Industrial Management Journal
Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

The Multi-Objective Locating Model for Cross-Docking Centers and Vehicle Routing Scheduling With Split Demands for Perishable Products

Mahboobeh Kazemi
Ph.D Candidate, Department of Industrial Management, Faculty of Administrative and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: m.kazemi@ase.ui.ac.ir

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

Majid Esmaeilian
Associate Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Administrative and Economics, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: m.esmaeilian@ase.ui.ac.ir

Abstract

Objective: This paper sought to develop a food supply chain model that integrates the operational decisions (vehicle routing and scheduling) with strategic decisions (cross-docking centers locating) in a hub network, considering life - real constraints and the perishable nature.

Methods: In this research, an integer Goal programming model for location, timing, and vehicle routing problems is proposed with the possibility of split demand for fresh items in which the impact of perishability is considered as the second objective besides the total cost. Accordingly, an augmented -constraint method was used to generate a Pareto optimal for these conflicting objectives. This model was implemented in CPLEX software, 20.1 version.

Results: Previous studies neither considered the perishable nature of the items in cross-docking locations nor the split delivery vehicle routing scheduling models. The most important aspect of innovation in this research was that the characteristics of split demand in improving the timing of vehicles were used and in addition to improving the cost function, the value of the second objective function (network accountability) was also increased dramatically. The results of sensitivity analysis on some parameters such as shelf life of products (SL), quality reduction point (QRP), and capacity of vehicles (Q), showed the efficiency of the proposed model.

Conclusion: Finally, the proposed model was utilized in random data and numerical results, and some managerial insights were provided. Comparing the results of the proposed model with the benchmark model in equal experimental conditions, the efficiency of the proposed model was confirmed. Cross-docking is nowadays used by many companies and industries and the provided model by this study can be applied especially for time-sensitive products.

Keywords: Augmented-constraint method, Cross-docking centers location, perishable products, Scheduling, Split delivery vehicle routing problem

Citation: Kazemi, Mahboobeh, Mohamadi Zanjirani, Darush and Esmaeilian, Majid (2021). The Multi-Objective Locating Model for Cross-Docking Centers and Vehicle Routing Scheduling With Split Demands for Perishable Products. *Industrial Management Journal*, 13(4), 606-633. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2021, Vol. 13, No 4, pp. 606-633
doi: https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.333499.1007883
© Authors
Published by University of Tehran, Faculty of Management

Article Type: Research Paper
Received: September 03, 2021
Accepted: November 24, 2021

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

مدل چندهدفه مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری، زمان‌بندی و مسیریابی هم‌زمان وسایل نقلیه، تحت بخش‌بندی تقاضا برای اقلام فاسدشدنی

محبوبه کاظمی
دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: m.kazemi@ase.ui.ac.ir

داریوش محمدی زنجیرانی
* نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: d.mohamadi@ase.ui.ac.ir

مجید اسماعیلیان
دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: m.esmaeilian@ase.ui.ac.ir

چکیده

هدف: این مطالعه درصدد طراحی یک شبکه زنجیره تأمین است که در آن تصمیم‌های مسیریابی و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل در سطح تاکتیکی با تصمیم‌های مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری، در سطح استراتژیک، با توجه به محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی و ماهیت خاص اقلام فاسدشدنی، ادغام شده‌اند.

روش: در پژوهش حاضر، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه عدد صحیح برای مسئله مکان‌یابی، زمان‌بندی مسیریابی با امکان تقسیم چندبخشی تقاضا برای اقلام فاسدشدنی ارائه شده است؛ به‌گونه‌ای که تأثیر فسادپذیری اقلام در تابع هدف دوم در کنار هدف کاهش هزینه‌ها لحاظ شده است. به‌منظور به‌دست‌آوردن مرز پارتوی اهداف متضاد، از روش اپسیلون محدودیت توسعه‌یافته در نرم‌افزار سیپلکس نسخه ۲۰.۱ استفاده شد.

یافته‌ها: در هیچ یک از مطالعات پیشین، ویژگی فسادپذیری اقلام در قالب مدل یکپارچه مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری، زمان‌بندی و مسیریابی با امکان تقسیم چندبخشی تقاضا در نظر گرفته نشده است. مهم‌ترین جنبه از نوآوری پژوهش این است که از ویژگی تقسیم چندبخشی تقاضا در بهبود زمان‌بندی وسایل نقلیه بهره‌برداری شده و علاوه بر بهبود در تابع هدف هزینه، مقدار تابع هدف دوم (پاسخ‌گویی شبکه) نیز به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. در همین راستا، نتایج تحلیل حساسیت پارامترهایی همچون مدت دوام محصول (sl)، نقطه کاهش کیفیت (QRP) و ظرفیت وسایل حمل (Q)، مؤید کارایی مدل پیشنهادی پژوهش است.

