲)$$

در رابطه (۲۲)، $d(k,x)$ برابر است با هزینه اضافه شده به هزینه مسیر در صورت قرار دادن گره مشتری k در ابتدای مسیر و $d(y,k)$ نیز برابر است با هزینه اضافه شده به هزینه مسیر در صورت قرار دادن گره مشتری k در انتهای مسیر. همچنین در این رابطه، $\{d(p,k) + d(k,z) - d(p,z)\}$ برابر خواهد بود با هزینه اضافه شده به مسیر در صورت قرارگیری گره مشتری k در بین دو مشتری متوالی p و z در مسیر ایجاد شده از مشتریان انتخاب شده قبلی.

گام چهارم: قرار دادن مشتری انتخاب شده در گام سوم، در محل مربوطه

در این مرحله، مشتری انتخاب شده در گام سوم در محلی از مسیر قرار داده می‌شود که بر اساس آن محل، مقدار c_m برای مشتری مربوطه حاصل شده است.

گام پنجم: تکرار گام سوم و چهارم به منظور قرار گرفتن همه مشتریان آن دوره در مسیر

در **مرحله دوم**، وسائل نقلیه جهت سرویس‌دهی به مشتریان در هر دوره انتخاب می‌گردند. در این مرحله به منظور جلوگیری از نقض محدودیت مدل(رابطه ۵)، با توجه به میزان تقاضای مشتریان و در نظر گرفتن ظرفیت وسائل نقلیه، مشتریان به وسائل نقلیه تخصیص می‌یابند. برای اجرای این مرحله؛ گام‌های زیر اجرا می‌گردند.

گام اول: انتخاب مجموعه‌ای تصادفی از وسائل نقلیه

در این گام، ابتدا مجموع تقاضای مشتریان مسیر محاسبه گردیده و سپس مجموعه‌ای تصادفی از وسائل نقلیه انتخاب می‌گردد به گونه‌ای که مجموع ظرفیت این وسائل حمل از مجموع تقاضای مشتریان، بزرگتر یا مساوی باشد.

گام دوم: تخصیص تمام مشتریان به وسائل نقلیه

در این گام، مراحل زیر به ترتیب انجام می‌شود:

الف- انتخاب وسیله نقلیه k ، اولین عضو مجموعه وسائل نقلیه

$$a_{i,1} = d(i, f_1) \quad \forall i \in [1, D] \quad (۲۳)$$

$$a_{i,t} = d(i, l_{t-1}) + d(i, f_t) \quad \forall i \in [1, D], \forall\, 1 < t < T' + 1 \quad (۲۴)$$

$$a_{i,T'+1} = d(i, l_{T'}) \quad \forall i \in [1, D] \quad (۲۵)$$

ب- مشخص نمودن $N_{\max}$، یعنی حداکثر تعداد مشتری که می‌توان به وسیله نقلیه k اختصاص داد.

$N_{\max}$: برابر است با حداکثر تعداد گره مشتری به گونه‌ای که مجموع تقاضای آنها از ظرفیت وسیله نقلیه c_k بیشتر نباشد.

ج- مشخص نمودن N_{min}، یعنی حداقل تعداد گره مشتری که می‌توان به وسیله نقلیه k تخصیص داد

N_{min}: عبارتست از حداقل تعداد گره مشتری به گونه‌ای که مجموع ظرفیت وسائل حمل استفاده نشده بتواند تقاضای مشتریان باقیمانده را بر آورده سازد.

(در صورتی که $N_{min} \geq N_{\max}$ باشد آنگاه $N_{min} = N_{\max}$ قرار داده می‌شود و سپس وسیله نقلیه دیگری از بین وسائل قرار داده نشده در مجموعه انتخاب و به مجموعه وسائل نقلیه انتخاب شده در گام اول اضافه می‌گردد)

د- انتخاب عدد تصادفی صحیح P از بازه $[N_{min}, N_{max}]$ و تخصیص P مشتری اول مسیر به وسیله نقلیه k

ه- حذف p مشتری اول مسیر ، حذف وسیله نقلیه k از مجموعه تصادفی وسائل نقلیه

و- تکرار الف تا ه برای تخصیص تمام مشتریان به وسائل نقلیه

هدف از اجرای **مرحله سوم** مشخص کردن قرارگاه‌های ابتدایی و انتهایی مسیرهای طی شده توسط وسائل نقلیه می‌باشد. برای اجرای این مرحله می‌بایست دو مرحله قبل برای تمام دوره‌ها اجرا شده باشد. سپس برای هر وسیله نقلیه با توجه به تعاریف مربوطه مراحل زیر انجام می‌شود(البته در صورتی که حداقل در یک دوره از وسیله نقلیه استفاده شده باشد):

f_t: مشتری ابتدایی مسیر تخصیص داده شده به وسیله نقلیه در t امین دوره استفاده از وسیله نقلیه

l_t: مشتری انتهایی مسیر تخصیص داده شده به وسیله نقلیه در t امین دوره استفاده از وسیله نقلیه

گام اول: مشخص نمودن f_t و l_t برای هر دوره استفاده از وسیله نقلیه

گام دوم: تشکیل ماتریس مسافت با استفاده از روابط زیر(D تعداد قرارگاه‌ها و T' تعداد دوره‌هایی که از وسیله نقلیه استفاده می‌شود)

در روابط فوق، $a_{i,j}$ درایه سطر i و ستون j از ماتریس مسافت بوده و $d(i,j)$ فاصله قرارگاه i و مشتری j خواهد بود.

