Industrial Management Journal

Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

A Bi-Objective Model for Agency Centers Location, Scheduling, and Routing in the Taxi Industry: Incorporating Split Simultaneous Pickup and Delivery to Maximize Passenger Satisfaction

Mahboobeh Kazemi *
*Corresponding Author, Assistant Prof., Department of Management, Faculty of Administrative and Economics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: m.kazemi@vru.ac.ir

Darush Mohamadi
Associate Prof., Industrial Management, Faculty of Administrative and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: d.mohamadi@ase.ui.ac.ir

Kamran Kianfar
Assistant Prof., Department of Industrial Engineering and Futures Studies, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: k.kianfar@eng.ui.ac.ir

Abstract

Objective

This paper aims to enhance the efficiency and quality of service in the taxi industry by proposing a bi-objective mixed-integer programming (MIP) model. The model focuses on minimizing total costs while maximizing passenger satisfaction, incorporating agency centers' location, scheduling, and routing with split simultaneous pickup and delivery.

Methods

This study is developmental-survey in nature and employs a descriptive-survey approach for data collection. Methodologically, it falls under the Hard Operations Research classification. An exploratory descriptive approach has been applied, using a ladies' taxi agency affiliated with a university in Rafsanjan city as a case study. The proposed model was solved for a small-scale case study using the augmented ε-constraint method in

Citation: Kazemi, Mahboobeh; Mohamadi, Darush & Kianfar, Kamran (2025). A Bi-Objective Model for Agency Centers Location, Scheduling, and Routing in the Taxi Industry: Incorporating Split Simultaneous Pickup and Delivery to Maximize Passenger Satisfaction. *Industrial Management Journal*, 17(1), 99-130. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2025, Vol. 17, No 1, pp. 99-130
Published by University of Tehran, Faculty of Management
https://doi.org/10.22059/IMJ.2024.365158.1008080
Article Type: Research Paper
© Authors
Received: January 10, 2024
Received in revised form: July 27, 2024
Accepted: November 17, 2024
Published online: March 12, 2025

CPLEX software, version 12.1. Additionally, medium- and large-scale instances were provided to evaluate the performance of the solution approach through the rolling horizon algorithm.

Results

The proposed model was first tested on a small instance with 6 destination nodes and 2 hubs, and detailed solution results were presented. Three key factors were analyzed to evaluate their impact on real-world scenarios: satisfaction reduction point (SRP), waiting time to receive services (WT), and total time for each taxi (T). The Pareto frontier analysis for the bi-objective model across different WT values demonstrated that increasing WT improves responsiveness. Sensitivity analysis of the SRP parameter revealed that passengers with higher SRP experience lower dissatisfaction levels. Similarly, sensitivity analysis of the total time parameter (T) indicated that increasing T enhances network responsiveness while reducing transportation costs. To address larger instances, a mixed-integer programming (MIP) model and a rolling horizon heuristic were developed and tested on three groups of test problems. Results showed that the rolling horizon algorithm efficiently solved instances with 12 nodes to an optimality gap of less than 0.001% in about 3 minutes, compared to 15 minutes required by the MIP model. For larger instances with 20 and 30 nodes, the rolling horizon algorithm completed in 5 and 19 minutes, respectively, whereas the MIP model required significantly more time.

Conclusion

In today's rapidly evolving world of internet-based taxi services such as Snap and Tapsi, applying a bi-objective location, scheduling, and routing model with split simultaneous pickup and delivery can optimize both total transportation costs and passenger satisfaction. This paper employs an augmented ε-constraint method to solve the problem for small instances and conducts sensitivity analysis on key problem features. The resulting Pareto points provide decision-makers with a wider range of options. For large-scale instances, the rolling horizon algorithm is used to efficiently solve the problem. The main advantage of the proposed model lies in its applicability not only to taxi agencies but also to supply chains for perishable products and other service industries. While taxi agencies can directly benefit from the model’s results, future research could extend the approach to perishable products where spoilage begins simultaneously at time zero across all nodes.

Keywords: Hub location, Split Simultaneous Pickup and Delivery Routing, Rolling Horizon, Passengers Satisfaction, Scheduling.

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۵۸۸۵-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۵۳۶۹-۲۴۲۳

مدل دو هدفه مکان‌یابی مراکز آژانس ــ زمان‌بندی و مسیریابی با امکان برش در برداشت و تحویل هم‌زمان با هدف افزایش رضایت مسافران در صنعت تاکسی‌رانی

محبوبه کاظمی*

* نویسنده مسئول، استادیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران.
رایانامه: m.kazemi@vru.ac.ir

داریوش محمدی زنجیرانی

دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: d.mohamadi@ase.ui.ac.ir

کامران کیانفر

استادیار، گروه مهندسی صنایع و آینده‌پژوهی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: k.kianfar@eng.ui.ac.ir

چکیده

هدف: استفاده از یک سیستم حمل‌ونقل مطمئن و امن برای بسیاری از اقشار جامعه اهمیت ویژه‌ای دارد. از این رو بسیاری از مشتریان ترجیح می‌دهند که از سیستم حمل‌ونقل مربوط به شرکت خود استفاده کنند. استفاده از یک مدل مسیریابی وسایل نقلیه با برداشت و تحویل هم‌زمان، در کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و ترافیک شهری تأثیر بسزایی دارد. در دنیای پُرشتاب امروزی، در صنعت تاکسی‌رانی، هرچه سرعت پاسخ‌گویی به مسافران بیشتر باشد، رضایت افزایش می‌یابد. تابع رضایت مسافر، بحث زمان‌بندی ماشین‌ها را نیز به مسئله اضافه می‌کند. در این پژوهش، یک مدل ریاضی دوهدفه برای مسئلهٔ مکان‌یابی مراکز آژانس ـ زمان‌بندی و مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان و توأم با امکان برش در تقاضا ارائه شده است. هدف اول مدل، کاهش هزینه‌های عملیاتی حمل‌ونقل و هزینهٔ تأسیس مراکز آژانس و هدف دوم نیز، افزایش سطح پاسخ‌گویی به مسافران است. یکی از نوآوری‌های مطالعه حاضر این است که در هدف دوم، تابع احتمال خرید را به‌منظور اندازه‌گیری رضایت مسافران، به مسائل مکان‌یابی مسیریابی با برش و برداشت و تحویل هم‌زمان اضافه کرده است.

استناد: کاظمی، محبوبه؛ محمدی زنجیرانی، داریوش و کیانفر، کامران (۱۴۰۴). مدل دو هدفه مکان‌یابی مراکز آژانس ـ زمان‌بندی و مسیریابی با امکان برش در برداشت و تحویل هم‌زمان با هدف افزایش رضایت مسافران در صنعت تاکسی‌رانی. *مدیریت صنعتی*، ۱۷(۱)، ۹۹-۱۳۰.

مدیریت صنعتی، ۱۴۰۴، دوره ۱۷، شماره ۱، صص. ۹۹-۱۳۰
ناشر: دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© نویسندگان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲
doi: https://doi.org/10.22059/IMJ.2024.365158.1008080

روش: مطالعهٔ حاضر از نظر هدف، در زمرهٔ پژوهش‌های توسعه‌ای و از نظر نحوهٔ گردآوری داده‌ها در زمرهٔ پژوهش‌های توصیفی و از نظر پیاده‌سازی روش بهینه‌سازی، در زمرهٔ روش‌های سخت پژوهش عملیاتی قرار می‌گیرد. مدل ریاضی پیشنهاد شده در این پژوهش، به‌کمک یک مثال موردی برای آژانس تاکسی تلفنی بانوان، در یکی از دانشگاه‌های رفسنجان، در ابعاد کوچک با استفاده از روش اپسیلون محدودیت توسعه‌یافته، در نرم‌افزار سیپلکس نسخه ۱۲.۱ حل شد. همچنین، در این پژوهش به‌منظور مطالعهٔ عملکرد رویکرد حل مسئله، مثال‌هایی در ابعاد متوسط و بزرگ با استفاده از الگوریتم ابتکاری افق غلطان حل شد.

یافته‌ها: مدل برای یک مسئله در ابعاد کوچک با ۶ گرهٔ مقصد و ۲ گره به‌عنوان هاب حل و نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل گزارش داده شد. در مدل پیشنهادی سه پارامتر مهم برای تحلیل حساسیت وجود دارد. این پارامترها عبارت‌اند از: نقطهٔ کاهش رضایت (SRP)، مدت زمان انتظار مسافر برای دریافت خدمت (WT) و حداکثر زمان در دسترس برای هر تاکسی (T). تغییرات مرز پارتو برای سه مقدار مختلف پارامتر WT، به‌طور واضح بیانگر این نکته است که هرچه مسافر برای دریافت خدمت تحمل انتظار بیشتری داشته باشد، به‌طبع آژانس هم قدرت پاسخ‌گویی بیشتری دارد. تحلیل حساسیت پارامتر نقطهٔ کاهش رضایت (SRP) نشان می‌دهد که هر چه نقطهٔ کاهش رضایت مسافر بیشتر باشد، نارضایتی وی کمتر است . طبق تحلیل حساسیت پارامتر کل زمان در دسترس، با افزایش مقدار پارامتر T، میزان پاسخ‌گویی شبکه نیز افزایش و هزینه‌های حمل‌ونقل کاهش می‌یابد. در این پژوهش برای مطالعهٔ عمکرد مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در ابعاد بزرگ، از الگوریتم ابتکاری افق غلطان استفاده شد. به‌منظور اجرای آزمایش‌های عددی، سه گروه مسائل نمونه در ابعاد مختلف به‌صورت تصادفی تولید شد. الگوریتم افق غلطان روی مسائل نمونه اجرا شد. نتایج نشان داد که الگوریتم افق غلطان قادر است که مسائل با ۱۲ گره را با خطای ۰/۰۰۱ درصد از جواب حل دقیق در زمان ۳ دقیقه به‌دست آورد؛ درحالی که زمان حل مدل ریاضی عدد صحیح مختلط در این بُعد ۱۵ دقیقه است. الگوریتم افق غلطان برای مسائل با ۲۰ گره و ۳۰ گره نیز حل شد. متوسط زمان حل این مسائل با استفاده از الگوریتم افق غلطان در مقایسه با مدل ریاضی که زمان زیادی را به خود اختصاص می‌داد، ۵ دقیقه و ۱۹ دقیقه گزارش شد.

نتیجه‌گیری: در فضای رقابتی امروز و با وجود انواع سرویس‌های تاکسی‌رانی مانند اسنپ و تپسی و...، استفاده از مدل پیشنهادی برداشت و تحویل هم‌زمان، به همراه امکان برش در تقاضا و ترکیب آن با تابع رضایت مسافر، این امکان را فراهم می‌آورد تا ضمن اینکه رضایت مسافر حاصل شود، هزینه‌ها به حداقل برسد. استفاده از جدول پارتو به‌دست‌آمده از روش اپسیلون محدودیت توسعه‌یافته، گزینه‌های زیادی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان امر قرار می‌دهد. استفاده از الگوریتم افق غلطان، امکان حل مسئله را در ابعاد بزرگ فراهم می‌کند. مهم‌ترین مزیت مدل این است که می‌توان از این مدل برای محصولات فاسد شدنی و سایر شرکت‌های خدماتی نیز استفاده کرد. بنابراین ضمن اینکه انواع شرکت‌های تاکسی‌رانی می‌توانند از نتایج این مدل بهره ببرند، به پژوهشگران آتی پیشنهاد می‌شود که از مدل حاضر برای آن دسته از اقلام فاسد شدنی که برداشت و تحویل آن‌ها به‌طور هم‌زمان انجام می‌شود و فساد محصول در نقطه صفر زمانی (برای همه گره‌ها) آغاز می‌شود، استفاده کنند.

کلیدواژه‌ها: افق غلطان، رضایت مسافران، زمان‌بندی، مسیریابی با امکان برش و برداشت و تحویل هم‌زمان، مکان‌یابی هاب.

مقدمه

در زندگی اجتماعی انسان‌ها احساس امنیت نقش بسزایی را ایفا می‌کند و عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل در جامعه در ایجاد این حس بسیار تأثیرگذار است. استفاده از یک سیستم حمل‌ونقل مطمئن برای بسیاری از اقشار جامعه اهمیت دارد (جمالی و شایگان، ۱۳۹۰). حتی با وجود گسترش انواع شرکت‌های حمل‌ونقل، بسیاری از مشتریان ترجیح می‌دهند همچنان از سیستم بومی مرتبط با سازمان یا شرکت خود استفاده کنند. مانند دانشگاه، فرودگاه، راه آهن و... .

استفاده از سیستم حمل‌ونقل خصوصی شده، به سهم خود حجم گسترده‌ای از ترافیک شهری ایجاد می‌کند. بسیاری از این شرکت‌ها وسایل نقلیهٔ جداگانه‌ای را برای تحویل[1] یا برداشت[2] اعزام می‌کنند. این امر ضمن افزایش تعداد وسایل نقلیه و حجم ترافیک، هزینه‌های حمل‌ونقل را نیز افزایش می‌دهد. استفاده از یک مدل مسیریابی وسایل نقلیه با برداشت و تحویل هم‌زمان، در کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و ترافیک شهری تأثیر بسزایی دارد (برادران، حسینیان، درخشانی و گلاب‌زایی، ۱۳۹۵). در شرکت‌های تاکسی‌رانی اعم از اینترنتی و تلفنی یکی از ویژگی‌هایی که به ایجاد رقابت منجر می‌شود، در دسترس بودن وسایل نقلیه برای مسافران و کاهش زمان انتظار برای دریافت خدمت است (تمیزی و نهاوندی، ۱۴۰۲). به‌ویژه در ساعات اوج ترافیک، به‌طور هم‌زمان مسافران زیادی می‌خواهند جابه‌جا شوند. مسافر بعد از درخواست تاکسی، هرچه سریع‌تر بتواند سوار وسیلهٔ نقلیه شود، در کنار امنیت، رضایت آن نیز افزایش می‌یابد. در اینجا رضایت، کاهش زمان انتظار مشتری برای دریافت خدمت (از نوع تحویل و برداشت) تعریف می‌شود و برای این منظور، می‌توان از یک تابع رضایت مشتری استفاده کرد. مطابق این تابع، رضایت مسافر بعد از مدت زمان مشخصی کاهش می‌یابد. اضافه‌کردن این تابع به مدل ریاضی مسیریابی با برش و برداشت و تحویل هم‌زمان، می‌تواند زمان‌بندی وسایل نقلیه را به‌گونه‌ای انجام دهد که وسایل نقلیه در اسرع وقت بتوانند تقاضای مسافران را از نقطه نظر برداشت و تحویل پوشش دهند و در واقع، یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در حمل مسافر (در دسترس بودن وسیلهٔ نقلیه برای مشتری) را مرتفع کنند. به موازات مسیریابی و زمان‌بندی، در نظر گرفتن مکان مناسبی به‌عنوان هاب، برای توقف وسایل نقلیه، سهولت در سرویس‌دهی سریع‌تر به مسافران را سبب خواهد شد.