نتیجه‌گیری: در نهایت مدل پیشنهادی روی یک مثال در ابعاد کوچک اجرا و نتایج محاسباتی و نقطه نظرهای مدیریتی ارائه شد. مقایسه نتایج مدل پیشنهادی پژوهش با یک مدل بنچ مارک در شرایط تجربی برابر، کارایی مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. مدل پیشنهادی پژوهش را می‌توان برای تمام صنایعی به‌کار برد که از بارانداز عبوری به‌عنوان استراتژی توزیع خود استفاده می‌کنند، به‌ویژه برای توزیع آن دسته از محصول‌هایی که به زمان وابسته‌اند.

کلیدواژه‌ها: اقلام فسادپذیر، روش اپسیلون محدودیت توسعه‌یافته، زمان‌بندی، مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری، مسیریابی تقسیم چندبخشی تقاضا

استناد: کاظمی، محبوبه، محمدی زنجیرانی، داریوش و اسماعیلیان، مجید (۱۴۰۰). مدل چندهدفه مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری، زمان‌بندی و مسیریابی هم‌زمان وسایل نقلیه، تحت بخش‌بندی تقاضا برای اقلام فاسدشدنی. *مدیریت صنعتی*، ۱۳(۴)، ۶۰۶- ۶۳۳.

مدیریت صنعتی، ۱۴۰۰، دوره ۱۳، شماره ۴، صص. ۶۰۶- ۶۳۳
دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۲، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳
doi: https://doi.org/10.22059/IMJ.2022.333499.1007883
نوع مقاله: علمی پژوهشی
ناشر: دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
© نویسندگان

مقدمه

امروزه هدررفت بخشی از محصولات غذایی در قالب ضایعات، مسئله‌ای تأمل‌برانگیز است. علاوه بر مکانیسم‌های قیمت‌گذاری، یکی از روش‌هایی که به کاهش فساد و ضایعات اقلام کمک می‌کند به‌کارگیری یک شبکه زنجیرهٔ تأمین با طراحی خوب و عملیات لجستیک با مدیریت خوب است که منجر به ذخیره مناسب و تحویل سریع اقلام فاسدشدنی به مشتری می‌گردد، چراکه زمان سپری شدن عملیات لجستیک، شرایط محیطی حاکم بر فرایند حمل‌ونقل و همچنین فعالیت‌های درون انبار، به‌طور مشخص تأثیر زیادی روی ضایعات دارد (رهبری[1]، ۲۰۱۹). به‌طور کلی رشد چشمگیری در ادبیات سرمایه‌گذاری و توجه بر مدیریت زنجیرهٔ تأمین محصولات فاسدشدنی قابل مشاهده است که به ذخیره‌سازی مناسب و تحویل سریع به مشتری کمک می‌کنند که می‌توان آن‌ها را با عناوین زیر طبقه‌بندی کرد: مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP)[2]، مسئله مسیریابی موجودی (IRP)[3]، مسئله طراحی شبکه (NDP)[4]، مسئله ادغام تولید و توزیع (IPDP)[5] برای محصولات فاسدشدنی و در نهایت ترکیب وسایل حمل‌ونقل معمولی و یخچالی برای انتقال محصولات فاسدشدنی.

یکی از اهداف اصلی در توزیع محصولات فسادپذیر یا به‌طور اخص زنجیرهٔ تأمین غذا، توجه به‌تازگی محصولات در هنگام تحویل به مشتریان است. این مسئله تأثیر مستقیمی روی قابلیت و سطح پاسخ‌گویی شبکه دارد. این قبیل محصولات به زمان حساس‌اند و ارزش یا کیفیت آن‌ها با گذر زمان کاهش می‌یابد. با توجه به این حقیقت، انتخاب یک شبکه توزیع شایسته، یک فاکتور کلیدی برای مدیران سیستم لجستیک می‌باشد. بنابراین باید در زنجیرهٔ تأمین غذا تمرکز بیشتری روی کیفیت کالا و حداقل کردن زمان حمل یا حداکثر کردن کیفیت محصولات در زمان تحویل داشت. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در زنجیرهٔ تأمین اقلام فسادپذیر ، سرعت خرابی اقلام در امتداد زنجیره است یعنی از زمانی که اقلامی همچون محصولات اولیه کشاورزی تولید می‌شود تا زمانی که این اقلام به مصرف خانگی می‌رسد. ارزش غذایی و مزه این دسته از محصولات به‌گونه‌ای است که بالاترین سطح کیفیت را در زمان برداشت داشته و به‌تدریج تا زمانی که دست مصرف‌کننده می‌رسد کاهش می‌یابد. در این وضعیت، زوال کیفیت محصولات باید به روش‌هایی کنترل گردد که الزاماً با معیارهای کارایی هزینه مرتبط نیست. این مقاله کاربرد تکنیک بارانداز عبوری را برای توزیع سریع محصولات تازه بررسی و تحلیل می‌کند و نشان میدهد که این تکنیک به بهبود سطح کیفیت محصولات تازه منجر می‌گردد.