گام سوم: مشخص نمودن کمترین مقدار در هر ستون از ماتریس مسافت

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

گام چهارم: مشخص نمودن قرارگاه ابتدایی و انتهایی برای وسیله نقلیه در هر دوره

در این گام با توجه به کمترین مقادیر مشخص شده در گام سوم قرارگاه‌های ابتدایی و انتهایی مشخص می‌شوند. بدین منظور سطر مربوط به کمترین عدد در هر ستون، شماره قرارگاه را معین می‌کند و قرارگاه ابتدایی در t امین دوره استفاده از وسیله نقلیه برابر خواهد بود با شماره سطر کمترین عدد در ستون t ام ماتریس مسافت و قرارگاه انتهایی در t امین دوره استفاده از وسیله نقلیه نیز برابر خواهد بود با شماره سطر کمترین عدد در ستون $t+1$ ام ماتریس مسافت(پوست الف: شکل ۶).

در خصوص اندازه جمعیت نیز، اندازه مناسب جمعیت با لحاظ نمودن کارایی محاسباتی الگوریتم توسط کاربر تعیین می شود.

۳-۳.تابع برازش [1]

در این مرحله، مقدار تابع هدف برای هر یک از کروموزوم‌ها محاسبه و ارزیابی می‌شود. از اینرو با توجه به مدل ارائه شده در بخش دوم، از رابطه(۱) یعنی تابع هدف مدل(مجموع هزینه‌های مسیریابی در کل دوره برنامه‌ریزی) جهت ارزیابی هر کروموزوم استفاده می‌شود.

۳-۴. فرایند انتخاب

انتخاب فرایندی است که در آن تعدادی از افراد جمعیت(والدین) برای شرکت در خلق فرزندان و تشکیل نسل جدید گزینش می‌شوند. روش انتخاب استفاده شده در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی بر اساس روش انتخاب چرخ رولت [2] می‌باشد که یکی از تکنیک‌های رایج انتخاب در الگوریتم ژنتیک محسوب می‌شود. برای اجرای این فرآیند گام‌های زیر اجرا می‌گردد:

گام اول: ابتدا مقدار جدید برازندگی هر کروموزوم را براساس رابطه $new\ fit=e^{-0.009*fit(c)}$ که در آن $fit(c)$ برابر با مقدار هزینه کلی هر کروموزوم است محاسبه می‌شود[۳۸].

گام دوم: محاسبه احتمال بقا یک کروموزوم

در این گام با استفاده از رابطه (۲۶)، احتمال بقا کروموزوم c یعنی$p(c)$ محاسبه می‌گردد.

$$p(c) = new\ fit(c)/\sum_{c=1}^{pop\ size} new\ fit(c) \qquad (۲۶)$$

گام سوم: محاسبه احتمال تجمعی با استفاده از رابطه (۲۷) برای هر کروموزوم

$$cp(c) = \sum_{c=1}^{c} p(c) \qquad (۲۷)$$

در این رابطه $c(p(c)$ احتمال تجمعی کروموزوم c می‌باشد.

گام چهارم: برای هر بار انتخاب، یک عدد تصادفی r بین ۰ و ۱ تولید می‌شود و چنانچه عدد تولید شده در رابطه (۲۸) صدق نمایدکروموزوم c از جمعیت انتخاب می‌گردد.

$$cp(c-1) < r \leq cp(c) \qquad (۲۸)$$

۳-۵. اجرای عملگر ادغام یا تقاطعی [3]

در فرایند ادغام، یک جفت کروموزوم براساس روش بیان شده در مرحله قبل؛ از جمعیت موجود انتخاب و با هم ترکیب می‌شوند تا کروموزوم جدید(فرزند) خلق شود. در واقع عملگر ادغام، الگوریتم ژنتیک را در کاوش نقاط مختلف فضای جواب به وسیله پرش‌های بزرگ همراهی می‌نماید. روش‌های ادغام مختلفی برای مسائلی که به صورت ترتیبی[4](رشته‌ای از اعداد) کد گذاری می‌شوند وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش‌های ادغام نگاهدارنده اولویت[5]، ادغام مرتب شده[6]، ادغام چرخشی[7] و روش ادغام ترتیب اول[8] اشاره نمود.

در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی از دو روش ادغام به صورت همزمان استفاده می‌شود. بدین معنی که؛ از مجموعه کروموزوم‌های انتخاب شده برای فاز ادغام، تعدادی کروموزوم به عنوان ورودی ادغام اول انتخاب شده و سایر کروموزوم‌های انتخاب شده برای اجرای ادغام دوم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش اول که به منظور استفاده از اطلاعات مسیریابی دو والد می‌باشد از روش ادغام ترتیب اول بهره‌گیری می‌شود و روش دوم که در راستای استفاده از اطلاعات کامل دوره‌های برنامه‌ریزی والدین می‌باشد از روش ادغام ساده استفاده می‌شود. در روش ادغام ترتیب اول که برای هر دوره از افق برنامه‌ریزی انجام می‌شود گام‌های زیر اجرا می‌گردد.

گام اول: پارامتر اساسی عملگر تقاطعی یعنی نرخ ترکیب (p_c) را تنظیم کنید.

گام دوم: دو نقطه برش بر روی بخش مربوط به ملاقات مشتریان از اطلاعات مربوط به مسیریابی بطور تصادفی انتخاب کنید.

