University of Qom
Engineering Management and Soft Computing
JEMSC.QOM
Online ISSN: 2538-2675

Vehicle Location- Routing Problem by fuel capacity based on the hard time window and customer satisfaction by

meta-heuristic Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

Mohammad Moshrefi

Msc, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Email: MohammadMoshrefi1371@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 2023 July 10
Received in revised form 2023 August 12
Accepted 2023 August 17
Published online 2023 September 16

Keywords:
Hard Time Window,
Non-dominated Sorting Genetic Algorithm,
Vehicle Location-Routing Problem,
Warehouse Assignment.

ABSTRACT

Multi-objective location-routing problem is one of the most important research areas in the field of transportation and distribution management. The aim of this study is to optimize a multi-objective problem. Combining two routing and location problems, considering a set of warehouses, meeting the customer's requirements from each warehouse, and designing an optimal route for the vehicle that brings the lowest cost to the transportation system are the main objectives of this research. Although factors such as customer satisfaction with receiving services, fuel constraints in vehicles and the existence of important time intervals, which are referred to as hard time window, are of great importance in location and routing problems, less has been paid to them. In this research, efforts have been made to address these issues. To achieve the best priority by finding the shortest route and to reach the least deviation from the time window is some of the objectives of this research. Combining variables related to vehicle fuel capacity and fuel consumption speed has also been applied in this study. In this research, first, a mixed integer linear programming model is presented and then metaheuristic method based on Non-dominated Sorting Genetic Algorithm is proposed to find the optimal solution. To evaluate the proposed performance, an example is mentioned in this framework. The result of computational experiments, shows the efficiency of the existing research methodology and its strengths and weaknesses.

Cite this article: Moshrefi, M. (2023). Vehicle Location- Routing Problem by fuel capacity based on the hard time window and customer satisfaction by. *Enginiiring Management and Soft Computing*, *9* (1). 1-17. **DOI**: https://doi.org/10.22091/JEMSC.2021.6257.1143

© The Author(s)
DOI: https://doi.org/10.22091/JEMSC.2021.6257.1143
Publisher: University of Qom

JEMSC.QOM
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۵-۲۵۳۸

مدیریت مهندسی و رایانش نرم

دانشگاه قم

حل مسئله مکان‌یابی– مسیریابی وسیله‌نقلیه با ظرفیت سوخت مشخص

بر اساس پنجره زمانی سخت و رضایت‌مندی مشتریان به کمک الگوریتم فراابتکاری ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب

محمد مشرفی

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: Mohammadmoshrefi1371@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵

کلیدواژه‌ها:
الگوریتم مرتب شده غیرمغلوب،
پنجره زمانی سخت،
دپوی تخصیص مشتری،
مکان‌یابی– مسیریابی وسیله‌نقلیه.

چکیده

هدف از این پژوهش، بهینه‌سازی یک مسئله چندهدفه است. ترکیب‌نمودن دو مسئله مسیریابی و مکان‌یابی، در نظر گرفتن مجموعه‌ای از انبارها، برآورده‌ساختن نیازهای مشتریان از هریک از انبارها و طراحی یک مسیر بهینه برای وسیله‌نقلیه که کمترین هزینه را بر سیستم حمل‌ونقل وارد آورد، از اهداف اصلی این پژوهش است. عواملی مانند میزان رضایت‌مندی مشتریان از دریافت خدمات، محدودیت سوخت در وسائط نقلیه و وجود بازه‌های زمانی بااهمیت که تحت عنوان پنجره زمانی سخت از آن نام برده می¬شود، اگرچه در مسائل مکان‌یابی و مسیریابی، دارای اهمیت زیادی هستند ولی کمتر به آنها پرداخته شده‌است.رسیدن به بهترین اولویت با دستیابی به کمترین فاصله طی‌شده و قرارگرفتن در کمترین انحراف از پنجره زمانی، از جمله اهداف این تحقیق است. ترکیب‌نمودن متغیر مربوط به میزان ظرفیت سوخت‌گیری وسایل‌نقلیه و همچنین سرعت مصرف سوخت در آنها نیز در این تحقیق بکار گرفته شده‌است. در این پژوهش، ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس عدد صحیح مختلط ارائه گردیده‌است سپس روش فراابتکاری بر اساس الگوریتم ژنتیک مرتب‌شده غیرمغلوب برای یافتن بهینه آن پیشنهاد گردیده‌است. برای ارزیابی عملکرد پیشنهادی مثالی در همین چارچوب ذکر می‌گردد که درنتیجه آزمایش‌های محاسباتی، کارایی روش تحقیق موجود و نقاط قوت و ضعف آن را نشان می‌دهد.

استناد: مشرفی، محمد. (۱۴۰۲). «حل مسئله مکان‌یابی– مسیریابی وسیله‌نقلیه با ظرفیت سوخت مشخص». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم*، دوره ۹ (۱). صص: ۱۷-۱. https://doi.org/10.22091/JEMSC.2021.6257.1143

ناشر: دانشگاه قم

© نویسندگان.

CC BY NC

۱) مقدمه

مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه(VRP)[1] یکی از بحث برانگیزترین مباحث بهینه‌سازی ترکیبیاتی است. مسئله مسیریابی وسائط نقلیه در واقع تعمیمی از مسئله فروشنده سیار (TSP)[2] است [D.L.Applegate, 2007]. درنظر گرفتن ظرفیت‌های مختلف برای هر وسیله‌نقلیه، تقاضای سرویس‌دهی برای مشتریان با حرکت چندین سرویس‌دهنده، این مسئله را به نوعی مسیریابی خودرو تبدیل می‌نماید. همچنین یکی از مهمترین و بیشترین مطالعات بر روی مسئله بهینه‌سازی ترکیبیاتی که توجه محققان را به خود جلب می‌نماید، وارد نمودن محدودیت پنجره زمانی در اینگونه مسائل است که آن را به یک مسئله مسیریابی با پنجره زمانی (VRPTW)[3] تبدیل می‌نماید. همچنین مسئله مکان‌یابی- مسیریابی وسیله‌نقلیه (LRP)[4] یکی از مسائل مهم و کاربردی در حوزه مدیریت پخش و لجستیک می‌باشد. درواقع LRP از ترکیب دو مسئله VRP و مکان‌یابی تسهیلات تشکیل گردیده‌است. اگر بر بهینه‌سازی هر دو مسئله یاد شده به‌طور همزمان با یکدیگر توجه نگردد، موجب افزایش هزینه‌های جانبی برای زنجیره تامین خواهد شد. از آنجاکه، هر دو مسئله یاد شده از نظر پیچیدگی زمانی در دسته(NP-hard)[5] قرار دارند، پس مسئله چندهدفه مکان‌یابی- مسیریابی وسیله‌نقلیه با پنجره زمانی و با در نظر گرفتن محدودیت سوخت و رضایت مشتریان هم در دسته NP-hard قرار می‌گیرد. به‌دلیل همین پیچیدگی زمانی است که در اکثر پژوهش‌ها بر روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری، تاکید گردیده‌است. مسئله مسیریابی خودرو با پنجره زمانی، به بررسی یافتن مسیرهای بهینه و همچنین اولویت‌بندی رضایت مشتریان مورد هدف از یک مجموعه نقاط پراکنده جغرافیایی که دارای تقاضای متغیر روزانه برای تحویل کالا هستند می‌پردازد. حل این مدل، یافتن یک راه‌حل برای مدیریت موثر حمل‌ونقل و همچنین هماهنگی بیشتر عناصر واقع در زنجیره تامین می‌باشد. در مسئله مکان‌یابی تسهیلات، محدودیت ظرفیت شامل دپو، ظرفیت وسائط نقلیه و پنجره زمانی با یکدیگر جمع می‌شود[R.Wolfler, C.Calvo,2006]. البته این موضوع با عنوان مسیریابی و مکان‌یابی وسیله‌نقلیه ظرفیت‌دار(CLRP)[6] نامیده می‌شود [C.Prins, 2006]. در برخی تحقیقات برای حل مدل یاد شده، از الگوریتم ممتیک با مدیریت جمعیت و از الگوریتم جستجوی توافقی تصادفی حریصانه برای یافتن و مرتبط کردن مسیرهای بهینه با یکدیگر استفاده گردیده‌است. آنچه که در این پژوهش بدان اهمیت داده شده‌است، ارائه سرویس به تمامی مشتریان موجود در زنجیره تامین با حداقل هزینه و پیمودن کمترین مسافت در پنجره زمانی مشخص است. در مدل مورد نظر در این پژوهش، مسیرها از یک دپو آغاز و به یک دپو ختم می‌شوند. مدل دارای چهار جزء اصلی دپو، وسیله‌نقلیه، مجموعه مشتری‌ها و مجموعه مسیرهاست. محدودیت ظرفیت سوخت و ظرفیت وسیله‌نقلیه در سوخت‌گیری از موارد جدیدی است که در این پژوهش در کنار سایر محدودیت‌های ذکر شده، بدان پرداخته می‌شود. همچنین تعیین مکان جایگاه سوخت‌گیری و زمان متوسط سوخت‌گیری نیز در این پژوهش مورد توجه خاص قرار دارد.