بارانداز‌های عبوری، در راستای دستیابی به اهداف مدیریت زنجیرهٔ تأمین ناب، ایجاد و توسعه یافته اند. بارانداز عبوری یکی از استراتژی‌های مشهور توزیع است که در آن، اقلام و محموله‌ها از وسایل حمل‌ونقل ورودی به وسایل حمل‌ونقل خروجی (در همان روز یا حداکثر به مدت یک شب) بدون نیاز به استقرار آن‌ها در انبار، انتقال می‌یابند. بارانداز عبوری با کاهش در حجم جابه‌جایی‌های مواد و نیز هزینه‌های انبار و به‌دلیل حذف فعالیت‌های ذخیره‌سازی و آماده‌سازی سفارش‌ها، می‌تواند در مقایسه با انبار سنتی، بسیارکاراتر عمل نماید.این مزیت‌ها سبب شده است که امروزه بارانداز

1. Rahbari and et al.
2. Vehicle Routing Problem
3. Inventory Routing Problem
4. Network Design Problem
5. Integrated Production and Distribution Problem

عبوری، به یک سیستم لجستیک جذاب تبدیل شده به گونه‌ای که حتی می‌تواند منجر به مزیت رقابتی برای شرکت‌ها گردد.

مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری و تخصیص آن‌ها به مشتریان به‌عنوان تصمیماتی استراتژیک محسوب می‌شوند که دوره زمانی مطلوب آن‌ها ۳ تا ۵ سال است. از طرفی تصمیم‌هایی مانند زمان‌بندی و مسیریابی وسایل حمل‌ونقل به بازه زمانی کوتاه‌مدت یا تصمیم‌های تاکتیکی ـ عملیاتی مربوط هستند که نیاز به بازه زمانی روزانه یا کم‌تر از یک سال دارند. به‌طور واضح، ترکیب این دو تصمیم کلیدی در عین حفظ استقلال آنها منجر به بهبود در کل سیستم طراحی شبکه می‌شود. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که ادغام تصمیم‌های مکان‌یابی تسهیلات با مسیریابی و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل در تصمیم‌های روزمره، منجر به کاهش کل هزینه در بلندمدت می‌گردد (موسوی و بزرگی امیری[1]، ۲۰۱۷). بنابراین ادغام تصمیم‌های عملیاتی (مسیریابی و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل) با تصمیم‌های استراتژیک (مکان‌یابی‌هاب یا همان مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری) تأثیر زیادی روی کارایی هزینه‌ها و نیز سطح پاسخ‌گویی شبکه زنجیرهٔ تأمین دارد. لذا این امر یکی از الزامات مرتبط با ادغام تصمیم‌ها در مسائل طراحی شبکه زنجیرهٔ تأمین است.

در این میان، مفهوم مکان‌یابی و مسیریابی به‌طور گسترده ای در چارچوب نظری، مورد بررسی قرار گرفته است. مسئله مسیریابی با امکان تقسیم چندبخشی در تقاضا (SDVRP)[2] نیز عمدتا به‌دلیل کاهشی که در هزینه‌ها ایجاد می‌کند مورد علاقه پژوهشگران بوده است. در مسئله مسیریابی کلاسیک، یک وسیله نقلیه ظرفیت دار موجود می‌باشید که قرار است تقاضای مشتری را پوشش دهد. هر مشتری تنها توسط یک وسیله نقلیه پوشش داده می‌شود و هدف حداقل کردن کل مسافت قابل پیمایش است. اما در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با امکان تقسیم چندبخشی در تقاضا، این محدودیت که باید تقاضای هر مشتری فقط توسط یک وسیله پوشش داده شود برداشته می‌شود و امکان تقسیم تقاضا بین وسایل حمل‌ونقل مختلف وجود دارد. مسیریابی وسایل حمل‌ونقل به همراه ایجاد شرایط بخش بندی تقاضا (SDVRP)، مدل پیشنهادی در مطالعه حاضر را با مفروضات دنیای واقعی به‌ویژه ماهیت اقلام فاسد شدنی نزدیک می‌کند. میزان کیفیت و تازگی اقلام فسادپذیر تابع زمانی است که این اقلام به‌دست مشتری می‌رسد. لذا علاوه بر مسیریابی وسایل حمل‌ونقل، زمان‌بندی آنها نیز اهمیت پیدا می‌کند.