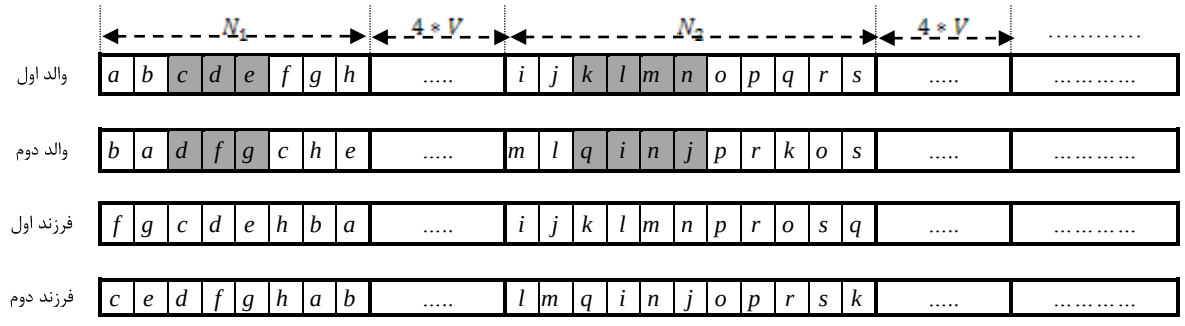
گام سوم: ژن‌های بین دو نقطه برش را در دو فرزند کپی کنید.

---

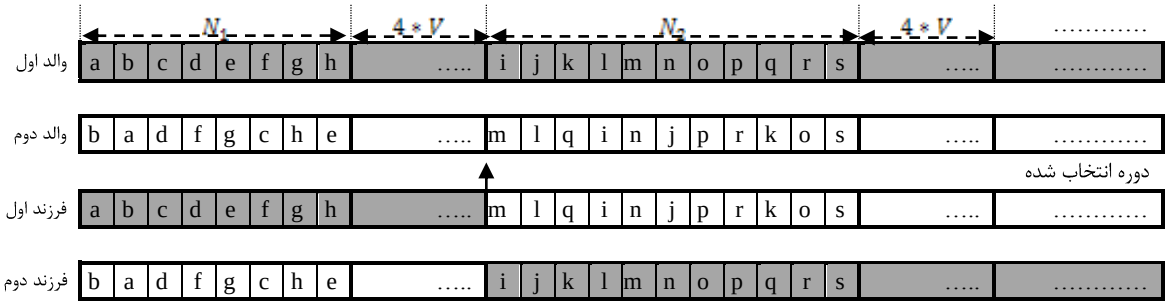
[1] *Fitness Function*
[2] *Roulette Wheel*
[3] *Crossover*
[4] *Permutation*
[5] *Precedence Preservative Crossover*
[6] *Ordered Crossover*
[7] *Cyclic Crossover*
[8] *Order One Crossover*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

گام چهارم: از سمت راست نقطه برش دوم حرکت کرده و ژن‌های والد دوم که در فرزند اول وجود ندارند را به ترتیب در فرزند اول قرار داده و ژن‌های والد اول که در فرزند دوم وجود ندارند را به ترتیب در فرزند دوم کپی کنید. شکل ۴ مراحل ادغام ترتیب اول را برای تشکیل فرزندان نشان می‌دهد.



شکل ۴. روش ادغام اول



شکل ۵. روش ادغام دوم

گام پنجم: عملیات اصلاحی[1]، در این گام به منظور موجه کردن کروموزوم‌ها، مشتریان هر دوره همانند آنچه که در تشکیل جمعیت شرح داده شد به وسائل نقلیه تخصیص داده می‌شوند و سپس قرارگاه ابتدایی و انتهایی برای هر مسیر مشخص می‌گردد. همچنین برای ادغام دوم که در آن اطلاعات کامل دوره‌ها بین والدین مبادله می‌شود، گام‌های زیر می‌بایست اجرا شود.

گام اول: ابتدا یک عدد تصادفی بین عدد یک و تعداد دوره‌های افق برنامه‌ریزی تولید می‌شود (آخرین دوره انتخاب نمی‌شود).

گام دوم: اطلاعات مربوط به دوره‌های بعد از عدد تصادفی انتخاب شده بین دو والد مبادله می‌شود.

گام سوم: عملیات اصلاحی، در این گام فقط لازم است قرارگاه ابتدایی و انتهایی برای هر وسیله نقلیه مجدداً محاسبه گردد. ادغام دوم بصورت شماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است.

۶-۳. عملگر جهش[2]

عملگر جهش در یک الگوریتم ژنتیک نقش اصلاح قسمتی از یک کروموزوم جدید را بر عهده دارد. هدف از اجرای این عملگر جستجوی نقاط بیشتری از فضای جواب، حفظ تنوع در جمعیت و جلوگیری از همگرایی زود رس می‌باشد. اعمال این عملگر به منظور خلق کروموزوم‌های جدید برای هر دوره از افق برنامه‌ریزی به شرح زیر است.

گام اول: پارامتر اساسی عملگر جهش یعنی نرخ جهش (P_m) را تنظیم کنید.

گام دوم: یک مسیر را به صورت تصادفی انتخاب کنید.

گام سوم: یک مشتری را بطور تصادفی از مسیر انتخاب شده در گام دوم، انتخاب کنید.