۲) تاریخچه ادبیات

به علت کاربرد وسیع انواع مختلف مسئله مکان‌یابی- مسیریابی وسائط نقلیه، محققان تلاش‌های بسیاری را برای حل

---

[1] . Vehicle Routing Problem
[2] . Traveling Salesman Problem
[3] .Vehicle Routing Problem by Time Window
[4] . Location Routing Problem
[5] . Non-deterministic Polynomial-time hard
[6] . Capacity Location Routing Problem

مدل‌های مختلف و بر اساس دیدگاه‌های مورد نظر انجام داده‌اند. برخی از آنان مطالعات جامعی را برروی مدل‌های مختلف انجام داده‌اند[M. Gendreau 1999]. همچنین دیدگاه‌های متفاوتی برای حل این مدل‌ها ارائه شد. برخی از محققان حل مسئله مکان‌یابی- مسیریابی را به سه دسته عمده تقسیم نمودند که شامل روش‌های دقیق، روش‌های ابتکاری کلاسیک و روش‌های فراابتکاری است[D.Pisinger , G.Laporte, 2005]. از دیگر روش‌های حل می‌توان به دسته‌بندی مشتریان برای حل مسئله CLRP اشاره نمود و همچنین استفاده از روش‌های سلسله‌مراتبی و نیز غیرسلسله‌مراتبی نیز در این روش ابتکاری حل مشهود می‌باشد[S.Ferreira, 2007]. برخی دیگر از روش‌های ترکیبی بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای حل مدل بهره بردند [Y.Marinakis, M.Marinaki 2008]. هالیدی، ورن و همکارانش یک روش دو مرحله‌ای ارائه نمودند. این روش نیز خود شامل دو قسمت می‌گردد. ابتدا دسته‌بندی رئوس و یافتن مسیر پیمایش بهینه، دوم بهینه‌سازی مسافت پیموده‌شده و سپس یافتن رئوس برای پاسخگویی به نیاز مشتریان از دپوهای موجود در آن رئوس [A.Wren,A.Holliday,1979]. دوهال از ترکیب دو الگوریتم فراابتکاری جستجوی تصادفی حریصانه و جستجوی محلی برای حل مسئله CLRP استفاده نمود[C.Duhamel, P.Lacomme, 2010]. تانگیا از الگوریتم تبریدی غیراحتمالی برای حل VRP و از الگوریتم کلونی مورچگان برای حل LRP بهره برد و درنهایت برای ترکیب هر دو مسئله و حل مدل CLRP از الگوریتم‌های شبکه عصبی استفاده کرد[S.R. Thangiah, 1994]. استفاده از رویکرد منطق فازی را پرینز و همکاران برای حل مسئله CLRP بکار بردند. آنها برای توسعه رویکرد فازی مورد نظرشان، از روش سست‌سازی لاگرانژی و الگوریتم جستجوی ممنوعه دانه‌ای بهره بردند. این روش با الگوبرداری از مدل هالیدی؛ در فاز اول، مسیرها و مشتری‌های آنها را به عنوان یک مجموعه مشتری یا ابرمشتری ترکیب می‌کند تا مدل به یک مسئله مکان‌یابی تسهیلات تبدیل شود. در فاز دوم جستجوی ممنوعه دانه‌ای برای یافتن مسیر بهینه، بین دپوهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد[C.Prins, 2007]. نگیون و همکاران، از روش مبتنی بر جستجوی همسایگی متغیر برای حل مسئله CLRP استفاده نمودند. البته بعدها مدل مورد نظر خود را با استفاده از الگوریتم جستجوی حریصانه و در دو سطح حل‌کردند و تفاوت معناداری بین دو روش حل یافتند[V.Neguyen, 2012]. در مسئله مکان‌یابی- مسیریابی، با توجه به اینکه رضایت مشتریان، میزان مصرف سوخت و نیز پنجره زمانی از اهمیت زیادی برای مدل‌های مختلف CLRP برخوردار است ولی تعداد اندکی از محققین از تمامی این عوامل به صورت عامل محدودکننده مسئله استفاده کرده‌اند. جبل عاملی، مسئله مکان‌یابی- مسیریابی وسیله‌نقلیه را در حالت بازه‌های زمانی سخت و نرم مورد بررسی قرار داد و در یک نمونه کوچک مدل خود را حل نمود و نقاط قوت و ضعف آن را بیان کرد[M.S.Jabal Ameli, 2010]. فتاحی و همکاران برای حل مسئله CLRP با پنجره زمانی سخت از یک رویکرد فراابتکاری استفاده نمودند. آنها برای تعیین جواب اولیه از الگوریتم تعمیم یافته[۷](PFIH) استفاده نمودند و پس از شروع روند حل مسئله، از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر استفاده نمودند و روند حل را برای یک مدل کوچک استفاده نموده و اعتبار تحقیقات خود را نشان دادند[P.Fattahi 2012]. نیک‌بخش و همکاران، پنجره زمانی نرم را برای حل مسئله مکان‌یابی- مسیریابی دو سطحی بکار بردند. آنها در مدل خود از یک برنامه‌ریزی ریاضی با چهار نوع شاخص

[7] . Push Forward Insertion Heuristic

بهره بردند و سپس با استفاده از یک الگوریتم فراابتکاری، مسئله خود را حل نمودند[E.Nikbakhsh, 2010]. هرناندز نیز در پژوهش خود ثابت نمود که مسئله مسیریابی وسایل‌نقلیه رابطه موثری با رضایت مشتری، کاهش هزینه‌های تحویل سفارش به مشتری و هزینه جاری را دارد[Hernandez et al, 2017]. موفقیت صنعت لجستیک ارتباط تنگاتنگی با تصمیمات حساس تولید، موجودی و هزینه‌های ترابری دارد و به عنوان یکی از مهمترین حوزه‌های تحقیقاتی و مطالعاتی در صنعت لجستیک شناسایی می‌شود. هرقدر این سیستم کاراتر باشد می‌تواند اثربخشی بیشتری را بر تصمیمات اتخاذ شده در این زمینه داشته‌باشد [Banos et al, 2017]. واسان و همکاران اهمیت استفاده از مدل‌های مسیریابی وسایل‌نقلیه را در زمان وقوع مخاطرات طبیعی از قبیل زلزله نشان دادند[Wassan. N, 2017]. بهشتی‌نیا و قاسمی مدلی جدید در حوزه زنجیره تامین ارائه نمودند که هدف آن مینیمم ساختن زمان دیرکرد و مجموع مسافت طی شده وسائط نقلیه بود [Beheshtinia and Ghasemi, 2017]. در سال ۲۰۱۷ مدل جدیدی مبتنی بر زمان‌بندی انتقال مواداولیه به وسیله تولیدکنندگان و انتقال آن به مصرف‌کنندگان ارائه شد. تحویل و دریافت همزمان به مشتریان با در نظر گرفتن یک پنجره زمانی نرم از نوآوری‌های اصلی پژوهش ایشان به شمار می‌رود[Euchi and Euchi, 2017]. آنچه در تحقیق پیش‌رو بدان پرداخته خواهد شد، اضافه‌کردن محدودیت‌هایی به مسئله CLRP و واقعی و کاربردی‌تر کردن آن است. از جمله این محدودیت‌ها اضافه‌کردن پنجره زمانی سخت‌گیرانه به مدل مورد نظر است. این مدل درواقع بازه‌های زمانی با مسئله VRP است که آنرا به مسئله (VRPTW)[8] تبدیل می‌نماید. حال اگر وسائط نقلیه موردنظر در پژوهش، دارای ظرفیت مشخص باشد، مدل به‌صورت (CLRPHTW)[9] تبدیل خواهد شد. همچنین سه عامل مهم میزان ظرفیت وسیله‌نقلیه برای سوخت‌گیری، زمان لازم برای سوخت‌گیری و رضایت‌مندی مشتریان از خدمات‌رسانی و تامین نیازهای آنها متناسب با ظرفیت دپوها برای مسئله مکان‌یابی-مسیریابی در این تحقیق اضافه گردیده‌است. در این پژوهش، ابتدا مدل توضیح داده می‌شود سپس با توجه به پیچیدگی حل مسئله، به الگوریتم ابتکاری موردنظر که بر پایه الگوریتم مرتب‌شده غیرمغلوب ژنتیک است پرداخته خواهد شد. نوآوری موجود در این تحقیق، اضافه‌نمودن محدودیت ظرفیت سوخت‌گیری وسیله‌نقلیه، زمان سوخت‌گیری و رضایت مشتریان و با در نظر گرفتن پنجره زمانی سخت و افزودن این محدودیت‌ها به مدل‌های پیشنهادی غفاری‌نسب و فتاحی است. در بخش سوم به بیان مدل ریاضی مسئله اشاره می‌گردد. در بخش چهارم، الگوریتم موردنظر را تشریح و در بخش پنجم نتایج عددی را نشان داده و نقاط قوت و ضعف مدل موجود در این تحقیق و شیوه حل آن با سایر تحقیقات مقایسه می‌گردد. درنهایت پیشنهاداتی برای مطالعات آتی مطرح خواهد شد تا راهنمای پژوهشگران آتی در اینگونه تحقیقات باشد.