به‌طور خلاصه، این مطالعه در صدد طراحی یک شبکه زنجیرهٔ تأمین است که در آن تصمیم‌های مسیریابی و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل در سطح تاکتیکی با تصمیم‌های تخصیص مکان در شبکهٔ هاب، در سطح استراتژیک، با توجه به محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی و توجه به ماهیت خاص اقلام فاسد شدنی ادغام گردیده‌اند. همان‌طور که در بخش بعدی توضیح داده می‌شود تمام مطالعات مربوط به مسیریابی بارانداز عبوری (VRPCD)[3] به‌دنبال کاهش هزینه‌های لجستیک بر مبنای تعداد وسایل حمل‌ونقل، هزینه نگهداری موجودی در انبارش موقت بارانداز عبوری، هزینه حمل‌ونقل تحویل و هزینه جریمه زود کرد و دیرکرد هستند. هیچ‌کدام از مطالعات مورد اشاره، ماهیت فاسدشدنی اقلام را با توجه به اینکه امکان تقسیم چندبخشی در تقاضا نیز وجود داشته باشد را در نظر نگرفته‌اند. مطالعه حاضر خاصیت

1. Musavi & Bozorgi-Amiri
2. Split Delivery Vehicle Routing Problem
3. Vehicle Routing Problem Cross-docking

فسادپذیری محصولات تازه را در مدل LSDVRPCD[1] بررسی کرده و یک مدل دو هدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP)[2] ارائه می‌دهد که تأثیر فسادپذیر بودن محصولات را در تابع هدف دوم نمایش می‌دهد. در نهایت مدل پیشنهادی با استفاده از روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته در نرم‌افزار سیپلکس نسخه ۲۰.۱ حل و نتایج آن تحلیل حساسیت شد. با توجه به مرور ادبیات، شکاف‌های پژوهشی مورد اشاره را می‌توان به‌صورت زیر فهرست کرد:

- استفاده از رویکردهای حل دقیق برای مسائل برنامه‌ریزی چند هدفه مانند روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته
- ارئه یک مدل جدید برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای حل یکپارچه مسئله مکان‌یابی، زمان‌بندی مسیریابی در حالت چند دپویی
- بررسی اقلام فسادپذیر در یک سیستم توزیع با مراکز بارانداز عبوری چندگانه و امکان تقسیم چندبخشی تقاضا با توجه به حفظ خاصیت تازگی اقلام.

پیشینه نظری پژوهش

بارانداز عبوری

در چارچوب نظری مدیریت زنجیرهٔ تأمین، چهار استراتژی توزیع مختلفی که با مقبولیت بیشتری مواجه است، عبارت است از: جابه‌جایی مستقیم، راه‌های شیری[3]، انبار سنتی و بارانداز عبوری. دو استراتژی جابه‌جایی مستقیم و راه شیری، هزینه‌های اجرایی کمتری دارد و در آنها نیازی به تسهیلات لجستیکی واسطه نیست؛ اما زمانی که اندازه محموله، کوچک و مشتریان به لحاظ جغرافیایی پراکنده می‌باشند، بهتر است از استراتژی‌های انبار سنتی و یا بارانداز عبوری استفاده شود. عملیات اصلی یک انبار سنتی عبارت است از تخلیه اقلام از وسیله نقلیه ورودی، ذخیره ، بازیابی و مونتاژ آنها طبق سفارش مشتری و در نهایت بارگیری محصول در وسایل حمل‌ونقل خروجی (بوئیجز، ویس و کارلو[4]، ۲۰۱۴).