در این مطالعه، یک مدل ریاضی دو هدفه برای مسئلهٔ مکان‌یابی ـ زمان‌بندی/ مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان و توأم با امکان برش در تقاضا ارائه شده است. هدف اول مدل، کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های عملیاتی و هزینهٔ تأسیس هاب و هدف دوم، افزایش سطح پاسخ‌گویی به مسافران از نقطه نظر دردسترس بودن وسیلهٔ نقلیه و ارائه خدمات است که این امر رضایت مسافران را به‌دنبال خواهد داشت.

پیشینهٔ نظری پژوهش

به‌طور کلی و در عمل، محدودیت‌ها و شرایط مختلفی می‌تواند بر هر یک از اجزای اصلی مدل مسیریابی تحمیل شود که هر یک از آن‌ها به ایجاد نوع خاصی از مسائل مسیریابی وسایل نقلیه (VRP)[3] منجر می‌شود (رحمانی حسین‌آبادی و

1. Delivery
2. Pickup
3. Vehicle Routing Problem

چاری، ۱۳۹۷). انواع گوناگونی از مسائل مسیریابی وجود دارند؛ مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه ظرفیت‌دار (CVRP)[۱]، مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه چند انباره (MDVRP)[۲]، مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با پنجره‌های زمانی (VRPTW)[۳]، مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با برداشت و تحویل (VRPPD)[۴]، مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با برداشت و تحویل هم‌زمان (VRPSPD)[۵] و مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با امکان برش در تقاضا (SDVRP)[۶]، ازجمله مواردی هستند که در این پژوهش استفاده شده است.

در مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه ظرفیت‌دار، برخلاف مدل کلاسیک مسیریابی، هر وسیلهٔ نقلیه ظرفیت مشخصی دارد و بارگیری وسیلهٔ نقلیه بیش از حد ظرفیت آن مجاز نیست. در مسائل کلاسیک مسیریابی تک انباره فرض می‌شود که وسیلهٔ نقلیه کار خود را از یک انبار شروع کرده و به همان انبار باز می‌گردد، در حالی‌که در مسائل وسیلهٔ نقلیه چند انباره فرض می‌شود چند انبار برای این منظور وجود دارد. گلدن، مگنانتی و نگوین[۷] (۱۹۷۷) برای اولین بار مدل تک انباره را به مدلی چند انباره گسترش دادند. مسئله مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با پنجره‌های زمانی هنگامی مطرح می‌شود که زمان (مهلت) ملاقات وسیلهٔ نقلیه توسط مشتری اهمیت دارد. زمانی که وسایل نقلیه دو نوع وظیفه برداشت و تحویل اقلام را برعهده داشته باشند با مسئلهٔ مسیریابی با برداشت و تحویل مواجهیم. معمولاً در این حالت، ناوگان حمل‌ونقل جداگانه‌ای برای برداشت و تحویل در نظر گرفته می‌شود. اگر فرایند برداشت و تحویل، هم‌زمان توسط یک وسیلهٔ نقلیه انجام گیرد، مسئله از نوع مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان است. برای اولین بار موشیو[۸] (۱۹۹۸) مسئلهٔ برداشت و تحویل را به مدل مسیریابی اضافه کرد. همچنین در مسئلهٔ پایه مسیریابی وسیلهٔ نقلیه، فرض می‌شود که هر مشتری تنها توسط یک وسیله حمل‌ونقل و تنها در یک نوبت ملاقات می‌شود؛ اما این فرض همواره واقعی و برقرار نیست. در بسیاری از مواقع، تقاضای برخی از مشتریان از ظرفیت وسایل حمل‌ونقل بیشتر می‌شود. در چنین مواقعی، می‌بایست این فرض را نقض و امکان سرویس‌دهی به بعضی از مشتریان را با بیشتر از یک وسیله فراهم کرد. مسئلهٔ مسیریابی وسایل نقلیه با امکان برش تقاضا، توسعه‌ای از مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه بوده و در آن، امکان سرویس‌دهی به مشتریان با بیشتر از یک وسیلهٔ نقلیه میسر می‌باشد. روش مسیریابی وسیلهٔ نقلیه با امکان برش در تقاضا، برای اولین بار توسط درور و ترودیو[۹] (۱۹۸۹و۱۹۹۰) مطرح شد. درور و ترودیو نشان دادند که مجاز شمردن تقسیم تقاضای مشتریان بین چند وسیلهٔ نقلیه، می‌تواند به‌طور معناداری درکل فاصله طی شده توسط وسایل نقلیه و تعداد آن‌ها صرفه‌جویی ایجاد کند.

از آنجا که این مطالعه به‌دنبال طراحی مدلی یکپارچه برای مسئله مکان‌یابی، زمان‌بندی و مسیریابی است، باید روی مدل‌های یکپارچه تمرکز کرد. مفهوم مدل یکپارچه مکان‌یابی مسیریابی (LRP)[۱۰] برای اولین بار توسط وب[۱۱] (۱۹۶۸)

1. Capacitated VRP
2. Multi Depo VRP
3. VRP Time Windows
4. VRP with Pickup and Delivery
5. VRP with Simultaneous Pickup and Delivery
6. Split Delivery VRP
7. Golden, Magnanti & Nguyen
8. Mosheiov
9. Dror & Trudeau
10. Location routing problem
11. Webb

مطرح شد. در مدل LRP دو برنامه اصلی در عملیات لجستیک، یعنی مسیریابی و مکان‌یابی تسهیلات با یکدیگر ادغام می‌شوند. مطالعات زیادی نیز در این زمینه انجام گرفته است. پس از معرفی مدل کلاسیک LRP، بیشتر مطالعات آن به لحاظ کردن ظرفیت برای دپوها و وسایل نقلیه تمرکز دارند و به‌عنوان مدل‌های CLRP[1] معروف هستند. پژوهشگران بعدی، مدل‌های CLRP را توسعه دادند و مواردی همچون پنجره‌های زمانی و استفاده هم‌زمان در فرایندهای برداشت و تحویل و امکان برش در تقاضا را اضافه کردند. در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

پیشینهٔ تجربی پژوهش

توکلی مقدم، صفایی، کاه و ربانی[2] (۲۰۰۷) یک مدل مسیریابی ظرفیت دار با حمل‌ونقل ناهگون و برش تقاضا پیشنهاد دادند. اهداف مدل حداقل کردن هزینه‌های ناوگان حمل‌ونقل و حداکثر کردن بهره وری ظرفیت بود. آن‌ها از یک الگوریتم شبیه سازی تبرید برای حل مدل استفاده کردند.

حسنی گودرزی و توکلی مقدم[3] (۲۰۱۲) یک مدل مسیریابی با حمل‌ونقل ناهمگون و چند محصولی را ارائه دادند؛ به‌گونه‌ای که امکان برش تقاضا در برداشت و تحویل وجود داشت. حسنی گودرزی و همکاران (۲۰۲۰) نیز یک مدل مسیریابی همراه با زمان‌بندی و برش تقاضا در مرحله برداشت و تحویل را ارائه دادند که کارایی و پاسخ‌گویی دو هدف این مدل بود. مدل چند هدفه با استفاده از الگوریتم تکاملی فراابتکاری حل شد.

شهابی شاه‌میری، توکلی مقدم، موسوی و رجب[4] (۲۰۲۱) در پژوهشی یک مدل چند هدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط زمان‌بندی / مسیریابی را برای اقلام فسادپذیر و با حمل‌ونقل ناهمگون در نظر گرفتند. در مدل آن‌ها ضمن امکان برداشت و تحویل هم‌زمان اقلام، امکان برش تقاضا نیز وجود داشت. حداقل کردن هزینه‌های توزیع، حداقل کردن زمان توزیع و حداقل کردن زودکرد و دیرکرد اقلام فاسدشدنی سه هدفی بودند که این پژوهش دنبال می‌کرد. همچنین به‌منظور حل مدل، یک روش ترکیبی جدید در مقایسه با روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته ارائه شد.

جوانفر، رضائیان، شکوفی و مهدوی (۱۳۹۵) در پژوهش خود به مطالعه مسئله مکان‌یابی ـ مسیریابی مراکز بارانداز عبوری چند محصولی با در نظر گرفتن وسایل حمل‌ونقل ناهمگن ظرفیت‌دار، در یک زنجیرهٔ تأمین سه سطحی برای اقلام فاسدشدنی پرداخته اند. امکان برداشت و تحویل محصول در چند دفعه وجود دارد. هدف مدل کمینه سازی مجموع هزینه افتتاح مراکز انبار و هزینه‌های حمل‌ونقل است. اگرچه برای مسئله مورد نظر، یک مدل ریاضی یکپارچه غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه شد؛ اما برای حل مسائل در ابعاد بزرگ نیز یک الگوریتم بهینه‌سازی ذرات پیشنهاد شده است.

فاضی، فرانسو، ون وونسل و دونگ[5] (۲۰۲۰) از مدل مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان توام با برش در تقاضا برای یک مسئله خاص در حمل‌ونقل بار توسط کانتینرها از بنادر خشک به بنادر دریایی استفاده کردند. حل مدل نیز با الگوریتم فراابتکاری جست‌وجوی محلی، در ترکیب با الگوریتم شاخه ـ برش انجام گرفته است.

1. Capacitated LRP
2. Tavakkoli-Moghaddam, Safaei, Kah & Rabbani
3. Hassani Goodarzi & Tavakkoli-Moghaddam
4. Shahabi-shahmiri, Asiaei, Tavakkoli-Moghaddam, Mousavi & Rajab
5. Fazi, Fransoo, Van Woensel & Dong

ژانگ، چی و لیانگ[1] (۲۰۲۳) به‌منظور حمل بار در سیستم حمل‌ونقل هوایی، از یک مدل مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان توام با برش در تقاضا بهره برده‌اند. حل مدل با استفاده از یک الگوریتم جست‌وجوی همسایگی تطبیقی (ALNS)[2] انجام شده است.

اقبالی و توکلی مقدم (۱۳۹۷) نیز یک مدل ریاضی چند هدفه برای مسئله برداشت و تحویل هم‌زمان ارائه داده‌اند که هدف اول کاهش هزینه‌های کل حمل‌ونقل و هدف دوم افزایش رضایت رانندگان از طریق توازن تولید کالا میان وسایل نقلیه است. به‌دلیل NP-hard بودن مسئله، برای حل از الگوریتم تکامل تفاضلی چند هدفه استفاده شده است.

ستاک، عزیزی و کریمی (۱۳۹۳) نیز یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را برای یک مسئله مکان‌یابی مسیریابی چند دپویی ظرفیت‌دار با برداشت و تحویل همرمان با بارهای برش‌یافته را ارائه دادند. در نهایت جواب‌های به‌دست‌آمده از مسائل نمونه با حل کننده سیپلکس با روش فراابتکاری ترکیبی مورد مقایسه قرار گرفت.

امروزه در صنعت تاکسی‌رانی و حمل‌ونقل مسافر استفاده از مسائل مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان به‌دلیل کاهش تعداد وسایل حمل‌ونقل، کاهش کل مسافت طی شده و در نتیجه، کاهش در کل هزینه‌های حمل‌ونقل توجه زیادی را به خود جلب کرده و نقش بسزایی در کاهش حجم ترافیک شهری دارد (برادران و همکاران، ۱۳۹۵). برای شرکت‌های تاکسی‌رانی در کنار کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل رضایت مشتری از خدماتی که دریافت می‌کند نیز حائز اهمیت است.

تمیزی و نهاوندی (۱۴۰۲) به‌عنوان یک مطالعه موردی، به بررسی عوامل مؤثر بر رضایت مشتریان خدمات تاکسی اینترنتی اسنپ در شهر تبریز پرداختند. نتایج حاصل از دیدگاه سنجی ۳۸۵ نفر از مسافران نشان داد که به‌ترتیب امنیت، کیفیت، رفتارراننده، کاربرپسند بودن اپلیکیشن و دردسترس بودن وسیلهٔ نقلیه، روی رضایت‌مندی مشتریان بیشترین تأثیر را دارد.

در پژوهش مشابهی، جمالی و شایگان (۱۳۹۰) به مطالعه نقش تاکسی‌های بی‌سیم بانوان در احساس امنیت زنان تهرانی پرداختند. در این پژوهش و با یک تحلیل آماری (پرسش‌نامه) به مطالعه میزان احساس امنیت بانوانی که از این نوع خدمات استفاده می‌کنند، پرداخته شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بالای ۹۶درصد پاسخ‌گویان در استفاده از این تاکسی‌ها، احساس امنیت و آرامش دارند. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که شاخص امنیت در نقطه اوج رضایت مشتریان قرار دارد؛ به‌گونه‌ای که بسیاری از مشتریان ترجیح می‌دهند خدمات حمل‌ونقل خود را از یک شرکت خاص دریافت کنند. مانند تاکسی بانوان، تاکسی دانشگاه، فرودگاه و... .

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر رضایت مشتریان، دسترس‌پذیری وسیلهٔ نقلیه است؛ به‌گونه‌ای که زمان انتظار مشتری برای دریافت وسیلهٔ نقلیه نیز کاهش یابد. در این میان می‌توان به مطالعه فان[3] (۲۰۱۱) اشاره داشت که با استفاده از مدل مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان و اضافه کردن پنجرهٔ زمانی، به‌دنبال افزایش رضایت از نقطه نظر کاهش زمان انتظار برای دریافت وسیلهٔ نقلیه بود. تابع هدف اول در مدل، به‌دنبال کاهش هزینه‌ها و تابع هدف دوم به‌دنبال افزایش

1. Zhang, Che & Liang
2. Adoptive Large Neighborhood Search
3. Fan

رضایت مشتریان با تکیه بر پنجره زمانی و مهلت ارائه شده بود. مدل ارائـه شـده بـا اسـتفاده از الگـوریتم جسـت‌وجـوی ممنوعه حل و نتایج حاصل تحلیل شده است.

از آنجا که رضایت مشتری از نقطه نظر زمان دریافت خدمت، به‌مرور زمان کاهش مـی‌یابـد، بـدین منظـور در ایـن پژوهش برای محاسبه میزان رضایت از تابع احتمال خرید بازار (بورتـولینی، فـاچیو، فـراری، گـامبری و پیلاتـی[1]، ۲۰۱۶) استفاده شد. پژوهش‌های متعددی از این تابع به‌منظور بررسی خاصیت فاسدشـدنی اقـلام نـه رضـایت مشـتری اسـتفاده کرده‌اند. در این میان در ادامه به برخی این کارها اشاره می‌شود.

لیانگ، ونگ، ژانگ و جیانگ[2] (۲۰۲۳) یک مسئلهٔ مسیریابی دو هدفه چند دوره‌ای را برای تحویل محصولات فاسد شدنی ارائه داده‌اند که یکی از اهداف آن حداکثر کردن رضایت مشتری بـا حداقـدل کـردن میـزان زوال در محصـولات فاسدشدنی در هنگام تحویل محصول به مشتری است. بدین منظور از تابع احتمال خرید استفاده کردند.