[8] . Vehicle Routing Problem by time window

[9] . Capacity Location Routing by hard time window

جدول ۱. بررسی سایر مقالات و تحقیقات صورت‌گرفته پژوهشگران بر روی توابع هدف VRPHTW

تابع هدف	Solomone, 1987	Desrochersetal, 1992	Halse, 1992	Fisher, Etal, 1994	Fisher, Rousseau, 2000	Thangiah, Etal, 2001	Russel, 1995	Kohl, 2000	Badeau, 2000	Rochar, Taillard, 2001	Chiang, 2005	Euchi and Euchi 2017	Wassan. N, 2017	Hernandez et al, 2017	Li, Lim, 2007	Zhang & Zhao - 2011	Neguyen, 2012	Zhao & Verter 2015	Prins, 2007
حداقل تعداد وسایل‌نقلیه	❋	–	–	–	❋	❋	❋	–	–	❋	❋	❋	–	–	❋	–	–	–	❋
حداقل زمان برنامه‌ریزی	❋	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	❋	❋	–	–	❋	–	❋
حداقل مسافت طی شده	❋	❋	❋	❋	–	❋	–	❋	❋	❋	❋	❋	❋	–	❋	❋	❋	–	❋
حداقل زمان انتظار	❋	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	❋	❋	❋	–	–	❋	–	–
حداقل نمودن زمان سفر	–	–	–	–	❋	–	❋	–	–	–	❋	❋	❋	–	–	–	❋	–	❋
در نظر گرفتن همگون	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	❋	❋	–	–	–
حداقل نمودن ریسک‌های مسئله	–	–	–	–	–	–	–	–	–	❋	–	–	–	–	❋	–	–	–	–
شرط Equity	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	❋	–	–	–

۳) روش انجام تحقیق

۳-۱) مدل ریاضی

در مسئله مکان‌یابی- مسیریابی وسیله‌نقلیه ظرفیت‌دار با سطح سوخت‌گیری مشخص و درنظر گرفتن بازه‌های زمانی سخت‌گیرانه، به‌طور کلی مجموعه‌ای از نقاط، شامل نقاط کاندید احداث دپو برای برآوردن نیاز مشتریان و عرضه خدمات وجود دارد. مکان جغرافیایی و مختصات فیزیکی هریک از مناطق کاندید برای احداث از قبل مشخص شده‌است. همچنین محل قرارگیری دپوها و مقاصد مشتریان، مشخص است. تعداد گره‌ها که همان تعداد مقاصد هستند نیز معلوم است. مسافت بین دو گره و یا یک گره با یک دپو معین است. تعداد جایگاه‌های سوخت‌گیری برای وسائل نقلیه و فاصله آنها تا مقاصد و گره‌ها معین است. تعداد وسایل‌نقلیه موجود در سیستم و ظرفیت هریک از آنها از قبل تعیین گردیده‌است. لازم به‌ذکر است که ظرفیت هیچ‌یک از دو وسیله‌نقلیه، مشابه با یکدیگر نمی‌باشند. برای هر وسیله‌نقلیه، راندمانی برابر با ۱۰۰ درصد تعیین گردیده و این بدان منظور است که در سیستم، خرابی وجود ندارد. لازم به‌ذکر است که یکی از شرایط حتمی در مدل پیشنهادی این تحقیق، استفاده به اجبار از همه وسایل‌نقلیه موجود در زنجیره تامین است. تعداد این وسایل در ابتدای دوره در دسترس می‌باشد. شروع حرکت هر وسیله‌نقلیه از یک دپو و پایان حرکت آن هم به یک دپو ختم می‌شود. هر مشتری برای دریافت کالا و خدمات موردنیاز خود، فقط می‌بایست به یک دپو و به وسیله‌نقلیه مربوط به آن دپو تخصیص یابد. تمامی وسایل‌نقلیه در ابتدا با سوخت‌گیری کامل، کار خود را آغاز می‌کنند. در هنگام زمان صفر(زمان آغاز حل مسئله) تمامی مشتریان حاضر و مشخص هستند و در ضمن مسئله فرد دیگری به مجموعه اضافه نخواهد شد. سرعت مصرف سوخت خودروها و سرعت حرکت آنها در مسیر، ثابت و مشخص است. هر مشتری یک بازه زمانی مخصوص به‌خود $[e_i , l_i]$ دارد که e_i زودترین زمان دریافت سرویس و l_i دیرترین زمان دریافت سرویس می‌باشد. همچنین میزان جریمه

برای هر مقدار دیرکرد و یا ارائه خدمات زودتر از بازه معین، مشمول جریمه می‌گردد. جریمه زودکرد بدان جهت قرار داده شده که اگر وسیله‌نقلیه زودتر از موعد مشخص در محل حاضر شد، می‌بایست منتظر بماند تا پنجره زمانی موردنظر باز شده و سپس خدمات یا ارائه کالا صورت گیرد. این جریمه از آن جهت حائز اهمیت است که موجب می‌گردد تا هزینه طی مسافت تورهای پیش‌بینی شده و همچنین هزینه‌های ناشی از مصرف سوخت کمتر گردد. مشتریان دارای اولویت‌های مشخص و متفاوت در هر گره هستند و هریک از این اولویت‌ها هم از نظر میزان اهمیت، متفاوت از بقیه‌اند. در این مسئله می‌بایست به تمامی نیازهای مشتریان پاسخ داده شود. در ابتدا برای مدل پیشنهادی عدد صحیح مختلط(MILP) موردنظر این تحقیق، تمامی پارامترها، متغیرها و نمادهای بکار رفته در این برنامه‌ریزی را به‌طور کامل تشریح نموده و سپس مدل مسئله مکان‌یابی- مسیریابی وسیله‌نقلیه ظرفیت‌دار با محدودیت سوخت‌گیری و اولویت‌بندی در رضایت مشتریان ارائه می‌گردد.

I: مجموعه نقاط منتخب جهت احداث دپوها

J: مجموعه تعداد مشتریان موجود در زنجیره تامین

V: تعداد گره‌ها ناشی از اجتماع I و J

K: تعداد کل وسایل‌نقلیه موجود در زنجیره تامین

d_j: میزان تقاضای مشتری j ام

O_i: هزینه احداث دپوی کاندید شده i ام

F_i: هزینه‌های دستمزد راننده وسیله‌نقلیه در دپو i ام

C_{ij}: هزینه طی مسافت از گره i ام به گره j ام

t_{ij}: مدت زمان طی مسیر از گره i ام به گره j ام

Cap_i: ظرفیت دپوی کاندید i ام

Q: ظرفیت هر وسیله‌نقلیه

T: حداکثر مدت زمان طی مسافت

e_i: زودترین زمان شروع سرویس‌دهی به گره i ام

l_i: دیرترین زمان سرویس به گره i ام

St_j: مدت زمان ارائه سرویس به مشتری j ام

M: عددی بسیار بزرگ

At_i^k: زمان رسیدن وسیله‌نقلیه k به گره i

X_{ij}^k: متغیر صفر و یک. اگر وسیله‌نقلیه k ام مستقیما از گره i به گره j برود عدد یک و درغیراین‌صورت صفر.

N_k: مختصات جغرافیایی گره k ام

S_r: مختصات جغرافیایی محل جایگاه سوخت‌رسان r ام

Cus_i: مشتری i ام

V_j: وسیله‌نقلیه j ام

OL_{ik}: اولویت فرد i ام در گره j ام

CM_j: میزان ظرفیت سوخت‌گیری وسیله‌نقلیه j ام

SM_j: سرعت مصرف سوخت در وسیله‌نقلیه j ام

TCM_j: مدت زمان سوختگیری وسیله‌نقلیه j ام

Z: جریمه دیرکرد از پنجره زمانی

D: جریمه زودکرد پنجره زمانی

VO_j: سرعت وسیله‌نقلیه j ام

W_i: زمان انتظار برای شروع پنجره زمانی در گره i ام

y_i: متغیر صفر و یک. اگر دپوی i باز گردد عدد یک و درغیراین‌صورت صفر

f_{ij}: متغیری صفر و یک. اگر تقاضای مشتری j ام توسط دپوی باز شده i ام تامین گردد یک و درغیراین‌صورت صفر می‌گردد.