در میان عملکردهای مهم انبار سنتی (دریافت[5]، ذخیره‌سازی[6]، آماده‌سازی سفارش[7] و انتقال[8])، ذخیره‌سازی و آماده‌سازی سفارش‌ها به ترتیب تحت تأثیر هزینه‌های نگهداری موجودی و تحلیل هزینه‌های نیروی کار، معمولاً بسیار هزینه‌بر هستند. در مقابل، بارانداز عبوری رویکرد برتری است که به‌واسطه آن، دو عملیات بسیار گران ذخیره‌سازی و آماده‌سازی سفارش‌ها، حذف می‌گردند (ون بل، والکنارس و کاتریس[9]، ۲۰۱۲). به عبارت دیگر بارانداز عبوری در مقایسه با فعالیت‌های اصلی انبار سنتی، می‌تواند با کاهش هزینه‌های جابه‌جایی مواد و هزینه ذخیره‌سازی ناشی از حذف

1. Location split delivery VRPCD
2. Mixed integer programming
3. Milk-runs
4. Buijs, Vis & Carlo
5. Receiving
6. Storage
7. Order picking
8. Shipping
9. Van Belle, Valckenaers, & Cattrysse

فعالیت‌های انبارش و آماده‌سازی سفارش‌ها، به‌صورت کاراتر عمل نماید (آپته و ویسوادان[1]، ۲۰۰۰). استیفن و بویسن[2] (۲۰۱۱) بارانداز عبوری را فرایندی برای یکپارچه‌سازی تعریف می‌کنند که در آن گره‌های میانی در یک شبکه حمل‌ونقل بایکدیگر ادغام می‌شوند. طبق این ساختار ، کالاها از وسایل حمل‌ونقل ورودی به وسایل حمل‌ونقل خروجی در همان روز یا به مدت یک شب بدون نگهداری آن‌ها در انبار، انتقال می‌یابند. ترمینال بارانداز عبوری نیز دو نوع درب اصلی دارد: درب‌های ورودی و درب‌های خروجی. یک وسیله نقلیه هنگام رسیدن به درب اصلی، یا در آنجا پذیرش می‌شود یا اینکه به قسمت پارکینگ هدایت می‌شود، سپس محموله‌ها با توجه به مقصد تخلیه، اسکن و مرتب‌سازی شده و به بخش ارائه خدمات ارزش‌افزوده منتقل و درنهایت بارگیری مجدد آنها توسط وسایل حمل‌ونقل خروجی انجام می‌شود. در قسمت درب‌های خروجی، وسایل حمل‌ونقل خروجی طبق فرایندهای توزیع به‌طرف مقصد بعدی حرکت می‌کنند.

بارانداز عبوری و مکان‌یابی

مکان‌یابی یک یا تعداد بیشتری از سیستم‌های بارانداز عبوری ، بخشی از طراحی شبکه‌های توزیع در یک زنجیرهٔ تأمین می‌باشند. به یک استراتژی برای تصمیم گیری در رابطه با موقعیت این بارانداز‌ها مورد نیاز است. همچنین این مسئله نمی‌تواند به‌طور جداگانه از تصمیم‌گیری در رابطه با نحوه‌ی جریان کالاها در این شبکه‌ها، به کار گرفته شود (ون بل و همکاران،۲۰۱۲) . در این مقاله تعیین جریان کالاها موضوع موردبحث نیست و تنها مسائلی در نظر گرفته می‌شوند که تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی بارانداز‌های عبوری را پوشش می‌دهند. در واقع امروزه مسائلی که در آن تسهیلات (به‌عنوان‌مثال، مراکز توزیع و کارخانه‌ها) مکان‌یابی می‌شوند، توجهات زیادی را به خود جلب کرده‌اند.

اولین مطالعه پیرامون مکان‌یابی بارانداز‌های عبوری توسط سانگ و سونگ[3] (۲۰۰۳) انجام گرفت. متعاقب این مطالعه، مقالات متعددی به تحریر در آمدند که در آن‌ها به‌طور اخص بر روی مسئله مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری تمرکز شده است. از جمله این مقالات می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: سانگ و سونگ (۲۰۰۳)، گوماس و بوکبیندر[4] (۲۰۰۴)، جیرمان و روس[5] (۲۰۰۳)، روس و جیرمان (۲۰۰۸)، موسی، آرنائوت وجانگ (۲۰۱۰) و سانگ و یانگ[6] (۲۰۱۷). در سال‌های اخیر نیز مقالات متعددی مسئله مکان‌یابی بارانداز عبوری را به همراه سایر مسائل مانند زمان‌بندی و مسیریابی مورد مطالعه قرار داده اند. در اینجا می‌توان به کارهای موسوی و توکلی مقدم[7] (۲۰۱۳)، موسوی و همکاران (۲۰۱۴) ، حسنی گودرزی و ذگردی[8] (۲۰۱۶)، موسوی، آنتوچویسین، زاوادسکاس، وحدانی و هاشمی[9] (۲۰۱۹) و حسنی گودرزی، ذگردی، آلپان، نخعی کمال آبادی و حسین‌زاده کاشان[10] (۲۰۲۱) اشاره داشت.