موسوی و بزرگی امیری[3] (۲۰۱۷) نیز یک مدل مکان‌یابی هاب و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل را بـرای محصـولات فاسدشدنی با فرض محدود بودن تعداد وسیلهٔ نقلیه ارائه دادند. مسئله مانند یک مسئله چندهدفه برنامه‌ریزی خطـی عـدد صحیح مختلط مدل‌سازی شد و در آن سه هدف هزینه‌های کل حمل‌ونقل، تازگی و کیفیت محصول در زمـان تحویـل و کل گاز دی‌اکسیدکربن منتشرشده از وسایل حمل‌ونقل جهت دستیابی به پایداری مطلوب محیط را بهینه می‌کند.

رهبری، نصیری، ورنر، موسوی و جولایی[4] (۲۰۱۹) مسئلهٔ مسیریابی وسایل نقلیه و زمان‌بندی در بارانداز عبـوری را در مورد محصولات فاسدشدنی در شرایط عدم اطمینان، بررسی کردند. مدل آن‌ها به‌گونه‌ای اسـت کـه هـم هزینـه کـل حداقل شود و به‌طور هم‌زمان تازگی محصول نیز حفظ شود. تیکنـی، سـتاک و شـاکری کبریـا (۱۳۹۹) نیـز یـک مـدل مکان‌یابی / مسیریابی برای محصولات فسادپذیر در گراف چندگانه با در نظرگرفتن آلودگی وسایل حمل‌ونقـل و اخـتلال در انبارها را مورد مطالعه قرار دادند.

کاظمی، محمدی زنجیرانی و اسماعیلیان (۱۴۰۱) نیز یک مدل دوهدفه مکان‌یابی، زمـان‌بنـدی و مسـیریابی ارائـه دادند که در تابع هدف دوم با استفاده از تابع احتمال خرید تأثیر فسادپذیری اقلام در زمان تحویل محصول بـه مشـتریان مورد مطالعه قرار گرفته است. در واقع تابع هدف دوم به‌دنبال حداکثر کردن میزان کیفیت محصول در زمـان تحویـل بـه مشتری است. در عین حال، پژوهش‌های محدودی وجود دارد که به مطالعه رضـایت مشـتری در مسـیریابی بـا بـرش و برداشت و تحویل هم‌زمان پرداخته باشند. جدول ۱ مقایسه‌ای از ویژگی‌های مهم ترین مطالعات انجام شـده را در اختیـار قرار داده است. همان گونه که در جدول ۱ قابل مشاهده است در هیچ‌کدام از این مقالات، به رضایت مشتری به مـوازات اینکه امکان برش در تقاضا و برداشت و تحویل هم‌زمان و مکان‌یابی در مدل وجود داشته باشـد، توجـه نشـده اسـت. در مطالعه حاضر از تابع رضایت مشتری استفاده شده است به گونه‌ای که رضایت بعـد از زمـان مشخصـی طبـق ایـن تـابع کاهش می‌یابد تا اینکه به صفر برسد. از این رو در این پژوهش یک مدل دو هدفه MIP ارائه شده است که تأثیر رضایت را در تابع هدف دوم نمایش می‌دهد. تابع هدف اول نیز شامل حداقل کردن هزینه‌های مکان‌یابی و مسیریابی است.

1. Bortolini, Faccio, Ferrari, Gamberi & Pilati
2. Liang, Wang, Zhang & Jiang
3. Musavi & Bozorgi-Amiri
4. Rahbari, Nasiri, Werner, Musavi & Jolai

جدول۱. مقایسه ویژگی‌های مطالعات مختلف با مطالعه حاضر

پژوهش	مکان‌یابی‌ها‌ب	مسیریابی	مسیریابی با امکان و برداشت و تحویل	مسیریابی بابرداشت و تحویل هم‌زمان	مسیریابی با امکان برش	پنجره زمانی	تابع احتمال خریدمشتری ـ فاسدشدنی	تابع احتمال خرید مشتری ـ رضایت مسافر	چند هدفه	روش حل: قطعی	روش حل: فرا ابتکاری	صنعت تاکسی‌رانی
لیانگ و همکاران (۲۰۲۳)		*				*	*		*	*	*	
موسوی و بزرگی امیری (۲۰۱۷)	*						*		*	*	*	
رهبری و همکاران (۲۰۱۹)		*					*				*	
کاظمی و همکاران (۱۴۰۱)	*	*					*		*	*		
تیکنی و همکاران (۱۳۹۹)	*	*					*		*	*		
صبوحی و بزرگی امیری (۱۳۹۸)		*				*				*		
فاضی و همکاران (۲۰۲۰)				*	*	*					*	
ژانگ و همکاران (۲۰۲۳)				*	*	*					*	
اقبالی و توکلی مقدم (۱۳۹۷)				*					*			
حسنی گودرزی و همکاران (۲۰۱۲)			*		*				*		*	
توکلی مقدم و همکاران (۲۰۰۷)			*		*				*		*	
حسنی گودرزی و همکاران (۲۰۲۰)			*		*	*			*		*	
شهابی شهمیری و همکاران (۲۰۲۱)			*		*	*				*	*	
جوانفر و همکاران (۱۳۹۵)	*		*		*					*	*	
فان (۲۰۱۱)				*		*					*	*
ستاک و همکاران (۱۳۹۳)	*			*	*					*	*	
جمالی و شایگان (۱۳۹۰)												*
تمیزی و نهاوندی (۱۴۰۲)												*
مطالعه حاضر	*			*	*	*		*	*			*

مدل مفهومی پژوهش

مطالعه حاضر به‌صورت موردی برای آژانس تاکسی تلفنی بانوان در یکی از دانشگاه‌های رفسنجان به اجرا گذاشته شده است. به‌دلیل فاصله زیاد این مجموعه دانشگاهی تا شهر رفسنجان هر روزه تعداد زیادی از دانشجویان به‌ویژه بانوان ترجیح می‌دهند با این آژانس تاکسی‌رانی از دانشگاه به داخل شهر رفسنجان مراجعه کرده و با همین آژانس نیز مجددا به دانشگاه بازگردند. از این رو در هر ساعت به‌طور هم‌زمان تقاضا برای برداشت و تحویل مسافر زیاد است. علاوه بر این، سرویس دهی به دانشجویان بایستی به گونه‌ای باشد که در کمترین زمان انتظار سوار ماشین شده (برداشت) و با کمترین زمان انتظار به مقصد برسند (تحویل). بدین منظور برای زمان‌بندی تاکسی‌ها به‌منظور کاهش زمان انتظار و افزایش رضایت مسافران از تابع احتمال خرید (رضایت مسافر) استفاده شد. استفاده از یک مدل دو هدفه مسیریابی توام با برش تقاضا در برداشت و تحویل هم‌زمان و نیز کاربرد تابع رضایت مسافر، هم در کاهش هزینه‌های آژانس و هم در افزایش رضایت دانشجویان می‌تواند راه‌گشا باشد. یکی دیگر از مسائلی که برای دانشگاه نیز مطرح است این است که آیا آژانس دیگری را به‌عنوان یک هاب تأسیس کند یا خیر؟ از این رو بحث مکان‌یابی هاب نیز مطرح است؛ پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در مدل ریاضی به شرح زیر است.

اندیس‌ها

مجموعه گره‌های مقصد	NC
مجموعه مراکز آژانس	ND
کل گره‌ها	N
اندیس گره‌ها به‌گونه‌ای که $i,j = 1 \dots N$	i,j
اندیس تعداد تاکسی‌ها به‌گونه‌ای که $v = 1 \dots V$	v

پارامترها:

میزان مسافت بین گره i تا گره j	C_{ij}
میزان تقاضای تحویل گره i	D_i
میزان تقاضای برداشت گره i	P_i
عدد بزرگ	M
ظرفیت هر تاکسی	Q
ظرفیت مرکز آژانس k ام	B_k
هزینه عملیاتی هر تاکسی	E
هزینه ثابت راه‌اندازی هر مرکز آژانس	F_k
مدت زمان انتظار مشتری جهت دریافت خدمت	WT
نقطه کاهش رضایت مسافر به‌گونه‌ای که $0 \leq SRP \leq 1$	SRP

زمان سفر از گره i تا گره j	et_{ij}
مدت زمان سرویس‌دهی هر تاکسی به گره i	t_i
ماکزیمم مدت زمانی که یک تاکسی مجاز است تا مسیری را طی کند	T

متغیرهای تصمیم:

z_{ik} در صورتی ۱ است که گره مقصد i از مرکز آژانس k سرویس بگیرد، در غیر این صورت برابر ۰ است.	z_{ik}
y_k در صورتی ۱ است که مرکز آژانس k ام باز شود	y_k
متغیر باینری در صورتی ۱ است که تاکسی p از گره i به j برود، در غیر این صورت ۰ است.	x_{ijp}
تعداد مسافر تحویلی که تاکسی p در طول مسیر گره i به j با خود حمل می‌کند.	u_{ijp}
تعداد مسافر برداشت شده که تاکسی p در طول مسیر گره i به j با خود حمل می‌کند.	v_{ijp}
درصدی از تقاضای تحویل گره مقصد i ام که توسط تاکسی p ام در طول مسیر i به j تحویل می‌شود.	r_{ijp}
درصدی از تقاضای برداشت گره مقصد i ام که توسط تاکسی p ام در طول مسیر i به j برداشت می‌شود.	w_{ijp}
احتمال رضایت مسافر i ام با تاکسی p ام	g_{ip}
زمان خروج تاکسی p از گره i ام	Dt_{ip}
زمان ورود تاکسی p به مرکز آژانس	AT_{jp}
زمان ورود تاکسی p به گره مقصد j	ATT_{jp}

مدل ریاضی پیشنهادی برای مسئله صنعت تاکسی‌رانی به شرح زیر است:

رابطهٔ ۱)
$$\text{Min} \sum_{i\in N}\sum_{j\in N}\sum_{p\in V} c_{ij}.x_{ijp} + \sum_{k\in N_D} F_k.y_k + \sum_{k\in N_D}\sum_{i\in N_C}\sum_{p\in V} E.x_{kip}$$

رابطهٔ ۲)
$$Max \sum_{i\in N}\sum_{p\in V} g_{ip}$$

Subject to:

رابطهٔ ۳)
$$\sum_{k} z_{ik} = 1 \qquad \forall_i \in N_C$$

رابطهٔ ۴)
$$\sum_{i\ in\ NC} D_i\, Z_{ik} \le B_k y_k \qquad \forall_k \in ND$$

رابطهٔ ۵)
$$\sum_{i\ in\ NC} P_i\, Z_{ik} \le B_k y_k \qquad \forall_k \in ND$$

رابطهٔ ۶)
$$\sum_{j\in N} x_{ijp} \le 1 \qquad \forall_i \in N_C, \forall p \in V$$

$$\sum_{j\in N} x_{jip} - \sum_{j\in N} x_{ijp} = 0 \qquad \forall_i \in N, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۷)

$$x_{ikp} \le z_{ik} \qquad \forall i \in N_C, \forall k \in N_D, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۸)

$$x_{kip} \le z_{ik} \qquad \forall i \in N_C, \forall k \in N_D, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۹)

$$x_{ijp} + z_{ik} + \sum_{r\in N_D, r\neq k} z_{jr} \le 2 \qquad \forall i,j \in N_C, i \neq j, \forall k \in N_D, \forall P \in V$$ رابطهٔ ۱۰)

$$\sum_{l\in N} u_{lip} - \sum_{j\in N} u_{ijp} = \sum_{j\in N} r_{jip} D_i \qquad \forall i \in N_C, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۱۱)

$$\sum_{j\in N} v_{ijp} - \sum_{j\in N} v_{jip} = \sum_{j\in N} w_{jip} P_i \qquad \forall i \in N_C, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۱۲)

$$\sum_{j\in N_C} \sum_{p\in V} u_{kjp} = \sum_{j\in N_C} z_{jk} D_j \qquad \forall k \in N_D$$ رابطهٔ ۱۳)

$$\sum_{j\in N_C} \sum_{p\in V} v_{jkp} = \sum_{j\in N_C} z_{jk} P_j \qquad \forall k \in N_D$$ رابطهٔ ۱۴)

$$\sum_{j\in N_C} \sum_{p\in V} u_{jkp} = 0 \qquad \forall k \in N_D$$ رابطهٔ ۱۵)

$$\sum_{j\in N_C} \sum_{p\in V} v_{kjp} = 0 \qquad \forall k \in N_D$$ رابطهٔ ۱۶)

$$\sum_{i\in N} r_{ijp} D_j \le Q \qquad \forall j \in N_C, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۱۷)

$$\sum_{i\in N} w_{ijp} P_j \le Q \qquad \forall j \in N_C, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۱۸)

$$\sum_{i\in N, i\neq j} \sum_{p\in V} r_{ijp} = 1 \qquad \forall j \in N_C$$ رابطهٔ ۱۹)

$$\sum_{i\in N, i\neq j} \sum_{p\in V} w_{ijp} = 1 \qquad \forall j \in N_C$$ رابطهٔ ۲۰)

$$r_{ijp} \le x_{ijp} \qquad \forall j \in N_C, \forall i \in N, i \neq j, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۲۱)

$$w_{ijp} \le x_{ijp} \qquad \forall j \in N_C, \forall i \in N, i \neq j, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۲۲)

$$r_{ijp} D_j \le u_{ijp} \qquad \forall j \in N_C, \forall i \in N, i \neq j, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۲۳)

$$u_{ijp} \le Qx_{ijp} - \sum_{r\in N} r_{rip}D_i + M(1-x_{ijp}) \qquad \forall j \in N, \forall i \in N_C, i \ne j, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۲۴)

$$u_{ijp} \le Qx_{ijp} \qquad \forall j \in N, \forall i \in N_C, i \ne j, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۲۵)

$$\sum_{r\in N} w_{rip}P_i - M(1-x_{ijp}) \le v_{ijp} \qquad \forall j \in N, \forall i \in N_C, i \ne j, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۲۶)

$$v_{ijp} \le Qx_{ijp} - w_{ijp}P_j \qquad \forall j \in N, \forall i \in N_C, i \ne j, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۲۷)

$$v_{ijp} \ge Qx_{ijp} - Q \qquad \forall j \in N, \forall i \in N_C, i \ne j, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۲۸)

$$u_{ijp} + v_{ijp} \le Qx_{ijp} \qquad \forall j \in N, \forall i \in N, i \ne j, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۲۹)

$$r_{ikp} = 0 \qquad \forall i \in N_C, \forall k \in N_D, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۳۰)

$$w_{ikp} = 0 \qquad \forall i \in N_C, \forall k \in N_D, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۳۱)

$$\sum_{i\in N_C} x_{kip} \le 1 \qquad \forall k \in N_D, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۳۲)

$$\sum_{i\in N}\sum_{j\in N} t_i x_{ijp} + \sum_{i\in N}\sum_{j\in N} et_{ij}x_{ijp} \le T \qquad \forall p \in V$$ رابطهٔ ۳۳)

$$DT_{jp} = (et_{ij} + DT_{ip} + t_j)x_{ijp} \qquad \forall j \in N_c, \forall i \in N, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۳۴)

$$ATT_{jp} = (DT_{jp} - t_j)x_{ijp} \qquad \forall j \in N_c, \forall i \in N, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۳۵)

$$AT_{jp} = (et_{ij} + DT_{ip})x_{ijp} \qquad \forall j \in N_D, \forall i \in N_C, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۳۶)

$$g_{ip} = min\left\{\frac{1-ATT_{ip}}{1-QRP}, 1\right\} \qquad \forall i \in N, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۳۷)

$$x_{ijp} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j \in N, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۳۸)

$$z_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in N_C, \forall k \in N_D$$ رابطهٔ ۳۹)