حال بر اساس متغیرها، پارامترها و نمادهای یاد شده، مدل برنامه‌ریزی MILP برای مسئله CLRP و بر اساس ظرفیت سوخت‌گیری و میزان رضایت‌مندی مشتریان، بیان می‌گردد.

$$Min \sum_{i\in I} O_i y_i + \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{k\in K} C_{ij}X_{ij}^k + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K} F_i X_{ij}^K + \sum_{j\in V}(D_j + Z_j) + \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}(C_{ij}SM_j) \quad (۱)$$

$$St: \sum_{i\in V}\sum_{k\in K} X_{ij}^k = 1 \qquad \forall\ j \in J \quad (۲)$$

$$\sum_{i\in V}\sum_{j\in J} d_j X_{ij}^k \le Q \qquad \forall\ k \in K \quad (۳)$$

$$\sum_{j\in J} d_j y_{ij} \le Cap_i y_i \qquad \forall\ i \in I \quad (٤)$$

$$\sum_{i\in V}\sum_{j\in V} t_{ij} X_{ij}^k \le T \qquad \forall\ k \in K \quad (٥)$$

$$\sum_{i\in S}\sum_{j\in S} X_{ij}^K \le |S| - 1 \qquad \forall\ S \subseteq J, k \in K \quad (٦)$$

$$\sum_{j\in V} X_{ij}^k - \sum_{j\in V} X_{ji}^k = 0 \qquad \forall\ i \in V, k \in K \quad (٧)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} X_{ij}^K \le 1 \qquad \forall\ k \in K \quad (٨)$$

$$\sum_{m\in V} X_{im}^k + \sum_{h\in V} X_{ih}^k \le 1 + f_{ij} + D_j + Z_j \qquad \forall\ i \in I, j \in J, k \in K \quad (٩)$$

$$At_i^K + St_i + W_i + t_{ij} - At_j^k + Ol_{ik} \le (1 + X_{ij}^K)M \qquad \forall\ i \in V, j \in V, k \in K \quad (١٠)$$

$$e_j \le At_j^k + w_j \le l_j \qquad \forall\ j \in J, k \in K \quad (١١)$$

$$At_j^K + W_j + St_j + t_{ij} - l_i \le (2 - y_i - X_{ji}^K) \times M \qquad \forall\ i \in I, j \in J, k \in K \quad (١٢)$$

$$At_i^k = 0 \qquad \forall\ i \in I, k \in K \quad (١٣)$$

$$W_i = 0 \qquad \forall\ i \in I \quad (١٤)$$

$$At_i \ge 0 \qquad \forall\ i \in V \quad (١٥)$$

$$W_i \ge 0 \qquad \forall\ i \in V \quad (١٦)$$

$$f_{ij} \in \{0, 1\} \qquad \forall\ i \in I, j \in J \quad (١٧)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \qquad \forall\ i \in I \quad (١٨)$$

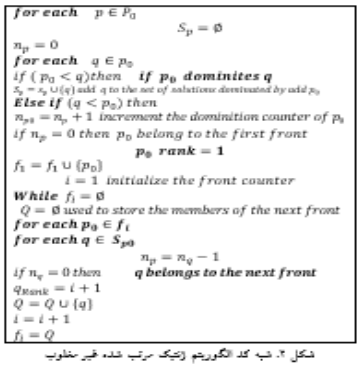
$$X_{ij}^k \in \{0, 1\} \qquad \forall\ i \in V, j \in V, k \in K \quad (١٩)$$

بر اساس مدل‌های ارائه‌شده (۱) تا (۱۹)، حال به تشریح هریک از روابط ارائه‌شده برای مسئله مکان‌یابی- مسیریابی موردنظر در این تحقیق اشاره می‌گردد. بر اساس تابع هدف، هزینه‌های ناشی از احداث و بازگشایی دپو، هزینه مسیر طراحی‌شده در هر تور که شامل هزینه‌های زودکرد، دیرکرد، هزینه ثابت وسیله‌نقلیه و هزینه مصرف سوخت است کمینه می‌گردد. محدودیت ارائه‌شده مورد (۲) شرط لازم برای تعلق یک مشتری به یک مسیر و اینکه در هر تور فقط یک گره پیش‌نیاز دارد، را برآورده می‌سازد. محدودیت سوم شرط ظرفیت هر وسیله‌نقلیه را مطرح می‌کند. محدودیت (۴) مربوط به ظرفیت هر دپو برای برآورده‌ساختن نیازهای مشتریان است. محدودیت (۵) بیشینه مقدار زمان تعیین شده برای برآورده ساختن نیاز مشتری را مطرح می‌کند. زیرتورها در محدودیت ششم حذف می‌گردند و در محدودیت (۷) شرط لازم برای پیوستگی تورها اعمال گردیده‌است. شرط لازم برای شروع کار وسیله‌نقلیه از یک دپو و پایان کار با بازگشت به همان دپو، در مدل (۸) ارائه گردیده‌است. محدودیت (۹) بیان می‌دارد که هزینه‌های مربوط به هر مشتری به همان دپو مربوط به او تخصیص می‌یابد و شرط آن، این موضوع است که حتما توری باشد که این مشتری و دپوی مربوطه را به یکدیگر مرتبط سازد. در رابطه (۱۰) این موضوع مطرح شده که یک وسیله نیاز یک مشتری را برآورده می‌سازد و سپس به سراغ مشتری بعدی می‌رود. رعایت کامل محدودیت پنجره زمانی توسط مشتری‌ها و دپوهای بازگشایی شده در محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) مطرح شده‌است. زمان انتظار و زمان رسیدن به دپوها در محدودیت (۱۳) و (۱۴) بیان شده‌است. برای مثبت‌بودن متغیرهای مربوط به زمان انتظار و زمان رسیدن، محدودیت (۱۵) و (۱۶) بیان گردیده‌است. شرط صفر و یک (دودویی) در محدودیت‌های (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) بیان گردیده‌است. حال که مدل مسئله مکان‌یابی- مسیریابی موردنظر این تحقیق را توضیح داده و محدودیت‌های مربوط به آن تشریح شد، لازم است که در بخش بعدی به ارائه روشی ابتکاری پرداخته و الگوریتم حل موردنظر این پژوهش بیان گردد.

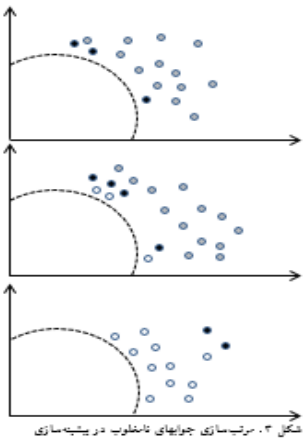
۴) رویکرد فراابتکاری و روش حل پیشنهادی

رویکرد پیشنهادی برای حل مسئله CLRPHTW در این مقاله، مبتنی بر الگوریتم ابتکاری ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) است. در ادامه به‌طور کامل در مورد الگوریتم موردنظر و اجزای روش جدید توضیح داده خواهد شد و در نهایت ساختار الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب ارائه می‌گردد. یکی از کارآمدترین و مشهورترین الگوریتم‌های بهینه‌یابی چندهدفه، الگوریتم NSGA-II است و توسط دب و همکارانش در سال ۲۰۰۲ ارائه گردید [D.Dob, 2002]. از ویژگی‌های این الگوریتم می‌توان به سرعت حل آن اشاره نمود. همچنین این الگوریتم از پیچیدگی عملیاتی کمتری نسبت به سایر الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری، برخوردار است و با استفاده از اصل عدم تسلط(غلبه‌کردن) و محاسبه فاصله ازدحام نقاط، مقدار بهینه پارتو را به‌دست می‌آورد که از گستردگی مطلوبی در حوزه تغییرات توابع اهداف برخوردار است. همچنین این الگوریتم، به طراح درخصوص طرح موردنظر در مواردی همچون بهینه، آزادی انتخاب می‌دهد. در الگوریتم NSGA-II به‌طور همزمان، حفظ نخبه‌گرایی و پراکندگی، مدنظر می‌باشد. در این روش، ابتدا جمعیتی از فرزندان که درنتیجه ترکیب والدها شکل گرفته، بدست می‌آید. اندازه هر دو جمعیت به یک اندازه و برابر N است. در مرحله بعد، این دو جمعیت با یکدیگر ترکیب می‌شوند و اندازه آن برابر با ۲N می‌گردد. جمعیت حاصل با استفاده از مرتب‌سازی