گام چهارم: از بین مسیرهایی که امکان اضافه کردن این مشتری به آنها وجود دارد (مسیری که مجموع تقاضای مشتریان آن با تقاضای مشتری انتخاب شده از ظرفیت وسیله نقلیه مربوطه

[1] *Repair*

[2] *Mutation*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

بیشتر نباشد)، یک مسیر انتخاب نموده و این مشتری را به آن مسیر تخصیص دهید.

گام پنجم: بهبود، مراحل بهبود مسیر در ادامه شرح داده می‌شود.

۳-۷. فرایند بهبود[1]

برای افزایش کیفیت جواب‌های تولید شده در مراحل ادغام و جهش، فاز بهبود الگوریتم اجرا می‌شود. برای هر کروموزوم تولید شده دو مرحله بهبود در نظر گرفته می‌شود.

در مرحله اول بهبود، مشتریان تخصیص داده شده به هر وسیله نقلیه در هر دوره؛ بر اساس روش الحاق که در مراحل قبل (مرحله دوم تشکیل جمعیت اولیه) شرح داده شد مسیریابی می‌شوند و چنانچه مسیر ایجاد شده هزینه‌ای کمتر از قبل داشته باشد جایگزین مسیر فعلی می‌شود. در ادامه با بکارگیری مرحله سوم روش تولید جمعیت اولیه، قرارگاه ابتدایی و انتهایی برای وسائل نقلیه انتخاب می‌گردد.

اما در مرحله دوم بهبود، مسیریابی هر وسیله نقلیه با در نظر گرفتن قرارگاه‌های ابتدایی و انتهایی مشخص شده برای هر وسیله نقلیه در هر دوره انجام می‌شود. در این مرحله برای هر وسیله نقلیه در هر دوره؛ مسیر تخصیص داده شده مشخص می‌گردد. سپس با استفاده از الگوریتم الحاق و در نظر گرفتن قرارگاه‌های ابتدایی و انتهایی؛ مسیریابی مجدد انجام می‌شود.

چنانچه مسیر ایجاد شده دارای هزینه کمتری باشد جایگزین مسیر فعلی می‌شود (در این مرحله چون عمل بهبود با در نظر گرفتن قرارگاه ابتدایی و انتهایی انجام می‌شود از اینرو چنانچه بهبودی ایجاد گردد دیگر نیازی به تغییر قرارگاه‌ها نمی‌باشد).

۳-۸. انتخاب عناصر نسل جدید

اجرای این مرحله از الگوریتم به منظور تشکیل جمعیت جدید برای نسل بعد می‌باشد. در الگوریتم پیشنهادی، تمام فرزندان تولید شده در مراحل ادغام و جهش وارد نسل بعد شده و مابقی اعضاء جمعیت از بهترین کروموزوم‌های نسل قبل انتخاب می‌گردند.

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم ژنتیک

نرخ ادغام (P_c)	نرخ جهش (P_m)	تعداد نسل‌ها (G)	اندازه جمعیت ($Pop.size$)
۰/۹	۰/۰۱	پیشنهاد بین ۱۵۰-۲۰۰	پیشنهاد بین ۵۰-۱۰۰

[1] *Improvement*

۳-۹. خاتمه الگوریتم

تعداد دفعات اجرای الگوریتم به اندازه مشتریان در هر دوره و تعداد دوره‌ها بستگی دارد. از اینرو در الگوریتم پیشنهادی، تولید نسل‌های جدید آنقدر ادامه می‌یابد تا تعداد نسل‌ها از حداکثر از پیش تنظیم شده (G) بیشتر نشود. در بخش بعدی، نتایج محاسباتی حاصل از اجرای مدل بروی برخی از مسائل نمونه‌ای را ارائه خواهیم داد.

۴. آزمایشات مدل

هدف از انجام آزمایشات محاسباتی، ارزیابی مدل پیشنهادی و روش حل ارائه شده برای آن می‌باشد. از آنجا که مسائل محک در مورد مدل پیشنهادی در ادبیات موضوع وجود ندارد تعدادی مسأله نمونه به شرح زیر تولید گردید.

بدین منظور تعدادی مسأله نمونه از بین مسائل محک موجود[۳۹] برای مسأله مسیریابی چند قرارگاهی انتخاب شده (MDVRP Instances) و سپس ترکیب این مسائل به صورت چند دوره‌ای (هر مسأله به عنوان یک دوره) و در حالتی که قرارگاه پایانی هر مسیر می‌تواند متفاوت از قرارگاه ابتدایی آن باشد حل گردید. سپس مشتریان هر دوره به صورت یک دوره‌ای و با شرط برگشت وسائل نقلیه به قرارگاه اولیه و همان ترتیب ملاقاتی که در حالت چند دوره‌ای بدست آمده است حل گردید و نتایج آن با نتایج بدست آمده از مسیریابی چند دوره‌ای مطابق جدول ۲ مقایسه گردید.

در آزمایشات طراحی شده در این تحقیق، هزینه استفاده شده برای تمام مسائل؛ بر مبنای مسافت پیموده شده برای سرویس-دهی به مشتریان لحاظ گردیده است و دامنه مشتریان بین ۱۲۵ تا ۳۵۵ مشتری در افق برنامه‌ریزی می‌باشد.

نکته دیگر از آنجا که الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر یک الگوریتم ژنتیک است بنابراین تنظیم دقیق پارامترهای الگوریتم ژنتیک از اهمیت بالایی برخوردار است.