در مدل فوق، تابع هدف اول (رابطهٔ ۱) به‌دنبال حداقل سازی هزینه مسیرهای طی شده، هزینهٔ ثابت راه‌اندازی مراکز آژانس و هزینه عملیاتی تاکسی‌های مورد استفاده است

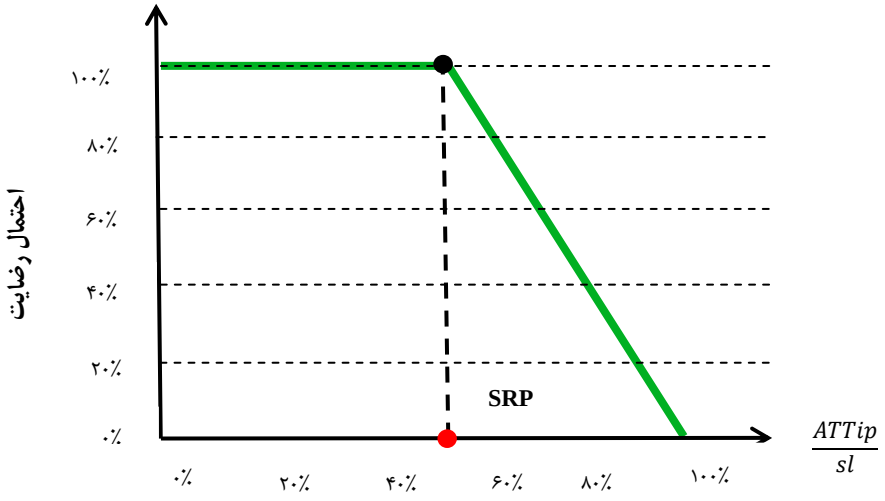
تابع هدف دوم (رابطهٔ ۲) به‌دنبال حداکثرسازی کل احتمال رضایت برای همهٔ مسافران است. همان‌طور که بورتولینی و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند، یکی از روش‌های کارا برای نشان دادن فسادپذیری محصولات این است که از تابع احتمال خرید بازار و افراد (g_i) برای هر بازار استفاده شود. در اینجا از این تابع برای احتمال رضایت مسافران استفاده

شده است. از این رو می‌توان عنوان «احتمال رضایت مسافران» را به‌جای «احتمال خرید» جایگزین کرد. از آنجا که این امکان وجود دارد تا تقاضای هر گره مقصد توسط بیش از یک تاکسی پوشش داده شود، باید تابع احتمال رضایت مسافران در هر گره را به ازای هر تاکسی (g_{ip}) محاسبه کرد (کاظمی و همکاران، ۱۴۰۱). این تابع در محدودیت ۳۷ نمایش داده شده است.

طبق این تابع، رضایت مسافران در طول زمان را می‌توان مانند تابعی پیوسته و کاهشی همانند شکل ۱ در نظر گرفت. زمانی که نرخ $\frac{ATT_{ip}}{sl}$ بر SRP به‌دست می‌آید، خط کاهش رضایت رابطهٔ ۳۷ را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است این معادله غیرخطی است. می‌توان با استفاده از رابطه‌های ۴۰ و ۴۱ این تابع را خطی‌سازی کرد.

$$g_{ip} \leq \frac{1-\frac{ATT_{ip}}{sl}}{1-QRP} \quad \forall i \in N, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۴۰)

$$g_{ip} <= 1 \quad \forall i \in N, \forall p \in V$$ رابطهٔ ۴۱)



شکل ۱. تابع احتمال رضایت مسافران

رابطهٔ ۳ نشان می‌دهد که هر گره مقصد باید تنها به یک مرکز آژانس تخصیص داده شود.

رابطه‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب بیان می‌کنند که تعداد مسافر تحویلی و تعداد مسافر برداشتی نباید از ظرفیت مرکز آژانس تجاوز کند.

رابطهٔ ۶ بیان می‌کند که هر تاکسی از یک گره مقصد، فقط به یک گره دیگر می‌تواند برود.

رابطهٔ ۷ نشان‌دهندهٔ حرکت متوالی تاکسی‌هاست.

رابطهٔ ۸ بیان می‌کند که ایجاد مسیر از یک مرکز آژانس به یک گرهٔ مقصد زمانی می‌تواند رخ دهد که گرهٔ مقصد مدنظر به آن مرکز آژانس اختصاص یافته باشد.

رابطهٔ ۹ نیز بیان می‌کند که ایجاد مسیر از یک گره مقصد به یک مرکز آژانس زمانی می‌تواند صورت بگیرد که گره مورد اشاره به آن مرکز اختصاص یافته باشد.

رابطهٔ ۱۰ از ایجاد مسیرهای غیرمجاز جلوگیری می‌کند.

رابطه‌های ۱۱ تا ۱۶ محدودیت‌های مربوط به جریان در شبکه هستند.

رابطهٔ ۱۷ تضمین می‌کند مجموع مسافری که توسط یک تاکسی تحویل داده می‌شود، نباید از حداکثر ظرفیت تاکسی تجاوز کند.

رابطهٔ ۱۸ تضمین می‌کند مجموع مسافرانی که توسط یک تاکسی برداشت می‌شود، نباید از ظرفیت تاکسی موردنظر تجاوز کند.

رابطه‌های ۱۹ و ۲۰ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ یک بودن مجموع درصد پوشش تقاضای تحویل و برداشت هستند.

رابطه‌های ۲۱ و ۲۲ تضمین می‌کنند که برش در تقاضای تحویل و تقاضای برداشت یک گره مقصد تنها زمانی میسر است که مسیری برای آن گره ایجاد شده باشد.

رابطه‌های ۲۳ تا ۲۸ حدود بالا و پایین متغیرهای u_{ijp} و v_{ijp} را نشان می‌دهند.

رابطهٔ ۲۹ بیان می‌کند که مجموع مسافر تحویلی و مسافر برداشتی در طول یک یال که در حال طی شدن می‌باشد، نباید از ظرفیت تاکسی تجاوز کند.

رابطه‌های ۳۰ و ۳۱ نشان می‌دهد که درصد پوشش تقاضا در هر مرکز آژانس صفر است، در صورتی که در مراکز آژانس تقاضای تحویل یا برداشت، وجود نداشته باشد.

رابطهٔ ۳۲ تضمین می‌کند که هر تاکسی که از یک مرکز آژانس خارج می‌شود؛ تنها اجازه ورود به یکی از گره‌های مقصد را دارد، به عبارت دیگر نمی‌تواند به‌طور هم‌زمان به بیش از یک مقصد خدمت‌رسانی کند.

در رابطهٔ ۳۳ جمع کل مدت زمان خدمت‌دهی و زمان لازم برای حرکت بین دو گره باید کمتر از زمان برنامه‌ریزی شده باشد.

رابطهٔ ۳۴ زمان خروج هر تاکسی را از هر گره نشان می‌دهد. این زمان از مجموع زمان رسیدن هر تاکسی به آن گره، زمان خدمت‌دهی و زمان لازم برای حرکت بین دو گره به‌دست می‌آید.

رابطهٔ ۳۵ زمان ورود هر تاکسی به گره مقصد را نشان می‌دهد.

رابطهٔ ۳۶ زمان ورود هر تاکسی به هر آژانس را نشان می‌دهد.

رابطهٔ ۳۷ تابع احتمال رضایت مسافران را نشان می‌دهد.

و در نهایت رابطه‌های ۳۸ ۳۹ متغیرهای باینری مسئله را معرفی می‌کنند.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نقطه نظر هدف در زمره پژوهش‌های توسعه‌ای و از نقطه نظر نحوه گردآوری داده‌ها در زمره پژوهش‌های توصیفی قرار میگیرد (سرمد، بازرگان و حجازی ۱۳۸۳). در یک دسته‌بندی دیگر انواع روش‌های پژوهش عملیاتی یا علم مدیریت بر اساس مقاصد و اهدافی که هر یک از روش‌ها دنبال می‌کنند به دو دستهٔ کلی روش‌های نرم و سخت دسته‌بندی می‌شوند. روش‌های نرم برای حل آن دسته از مسائلی استفاده می‌شوند که ساختار نیافته‌اند یا

اندازه‌گیری پارامترهای آن مشکل است. روش‌های سخت جهان را تعریف شده، قابل اندازه‌گیری و اثبات‌گرا فرض می‌کنند و به‌دنبال شناخت بیشتر از واقعیت هستند. با توجه به مسئله تشریح شده و برای پاسخ به سؤال اصلی پژوهش، این پژوهش برای حل مسئله از روش‌های بهینه‌سازی که در طبقه روش‌های‌های سخت قرار می‌گیرد استفاده می‌کند (ویلیامز[1]، ۱۳۹۴). مدل ریاضی پیشنهادی پژوهش در قالب یک مثال موردی آژانس تلفنی بانوان در یکی از دانشگاه‌های رفسنجان پیاده‌سازی شد. داده‌های مسئله برای یکی از ساعات کاری این آژانس به شرح ذیل مدل‌سازی شد. درون دانشگاه، دو آژانس بانوان فعالیت دارد. یکی از این شرکت‌ها اخیراً به مجموعه اضافه شده است؛ از این رو دو مرکز آژانس کاندید ND={۷,۸} با هزینه‌های ثابت (F=۱۰۰,۵۰۰) و ظرفیت‌های متفاوت (W=۵۰,۲۰) وجود دارد. دانشجویان، متقاضی سفر به نقاط مختلف شهری هستند؛ از این رو گره‌های مقصد شامل {۱, ۲, ۳, ۴, ۵, ۶} NC= می‌شوند. برخی از دانشجویان می‌خواهند از دانشگاه به نقاط مختلف شهری بروند و برخی هم می‌خواهند فقط با آژانس بانوان دانشگاه از داخل شهر به دانشگاه برگردند. از این رو تقاضا برای تحویل مسافر ازدانشگاه به تعداد نفر (D=۱, ۱, ۱, ۲, ۱, ۵) و تقاضای برداشت مسافر از داخل شهر به تعداد نفر p=(۰,۲,۱,۱,۰,۱) است.

تعداد تاکسی موجود در هر شرکت ۸ عدد با ظرفیت ۴ نفر Q=۴ است. متوسط هزینه عملیاتی هر وسیلهٔ نقلیه در هر سفر E=۲۰ واحد پولی است. پارامترهای مسئلهٔ زمان‌بندی به‌منظور تأمین رضایت مسافر در زمان تحویل و برداشت مسافر عبارت‌اند از: مدت زمان انتظار مشتری برای دریافت خدمت (حداکثر زمانی که مشتری انتظار دارد به مقصد برسد (تحویل) یا اینکه سوار ماشین شود (برداشت) ۴۰ دقیقه WT=۴۰ است. نقطه کاهش کیفیت یا کاهش رضایت SRP=۰/۵ (بعد از گذشت ۲۰ دقیقه رضایت مشتری طبق تابع احتمال خرید کاهش می‌یابد)، کل زمان در دسترس T=۶۰ (حداکثر زمانی که یک راننده می‌تواند در هر سفر طی کند ۱ ساعت است) و مدت زمان سرویس‌دهی به هر مسافر در هر گره به‌صورت (t=۱۱,۱۰,۱۰,۱۰,۱۰,۱۰) است. ماتریس زمان سفر بین گره‌ها et_{ij} برابر با ماتریس مسافت C_{ij} در نظر گرفته شده که اطلاعات آن در جدول ۲ در اختیار قرار گرفته است. به‌طور کلی، هدف ایجاد شبکه‌ای بهینه برای زنجیرهٔ تأمین است به‌طوری که هزینه ثابت و نیز هزینه‌های متغیر حمل‌ونقل، کمینه و میزان رضایت مسافر یا همان نرخ پاسخ‌گویی حداکثر شود.

جدول ۲. ماتریس مسافت (کیلومتر) و ماتریس زمان بین گره‌ها (دقیقه)

گره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸
۱	۰	۱۱	۵	۱۷	۱۵	۱۳	۷	۱۰
۲	۱۱	۰	۱۲	۳	۸	۱۱	۱۳	۱۵
۳	۵	۱۲	۰	۱۲	۵	۱۴	۱۵	۱۷
۴	۱۷	۳	۱۲	۰	۱۱	۵	۱۶	۱۳
۵	۱۵	۸	۵	۱۱	۰	۱۰	۱۲	۱۳
۶	۱۳	۱۱	۱۴	۵	۱۰	۰	۹	۸
۷	۷	۱۳	۱۵	۱۶	۱۲	۹	۰	۱۷
۸	۱۴	۱۵	۱۷	۱۳	۱۳	۸	۱۷	۰

1. Williams

مسئله مکان‌یابی و زمان‌بندی مسیریابی چندهدفه در این پژوهش، یک مسئله NP-hard و چالشی است که نیاز به یک روش حل مؤثر جهت دستیابی به مرز پارتوی مناسب دارد. طبقه‌بندی‌های مختلفی برای انواع روش‌های حل مسائل چندهدفه برنامه‌ریزی ریاضی وجود دارد. آنچه مشخص است، بیشترین طبقه‌بندی پذیرفته شده، روش‌های ترجیحی، تعاملی و ترجیحی پسین هستند. روش ترجیحی پسین با ترسیم مرز پارتو، تصویر جامع‌تری را دراختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد و باعث می‌شود تصمیم‌گیرنده قبل از انتخاب نهایی نسبت به تصمیم خود اطمینان بیشتری داشته باشد. از انواع روش‌های ترجیحی پسین، می‌توان به روش اپسیلون محدودیت اشاره کرد. روش اپسیلون محدودیت در مقایسه با روش وزنی از سه منظر دارای مزیت نسبی است: ۱. محاسبه دامنهٔ توابع اهداف؛ ۲. تضمین کارایی جواب‌های بهینه؛ ۳. افزایش زمان حل مسئله برای مسائل چند هدفه (بیش از دو هدف) (ماورتاس[1]، ۲۰۰۹). روش اپسیلون ـ محدودیت یک رویکرد جواب قطعی است که مرز پارتو بهینه را به‌دست می‌آورد و بسیاری از پژوهشگران هم از این روش برای تصمیم‌گیری در مدل‌های چندهدفه استفاده می‌کنند. ماوروتاس (۲۰۰۹) یک ورژن تکمیلی از روش اپسیلون ـ محدودیت ارائه داد که به‌عنوان روش AUGMECON نام گرفت. در این ورژن تکمیلی از تولید جواب‌های بهینه پارتو ضعیف جلوگیری می‌شود و کل فرایند حل به‌دلیل اجتناب از تکرارهای اضافی تسریع می‌شود. از این رو به‌منظور حل مسئله پژوهش از روش AUGMECON استفاده شد. در ادامه به تفصیل مراحل روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته بیان می‌شود:

۱. یکی از توابع هدف به‌عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود.
۲. هر بار با در نظر گرفتن یکی از توابع هدف، مسئله حل می‌شود و بهترین مقدار آن به‌دست می‌آید.
۳. با استفاده از روش لکسیکوگرافیکی، بدترین مقدار هر تابع هدف محاسبه می‌شود. بدین صورت که بهینه‌سازی توابع هدف فرعی با در نظر گرفتن محدودیتی که تابع هدف اصلی در بهترین مقدار خود باقی بماند، انجام شده و بدترین مقدار هر تابع هدف در کنار بهترین مقدار آن (طبق رابطهٔ ۴۲) تعیین می‌شود و بازه بهترین و بدترین هر تابع هدف فرعی طبق رابطهٔ ۴۳ مشخص می‌شود.

$$[f_i^{max}, f_i^{min}] \quad \text{رابطهٔ ۴۲)}$$

$$r_i = f_i^{max} - f_i^{min} \quad \text{رابطهٔ ۴۳)}$$

بازه بین دو مقدار بهینه توابع فرعی، به تعداد از قبل مشخص شده‌ای (q_i) تقسیم شده و بر اساس رابطهٔ ۴۴، مقادیر مختلف برای پارامتر اپسیلون به‌دست می‌آید.

$$e_i^k = f_i^{max} - \frac{r_i}{q_i} * k \quad \text{رابطهٔ ۴۴)}$$

هر بار با در نظر گرفتن هر یک از مقادیر پارامتر اپسیلون، مسئله با تابع هدف اصلی حل می‌شود؛ بدین صورت که محدودیت‌های مربوط به توابع هدف فرعی با استفاده از متغیرهای کمبود یا اضافی به‌صورت محدودیت‌های مساوی تبدیل شده و با در نظر گرفتن ضریب دلتا (δ) بین 10^{-3} تا 10^{-6} برای این متغیرهای مازاد یا کمبود، مسئله حل شده و جواب‌های کارا تولید می‌شود. رابطهٔ ۴۵ روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته را نشان می‌دهد.

1. Mavrotas

رابطهٔ ۴۵)

$$min f_1(x) - \delta * (s_1 + \cdots + s_p)$$
$$f_2(x) = e_2 + s_2$$
$$f_3(x) = e_3 + s_3$$
$$f_p(x) = e_p + s_p$$

با توجه به زمان اجرای زیاد روش‌های حل دقیق در ابعاد بزرگ مسئله، ارائه الگوریتمی کارا جهت بهینه‌سازی مدل ضروری می‌باشد. یکی از الگوریتم‌های کارا که در پژوهش‌های متعدد به‌منظور کاهش زمان حل مسائل در ابعاد بزرگ استفاده شده، الگوریتم ابتکاری افق غلطان است. رویکرد افق غلطان زیرمجموعه‌ای از متغیرهای عدد صحیح مسئله را انتخاب می‌کند و شرط گسسته بودن را برای متغیرهای عدد صحیح باقیمانده کاهش میدهد. مدل تحت شرایط آزادسازی برخی متغیرها حل خواهد شد و متغیرهای عدد صحیح در مدل را به مقادیر جواب به‌دست آمده ثابت می‌کند. سپس تعدادی از متغیرهای عدد صحیح دیگر به‌صورت پیوسته درنظر گرفته می‌شوند و این فرآیند تا زمانی‌که مسئله حل شود یا غیرممکن تشخیص داده شود تکرار می‌شود (صاعدی و کیانفر، ۱۴۰۱).

در بسیاری از مسائل مانند مسائل برنامه‌ریزی تولید، معمولاً هنگامی که اطلاعات قابل اطمینانی در رابطه با پارامترهای دوره‌های بعد موجود نباشد، از رویکرد افق غلطان استفاده می‌شود. در این حالت تصمیم‌گیری برای دوره اولیه انجام شده و با گذشت هر دوره، با استفاده از اطلاعات به هنگام شده، مدل مجدداً اجرا خواهد شد. در این روش تکراری که متشکل از T گام است، افق برنامه‌ریزی به سه قسمت مجزا تقسیم می‌شود (محمدی، فاطمی قمی، کریمی و ترابی[1]، ۲۰۱۰). این سه بخش برای گام k به‌صورت زیر است:

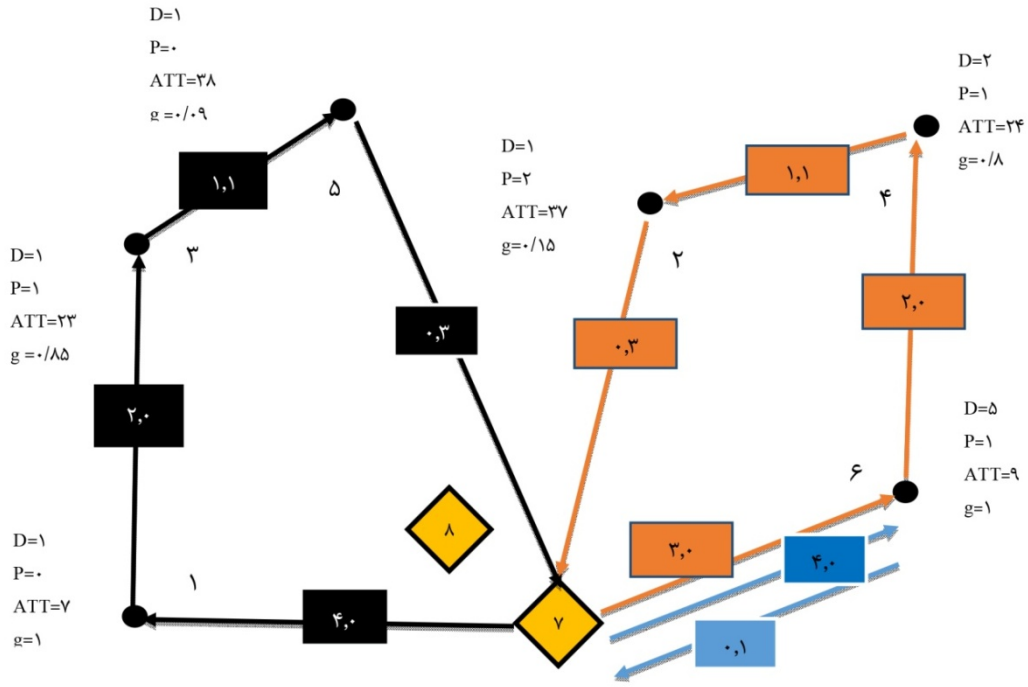
- بخش اول از k-1 دوره اولیه تشکیل می‌شود. در این بخش کلیه تصمیمات یا بخشی از آن بر اساس جواب تکراری قبلی تعیین شده و بر اساس یک استراتژی تثبیت، مقدار می‌گیرند.
- بخش دوم که بخش مرکزی نامیده می‌شود، شامل دوره k است که در آن مسئله به‌طور کامل در نظر گرفته می‌شود.
- بخش سوم یا پایانی، دوره‌های پایانی از دوره k+۱ تا دوره T را دربرمی‌گیرد. در این قسمت مدل بر اساس یک استراتژی ساده‌سازی، ساده می‌شود.

در انتهای گام k هر یک از سه بخش ذکر شده یک دوره جلو رفته و گام k+۱ اجرا می‌شود. هنگامی که دیگر بخش پایانی وجود نداشته باشد الگوریتم پایان می‌یابد. جواب حاصل در گام آخر، معرف کلیه متغیرهای مسئله در افق برنامه‌ریزی است.

یافته‌های پژوهش

مدل مسئله با پارامترهای مشخص در نرم‌افزار سیپلکس نسخه ۱۲.۱ با استفاده از روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته با اولویت تابع هدف اول که کم کردن هزینه‌ها است حل شد. جواب مدل برای مسئله به شرح شکل ۱ است.

1. Mohammadi, Fatemi Ghomi, Karimi & Torabi



شکل۲. مسیرهای حاصل از جواب بهینه مثال نمونه

همان گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد، از دو هاب ۷ و ۸ که کاندید افتتاح بودند، هاب ۷ یا همان مرکز آژانس ۷ باز شده است. تقاضای تحویل و برداشت مسافر با ۳ تاکسی نارنجی ، مشکی و آبی پوشش داده شده است. مقدار تابع هدف اول (z1) برابر ۲۳۷ به‌دست آمده است. اعداد روی مسیرها به‌ترتیب مقدار تحویل (D)، برداشت مسافر (P)، زمان ورود به گره (ATT) و میزان رضایت مسافر (g) هستند. طبق شکل ۲، تقاضای تحویل گره ۶ با دو تاکسی مشکی و آبی مرتفع شده است. به‌عبارتی با امکان برش در تقاضا، مسئله به دنیای واقع نزدیک‌تر می‌شود. ۵ دانشجو تقاضا دارند از دانشگاه به گره ۶ روند و این تعداد از ظرفیت یک ماشین که ۴ نفر است بیشتر است؛ از این رو به‌دلیل امکان برش در تقاضا، تقاضای تحویل گره ۶ با دو تاکسی نارنجی و آبی پوشش داده می‌شود. متغیر r نشان می‌دهد که ۸۰ درصد تقاضای گره ۶ با تاکسی آبی و ۲۰ درصد آن با تاکسی نارنجی تأمین شده است. بدین صورت که ۴ نفر از دانشگاه با تاکسی آبی به گره ۶ می‌روند و در برگشت نیز ۱ نفر سوار شده و به دانشگاه برمی‌گردد. در ادامه همان‌گونه که مسیر تاکسی نارنجی نشان می‌دهد، این تاکسی ابتدا از مرکز آژانس ۷ به گره ۶ بعد به‌ترتیب به گره‌های ۴ و ۲ رفته و سپس به مرکز آژانس ۷ باز گشته است. عبارت (۳،۰) روی مسیر نشان می‌دهد که ۳ مسافر از این هاب می‌خواهند به مقصدهای مختلف بروند و به‌طبع مقدار برگشت به این هاب در حال حاضر صفر است. در گره ۶، ۱ نفر پیاده و تاکسی با ۲ نفر به گره ۴ می‌رود. در گره۴، ۲ نفر پیاده و ۱ نفر سوار می‌شود. عبارت (۱،۱) نشان می‌دهد از این۳ نفر، هنوز ۱ نفر داخل ماشین هستند و ۱ نفر دیگر هم سوار شده که قصد برگشت به دانشگاه را دارد. در گره ۲ ، ۱ نفر دیگر نیز پیاده شده و ۲ نفر دیگر سوار می‌شوند از این رو طبق عبارت (۰،۳) ۳ نفر به مرکز آژانس ۷ باز می‌گردند. در ادامه به‌منظور دستیابی به مرز پارتو، مقادیر پرداخت برای مثال موردنظر به‌دست آمد که درجدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول۳. مقادیر پرداخت حاصل از حل مدل

	هزینه (Z1)	پاسخ‌گویی (Z2)
هزینه (Z1)	۲۳۷	۶۱/۹
پاسخ‌گویی (Z2)	۴۰۲	۶۴

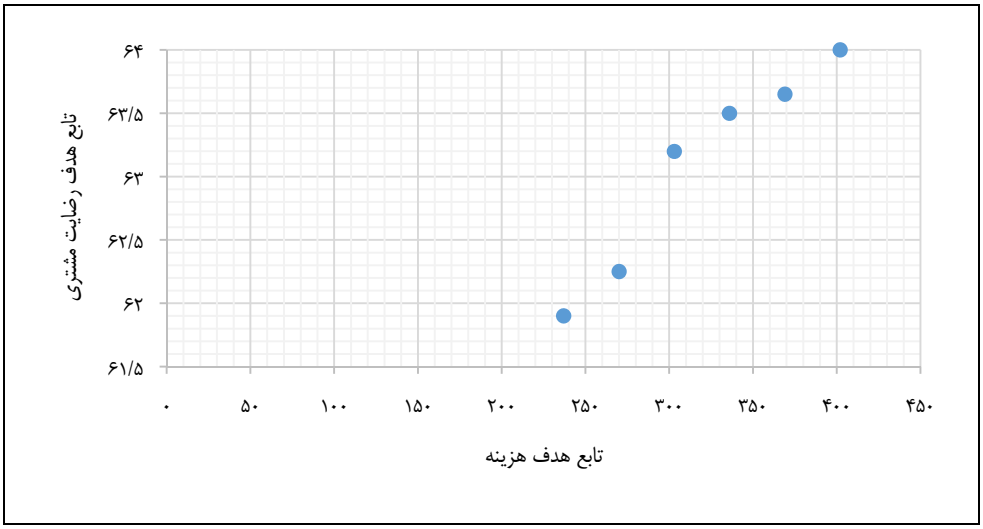
مقدار تابع هدف Z۲ با ثابت نگه داشتن Z۱ برابر با ۶۱/۹ است. پارامتر WT=۴۰ دقیقه، نشان دهنده حداکثر زمان انتظار مشتری است. SRP=۰/۵ نشان می‌دهد رضایت مشتری بعد از گذشت ۲۰ دقیقه با نرخی ثابت کاهش می‌یابد. در مسیر تاکسی نارنجی زمان ورود به گره ۶ در دقیقه ۹ و رضایت ۱۰۰ درصد است. در دقیقه ۲۴ تاکسی وارد گره ۴ شده و رضایت مشتری به ۸۰ درصد رسیده است. زمان ورود به گره ۲ در دقیقه ۳۷ است که رضایت مشتری در اینجا تا ۱۵ درصد کاهش یافته است. چنانچه این شرکت تاکسی‌رانی، هدف دوم را در اولویت قرار دهد، Z۲ برابر ۶۴ است و باید به هر گره یک ماشین و به گره ۶ دو ماشین ارسال کند که در مجموع باید ۷ ماشین از مرکز آژانس حرکت کنند. به‌طبع مقدار تابع هدف Z۱ افزایش یافته و به ۴۰۲ می‌رسد.

حسب شرایط رقابتی، برای برقراری توازن بین مقادیر اهداف متضاد هزینه و رضایت، مقادیر پارتو طبق جدول ۴ محاسبه شد و تصمیم‌گیران می‌توانند بأقتضای شرایط، از یکی از جواب‌های پارتو استفاده کنند. با استفاده از مقادیر پرداخت در جدول ۳ مقادیر پارتو طبق جدول ۴ حاصل شد.

جدول ٤. مقادیر پارتو حاصل از حل مدل

پارتو	۱	۲	۳	٤	٥	٦
z1	۲۳۷	۲۷۰	۳۰۳	۳۳۶	۳۶۹	۴۰۲
z2	۶۱/۹	۶۲/۲۵	۶۳/۲	۶۳/۵	۶۳/۶۵	۶۴

با استفاده از مقادیر پارتو طبق داده‌های جدول ۴، مرز پارتوی مسئله نیز در شکل ۳ ترسیم شد.