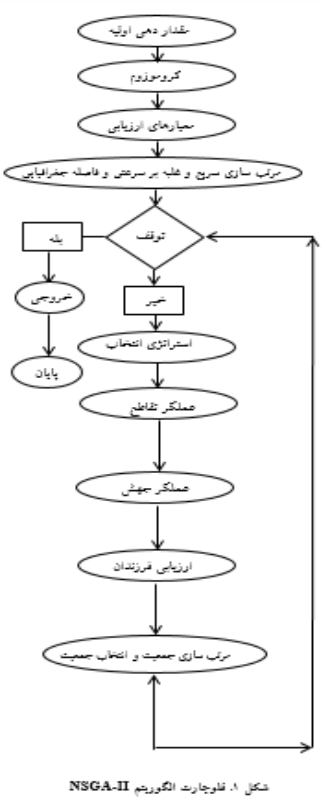
نامغلوب دسته‌بندی شده و درنهایت جمعیت به‌دست‌آمده شامل بهترین اعضا با تعداد N عضو می‌باشد. به هر جمعیت دسته‌بندی شده یک جبهه می‌گویند. در شکل (۱) روند تکاملی الگوریتم NSGA-II نمایش داده شده‌است. رتبه‌بندی جمعیت براساس نامغلوب‌ها و بر اساس مفهوم غلبه و مغلوب انجام می‌شود. به‌طورکلی برای مرتب‌نمودن جمعیتی با اندازه N بر اساس نامغلوب‌ها، هر پاسخ با تمامی جواب‌های دیگر موجود در جمعیت مقایسه می‌شود تا معین گردد در تقابل دو پاسخ مختلف، کدامیک غالب و دیگری مغلوب می‌شود. اولین مرز، از مرزهای نامغلوب شامل جواب‌هایی است که بر یکدیگر غلبه ندارند. برای تعیین پاسخ‌های موجود در مرزهای بعدی، جواب‌های موجود در مرز اول، به‌طور موقت نادیده گرفته می‌شود و فرآیند شکل (۱) مجدداً تکرار می‌گردد. این فرآیند تا زمانیکه تمامی پاسخ‌ها، درون مرزهای نامغلوب قرار گیرند ادامه می‌یابد. شبه کد مرتب‌سازی سریع نامغلوب و نحوه مرتب‌سازی جواب‌های نامغلوب در شکل (۲) و (۳)، نشان داده شده‌است. مرتب‌سازی‌های یاد شده به عنوان مثال برای توابع هدف بیشینه‌سازی نشان داده شده‌اند.



شکل ۲. شبه کد الگوریتم ژنتیک مرتب شده غیر مغلوب



شکل ۳. مرتب‌سازی جوابهای نامغلوب در پیشینه‌سازی



شکل ۱. فلوچارت الگوریتم NSGA-II

یکی از معیارهای موردنظر الگوریتم تکاملی در راه رسیدن به مرز بهینه پارتو، حفظ تنوع و گستردگی پاسخ‌های به‌دست‌آمده می‌باشد. درواقع، مرتب‌نمودن غیرمغلوب‌ها، رویه‌ای در جهت رسیدن به جواب‌های بهتر است. همچنین مکانیزم تنوع هم، درصدد حفظ تنوع و گستردگی در این جواب‌هاست. گستردگی و تنوع در پاسخ‌ها توسط فاصله ازدحام صورت می‌گیرد. در این روش، متوسط فاصله هر جواب از دو جواب مجاور در دو طرف آن، بر اساس مقادیر اهداف محاسبه می‌گردد. به‌منظور به‌دست آوردن فاصله ازدحام، در مرز نامغلوب جواب از پیش محاسبه‌شده را مبنا قرار می‌دهیم سپس مجموع مساحت ناحیه مستطیل شکل محیط بر مرز نامغلوب، محاسبه می‌شود. برای محاسبه فاصله ازدحامی، ابتدا

باید اعضای جمعیت بر اساس مقدار هر تابع هدف به‌صورت صعودی مرتب شوند. سپس پاسخ‌های موجود، در ابتدا و انتهای هر مرز(جواب‌های با بیشترین و کمترین مقدار تابع هدف) مقدار فاصله ازدحامی بی‌نهایت به خود می‌گیرند و از طریق رابطه (۲۰) قابل محاسبه است.

$$n[j]_{distance} = n[j]_{distance} + ([j+1].m + [j-1].m)/f_m^{max} - f_m^{min} \quad (۲۰)$$

در رابطه (۲۰)، $n[j]_{distance}$ نشان دهنده مقدار تابع m ام برای i امین عضو مجموعه n می‌باشد. مقدار کمتر فاصله ازدحامی یک جواب بیان‌کننده تراکم بیشتر جواب‌ها در اطراف آن است. برای قدم بعد، جواب‌هایی که در ناحیه‌ای با تراکم کمتر، به عبارت دیگر با فاصله ازدحامی بیشتر هستند، انتخاب می‌شوند. با این کار، تنوع و پراکندگی در جواب‌های به‌دست‌آمده بیشتر می‌گردد. در مرحله بعد نوبت به نوع استراتژی انتخاب می‌رسد.

۵) استراتژی انتخاب

یک جفت از کروموزوم‌ها برگزیده می‌شود و با هم ترکیب می‌گردند. عملگر انتخاب، رابطه بین دو نسل است. بعد از انتخاب، عملگرهای ژنتیکی برگزیده بر روی دو نسل اعمال می‌گردد. معیار در انتخاب، ارزش تطابق آنها می‌باشد اما روند انتخاب یک حالت تصادفی است. سپس از عملگر تقاطع برای کروموزوم حاصل استفاده می‌گردد. کروموزومی که دارای برازندگی بیشتری است شانس بیشتری برای ترکیب‌شدن را داراست. در این مقاله از عملگر تقاطع استفاده شده‌است. روش استفاده‌شده در عملگر تقاطع، جابجایی تک‌نقطه، دونقطه، چندنقطه و جابجایی یکنواخت می‌باشد. شکل (۴) جابجایی تک‌نقطه به‌کار برده شده در این مقاله را نشان می‌دهد. در شکل زیر دو ژن انتهایی سمت راست از والد با یکدیگر جابجا می‌گردد که در کزوموزم فرزند قابل مشاهده می‌باشد.

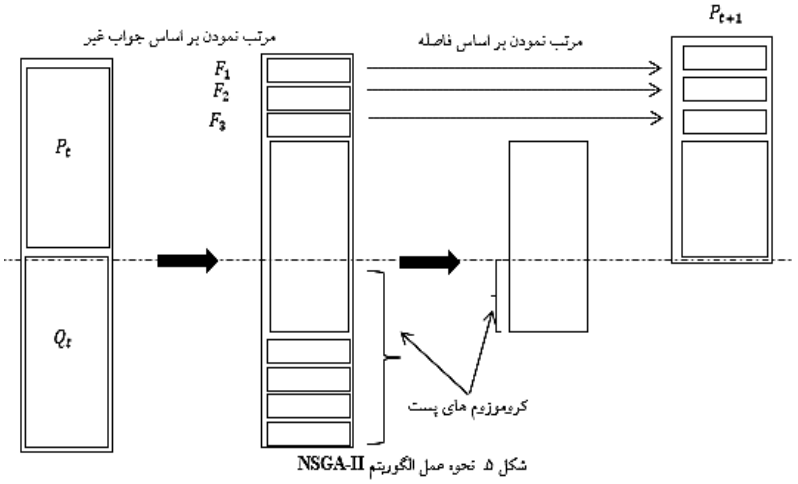
فرزند									والد							
۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱		۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱
۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰		۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰

شکل ٤. جابجایی تک‌نقطه

۶) مرتب نمودن جمعیت و انتخاب N کروموزوم

جمعیت فرزندان و والدین را با یکدیگر ترکیب کرده و جمعیتی به اندازه دو برابر جمعیت اولیه ایجاد می‌شود. هدف اصلی از ترکیب این دو جمعیت آن است که جواب‌های برتر در میان انبوه جمعیت والدین و فرزندان، از بین نرود. سپس از یک مرتب‌سازی نامغلوب برای دسته‌بندی تمام جمعیت استفاده می‌شود. با توجه به اندازه جمعیت فعلی، این موضوع طبیعی است که تعداد مقایسات در این مرحله از تعداد مقایسات در مرحله اول، بیشتر خواهد بود که فضای جستجوی آن در بدترین حالت به اندازه نمایی $|\alpha|^{|H|}$ خواهد بود. در این شیوه، یک مقایسه عمومی در بین اعضایی که شامل مجموعه والدین و فرزندان هستند صورت می‌گیرد و پس از ایجاد صف‌های متفاوت نامغلوب، بهترین اولویت(اولویت صف‌ها نسبت به یکدیگر) جمعیت بعد، یکی یکی از این صف‌ها پر می‌شود. پرکردن با بهترین صف نامغلوب آغاز شده و سپس به ترتیب با دومین صف نامغلوب و سومین تا آخرین صف نامغلوب و تا زمانی که نسل بعد پر شود، ادامه می‌یابد. از آنجا

که اندازه جمعیت والدین و فرزندان، دو برابر جمعیت والدین است، تمام اعضای آن ممکن است نتوانند در جمعیت نسل بعد قرار گیرند و به‌راحتی جواب‌های باقیمانده حذف خواهد شد. به شکل (۵) توجه نمائید. درمورد جواب‌هایی که در صف آخر با استفاده از عملگر نخبه‌گرایی از بین می‌روند، باید مهارت بیشتری به‌کار برده و جواب‌هایی که در ناحیه ازدحام کمتری قرار دارند را حفظ کرد. درواقع برای رعایت اصل چگالی در میان پاسخ‌ها، جواب‌هایی که در ناحیه ازدحامی کوچکتری هستند، برای پرکردن نسل بعد در اولویت قرار دارند.