در بسیاری از کاربردها، پارامترهای مذکور از طریق میزان سازی تکی تنظیم می‌شوند. بدین طریق که ابتدا یک پارامتر انتخاب شده و مقدار آن در حالیکه سایر پارامترها مقدار ثابتی دارند تغییر داده می شود و الگوریتم با مقدار جدید پارامتر؛ چندین دفعه اجرا می‌گردد. بعد از هر مرتبه اجرای الگوریتم، مقدار برازندگی بهترین جواب بدست آمده؛ ذخیره گردیده و درنهایت بهترین مقدار برای پارامتر مشخص می‌شود.

مراحل فوق تا تعیین مقدار تمام پارامترها تکرار می‌گردد. بنابراین در ادامه با تنظیم پارامترهای الگوریتم مطابق با جدول ۱ برای همه آزمایشات، الگوریتم ارائه شده با کدنویسی به زبان VB اجرا

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

گردید. کلیه محاسبات بروی رایانه شخصی با مشخصات $Pentium(R)Dual\ CPU\ 1.60\ GHZ$ و $1.0\ GB\ RAM$ انجام شد.

نتایج حاصل از حل مسائل نمونه با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی و مطابق با پارامترهای تنظیم شده در جدول ۲ استخراج گردید.

جدول ۲. نتایج مسائل نمونه

درصد کاهش هزینه*	هزینه کل مسیریابی با برگشت به قرارگاه اولیه(C_2)	هزینه کل مسیریابی بدون برگشت به قرارگاه اولیه(C_1)	تعداد وسیله نقلیه	تعداد قرارگاه	تعداد دوره	مجموع تعداد مشتریان در کل دوره‌ها	شماره مسائل ترکیب شده
٪ ۹/۵	۱۳۵۸/۰۹۸۵	۱۲۲۸/۹۳۹۳	۱۵	۴	۲	۱۲۵	۱و۲
٪ ۳/۳	۱۴۳۵/۶۸۵۶	۱۳۸۸/۴۸۷۹	۱۵	۴	۲	۱۵۰	۱و۳
٪ ۴/۳	۱۸۱۳/۲۸۶۶	۱۷۳۵/۶۶۶۴	۱۰	۴	۲	۱۳۰	۱و۴
٪ ۵/۱	۲۳۰۶/۴۴۱۳	۲۱۸۸/۴۶۴۱	۱۵	۴	۲	۱۸۰	۳و۴
٪ ۳/۴	۲۱۰۷/۰۰۷۷	۲۰۳۶/۱۸۰۸	۱۵	۴	۲	۱۵۵	۲و۴
٪ ۵/۴	۲۳۰۹/۴۴۱۳	۲۱۸۴/۷۲۱۰	۱۵	۴	۳	۲۲۵	۱و۲و۳
٪ ۶/۱	۲۷۴۷/۳۵۲۵	۲۵۷۸/۷۱۳۹	۱۵	۴	۳	۲۰۵	۱و۲و۴
٪ ۵/۵	۴۴۵۹/۱۷۲۷	۴۲۱۵/۳۸۰۴	۱۵	۴	۵	۳۵۵	۱و۲و۳و۴و۱
٪ ۵/۲	۳۷۵۸/۹۸۳۹	۳۵۶۲/۷۸۱۵	۱۵	۴	۴	۳۰۵	۱و۲و۳و۴

ظرفیت وسائل نقلیه: ۱۴۰ واحد برای تمام وسائل

*درصد کاهش هزینه $= \frac{c_1 - c_2}{c_2} * 100$

ادامه جدول۲. نتایج مسائل نمونه

درصد کاهش هزینه	هزینه کل مسیریابی با برگشت به قرارگاه اولیه	هزینه کل مسیریابی بدون برگشت به قرارگاه اولیه	تعداد وسیله نقلیه	تعداد قرارگاه	تعداد دوره	مجموع تعداد مشتریان در کل دوره‌ها	شماره مسائل ترکیب شده
٪ ۱۱/۸	۱۲۲۱/۴۹۲۷	۱۰۷۷/۸۶۵۷	۱۰	۵	۲	۱۲۵	۱و۲
٪ ۵/۸	۱۲۷۰/۱۰۲۸	۱۱۹۶/۹۶۸۱	۱۰	۵	۲	۱۵۰	۱و۳
٪ ۴/۲	۱۷۰۵/۹۷۹۴	۱۶۳۳/۷۲۰۶	۱۰	۵	۲	۱۳۰	۱و۴
٪ ۵/۹۷	۱۴۲۰/۰۲۳۹	۱۳۳۵/۱۸۴۹	۱۰	۵	۲	۱۷۵	۲و۳
٪ ۵/۲	۱۸۹۱/۱۱۳۰	۱۷۹۳/۷۴۵۴	۱۰	۵	۲	۱۵۵	۲و۴
٪ ۴/۵	۲۰۰۱/۷۳۲۲	۱۹۱۱/۶۹۲۸	۱۰	۵	۲	۱۸۰	۳و۴
٪ ۸/۹	۲۰۶۲/۳۶۹۱	۱۸۷۸/۶۲۹۸	۱۰	۵	۳	۲۲۵	۱و۲و۳
٪ ۵/۲	۲۴۲۶/۴۱۸۵	۲۳۰۰/۴۳۰۴	۱۰	۵	۳	۲۰۵	۱و۲و۴
٪ ۵/۵	۲۵۸۶/۰۶۱۸	۲۴۴۲/۶۶۵۵	۱۰	۵	۳	۲۳۰	۱و۳و۴
٪ ۸/۵	۲۸۴۴/۷۵۴۰	۲۶۰۱/۸۰۴۲	۱۰	۵	۳	۲۵۵	۲و۳و۴
٪ ۶/۹۶	۳۳۱۵/۰۷۷۶	۳۰۸۴/۲۲۱۷	۱۰	۵	۴	۳۰۵	۱و۲و۳و۴
٪ ۲/۵۲	۱۱۶۲/۲۴۸۸	۱۱۳۲/۹۸۱۲	۱۰	۳	۲	۱۲۵	۱و۲
٪ ۵/۹	۱۳۶۵/۴۴۳۲	۱۲۸۴/۷۰۹۱	۱۰	۳	۲	۱۵۰	۱و۳
٪ ۳/۶۵	۱۷۳۲/۳۱۳۲	۱۶۶۹/۰۴۷۶	۱۰	۳	۲	۱۳۰	۱و۴
٪ ۲/۸	۱۵۵۹/۵۳۸۸	۱۵۱۵/۶۹۱۹	۱۰	۳	۲	۱۷۵	۲و۳
٪ ۵/۹۲	۲۱۴۴/۸۱۰۰	۲۰۱۷/۹۳۵۳	۱۰	۳	۳	۲۲۵	۱و۲و۳
٪ ۳/۷	۲۵۲۴/۰۷۷۶	۲۴۳۰/۱۲۹۰	۱۰	۳	۳	۲۰۵	۱و۲و۴
٪ ۴/۷	۲۶۱۱/۷۳۱۷	۲۴۸۷/۸۳۹۶	۱۰	۳	۳	۲۳۰	۱و۳و۴
٪ ۲/۹	۲۷۳۳/۰۴۷۶	۲۶۵۴/۲۵۸۵	۱۰	۳	۳	۲۵۵	۲و۳و۴
٪ ۵/۴۵	۳۴۲۲/۰۰۸۵	۳۲۳۵ /۴۶۴۶	۱۰	۳	۴	۳۰۵	۱و۲و۳و۴