شکل۳. مرز پارتو مثال نمونه

شکل ۳ مرز پارتو به‌دست آمده از روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته را برای مسئله موردنظر نشان می‌دهد. این شکل تعارض میان دو تابع هدف هزینه و کیفیت محصول را به خوبی نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، از آنجایی که تابع هدف هزینه از نوع کمینه سازی و تابع هدف رضایت مسافر از نوع بیشینه سازی است، شیب مثبت نمودار حاکی از وجود تعارض و فضای پارتویی قوی میان این دو تابع هدف است.

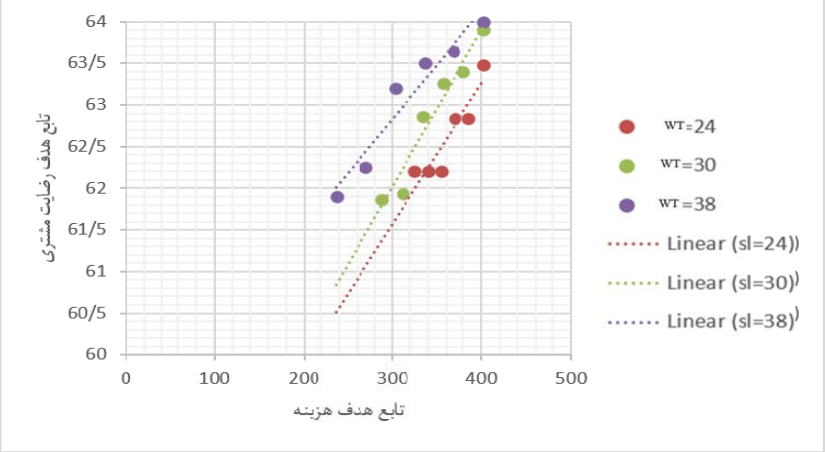
در مدل پیشنهادی، پارامترهای مهم و مختلفی برای تحلیل حساسیت وجود دارند. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد با تغییر پارامترها، رفتار توابع هدف نسبت به حالت بدون تغییر، چگونه خواهد بود. تحلیل حساسیت پارامترها اهمیت جدی برای تصمیم‌گیران دارد؛ چرا که می‌تواند بأزای شرایط مختلف، بهترین جواب را برای مسائل پیدا کنند. یکی از این پارامترهای مهم مسئله ظرفیت وسایل حمل‌ونقل (Q) است. از آنجا که ظرفیت هر تاکسی ۴ نفر است و تغییر نمی‌کند، تحلیل حساسیت آن نیز معنادار نیست. سه پارامتر مهم مربوط به زمان‌بندی وجود دارد این پارامترها عبارت‌اند از مدت زمان انتظار مسافر برای دریافت خدمت(WT) و نقطه کاهش رضایت مسافر(SRP) و حداکثر زمان در دسترس برای هر تاکسی (T). در ادامه به‌ترتیب تحلیل حساسیت این پارامترها انجام می‌گیرد.

پارامتر WT (مدت زمان انتظار مسافر برای دریافت خدمت (تحویل و برداشت)) گویای این مطلب است که اگر مدت زمان انتظار بیشتر از این مقدار شود رضایت مسافر به صفر می‌رسد و مسئله غیر موجه می‌شود. مسئله با روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته در نرم‌افزار سیپلکس حل شد و مقادیر پارتو برای مقادیر مختلف WT به‌دست آمد. جدول ۵ و شکل ۴ تغییرات مرز پارتوی بهینه‌سازی دوهدفه را برای مقادیر مختلف WT نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقادیر پارتو مربوط به تحلیل حساسیت پارامتر دوره عمر محصول (WT)

	پارتو	۱	۲	۳	٤	٥	٦
WT =۲۴	z۱	۳۲۵	۳۴۰	۳۵۵	۳۷۰	۳۸۵	۴۰۲
	z۲	۶۲/۲	۶۲/۲	۶۲/۲	۶۲/۸۴	۶۲/۸۴	۶۳/۴۸
WT =۳۰	z۱	۲۸۸	۳۱۱	۳۳۴	۳۵۷	۳۸۰	۴۰۲
	z۲	۶۱/۸۶	۶۱/۹۳	۶۲/۸۶	۶۳/۲۶	۶۳/۴	۶۳/۹۳
WT =۴۰	z۱	۲۳۷	۲۷۰	۳۰۳	۳۳۶	۳۶۹	۴۰۲
	z۲	۶۱/۹	۶۲/۲۵	۶۳/۲	۶۳/۵	۶۳/۶۵	۶۴

در مسئلهٔ طرح شده، دورهٔ رضایت مشتری برابر WT = ۴۰ است. طبق جواب به‌دست آمده حد پایین WT = ۱۶ و حد بالای آن WT = ۷۶ است. از آنجایی که مطابق شکل ۱ حداکثر زمان ورود به گره ۵ در زمان ۳۸ دقیقه است، زمانی که WT بیشتر از ۳۸ قرار می‌گیرد، مسیر ترسیم شده در شکل ۱ نیز تغییری نمی‌کند؛ اما مقادیر z۲ تغییر می‌یابد. آنچه مسلم است، توابع هدف با تغییر مقادیر WT بین ۱۶ تا ۳۸ حساسیت بیشتری را از خود نمایان می‌سازد. از این رو پارامتر WT برای زمان‌های ۲۴، ۳۰ و ۴۰ تحلیل حساسیت شد. چنانچه مشتری بخواهد حداکثر تا زمان ۲۴ دقیقه، ۳۰ دقیقه و۴۰ دقیقه خدمت دریافت کند، رفتار مدل به‌صورت شکل ۴ است.



شکل ٤. تحلیل حساسیت پارامتر مدت زمان انتظار مشتری برای دریافت خدمت (WT)

همان طور که در شکل ۴ مشخص است، هنگامی که مقدار WT زیاد می‌شود، مدل سعی می‌کند با تعداد کمتری از وسیلهٔ نقلیه و در مسیری طولانی‌تر، تقاضا را پوشش دهد. در اینجا چون بازهٔ تحمل انتظار برای مشتری زیاد است، سطح رضایت هم زیاد است.

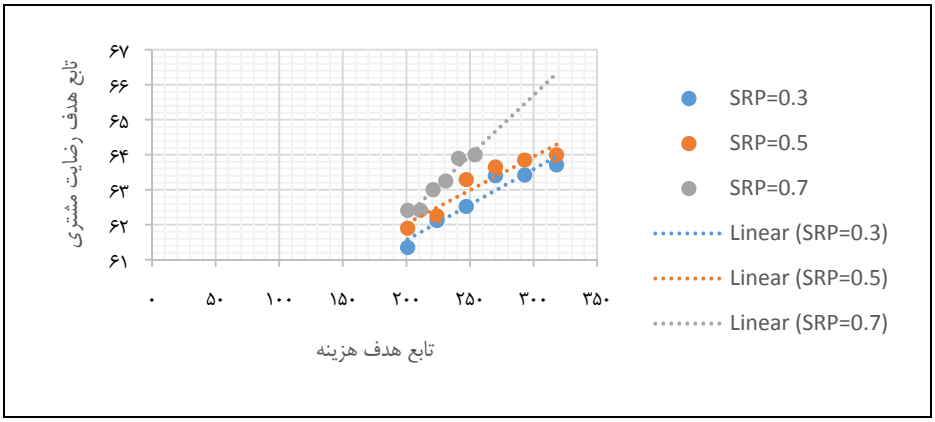
اما در دنیای پرشتاب امروزی، این مسئله زمانی که مدت زمان انتظار مشتریان برای دریافت خدمت پایین می‌آید، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و مقدار تابع هدف Z۲ نیز کاهش چشمگیرتری را شاهد خواهد بود. در این حالت، هم سرعت پاسخ‌گویی و هم هزینه اهمیت زیادی دارد. با پایین آمدن WT خط پارتو نیز عریض‌تر شده است. به‌طور معمول و در سرویس دهی آژانس دانشگاه، بلافاصله بعد از هر تماس تلفنی برای هر مشتری یک تاکسی مجزا فرستاده می‌شود. این امر باعث می‌شود تعداد زیادی از ماشین‌ها مشغول سرویس دهی شوند و هزینه‌های آژانس افزایش یابد. اگرچه رضایت نسبی برای مسافران در حال دریافت سرویس حاصل می‌شود اما به‌دلیل مشغول بودن تمام ماشین‌ها ممکن است تقاضای برخی از گره‌ها پوشش داده نشود که خود نارضایتی و کاهش اعتبار را به‌دنبال خواهد داشت.

در ادامه تحلیل حساسیت نقطه کاهش رضایت (SRP) با روش اپسیلون محدودیت مورد بررسی قرار می‌گیرد. مرز پارتو بهینه‌سازی دوهدفه برای مقادیر مختلف نقطه کاهش کیفیت در شکل ۵ نمایش داده شده است.

در بخش‌های قبلی تابع رضایت مشتری تعریف شد. نقطه کاهش رضایت (SRP) مشخص می‌کند از چه زمانی نارضایتی مشتری شروع می‌شود. به‌عنوان مثال اگر WT=۴۰ دقیقه باشد و SRP= ۰/۵ باشد، بدین معناست که اگر زمان دریافت خدمت بعد از دقیقه ۲۰ باشد نارضایتی مشتری طبق تابع کاهشی gip آغاز می‌شود. از این رو قدرت پاسخ‌گویی آژانس نیز کاهش می‌یابد.

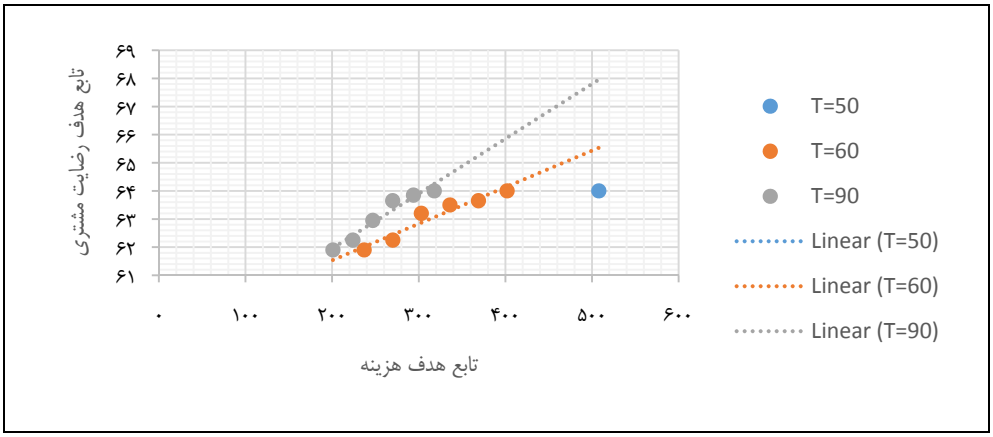
طبق شکل ۵ مشخص است هرچه SRP کمتر و نزدیک به صفر باشد (SRP = ۰/۳) نارضایتی مشتری زودتر آغاز می‌یابد و پایین ترین خط پارتو را به خود اختصاص می‌دهد. برعکس هرچه نقطه SRP برای مشتری بالاتر باشد (SRP=۰/۷)، بدین معناست که نارضایتی مشتری از دریافت خدمت دیرتر آغاز می‌شود و کم تر وابسته به زمان است از این رو میزان پاسخ‌گویی افزایش می‌یابد و خط پارتو ترسیم شده مربوط به آن در بالاترین سطح نسبت به سایر خطوط پارتو قرار می‌گیرد. در تحلیل حساسیت نقطه SRP همانند پارامتر WT تابع هدف دوم بیشترین تأثیر را از تغییر این

پارامتر به خود می‌گیرد. اگرچه این تأثیرپذیری به‌دلیل اینکه تحلیل حساسیت برای یک مثال کوچک انجام گرفته است، چندان چشمگیر نیست. در مورد نقطه کاهش رضایت می‌توان به این نکته اشاره کرد که نقطه کاهش رضایت مسافران در شهرهای مختلف می‌تواند از مقادیر کم تا مقادیر زیاد متغیر باشد.



شکل ۵. تحلیل حساسیت پارامتر نقطه کاهش رضایت (SRP)

پارامتر T حداکثر مدت زمانی را که یک تاکسی می‌تواند ازهاب حرکت کرده، سرویس‌دهی خود را انجام دهد و دوباره به مرکز آژانس برگردد نشان می‌دهد. تحلیل حساسیت پارامتر T برای مقادیر ۴۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه انجام گرفت. آنجا که مقدار پارامتر WT=۴۰ است اگر حداکثر زمان در دسترس زیر دقیقه۴۰ در نظر گرفته شود، مسئلهٔ غیرموجه می‌شود. تحلیل حساسیت T=۴۰ در قالب یک نقطه آبی رنگ در شکل ۶ مشخص شده است. با افزایش مقدار T به مقادیر ۶۰ و ۹۰ نمودار به‌سمت چپ حرکت کرده و تأثیر به نسبت چشمگیری روی تابع هدف هزینه‌ها داشته است؛ چرا که یک تاکسی زمان بیشتری در اختیار دارد و مسیرهای طولانی‌تری را می‌تواند طی کند. این امر می‌تواند هزینه‌های عملیاتی از جمله تعداد تاکسی‌هایی را که قرار است از هاب مرکزی خارج شود، کاهش دهد. اما از نقطه نظر تابع هدف دوم، رضایت مسافر تحت تأثیر پارامتر WT است. هرچند اندازه کل زمان در دسترس افزایش یابد؛ اما WT پایین باشد افزایش پارامتر T روی مقدار رضایت تأثیر چشمگیری نخواهد داشت.



شکل ٦. تحلیل حساسیت زمان کل در دسترس (T)

عملکرد رویکرد حل مسئله با استفاده از الگوریتم افق غلطان

به‌منظور مطالعه عملکرد رویکرد حل مسئله ، مدل پیشنهادی پژوهش در ابعادی با ۱۲، ۲۰ و ۳۰ گره نیز حل شد. مسئله برای ابعاد متوسط با تعداد ۱۲ گره و برای ابعاد بزرگ با ۲۰ و ۳۰ گره طراحی شده است. جدول ۶ پارامترهای این دسته از مسائل را نشان می‌دهد.