شکل ۵ نحوه عمل الگوریتم NSGA-II

۷) نتایج عددی

الگوریتم پیشنهادی در نرم‌افزار متلب با مشخصات MATLAB R2015b و در سیستم رایانه همراه با مشخصات پردازشگر Corei7 و 2/53GHZ و حافظه جانبی 4G اجرا گردیده‌است. توجه داشته باشید که اگر به پارامترهای اولیه مدل مورد نظر، مقداردهی مناسب صورت گیرد، می‌تواند در ادامه روند حل الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمغلوب، تاثیر بسزایی داشته باشد. بنابراین مقادیر پیشنهادی در این پژوهش مطابق با جدول(۲) می‌باشد. با ثابت نگاه داشتن پارامترها در کمترین مقدار خود بر اساس میزان تابع هدف و زمان رسیدن به جواب، مقدار پارامتر پیشنهادی بیان می‌گردد.

جدول ۲. مقادیر پیشنهادی برای تنظیم پارامتر الگوریتم

تابع عملگر جهش ناگهانی	تابع گوسی	نوع جمعیت	بردار دوگانه
تابع عملگر جهش ناگهانی	۱	اندازه جمعیت	۵
تعداد نسل	۲۰	تابع انتخاب	چرخ‌گردان رولت
محدودیت و تاخیر زمانی	نامحدود	نرخ عملگر ضربدری	۰/۸
محدودیت تعداد نسل	نامحدود	تابع عملگر ضربدری	پراکنده
محدودیت دقت تغییر در تابع هدف	۰/۰۰۰۰۰۱	نرخ نخبه‌گرایی و مهاجرت	۰/۲
جریمه	۵۰،۱۰۰،۲۰۰،۵۰۰	T_{final}	کل زمان تور معادل ۲۰۰ واحد زمانی

همه مقادیر جریمه‌ها اعم از جریمه دیرکرد، جریمه زودکرد، محدودیت در ظرفیت وسیله‌نقلیه، محدودیت در ظرفیت سوخت وسیله‌نقلیه، محدودیت ظرفیت دپو و پنجره زمانی برابر با ۲۰۰ واحد درنظر گرفته شد. با توجه به اینکه این مسئله با این محدودیت‌ها قبلا حل نشده لذا لازم است در ابتدا چند مثال تولید شود. الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمغلوب در این تحقیق بر اساس دو حالت کلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. حالت اول برای حل مدل در اندازه‌های بسیار کوچک و در حالت دوم برای اندازه‌های متوسط و بسیار بزرگ صورت می‌پذیرد.

۸) حل مسئله در ابعاد کوچک

در مسائل کوچک ابتدا یک مثال کوچک با ۱۰ مشتری و ۵ مکان کاندید برای بازگشایی دپو تولید شود. درنتیجه به‌طورکلی ۱۵ نقطه تولید می‌گردد که ۱۰ نقطه اول مشتریان و ۵ نقطه بعدی را مکان‌های احتمالی احداث و بازگشایی دپو به خود اختصاص می‌دهد. برای تولید تقاضای هر مشتری به خدمات یا کالا از هر دپو، عددی با توزیع یکنواخت در بازه [0,15] تولید می‌شود که زودترین زمان سرویس و [20,50] که دیرترین زمان سرویس را نشان می‌دهد. پنجره زمانی مربوط به هر دپو طبق جدول (۲) عددی در بازه [0, 200] می‌باشد. تعداد وسایل‌نقلیه را ۱۰ عدد و با ظرفیت ۸۰ نفر درنظر می‌گیریم. هر دپو پس از بازگشایی مقدار ۲۰۰ عدد کالا ظرفیت و جریمه مربوط به هزینه ثابت هر دپو(مانند هزینه راننده) نیز ۲۰۰ واحد است. از آنجا که راندمان وسایل را ۱۰۰ درصد و احتمال خرابی صفر فرض شده‌است، پس هزینه ثابت برای تعمیرات وسیله‌نقلیه صفر می‌باشد. هر واحد زمانی که وسیله‌نقلیه طی می‌کند مبلغی معادل یک واحد پولی هزینه را در پی دارد. در جدول (۳) مختصات مکانی- جغرافیایی، پنجره زمانی و تقاضاهای مثال‌های تولید شده، نمایش داده شده‌است. تعداد مکان کاندید برای بازگشایی یک دپو و تعداد مشتریان در این بخش متفاوت است. مسئله با n=10 مشتری و m=5 نقطه کاندید بازگشایی دپو که مشخصات مشتری اول، از لیست مشتری تولیدشده و دپوی اول، از لیست دپوهای کاندید شده، انتخاب گردیده‌است. در این حالت تمامی مدل با حل‌کننده متلب در سیستم با مشخصات یاد شده قبل و بدون بکارگیری الگوریتم، حل شده‌است که مدت زمان روند حل برابر ۴ ساعت و سی و یک دقیقه(معادل ۱۶،۲۶۰ ثانیه) شد.

جدول ۳ . مشخصات مثال کوچک تولید شده

نقاط	مختصات جغرافیایی		تقاضا	بازه زمانی		نقاط	مختصات جغرافیایی		تقاضا	بازه زمانی	
	X	Y		E	L		X	Y		E	L
۱	۲۷	۳	۱۸	۵	۳۰	۹	۲۶	۱۵	۱۱	۱۸	٤۹
۲	۱۵	۲۵	۱۹	٤	٤۵	۱۰	۲۳	۱۰	۲۰	۱۲	۵۰
۳	۵	۲٤	۱۱	۷	۳۰	۱۱	۲۲	۱۰	۲۰	۳	۳۱
٤	۳۰	۳۰	۲۰	۱۲	۳۸	۱۲	۳۱	۱٦	۱۵	۱۷	۳٤
۵	۳۳	۳۰	۱٦	۸	۳۵	۱۳	۱۸	۱۳	۰	۰	۲۰۰
٦	۲۱	۳۲	۱۱	۲۰	۳۹	۱٤	۳۰	۲۱	۰	۰	۲۰۰
۷	۱۲	۱۵	۱۳	۳	۲۰	۱۵	۲٤	۳۵	۱۸	۱۵	٤۰
۸	٤	۱۷	۱٦	۵	۱۹						

جدول ٤. مقایسه نتایج نرم‌افزار MATLAB و الگوریتم NSGA-II در مثال‌های کوچک

ردیف	تعداد مشتری	تعداد دپو	MATLAB پاسخ	MATLAB زمان(ثانیه)	وضعیت	NSGA-II پاسخ	NSGA-II زمان(ثانیه)	GAP
۱	۳	۲	۳٦۸/۸٦۷	۲/۷۸	OPT	۳٦۸/۸٦۷	۰	۰
۲	٤	۳	٤۱۲/۳٦۵۸	۱۸/۱۸۰	OPT	٤۱۲/۳٦۵۸	۰	۰
۳	٤	۳	۳۱۸/۲٦۵	۱۲۵/۳٦	OPT	۳۱۸/۲٦۵	۰	۰
٤	۱۰	۵	٤۸٦/۲۵۰	۵۰۰/۲۵	OPT	٤۸٦/۲۵۰	۰	۰
۵	۱۰	۲	۵۱۲/۸۹۰	۹۰۰/۳٦	OPT	۵۱۲/۸۹۰	۵	۰
٦	۱۲	۳	۵۹۸/۵۳٦	۱۱۰۵	OPT	۵۹۸/۵۳٦	۵	۰
۷	۱۲	۳	۳۵۸/٦۲۱	۱٤۳٦	OPT	۳۵۸/٦۲۱	۵	۰
۸	۱۵	٤	٦۱۲/۲۵٦	۱٦۲٦۰	time	٦۱۲/۲۵٦	۱۲	*
۹	۱۵	۵	٦۱٤/۳۹۸	۱٦۲٦۰	time	٦۱٤/۳۹۸	۱۲	*
۱۰	۱۵	۲	٦۵٤/۳۸۹	۱٦۲٦۰	time	٦۳٤/٦۲۳	۱۲	*

در جدول (۵)، برای تعداد مشتریان ۱۵ نفر، زیرشماره‌های مربوط به هر گره و همچنین اولویت مشتریان برای اختصاص به هر گره بر اساس الگوریتم NSGA-II نشان داده شده‌است. در جدول (۵)، ردیف آبی رنگ، نشانگر تعداد مشتریان است. اعداد زیر تعداد هر مشتری، گره‌های مورد انتخاب افراد هستند. اعداد قرمز رنگ، اولویت هر مشتری به گره مورد انتخاب خود می‌باشد. از این الگوریتم برای مسائل در تعداد مشتریان زیاد مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد مشتریان، ۲۰ نفر در نظر گرفته شد. جدول (۶) جواب‌های پارتو مربوط به هر مشتری را نشان می‌دهد.