ظرفیت وسائل نقلیه: ۲۰۰، ۲۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۳۰۰، ۲۴۰، ۱۸۰، ۳۰۰، ۱۰۰، ۲۹۰

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

جدول ۳. مشخصات مسائل نمونه

شماره مسأله نمونه	اطلاعات مسأله نمونه در مرجع [۳۹]	تعداد مشتریان
۱	P01	۵۰
۲	P03	۷۵
۳	P04	۱۰۰
۴	P13	۸۰

بخش اول این جدول نتایج حاصل از حل مسائل نمونه با وسائل نقلیه همگن بوده که همگی دارای ظرفیت یکسان هستند و قسمت دوم جدول، نتایج حل مسائل نمونه در حالتی که وسائل نقلیه دارای ظرفیت متفاوت هستند نشان می دهد. همانطوریکه در این جدول مشاهده می شود در تمامی نمونه ها یا مثالهای مورد آزمایش؛ صرفه جویی نسبتا مناسبی (بالای ۲/۵ درصد) در هزینه های مسیریابی با لحاظ نمودن انعطاف پذیری در تخصیص قرارگاه ها یا به عبارتی دیگر عدم الزام بازگشت وسائل نقلیه به قرارگاه اولیه ایجاد می شود. البته این صرفه جویی در هزینه ها برای مسائل با مقیاس بزرگ معنادارتر می باشد.

۵. جمع بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، فرموله نمودن حالت جدیدی از مسأله مسیریابی با چند قرارگاه و به صورت دوره‌ای انجام شد. به منظور لحاظ نمودن این حالت جدید که عبارتست از حذف محدودیت برگشت وسائل نقلیه به قرارگاه اولیه و تصمیم‌گیری در مورد قرارگاه پایانی هر مسیر با توجه به مشتریان دوره بعد، فرمولاسیون برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای مسأله مذکور پیشنهاد گردید. همچنین برای حل مسأله مورد اشاره؛ با توجه به پیچیدگی مربوط به حل مسائل مسیریابی، یک الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به عنوان راه حل مدل ارائه شده مورد مطالعه و توسعه قرار گرفت.

بدین منظور شناسایی و کد نمودن اجزای مختلف الگوریتم ژنتیکی در ارتباط با مسأله مورد مطالعه انجام شده است. همچنین در تولید جمعیت اولیه از برخی روش‌های ابتکاری استفاده گردید. از نتایج مهم تحقیق ارائه شده می‌توان به کاهش مجموع هزینه‌های مسیریابی با لحاظ نمودن ویژگی انعطاف‌پذیری در تعیین قرارگاه پایانی هر مسیر اشاره نمود. همچنین به منظور ارزیابی مدل و بررسی کیفیت جوابها، حل مسأله تحقیق در این مقاله از طریق شبیه‌سازی بر روی تعدادی از مسائل نمونه تولید شده ارائه گردید. سایر تحقیقات آتی می‌تواند بر روی موضوعاتی نظیر: کاربردی نمودن مدل مذکور در یک شبکه توزیع، بررسی مسأله تحقیق وابسته به زمان سفر/ وابسته به عملیات و تلفیق مسأله با مفاهیم فازی و احتمالی انجام شود. بهبود روش‌های حل مدل نیز می‌تواند به عنوان تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرد.

مراجع

[1] Toth, P., Vigo, D., *The Vehicle Routing Problem*, USA, Siam, 2002.

[2] Eksioglu, B., Vural, A., Reisam, A., "*The Vehicle Routing Problem: A Taxonomic Review*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 57, No. 4, 2009, pp. 1472- 1483.