جدول ٦. پارامترهای مسئله در ابعاد متوسط و بزرگ

توزیع یکنواخت (۰و۸)	D	۵۰	W	۰/۵	SRP
توزیع یکنواخت (۲و۱۵)	t	۱۰	Q	۰/۰۰۱	esp
توزیع یکنواخت (۳و۲۵)	Cij	۸	V	۲۰۰	T
توزیع یکنواخت (۳و۲۵)	etij	۲۰	E	۱۰۰	F
۱۰۰۰	M	۱۵۰	WT		

برنامه نویسی و اجرای مدل مسئله در ابعاد مختلف به‌وسیله یک ماشین مجازی با پردازنده Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2690 0 @ 2.90GHz 2.89 CHz (2processer) و حافظه داخلی ۱۶ گیگا بایت در نرم افزار سیپلکس نسخه ۱۲.۱۰ انجام شده است. از آنجا که با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله زمان حل مسئله نیز افزایش می‌یابد از این رو با توجه به ساختار مدل ریاضی پژوهش برای آزاد سازی متغیرهای باینری از الگوریتم ابتکاری افق غلطان استفاده شد. برای هر یک از ابعاد مسئله، ۳ مثال طبق پارامترهای بیان شده با اولویت تابع هدف Z۲ حل شد و نتایج حل در قالب مقدار اهداف و زمان حل مسئله در روش حل دقیق و روش الگوریتم افق غلطان در جدول ۷ خلاصه شده است.

جدول ۷. نتایج و زمان حل مسئله در ابعاد مختلف

	مثال	حل Z1 دقیق	افق Z1 غلطان	حل Z2 دقیق	افق Z2 غلطان	زمان حل دقیق	زمان حل افق غلطان
مسئله با ۱۲ گره	۱	۳۹۲	۴۲۳	۱۲۰	۱۱۹.۳۳	۳۵ ثانیه	۴۰ثانیه
	۲	۲۵۱	۳۰۷	۱۲۰	۱۲۰	۸۰ثانیه	۸۰ثانیه
	۳	۲۷۲	۵۴۵	۱۲۰	۱۱۹.۷۵	۳ دقیقه و ۲۷ ثانیه	۲۳ثانیه
مسئله با ۲۰ گره	۱	۲۱۵	۳۶۳	۲۰۰	۲۰۰	۹۰۰ ثانیه	۳ دقیقه و ۴۸ ثانیه
	۲	۶۷۸	۷۱۳	۱۹۹.۸	۱۹۸.۸۹	۹۰۰ثانیه	۴ دقیقه و ۳۷ ثانیه
	۳	۶۱۷	۶۷۶	۲۰۰	۲۰۰	۹۰۰ ثانیه	۷ دقیقه و ۴ ثانیه
مسئله با ۳۰ گره	۱		۹۴۱		۳۰۰		۱۵دقیقه و ۱۶ثانیه
	۲		۹۶۳		۲۹۹.۶۳		۱۷ دقیقه و ۳۷ ثانیه
	۳		۸۴۳		۲۹۱.۴۲		۲۶ دقیقه و ۱۵ ثانیه

همان‌گونه که نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله، زمان حل مسئله نیز افزایش می‌یابد. برای مسئله با بعد ۱۲ گره نتایج حل دقیق با نتایج حل الگوریتم افق غلطان مقایسه شد. از آنجا که زمان حل دقیق مسئله در

ابعاد بزرگ بالا بود از این رو برای بعد ۲۰ گره بعد از گذشت ۹۰۰ ثانیه فرایند حل توقف شد تا یک جواب از حل دقیق به‌دست آید. متوسط زمان حل در ۳ مثال در بعد ۱۲ گره ۵۴ ثانیه، متوسط زمان حل در ۳ مثال در بعد ۲۰ گره ۵ دقیقه و متوسط زمان حل در ۳ مثال در بعد ۳۰ گره ۱۹ دقیقه به‌دست آمد.

به‌منظور نشان دادن کارایی الگوریتم افق غلطان یک مثال با ۱۲ گره حل شد. در این مثال افق غلطان بر روی متغیر باینری y_k انجام گرفت. متغیر y_k مشخص می‌کند که کدام مرکز از مراکز بارانداز عبوری تأسیس شود . مقدار این متغیر و مقدار تابع هدف به همراه زمان حل گزارش شد. سپس نتایج به‌دست آمده با نتایج مدل اصلی که در آن از الگوریتم افق غلطان استفاده نشده طبق جدول ۸ مورد مقایسه قرار گرفت

جدول ۸. مقایسه نتایج الگوریتم افق غلطان با مدل اصلی برای یک مسئله با ۱۲ گره

مسئله در بعد متوسط		مقدارمتغیر y_k	هزینه Z1	زمان حل
افق غلطان	تکرار اول	[۰ ۰/۰۳۷۵ ۰/۰۸۲۵ ۰/۱]	۲۱۶/۲۱۷	۳ دقیقه و ۸ صدم ثانیه
	تکرار دوم	[۰ ۰ ۰/۱ ۰/۱]	۲۰۷/۲۰۸	
	تکرار سوم	[۰ ۰ ۱ ۰/۱]	۲۹۷/۲۹۸	
	تکرار چهارم	[۰ ۰ ۱ ۱]	۳۸۷/۳۸۸	
مدل اصلی		[۰ ۰ ۱ ۱]	۳۸۸	۱۵ دقیقه

در مثال مسئله با ابعاد متوسط تعداد مراکز عبوری کاندید برای تأسیس یا عدم تأسیس ۴ عدد است. از این رو تعداد تکرارهای الگوریتم برابر با تعداد مراکز بارانداز عبوری در نظر گرفته شده است. طبق این الگوریتم ابتدا تمامی مقدارهای متغیر باینری y_k پیوسته در نظر گرفته می‌شود سپس در هر تکرار به‌ترتیب وضعیت بارانداز عبوری از نقطه نظر تأسیس یا عدم تأسیس مشخص شده و مقادیر باینری صفر یا یک را به خود اختصاص می‌دهد. همان‌گونه که نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد در تکرار چهارم مقدار متغیر y_k به‌صورت [۰ ۰ ۱ ۱] است، بدین معنا که مرکز بارانداز عبوری سوم و چهارم تأسیس می‌شود.

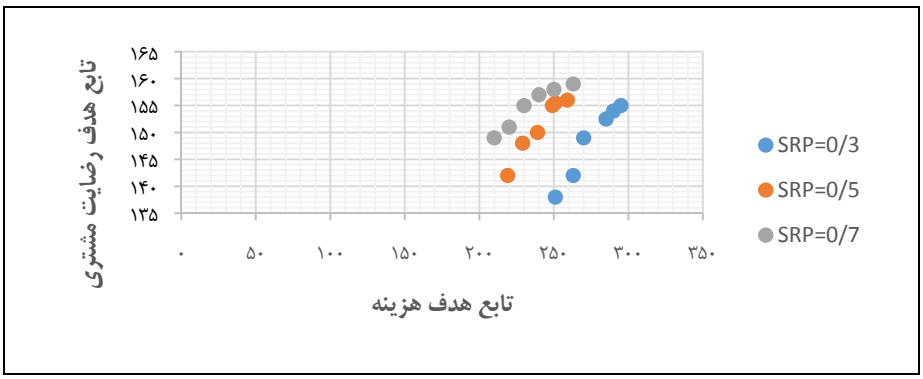
ستون چهارم مقدار تابع هدف اول را از نقطه نظر هزینه‌ها نشان می‌دهد. تابع هدف از نوع کمینه سازی است. زمانی که الگوریتم افق غلطان استفاده می‌شود از آنجا که در ابتدا وضعیت متغیرها را پیوسته در نظر گرفته و در هر تکرار گام‌به‌گام آن‌ها را گسسته می‌کند مقدار تابع هدف در تکرار اول بهتر از مقدار تابع هدف اصلی است سپس در تکرارهای بعدی این مقدار به مقدار بهینه نزدیک می‌شود. مقدار تابع هدف در تکرار چهارم برابر با ۳۸۷/۳۸۸ است که اختلاف بسیار ناچیزی با ۰/۰۰۱درصد خطا را نسبت به مقدار تابع هدف اصلی و عدد ۳۸۸ دارد. نتایج به‌دست آمده کارایی الگوریتم افق غلطان را از نقطه نظر جواب نشان می‌دهد.

ستون پنجم زمان حل مسئله را نشان می‌دهد. طبق نتایج به‌دست‌آمده زمان حل مسئله با استفاده از الگوریتم افق غلطان برابر با ۳ دقیقه و ۸ صدم ثانیه است در حالی که زمان حل مدل اصلی بدون استفاده از الگوریتم افق غلطان ۱۵ دقیقه است. از این رو نتایج به‌دست آمده کارایی الگوریتم ابتکاری افق غلطان را از نقطه نظر زمان نیز نشان می‌دهد.

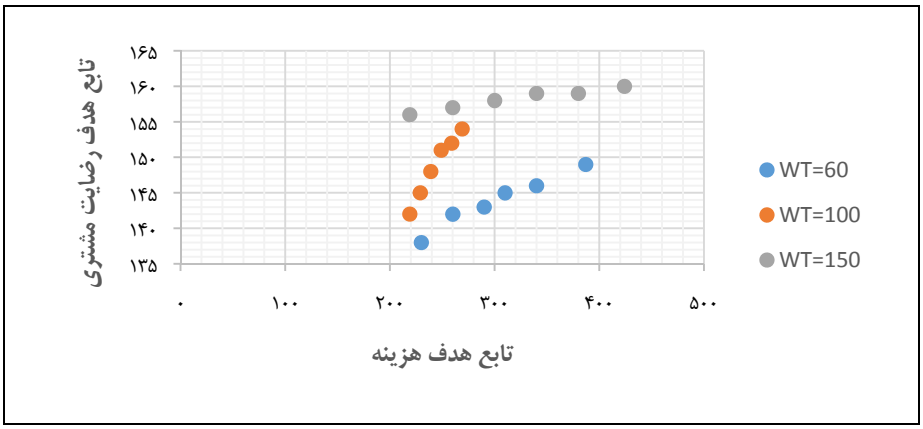
در ادامه تحلیل حساسیت پارامترهای مهم مسئله با استفاده از الگوریتم افق غلطان برای یک مثال در ابعاد بزرگ با

۲۰ گره انجام گرفت. متوسط زمان حل مسائل بزرگ با استفاده از الگوریتم افـق غلطـان بـا گـپ ۰/۱ تقریبـاً ۲۰ دقیقـه گزارش شد.

شکل ۷ تحلیل حساسیت پارامتر WT و شکل ۸ تحلیل حساسیت پارامتر SRP را برای یک مسئله در ابعـاد بـزرگ نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده در مقایسه با نتایج حل مسئله در ابعاد کوچک نیز مؤید این مطلب است که افزایش ایـن دو پارامتر تأثیر مستقیمی بر روی تابع رضایت یا پاسخ‌گویی دارد.



شکل ۷. تحلیل حساسیت پارامتر WT برای مسئله در ابعاد بزرگ



شکل ۸. تحلیل حساسیت پارامترSRP برای مسئله در ابعاد بزرگ

بحث و نتیجه‌گیری

در صنعت تاکسی‌رانی داخل کشور در کنار زمان پاسخ‌گویی به مسافر، امنیت نیز یکی از ویژگی‌های مهم است. تمیـزی و نهاوندی (۱۴۰۲) در پژوهش خود، امنیت را به‌عنوان مهم‌ترین عامل رضایت مسافران در دریافت خدمات تاکسی اینترنتی اسنپ قلمداد کرده‌اند.

در قالب بحث امنیت به‌عنوان مثال بیشتر دانشجویان خانم ترجیح می‌دهند برای تردد خود در مسیر رفت و برگشت به دانشگاه از آژانس بانوان دانشگاه استفاده کنند. استفاده از مدل پیشنهادی در قالب برداشت و تحویـل هـم‌زمـان ماننـد

پژوهش اقبالی و توکلی مقدم (۱۳۹۷) کمک می‌کند مرکز آژانس با تعداد ماشین کمتر به تعداد بیشتری از مسافران پاسخ دهد. اضافه شدن برش در تقاضا این امکان را فراهم می‌کند که تأمین تقاضای یک گره نیز با بیش از یک ماشین فراهم شود. این امکان مسئله را به شرایط دنیای واقعی نزدیک می‌کند. پژوهش شهابی شاه‌میری (۲۰۲۱) نشان داد که استفاده از مسیریابی در حالت برش تقاضا می‌تواند ضمن کاهش هزینه کل، از تعداد ناوگان حمل‌ونقل بکاهد. این پژوهش همانند پژوهش‌های فاضی و همکاران (۲۰۲۰) و ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) از مزایای مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان و مزایای امکان برش در تقاضا بهره برده است.

تابع رضایت مسافر، بحث زمان‌بندی ماشین‌ها را نیز به مسئله اضافه می‌کند. به گونه‌ای که طبق این تابع، رضایت مسافر بعد از مدت زمان مشخصی با نرخی ثابت شروع به کاهش می‌کند. از این رو باید مسیریابی و مکان‌یابی‌ها‌ب به گونه‌ای انجام گیرد که ضمن کاهش هزینه‌ها، رضایت نیز افزایش یابد. افزایش رضایت مسافر امروزه، یکی از مزیت‌های مهم رقابتی است. یکی از نوآوری‌های مطالعه حاضر این است که از تابع احتمال خرید برای اندازه‌گیری رضایت مسافر در مسائل مکان‌یابی مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان استفاده کرده است. بسیاری از مقاله‌ها از این تابع برای اندازه‌گیری تازگی اقلام فاسدشدنی استفاده کرده‌اند، مانند لیانگ و همکاران (۲۰۲۳)، رهبری و همکاران (۲۰۱۹) و کاظمی و همکاران (۱۴۰۱). همان‌گونه که به مرور زمان اقلام فاسد شدنی ویژگی تازگی خود را از دست می‌دهند و بسته به زمانی که به‌دست مشتری می‌رسد درصد تازگی آن فرق میکند، بسته به زمانی که مسافران از آژانس خدمت دریافت می‌کنند درصد رضایت آن‌ها نیز فرق می‌کند.

این پژوهش، مدل ریاضی جدیدی را برای یک مسئله مکان‌یابی، مسیریابی با امکان برش در تقاضا و برداشت و تحویل هم‌زمان برای افزایش رضایت مسافران در صنعت تاکسی‌رانی پیشنهاد داد و برای آن، یک مثال موردی در ابعاد کوچک با استفاده از روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته حل شد. نتایج حاصل از مدل نیز تحلیل حساسیت شد. در بین پارامترهای مختلف مسئله، با توجه به داده‌های مثال موردی، مشخص شد که تغییر در پارامتر WT تغییرات بیشتری را در توابع هدف ایجاد می‌کند. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد با تغییر این پارامتر تابع هدف Z2 در مقایسه با Z1 بیشترین تأثیر را به خود اختصاص می‌دهد. به عبارتی شرکت‌های تاکسی‌رانی در فضای رقابتی، در حالتی که میزان صبر و انتظار مشتریان پایین باشد بایستی ضمن در نظر گرفتن فاکتور هزینه، از سرعت پاسخ‌گویی بالایی برخوردار باشند. تحلیل حساسیت پارامتر نقطه کاهش رضایت (SRP) نشان می‌دهد هرچه SRP کمتر و نزدیک به صفر باشد نارضایتی مسافر زودتر آغاز می‌یابد و بر عکس هر چه نقطه SRP برای مسافر بالاتر باشد، بدین معناست که نارضایتی مسافر از دریافت خدمت دیرتر آغاز می‌شود. در تحلیل حساسیت نقطه SRP همانند پارامتر WT تابع هدف دوم بیشترین تأثیر را از تغییر این پارامتر به خود می‌گیرد. پارامتر T حداکثر مدت زمانی را که یک تاکسی می‌تواند از مرکز آژانس حرکت کرده، سرویس‌دهی خود را انجام دهدو دوباره به مرکز آژانس برگردد نشان می‌دهد. تحلیل حساسیت این پارامتر نشان می‌دهد با افزایش مقدار T تأثیر به نسبت قابل توجهی روی کاهش تابع هدف هزینه‌ها دارد؛ چرا که یک تاکسی زمان بیشتری در اختیار دارد و مسیرهای طولانی‌تری را می‌تواند طی کند این امر می‌تواند هزینه‌های عملیاتی از جمله تعداد تاکسی‌هایی را که قرار است از هاب مرکزی خارج شود کاهش دهد. اما از نقطه نظر تابع هدف دوم، رضایت مسافر تحت

تأثیر پارامتر WT است. هرچند اندازهٔ کل زمان در دسترس افزایش یابد اما WT پایین باشد، افزایش پارامتر T روی مقدار رضایت، تأثیر چشمگیری نخواهد داشت.