1. Apte and Viswanathan
2. Stephan & Boysen
3. Sung & Sung
4. Gumus & Bookbinder
5. Jayarman & Ros
6. Sung & Yung
7. Mousavi & Tavvakoli-Moghaddam
8. Hasani Goodarzi & Zegordi
9. Mousavi, Antuchevičienė, Zavadskas, Vahdani & Hashemi
10. Hasani Goodarzi, Zegordi, Alpan, Nakhai Kamalabadi & Husseinzadeh Kashan

از آنجا که این مقاله به‌دنبال طراحی مدل یکپارچه برای مسئله مکان‌یابی، زمان‌بندی و مسیریابی است باید روی مدل‌های یکپارچه تمرکز کرد. مفهوم مدل یکپارچه مکان‌یابی مسیریابی (LRP)[1] برای اولین بار توسط وب[2] (۱۹۶۸) مطرح گردید. در مدل LRP دو برنامه اصلی در عملیات لجستیک یعنی مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی با هم ادغام می‌شوند. مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. بعد از معرفی مدل کلاسیک LRP، بیشتر مطالعات LRP به لحاظ کردن ظرفیت برای دپوها و وسایل نقلیه تمرکز دارند که به عنوان مدل‌های CLRP[3] معروف هستند. در ادامه پژوهشگران مدل‌های CLRP توسعه داده و مواردی همچون پنجره‌های زمانی و استفاده هم‌زمان در فرایندهای برداشت و تحویل را اضافه نمودند (یو، نورماساری و چن[4]، ۲۰۲۱).

بارانداز عبوری و زمان‌بندی

بویسن و فلیندر[5] (۲۰۱۰) اولین طبقه بندی از مسائل زمان‌بندی بارانداز عبوری را ارائه دادند. در ادامه شعیب و فتحی[6] (۲۰۱۲) به‌طور معین به مرور مدل‌های ریاضی مورداستفاده در تخصیص وسایل حمل‌ونقل به درب‌ها[7] در هنگام انجام عملیات بارانداز‌های عبوری پرداخته اند. لدیر و آلپان[8] (۲۰۱۶) نیز کلیه مقالاتی که تا سال ۲۰۱۶ در ارتباط با سطح عملیات بارانداز عبوری بودند را مورد مطالعه و فیلتر قرار دادند. تئوفیلس، دولبنتس، پاشا، آبیوی و کاووسی[9] (۲۰۱۹) در ادامه کار لدیر و آلپان (۲۰۱۶) آن دسته از مقالاتی را بررسی کردند که از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ در سطح عملیاتی با موضوع زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل در بارانداز عبوری به چاپ رسیده است. مقالات چاپ‌شده در چهار دسته مهم طبقه‌بندی شدند: ۱. زمان‌بندی در بارانداز عبوری؛ ۲. مدل‌سازی چند هدفه زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل در بارانداز عبوری؛ ۳. مدل‌سازی عدم اطمینان در زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل در بارانداز عبوری؛ ۴. مقالات متفرقه دیگر که در دسته‌بندی‌های قبلی قرار نمی‌گیرند. در یک مطالعه مروری دیگر بوکام و ویستیپانیچ[10] (۲۰۱۹) ادبیات مسائل بارانداز عبوری در سطح عملیاتی و فرصت‌های پیش رو در قالب تخصیص درب بارانداز، توالی وسیله نقلیه و زمان‌بندی وسیله نقلیه مورد مطالعه قرار دادند. به عقیده نویسندگان در میان عملیات‌های بارانداز عبوری، وظایف بین درب‌های ورودی و خروجی که شامل مرتب کردن و بسته‌بندی مجدد است کمتر موردتوجه قرار گرفته است و مقالات بسیار اندکی در زمینه زمان‌بندی وظیفه[11] به چاپ رسیده است. لذا بدون شک زمان‌بندی وظیفه موضوعی است که فرصت‌های توسعه و بهبود را برای پژوهشگران آتی فراهم می‌کند.