[3] Sumichrast, R.T., Markham, I.S., "*A heuristic and lower bound for a multi- depot routing problem*", Computers & Operation Research, Vol. 22, 1995, pp. 1047- 1056.

[4] Tillman, F.A., Cain, T.M., "*An Upper Bound Algorithm for the Single and Multiple Terminal Delivery Problem*", Management Science, Vol. 18, No. 11, 1972, pp. 664- 682.

[5] Gillett, B. E., Johnson, J. G., "*Multi- terminal vehicle dispatch algorithm*", Omega, Vol. 4, No. 6, 1976, pp. 711- 718.

[6] Wu, T.H., Low, C., Bai, J.W., "*Heuristic Solutions to Multi- Depot Location- Routing Problem*", computers & Industrial Engineering , Vol. 29, No. 10, 2002, pp. 1393- 1415.

[7] 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, Vol. 53, No. 9, 2002, pp. 977- 987.

[8] Nagy, G., Salhi, S. "*Heuristic Algorithm for the Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pick up and Deliveries*", European Journal of Operational Research, Vol. 162, No. 1, 2005, V. 126- 141.

[9] Crevier, B., Cordeau, J.F., Laporte, G., "*The Multi- Depot Vehicle Routing Problem with Inter- Depot Routs*", European Journal of Operational Research, Vol. 76, No. 2, 2007, pp. 756- 773.

[10] Laporte, G., Nobert, Y., Taillefer, S., "*Solving a Family of Multi- Depot Vehicle Routing and Location- Routing Problems*", Transportation Science, Vol. 22, No. 3, 1988, pp. 161- 172.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

[11] Salhi, S., Sari, M., "*A Multi- Level Composite Heuristic for the Multi- Depot Vehicle Fleet Mix Problem*", European Journal of Operational Research, Vol. 103, No. 1, 1997, pp. 95- 112.

[12] Renaud, J., Laporte, G., Boctor, F.F., "*A Tabu Search Heuristic for the Multi- Depot Vehicle Routing Problem*", Computers and Operations Research, Vol. 23, No. 3, 1996, pp. 229- 235.

[13] Thangiah, S.R., Salhi, S., "*Genetic Clustering: an Adaptive Heuristic for the Multi Depot Vehicle Routing Problem*", Applied Artificial Intelligence, Vol. 15, No. 4, 2001, pp. 361- 383.

[14] Ho, W., Ho, G.T.S., Ji, P., Lau, H.C.W., "*A Hybrid Genetic Algorithm for the Multi- Depot Vehicle Routing Problem*", Engineering Application of Artificial Intelligence, Vol. 21, No. 4, 2008, pp. 548- 557.

[15] Dondo, R., Cerda, J., "*A Hybrid Local Improvement Algorithm for Large- Scale Multi- Depot Vehicle Routing Problems with Time Windows*", Computer and Chemical Engineering, Vol. 33, No. 2, 2009, pp. 513- 530.

[16] Beltrami, E.J., Bodin, L.D., "*Networks and Vehicle Routing for Municipal Waste collection*", Networks, Vol. 4, No. 1, 1974, pp. 65-94.

[17] Foster, B.A., Ryan, D.M., "*An Integer Programming Approach to the Vehicle Scheduling Problem*", Operational Research Quarterly, Vol. 27, No. 21, 1976, pp. 367- 384.

[18] Russell, R., Igo, W., "*An Assignment Routing Problem*", Networks, Vol. 9, 1979, PP. 1- 17.

[19] Christofides, N., Beasley, J, E., "*The Period Routing Problem*", Networks, Vol. 14, No. 2, 1984, pp.237 – 256.

[20] Francis, P. M., Smilowitz, K.R., Tzur, M., "*The Period Vehicle Routing Problem with Service Choice*", Transportation Science, Vol. 40, No. 4, 2006, pp. 439– 454.

[21] Mourgaya, M., Vanderbeck, F., "*Column Generation Based Heuristic for Tactical Planning in Multi-Period Vehicle Routing*", European Journal of Operational Research, Vol. 183, No. 3, 2006, pp. 1028– 1041.

[22] Blakeley, F., Bozkaya, B., Cao, B., Hall, w., Knolmajer, J., "*Optimizing Periodic Maintenance Operations for Schindler Elevator Corporation*", Interfaces, Vol. 33, No. 1, 2003, pp. 67- 79.

[23] Claassen, G.D.H., Hendriks, Th. H.B., "*An Application of Special Ordered Sets to a Periodic Milk Collection Problem*", European Journal of Operational Research, Vol. 180, No. 2, 2007, pp. 754– 769.

[24] Tan, C.C.R., Beasley, J.E., "*A Heuristic Algorithm for the Periodic Vehicle Routing Problem*", Omega, Vol. 12, No. 5, 1984, pp. 497- 504.

[25] Chao, I.M., Golden, B., Wasil, E., "*An Improved Heuristic for the Period Vehicle Routing*", Networks, Vol. 26, 1995, pp. 25- 44.

[26] Drummond, L.M.A., Ochi, L.S., Vianna, D.S., "*An Asynchronous Parallel Metaheuristic for the Period Vehicle Routing Problem*", Future Generation Computer Systems, Vol. 17, No. 4, 2001, pp. 379– 386.