به‌منظور مطالعه عملکرد رویکرد حل مسئله ، مدل پیشنهادی پژوهش در ابعاد متوسط و بزرگ نیز حل شد. نتایج نشان می‌دهد با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله، زمان حل مسئله نیز افزایش می‌یابد. در اینجا می‌توان نتیجه گرفت که برای حل مسائل در ابعاد بزرگ باید از الگوریتم‌های حل دقیق یا از روش‌های فراابتکاری استفاده کرد. در این پژوهش با توجه به ساختار مدل MIP مسئله به‌منظور حل مسئله در ابعاد بزرگ از الگوریتم ابتکاری افق غلطان استفاده شد و پارامترهای یک مسئله در ابعاد بزرگ تحلیل حساسیت شد. آزمایش‌های عددی روی سه گروه مسئله در ابعاد مختلف، کارایی الگوریتم افق غلطان را از بعد زمان حل و میزان خطای جواب به‌دست‌آمده در مقایسه با جواب بهینه نشان داد.

حل مدل دو هدفه با استفاده از روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته امکان ترسیم مرز پارتو را برای تصمیم‌گیران فراهم کرد. از این رو تصمیم‌گیران می‌توانند با استفاده از مدل پیشنهادی پژوهش از گزینه‌های مختلفی برای دستیابی به هر دو هدف بهره ببرند. اگرچه مسیریابی با برداشت و تحویل هم‌زمان نسبت به برداشت و تحویل جداگانه دارای مزیت‌های زیادی اعم از کاهش تعداد وسیلهٔ نقلیه، کاهش مسافت و کاهش ترافیک شهری را به‌دنبال دارد، اما در برخی از سیستم‌ها، در ناوگان حمل‌ونقل این الزام وجود دارد که فرایند برداشت و تحویل، توسط وسایل حمل‌ونقل جداگانه‌ای صورت گیرد. اضافه شدن تابع رضایت مسافر به مدل مسیریابی با برداشت و تحویل جداگانه نیز می‌تواند برای این گونه سیستم‌ها مزیت رقابتی ایجاد کند. همچنین به پژوهشگران آتی پیشنهاد می‌شود از مدل حاضر برای آن دسته از اقلام فاسد شدنی که برداشت و تحویل آن‌ها به‌طور هم‌زمان انجام گرفته و فساد محصول در نقطه صفر زمانی (برای همه گره‌ها) آغاز شده باشد، استفاده کنند. شرکت‌های تاکسی‌رانی مانند اسنپ، تپسی، تاکسی فرودگاه و... نیز می‌توانند از نتایج این مدل بهره ببرند. به‌دلیل عدم اطمینان موجود در پارامترهای این گونه مسائل، استفاده از بهینه‌سازی فازی و استوار، مسئله را به دنیای واقعی نزدیک‌تر می‌کند. همچنین به‌دلیل ماهیت پویای مکانی و زمانی مسافران تاکسی نیز می‌توان از برنامه‌ریزی پویا نیز استفاده کرد.

منابع

اقبالی، حامد و توکلی مقدم، رضا (۱۳۹۷). حل یک مدل ریاضی جدید برای مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه با برداشت و تحویل هم‌زمان توسط الگوریتم تکامل تفاضلی چندهدفه. *پژوهشنامه حمل‌ونقل*، ۱۵(۳)، ۵۳–۶۵.

بازرگان، عباس؛ سرمد، زهره و حجازی، الهه (۱۳۸۳). *روش‌های تحقیق در علوم رفتاری. انتشارات آگاه*، (چاپ دهم). تهران.

برادران، وحید؛ حسینیان، امیرحسین؛ درخشانی، رضا و گلاب زایی، امیر (۱۳۹۵). ارائه یک الگوریتم ژنتیک توسعه یافته در توزیع انواع کالاها در سطح شهر با در نظر گرفتن برداشت و تحویل هم‌زمان. *مهندسی ترافیک*، (۶۷)، ۶۸-۷۷.

تمیزی، علیرضا و نهاوندی، شعله (۱۴۰۲). بررسی عوامل مؤثر بر رضایت مشتریان از خدمات تاکسی اینترنتی اسنپ (مطالعهٔ موردی: کلان‌شهر تبریز). *پژوهشنامهٔ حمل‌ونقل*، ۲۰(۲)، ۱۶۱–۱۷۴.

تیکنی، حمید؛ ستاک، مصطفی و شاکری کبریا، زهره (۱۳۹۹). مدل‌سازی و حل مسئله مکان‌یابی ـ مسیریابی برای محصولات فسادپذیر در گراف چندگانه با در نظر گرفتن آلودگی وسایل نقلیه و اختلال انبارها. *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۸(۱۶)، ۱۷۱–۱۸۳.

جمالی، هاجر و شایگان، فریبا (۱۳۹۰). نقش تاکسی بی‌سیم بانوان بر احساس امنیت زنان تهرانی. *فصلنامه پژوهش‌های مدیریت انتظامی*، ۶(۱)، ۹۵–۱۱۴.

جوانفر، الهام؛ رضائیان، جواد؛ شکوفی، کیوان و مهدوی، ایرج (۱۳۹۶). مسئله مکان‌یابی مسیریابی انبارهای عبوری چند محصولی با در نظر گرفتن وسایل نقلیه ناهمگن ظرفیت دار و قابلیت برداشت و تحویل در چند بار در یک شبکه تأمین زنجیرهٔ تأمین چند سطحی. *مهندسی حمل‌ونقل*، ۸(۴)، ۶۰۳–۶۲۷.

حسین‌آبادی، علی‌اصغر و ناد علی‌زاده چاری، محمد (۱۳۹۷). *مسئلهٔ مسیریابی وسایل نقلیه (تئوری و کاربردها)*. بابل: فناوری نوین.

ستاک، مصطفی؛ عزیزی، وحید و کریمی، حسین (۱۳۹۳). مسئله مکان‌یابی مسیریابی چنددپویی ظرفیت‌دار با برداشت و تحویل هم‌زمان و بارهای برش یافته: مدل‌سازی و حل ابتکاری. *پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۲(۴)، ۶۷–۸۱.

صاعدی، فاطمه و کیانفر، کامران (۱۴۰۱). زمان‌بندی تولید سلولی با در نظر گرفتن عوامل انسانی و زمان تحویل سفارشات. *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۱۰(۲۱)، ۵۱–۶۹.

صبوحی، فاطمه و بزرگی امیری، علی (۱۳۹۸). مدل ریاضی دو هدفه برای تخلیه اضطراری با در نظر گرفتن ناوگان ناهمگن وسایل. *نشریه پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری*، ۴(۱)، ۱۱۹–۱۳۷.

کاظمی، محبوبه؛ محمدی زنجیرانی، داریوش و اسماعیلیان، مجید (۱۴۰۱). مدل چندهدفه مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری، زمان‌بندی و مسیریابی هم‌زمان وسایل نقلیه، تحت بخش بندی تقاضا برای اقلام فاسدشدنی. *نشریه مدیریت صنعتی*، ۱۳(۴۳)، ۶۰۶–۶۳۳.

ویلیامز، تری (۱۳۹۴). *روش‌شناسی علم مدیریت*. (عادل آذر ئ سعید جهانیان، مترجمان)، (چاپ ششم)، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

References

Baradaran, V., Hosseinian, A., Derakhshani, R. & Golabzaei, A. (2017). The Application of a Hybrid Genetic Algorithm in distribution of goods with simultaneous pickup and delivery. *Journal of Traffic Engineering*, 16(67), 68–77. (*in Persian*)

Bazargan, A., Sarmad, Z. & Hajazi, E. (2004). *Research Methods in Behavioral Sciences*. (10th edition). Agah Publishing, Tehran. (*in Persian*)

Bortolini, M., Faccio, M., Ferrari, E., Gamberi, M. & Pilati, F. (2016). Fresh food sustainable distribution: Cost, delivery time and carbon footprint three-objective optimization. *Journal of Food Engineering*, 174, 56–67. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.014

Dror, M. & Trudeau, P. (1989). Savings by Split Delivery Routing. *Transportation Science*, 23(2), 141–145. https://doi.org/10.1287/trsc.23.2.141

Dror, M. & Trudeau, P. (1990). Split delivery routing. *Naval Research Logistics (NRL)*, 37(3), 383–402. https://doi.org/10.1002/nav.3800370304

Eghbali, H. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). Solving a New Mathematical Model for a Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery by a Multi-Objective Differential Algorithm. *Journal of Transportation Research*, *15*(3), 53–65. (*in Persian*)

Fan, J. (2011). The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery Based on Customer Satisfaction. *Procedia Engineering*, 15, 5284–5289.

Fazi, S., Fransoo, J. C., Van Woensel, T. & Dong, J. X. (2020). A variant of the split vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups for inland container shipping in dry-port based systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142(August), 102057. https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102057

Golden, B. L., Magnanti, T. L. & Nguyen, H. Q. (1977). Implementing vehicle routing problems. *Networks*, 7, 113–148.

Hasani Goodarzi, A., Tavakkoli-Moghaddam, R. & Amini, A. (2020). A new bi-objective vehicle routing-scheduling problem with cross-docking: Mathematical model and algorithms. *Computers and Industrial Engineering*, 149.

Hasani Goodarzi, A. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2012). Capacitated Vehicle Routing Problem for Multi-Product Cross- Docking with Split Deliveries and Pickups. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 62, 1360–1365.

Hosseinabadi Rahmani, A. A. & Nad Alizade Chari, M. (2018). *vehicle routing problem (theories and aplications)*. Babol: New Technology. (*in Persian*)

Jamali, H. & Shayeghan, F. (2011). Role of Tehran's Women Wireless Taxi Service in Feeling of Security on the Part of Tehrani Ladies. *Police Management Studies Quarterly*, *6*(1), 95. (*in Persian*)

Javanfar, E., Rezaeian, J., Shokofi, K. & Mahdavi, I. (2017). Multi product cross-docking location vehicle routing problem with capacity hetrogeneous vehicles and split pickup and delivery in multi level supply chain. *Journal Transportation Engeneering*, 8(4), 603–627. (*in Persian*)

Kazemi, M., Mohamadi Zanjirani, D. & Esmaeilian, M. (2022). The Multi-Objective Locating Model for Cross-Docking Centers and Vehicle Routing Scheduling With Split Demands for Perishable Products. *Journal of Industrial Management*, 13(43), 606–633. (*in Persian*)

Liang, X., Wang, N., Zhang, M. & Jiang, B. (2023). Bi-objective multi-period vehicle routing for perishable goods delivery considering customer satisfaction. *Expert Systems with Applications*, 220(28), 119712. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119712

Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of e-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming. *Applied Mathematics and Computation*, 213(2), 455–465.

Mohammadi, M., Fatemi Ghomi, S. M. T., Karimi, B. & Torabi, S. A. (2010). Rolling-horizon and fix-and-relax heuristics for the multi-product multi-level capacitated lotsizing problem with sequence-dependent setups. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 21(4), 501–510.

Mosheiov, G. (1998). Vehicle routing with pick-up and delivery: Tour-partitioning heuristics. *In Computers and Industrial Engineering* (Vol. 34, Issue 3, pp. 669–684). https://doi.org/10.1016/S0360-8352(97)00275-1

Musavi, M. M. & Bozorgi-Amiri, A. (2017). A multi-objective sustainable hub location-scheduling problem for perishable food supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, 113, 766–778. https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.07.039

Rahbari, A., Nasiri, M. M., Werner, F., Musavi, M. M. & Jolai, F. (2019). The vehicle routing and scheduling problem with cross-docking for perishable products under uncertainty: Two robust bi-objective models. *Applied Mathematical Modelling*, 70, 605–625.

Sabouhi, F. & Bozorgi Amiri, A. (2019). A bi-objective mathematical model for emergency evacuation considering heterogeneous fleet of vehicles. *Journal of Modern Research in Decision Making*, *4*(1), 119–137. (*in Persian*)

Saedi, F. & Kianfar, K. (2023). Scheduling Cellular Manufacturing Systems Based on Human Factors and Due Date of Orders. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, *10*(21), 51-69. doi: 10.22084/ier.2023.27096.2101 (*in Persian*)

Setak, M., Azizi, V. & Karimi, H. (2015). Multi depots Capacitated Location-Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery and Split Loads: Formulation and heuristic methods. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, *2*(4), 67–81. (*in Persian*)

Shahabi-Shahmiri, R., Asian, S., Tavakkoli-Moghaddam, R., Mousavi, S. M. & Rajabzadeh, M. (2021). A routing and scheduling problem for cross-docking networks with perishable products, heterogeneous vehicles and split delivery. *Computers and Industrial Engineering*, 157(March 2020), 107299. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107299

Tamizi, A. & Nahavandi, S. (2023). Investigating the Factors Affecting Customer Satisfaction with Snap Internet Taxi Services (Case study: Tabriz). *Journal of Transportation Research*, 20(2), 161-174.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N., Kah, M. M. O. & Rabbani, M. (2007). A New Capacitated Vehicle Routing Problem with Split Service for Minimizing Fleet Cost by Simulated Annealing. *Journal of the Franklin Institute*, 344(5), 406–425.

Tikani, H., Mostafa Setak & Kebria, Z. S. (2020). Modeling And Solving The Locating-Routing Problem For Perishable Products In Multigraphs Considering Vehicle Pollution And Warehouses Failure. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, *8*(16), 171–183. (*in Persian*)

Zhang, Z., Che, Y. & Liang, Z. (2023). Split-demand multi-trip vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery in airport baggage transit. *European Journal of Operational Research*, *312*(3), 996-1010.

Williams, T. (2008). *Management Science in Practice*. John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex. (*in Persian*)

Webb, M. H. J. (1968). Cost Functions in the Location of Depots for Multiple-Delivery Journeys. *Journal of the Operational Research Society*, *19*(3), 311–320.