جدول ۵. اولویت هر مشتری در هر گره

۱		۲		۳		٤		۵		٦		۷
۲	۱	٤	۱	۵	۱	۱	۱	٦	۱	۸	۱	۱۲
۱۲	۳	۸	۲	۷	۳	۱۱	۲	۳	۲			۱٤
۲٤	۵	۲٤	۳			۱۷	٤	۱۰	۳			۱٦
۳۰	۷	۱٦	۵			۲۹	٦	۲۷	٤			
		۱۸	۷									

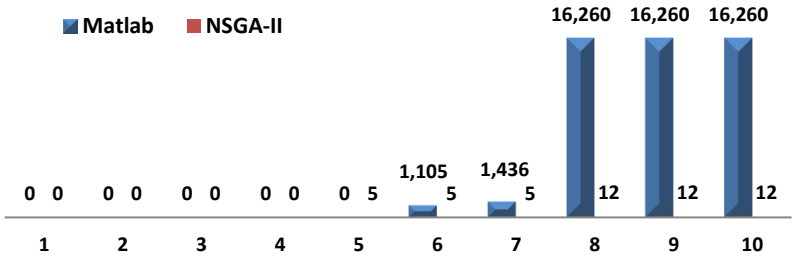
	۸		۹		۱۰		۱۱		۱۲		۱۳		۱٤		۱۵	
۱	۳۰	۱	۲۸	۱	۲٦	۲	۲۹	۱	۲۵	۱	۲٤	۳	۱۹	۲	۱۸	۱
۲	۲۵	۲	۱۹	۲	۲۵	۳	۱۸	۲	۱۷	۲	۲	٤	۱٤	۳	۲۹	۲
۳	۲۱	۳	۱۷	٤	۲۳	٤	۹	۳	۱۲	۳	٤	۵	۱۲	٤	۲۰	٤
			۵	۷	۲۱	۵	۸	٤	۳	٤	۱۸	٦	۱۳	۵		
													۱۱	٦		

جدول ٦. حل مدل در تعداد مشتریان ۲۰ عدد

ردیف	مشتریان	وسایل نقلیه	مقاصد	تعداد پارتو	زمان(ثانیه)	Diversity	MID	MIS	اولویت	مسافت طی شده	جریمه انحراف از پنجره زمانی
۱	۲۰	۳	۳۰	۲۳	۱۷/۹۲	٤۱۲/٤۹	۱/۰۱۸۵	۱۰٦٤۳/۱۰	٦۸/۷۸	۱۰۸۵/۳۰	**۹۰۵۵/۲۹**
۲	۲۰	٤	٤۰	٦۰	۲۰/٦۸	۸۲۰/٦۱	۱/۱۰	۱۲۸۰۹/۹	٦۰/۹۸	۱۱۵۳/۱۵	**۲۳۰۵/٦٤**
۳	۲۰	۵	۵۰	۷۷	۲۵/۵۹	۹٤٤/۹۵	۱/۱۰	۱۵۰۸۹/۰۷٦	٦٤/۰۹	۱۵٤۲/۵۷	**۵۵۸۳/۳۸**
٤	۲۰	٦	٦۰	۵۰	۲۵/۸۲	٦۸۰/٤۹	۱/۱۰	۱۱۱۷٦/۹۰	٦۳/۲۰	۱۵٦۹/۰٦	**٤۰۵۱/۳۲**

۹) نتیجه‌گیری

برای مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی در این مقاله با سایر الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری دیگر می‌توانید به سایت http://prodhonc.free.fr/homepage مراجعه نمایید. در این مثال‌ها، تمامی دپوها و وسایل‌نقلیه دارای ظرفیت هستند. الگوریتم موردنظر NSGA-II در این پژوهش در هر مرتبه ۲۰ بار اجرا گردید و بهترین نتایج در هر یک از جداول نوشته شد. مسئله مکان‌یابی- مسیریابی وسیله‌نقلیه، یکی از مهمترین مسائل و پرکاربردترین آنها در حوزه زنجیره تامین و لجستیک می‌باشد. در این پژوهش سعی گردید تا برای نزدیکتر شدن مدل به دنیای واقعی، محدودیت‌ها و پارامترهایی به مسئله اضافه گردد که از جمله آنها می‌توان به پنجره زمانی، ظرفیت دپو و وسیله‌نقلیه، محدودیت سوخت و مدت زمان سوخت‌گیری و نیز توجه به رضایت‌مندی مشتریان اشاره کرد. همه این موارد پس از معرفی، مدل‌سازی شدند. به دلیل آنکه پیچیدگی مسئله نوعی تابع نمایی است، سعی شد تا الگوریتم ابتکاری برای آن تهیه و تدوین شود که در این مقاله از الگوریتم NSGA-II استفاده گردید. سپس سعی گردید تا درستی مدل را با توجه به الگوریتم مذکور اثبات نماییم و آنرا با حل مدل در برنامه MATLAB و بدون استفاده از الگوریتم ابتکاری مقایسه کرده و تفاوت مقدار و زمان حل را نمایش دهیم. تحقیقات انجام شده بر روی مسئله مکان‌یابی- مسیریابی با پنجره زمانی سخت و محدویت سوخت و ظرفیت و نیز توجه به اولویت‌بندی نظرات مشتریان بسیار اندک است و به عنوان پیشنهاد، می‌توان توصیه کرد تا از الگوریتم ترکیبی انجماد تدریجی و جستجوی همسایگی متغیر استفاده نمود. می‌توان این مدل را در مورد سازمان بهداشت و سلامت به‌کار برد و به مسئله موردنظر ضریبی تحت عنوان ضریب سلامت آب‌وهوا را اضافه نمود. می‌توان بجای قرار دادن یک بازه زمانی برای هر دپو، از یک تابع توزیع احتمالی برای زمان درنظر گرفت. همچنین برای اولویت‌بندی نظرات مشتریان می‌توان تا از برنامه‌ریزی فازی بهره برد و دامنه فازی برای رضایت‌مندی و اولویت‌بندی تعیین نمود. همچنین در قیودی مانند بازگشت حتمی وسیله‌نقلیه به دپوی خود می‌توان تجدیدنظر کرد و این شرط را حذف نمود. کلیه این پیشنهادها از جمله موارد اندکی بودند که می‌تواند اهداف مطالعات بعدی بر روی این موضوع باشد. شکل (۶) مقایسه‌ای بین زمان حل الگوریتم پیشنهادی ارائه شده در این مقاله با حل مدل مسئله مکان‌یابی- مسیریابی در MATLAB است.



شکل ٦ . مقایسه زمان حل الگوریتم NSGA-II و MATLAB

مراجع

K . Gheisari, F. Ghannadpour “Routing of locomotives in the network using a hybrid genetic algorithm” Transportation Research Journal, Issue 3, Fall 2008 . https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.04.003

P. Hoggatipour, H.R.Abdollahi “Simultaneous solution of the vehicle routing problem with flexible and inflexible time intervals” Eleventh International Conference on Transportation and Traffic Engineering. https://doi.org/1038/j.trb.2009.23.20

R. Tavakkoli Moghaddam, M. Rabbani, A. Roodsari “Solve the vehicle routing problem with a soft time window using an integrated metaheuristic algorithm” Journal of the Faculty of Engineering, Volume 40, Number 4, September 2006. https://doi.org/1068/j.trb.2002.31.18

D.L. Applegate, R.E. Bixby, V. Chvatal, and W.J. Cook “The Traveling Salesman Problem” A Computational Study, Princeton University Press, Princeton, NJ, 2007. https://doi.org/1015/j.trb.2023.37.96

Dantzig, G.B.; Ramser, J.H. (1959). "The Truck Dispatching Problem". Management Science 6 (1): 80–91. doi:10.1287/mnsc.6.1.80. ISSN 0025-1909. JSTOR 2627477. https://doi.org/1029/j.trb.2004.16.18