[27] Hemmelmayr, V.C., Doerner, K.F., Hartl, R.F., "*A Variable Neighborhood Search Heuristic for Periodic Routing Problems*", European Journal of Operational Research, Vol. 195, No. 3, 2009, pp. 791– 802.

[28] Alonso, F., Alvarez, M.J., Beasly, J.E., "*A Tabu Search Algorithm for the Periodic Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Trips and Accessibility Restrictions*", J Opl Res Soc, Vol. 59, pp. 963- 976.

[29] Hadjiconstantinou, E., Baldacci, R., "*A Multi-Depot Period Vehicle Routing Problem Arising in the Utilities Sector*", Journal of the Operational Research Society, Vol. 49, No. 12, 1998, pp. 1239– 1248.

[30] Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., "*A Tabu Search Heuristic for Periodic and Multi-Depot Vehicle Routing Problems*", Networks, Vol. 30, 1997, No. 105– 119.

[31] Angelelli, E., Speranza, M. G., "*The Periodic Vehicle Routing Problem with Intermediate Facilities*", European Journal of Operational Research, Vol. 137, No. 2, 2002, pp. 233– 247.

[32] Kang, K.H., Lee, Y.H., Lee, B.K., "*An Exact Algorithm for Multi Depot and Multi Period Vehicle Scheduling Problem*", In Computational Science and Its Applications- ICCSA 2005, Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin/Heidelberg, pp. 350- 359.

[33] Kek, A.G.H., Cheu, R.L., Meng, Q., "*Distance-Constrained Capacitated Vehicle Routing Problems with Flexible Assignment of Start and End Depots*", Mathematical and Computer Modeling, Vol. 47, No. 1-2, 2008, pp. 140- 152.

[34] Cordeau, J.F., Laporte, G., Savelsbergh, M.W.P., Vigo, D., Handbook in OR & MS, Vol. 14, Barnhart, C., Laporte, G., Eds., "*Vehicle Routing*", Elsevier, 2007, pp. 367- 428.

[35] Gendreau, M., Potvin, J.Y., Braysy, O., Hasle, G., Lokketangen, A., The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges, Golden, B.,

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

Raghvan, S., Wasil, E., Eds., "*Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem and its Extensions: A Categorized Bibliography*", New York, Springer, 2008, pp. 143- 169.

[36] Sivandam, S.N., Deepa, S.N., *Introduction to Genetic Algorithms*, Berlin, Springer, 2008.

[37] Hoos, H.H., Stutzle, T., *Stochastic Local Search*, USA, Elsevier, 2005.

[38] Masters, T., *Practical Neural Network Recipes in C++*, USA, Academic press, 1993.

[39] http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

پیوست

پیوست الف:

گام‌های اجرای مرحله سوم تشکیل جمعیت اولیه در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل، آزادی در انتخاب قرارگاه ابتدایی و انتهایی بخوبی قابل مشاهده است. همان طور که از شکل ۶ مشخص است یک افق برنامه‌ریزی با چهار دوره مفروض در نظر گرفته شده است. در این افق برنامه‌ریزی، برای سرویس-دهی به مشتریان از سه قرارگاه و همچنین یک وسیله نقلیه استفاده می شود. وسیله نقلیه مذبور؛ در دوره‌های اول، دوم و چهارم برای سرویس‌دهی به مشتریان بکار گرفته شده است. در قسمت الف از شکل۶، مشتریان ابتدایی و انتهایی مسیرهای مربوط به وسیله نقلیه مشخص گردیده و در قسمت ب از همین شکل، فاصله سه قرارگاه موجود با مشتریان مشخص شده در مرحله قبل(شکل۶ قسمت الف) محاسبه می‌گردد. سپس در گام بعدی؛ برای هر قرارگاه، فاصله قرارگاه تا مشتری آخر در هر دوره با فاصله قرارگاه تا مشتری اول مسیر(اولین دوره‌ای که از وسیله نقلیه مجدداً استفاده می‌شود) جمع زده می‌شود که در شکل۶ قسمت ج نشان داده می‌شود. در این قسمت، قرارگاه ابتدایی و انتهایی انتخاب شده برای هر دوره نیز نشان داده شده است.

(الف)

شماره دوره	اول	دوم	سوم	چهارم
مسیر طی شده	$a, \dots, b$	$a', \dots, b'$	-	$a'', \dots, b''$

(ب)

شماره قرارگاه	دوره اول		دوره دوم		فاصله قرارگاه تا مشتری			
	اول	آخر	اول	آخر	اول	آخر	اول	آخر
۱	f_1	e_1	f_1'	e_1'	-	-	f_1''	e_1''
۲	f_2	e_2	f_2'	e_2'	-	-	f_2''	e_2''
۳	f_3	e_3	f_3'	e_3'	-	-	f_3''	e_3''

مجموع فاصله

۱	f_1	$e_1 + f_1'$	$e_1' + f_1''$	e_1''
۲	f_2	$e_2 + f_2'$	$e_2' + f_2''$	e_2''
۳	f_3	$e_3 + f_3'$	$e_3' + f_3''$	e_3''

قرارگاه انتخاب شده برای

کمترین مقدار فرضی	ابتدا دوره اول	انتها دوره اول	ابتدا دوره دوم	انتها دوره دوم	ابتدا دوره سوم	انتها دوره سوم	ابتدا دوره چهارم	انتها دوره چهارم
	۲	۱	۱	۳	-	-	۳	۲

شکل۶. مثالی از نحوه تعیین قرارگاه ابتدایی و انتهایی یک وسیله نقلیه

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-18]