1. Location routing problem
2. Webb
3. Capacitated LRP
4. Yu, Normasari & Chen
5 Boysen and Fliedner
6. Shuib & Fatthi
7. Assign trucks to doors
8 Ladier & Alpan
9 Theophilus, Dulebenets, Pasha, Abioye & Kavoosi
10. Buakum & Wisittipanich
11. Duty scheduling

مسئله مسیریابی وسیله حمل‌ونقل با امکان تقسیم تقاضا (SDVRP)

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در مسئله پایه مسیریابی وسیله حمل‌ونقل 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 می‌باشد. در چنین مواقعی می‌بایست این فرض نقض شده و امکان سرویس‌دهی به بعضی از مشتریان را با بیشتر از یک وسیله فراهم نمود. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با امکان تقسیم تقاضا، توسعه‌ای از مسئله مسیریابی وسیله نقلیه بوده و امکان سرویس‌دهی به مشتریان با بیشتر از یک وسیله نقلیه میسر است.

این امر (هم از طریق کاهش مسافت کل طی شده و هم از طریق کاهش تعداد وسایل نقلیه به کار گرفته‌شده) سبب کاهش در هزینه‌ها می‌گردد. زمانی که تعداد نقاط تقاضا به بی‌نهایت میل کند، مقدار بهینه SDVRP نصف CVRP[1] خواهد شد. مقدار صرفه‌جویی در این حالت زمانی قابل‌توجه خواهد بود که تقاضای مشتریان بیش از ۱۰ درصد ظرفیت خودروها باشد. روش SDVRP برای اولین بار توسط درور و ترودیو (۱۹۸۹و۱۹۹۰) مطرح گردید. درور و ترودیو (۱۹۸۹ و ۱۹۹۰) نشان دادند که مجاز شمردن تقسیم تقاضای مشتریان بین چند وسیله نقلیه می‌تواند به میزان معناداری در فاصله کل طی شده توسط وسایل نقلیه و تعداد آن‌ها صرفه‌جویی نمود. آرچتی و اسپرانزا[2] (۲۰۱۲) با مطالعه‌ای که بر مقالات SDVRP داشته‌اند به این نتایج اشاره داشتند که جواب بهینه CVRP در مسائل سایز بزرگ و زمانی که ناوگان حمل‌ونقل نامحدود باشد تا دو برابر مقدار جواب بهینه SDVRP است. همچنین تعداد وسایل حمل‌ونقل استفاده شده در مسئله SDVRP ممکن است به نصف تعداد وسایل حمل‌ونقل در مسئله CVRP برسد. اگر تعداد ناوگان حمل‌ونقل محدود باشد، نسبت جواب بهینه CVRP به SDVRP به بی‌نهایت میل می‌کند. در واقع مهم‌ترین مزیت و صرفه‌جویی روش SDVRP در این است که طبق این روش امکان پوشش تقاضای مشتریان در حالتی که متوسط تقاضای آن‌ها بالای نصف ظرفیت وسایل حمل‌ونقل است و واریانس تقاضا کم است، نیز وجود دارد.

در سال‌های اخیر تمرکز بر روی این دسته از مسائل رو به افزایش بوده است. برای حل اینگونه مسائل روش‌های مختلفی اعم از روش‌های قطعی، ابتکاری و فراابتکاری ارائه شده است که اهم آن می‌توان به کارهای ذیل اشاره نمود:

آرچتی، ساولسبرگ و گرازیا اسپرانزا [3] (۲۰۰۸) و آرچتی و همکاران (۲۰۱۱) تحلیل حساسیت روشSDVRP انجام داده‌اند. برای مسئله SDVRP رویکردهای قطعی مختلفی ارائه شده است . در این میان می‌توان به کارهای بلنگور، مارتینز و موتا[4] (۲۰۰۰) درور و همکاران (۱۹۹۴) و مورنو، دی آراگو و یوچوآ [5] (۲۰۱۰) اشاره کرد. الگوریتم شاخه – کران – قیمت توسط آرچتی و همکاران (۲۰۱۴) و روش پیشنهادی ازبایگین، کاراسان و یامان[6] (۲۰۱۸) با ارائه یک فرمول بندی جدید بر مبنای روش‌های قطعی ارائه گردیده است. از آنجا که علاقه زیادی به استفاده از روش‌های قطعی توسط

1. Capacity VRP
2. Archetti & Speranza
3. Archetti, Savelsberg & Grazia Speranza
4. Belenguer, Martinez & Mota
5. Moreno, De Aragão & Uchoa
6. Ozbaygin, Karasan & Yaman