Seyed farid Ghannadpoura , Simak Nooria , Reza Tavakkoli-Moghaddamb,Keivan Ghoseiri ,” A multi-objective dynamic vehicle routing problem with fuzzy timewindows: Model, solution and application “ , 2014. https://doi.org/1033/j.trb.2007.8.18

Gendreau, M., Laporte, G. and Potvin, J.Y. (1999) "Metaheuristics for the vehicle routing problem", Technical Report CRT-963, Centre de Recherche surles Transports, Université de Montréal. https://doi.org/1033/j.trb.2008.5.37

Cordeau, J.F. and Laporte, G. (2002) "Modeling and optimization of vehicle routing and arc routing problem", Les Cahiers du GERARD, G-2002-30, Montréal, Canada H3T 2A7. https://doi.org/1093/j.trb.2002.33.78

Hasle, G. (2003) "Heuristic for rich VRP models", working paper, Department of Optimization, Department of Informatics, University of Oslo. https://doi.org/1080/j.trb.2015.32.50

Pisinger, D. and Ropke, S. (2005) "A general heuristic for vehicle routing problem", Department of Computer Science, University of Copenhagen. https://doi.org/1081/j.trb.2009.13.133

Tan, K.C., Lee, L.H., Hu, K.Q. and Qu, K. (2001) "Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows”, Artificial Intelligence in Engineering, 15, pp. 281-295. https://doi.org/1023/j.trb.2011.24.64

Laporte, G. and Semet F. (1999) "Classical heuristics for the vehicle routing problem", Les Cahiers du GERAD, G98-54, Group for Research in Decision Analysis, Montreal, Canada. https://doi.org/1024/j.trb.2005.37.109

Gendreau, M., Laporte, G. and Potvin, J.Y. (1999) "Metaheuristics for the vehicle routing problem", Technical Report CRT-963, Centre de Recherche surles Transports, Universite de Montreal. https://doi.org/1018/j.trb.2014.24.85

Cordeau, J.F. and Laporte, G. (2002) "Modeling and optimization of vehicle routing and arc routing problem", Les Cahiers du GERARD, G-2002-30, Montréal, Canada H3T 2A7. https://doi.org/1057/j.trb.2012.22.42

Braysy, O. and Gendreau, M. (2001) "Metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows", SINTEF Applied Mathematics, Research Council of Norway. https://doi.org/1042/j.trb.2020.13.128

Clarke, G. and Wright, J. (1964) "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", Operations Research, pp.568-581. https://doi.org/1094/j.trb.2014.13.52

Desrochers, M. and Verhoog, T.W. (1989) "A matching based savings algorithm for the vehicle routing problem", Les Cahiers du GERAD G-89-04,Ecole des Hautes etudes Commerciales de Montréal. https://doi.org/1050/j.trb.2008.18.94

Altinkemer, K. and Gavish, B. (1991) "Parallel savings based heuristic for the delivery problem". Operations Research, 39, pp.456-469. https://doi.org/1049/j.trb.2009.24.45

Wren, A. and Holliday, A. (1972) "Computer scheduling of vehicles from one or more depots to a number of delivery points”, Operational Research Quarterly, 23, pp.333-344. https://doi.org/1057/j.trb.2009.21.80

Cerda, J. and Dondo, R. (2007) "A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows", European Journal of perational Research, 176, pp.1478-1507. https://doi.org/1066/j.trb.2003.4.92

Irnich, S., Funke, B. and Grunert, T. (2006) "Sequential search and its application to vehicle routing problem", Computer & Operation Research, 33, pp. 2405-2429. https://doi.org/1040/j.trb.2004.34.58

Czech, Z.J. and Czarnas, P. (2002) "Parallel simulated annealing for the vehicle routing problem with time windows", 10th. Euromicro Workshop on Parallel, Distributed and Network-based Processing, Canary Islands - Spain, 376-383. https://doi.org/1026/j.trb.2004.20.15

Gambardella, L.M., Taillard, E. and Agazzi, G. (1999) "MACS-VRPTW: A multiple ant colonysystem for vehicle routing problems with time windows", In Corne, D., Dorigo, N. and Glover, F. editors, New Ideas in Optimization. McGraw-Hill. https://doi.org/1050/j.trb.2010.18.5

Thangiah, S.R. (1993) "Vehicle routing with time windows using genetic algorithms", Technical Report SRU-CpSc-TR-93-23, Computer Science Department, Slippery Rock University, Slippery Rock, PA. https://doi.org/1045/j.trb.2008.26.22

Ombuki, B., Ross, B.J. and Hanshar, F. (2004) "Multi-objective genetic algorithm for vehicle routing problem with time windows", Department of Computer Science, Brock University. https://doi.org/1013/j.trb.2011.38.58

Hu, K.Q. (2000) "A new genetic algorithm for VRPTW", Working Paper, National University of Singapore. https://doi.org/1078/j.trb.2002.34.14

Berger, J. and, Barkaoui, M. (2003) "A hybrid genetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem", In Cant -Paz, E., ed.: GECCO03. LNCS 2723, Illinois, Chicago, USA, Springer-Verlag. https://doi.org/1047/j.trb.2018.29.120

Alvarenga, G.B., Mateus, G.R. and Tomi, G. (2007) "A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows", Computer & Operation Research, 37, pp. 1561-1584. https://doi.org/1083/j.trb.2021.35.43

Tan, K.C., Chew, Y.H. and Lee, L.H. (2006) "A hybrid multi-objective evolutionary algorithm for solving vehicle routing problem with time windows", Computational Optimization and Application, 34, pp. 115-151. https://doi.org/1043/j.trb.2004.23.118

Tan, K.C., Cheong, C.Y. and Goh, C.K. (2007) "Solving multi objective vehicle routing problem with stochastic demand via evolutionary computation", European Journal of Operational Research, 177, pp. 813-839. https://doi.org/1072/j.trb.2003.36.83

Nagy, G. and Salhi, S. (2007). "Location-routing: issues, models and methods." European Journal of Operational Research, 177: 649– 72. https://doi.org/1024/j.trb.2006.36.125

Prins, C., Prodhon, C. and Wolfler-Calvo, R. (2006). "Solving the capacitated location- routing problem by a GRASP complemented by a learning process and a path relinking." 4OR A Quarterly Journal of Operations Research, 4: 221–38. https://doi.org/1050/j.trb.2016.18.39

Barreto, S. S., Ferreira, C., Paixa, J. and Santos, B. S. (2007). "Using clustering analysis in capacitated location-routing problem." European Journal of Operational Research, 179: 968–977. https://doi.org/1087/j.trb.2015.20.49

Marinakis, Y. and Marinaki, M. (2008). "A particle swarm optimization algorithm with path relinking for the location routing problem." Journal of Mathematical modeling and algorithms, 7: 59–78. https://doi.org/1017/j.trb.2017.31.58

Jabal-Ameli, M.S. and Ghaffari-Nasab, N. (2010). "Location-routing problem with time windows: Novel mathematical programming formulations." 7th International Industrial Engineering Conference, Isfahan, Iran. https://doi.org/1059/j.trb.2008.31.122

Nikbakhsh, E. and Zegordi, S.H. (2010). "A Heuristic Algorithm and a Lower Bound for the Two-Echelon Location-Routing Problem with Soft Time Window Constraints." Scientia Iranica, 17: 36-47. https://doi.org/1013/j.trb.2021.32.7

BañOs, R., Ortega, J., Gil, C., MáRquez, A. L.andDe Toro, F. (2013) "A hybrid meta-heuristic for multi-objective vehicle routing problems with time windows", Computers & Industrial Engineering, Vol. 65, No. 2, pp. 286-296. https://doi.org/1037/j.trb.2013.18.34

Beheshtinia, M. A.andGhasemi, A. (2017) "A multi objective and integrated model for supply chain scheduling optimization in a multi-site manufacturingsystem",Engineering OptimizationVol. 50, N0. 9, , pp. 1-19. https://doi.org/1087/j.trb.2021.10.82

Euchi, J.andEuchi, J. (2017) "Genetic scatter search algorithm to solve the one-commodity pickup and delivery vehicle routing problem", Journal of Modelling in Management, Vol. 12, No. 1, pp. 2-18. https://doi.org/1024/j.trb.2002.28.114

Hernandez, F., Gendreau, M.andPotvin, J. Y. (2017) "Heuristics for tactical time slot management: a periodic vehicle routing problem view", International Transactions in Operational Research. https://doi.org/1062/j.trb.2023.38.99

Sze, J. F., Salhi, S.andWassan, N. (2017) "The cumulative capacitated vehicle routing problem with min-sum and min-max objectives: An effective hybridisation of adaptive variable neighbourhood search and large neighbourhood search", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 101, pp. 162-184. https://doi.org/1078/j.trb.2017.27.6