پژوهشگران وجود ندارد، معمولا مسائل SDVRP به روش‌های فراابتکاری حل گردیده‌اند. آرچتی و همکاران (۲۰۰۶)، بربوتو، گارسیا و نوگالس[1] (۲۰۱۳) کیو، فو، اگلس و تانگ[2] (۲۰۱۸) از روش جست‌وجوی محلی (TS)[3] استفاده کرده‌اند. روش الگوریتم ژنتیک (GA)[4] توسط راجاپا، ویلک و بل[5] (۲۰۱۶) و روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات توسط شی، ژانگ، وانگ و فانگ[6] (۲۰۱۸) به کار گرفته شده است. در سال‌های اخیر نتایج بسیار قوی و با کیفیت بالا به واسطه استفاده از فرمول‌های ریاضی مانند تجزیه بندرز و بهینه‌سازی تیلور به‌دست آمده است. از جمله این کارها می‌توان به کار براک و اوری[7] (۲۰۱۷) و بیانچسی و ایرنیچ[8] (۲۰۱۹) اشاره کرد. آرچتی و اسپرانزا (۲۰۱۲) و همچنین ایرنیچ، اسچنیدر و ویگو[9] (۲۰۱۴) مروری بر ادبیات SDVRP داشته‌اند. پژوهشگران علاقه‌مند می‌توانند به آنها مراجعه نمایند.

پیشینه تجربی پژوهش

بارانداز عبوری؛ مکان‌یابی– زمان‌بندی و مسیریابی در اقلام فاسد شدنی

آگوستینا، لی و پیپلانی[10] (۲۰۱۴)یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح را برای زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل و مسئله مسیریابی ارائه دادند. آن‌ها مسئله را با یک پنجره زمانی برای اطمینان از اینکه محصولات غذایی در یک‌زمان مشخص تحویل داده می‌شوند، موردمطالعه قراردادند. مدل آنها تک‌محصولی، وسایل حمل‌ونقل یکسان و منابع نامحدود برای تخلیه محصول در مکان‌های مشتری در نظر گرفته‌شده است. تابع هدف مدل مورد مطالعه نیز شامل حداقل کردن کل هزینه‌های تحویل است که این هزینه‌ها شامل هزینه‌های نگهداری موجودی و حمل‌ونقل و هزینه‌های جریمه زودکرد و دیرکرد تحویل می‌شود. متغیرهای تصمیم مدل هم شامل برنامه ورود و خروج وسایل حمل‌ونقل و مسیرهای تحویل است به‌گونه‌ای که رضایت مشتری با توجه به پنجره زمانی تحویل تأمین گردد. موسوی و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مقاله خود با عنوان مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری و زمان‌بندی مسیریابی وسایل نقلیه در شرایط عدم اطمینان،یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی ـ احتمالی فازی را ارائه داده اند. این مطالعه دو مدل برنامه‌ریزی خطی ـ مختلط را ارائه می‌دهد که مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری و زمان‌بندی مسیریابی وسایل نقلیه را با مراکز چندگانه بارانداز عبوری باهم ترکیب می‌کند. فاز اول مربوط به مدل مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری چندگانه است. تابع هدف در این فاز شامل حداقل کردن هزینه‌های نگهداری موجودی، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی می‌شود. فاز دوم مربوط به مدل زمان‌بندی مسیریابی در مراکز بارانداز عبوری چندگانه می‌باشد. تابع هدف این فاز هم شامل هزینه‌های حمل‌ونقل مربوط به انتقال محصولات چندگانه در فرایندهای آماده‌سازی سفارش و تحویل، هزینه‌های دیرکرد و زود کرد و هزینه‌های عملیاتی وسایل حمل در حین پردازش می‌باشد. موسوی و بزرگی ـ امیری (۲۰۱۷) نیز یک مدل مکان‌یابی

1. Berbotto, García & Nogales
2. Qiu, Fu, Eglese & Tang
3. Tabu search
4. Genetic algorithm
5. Rajappa, Wilck & Bell
6. Shi, Zhang, Wang & Fang
7. Bruck & Iori
8. Bianchessi & Irnich
9. Irnich, Schneider, and Vigo
10. Agustina, Lee & Piplani

هاب و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل را با فرض محدود بودن تعداد وسیله نقلیه ارائه دادند. مدل آنها تک محصولی، وسایل حمل‌ونقل یکسان و برای محصولات فاسد شدنی در نظر گرفته شده است. مسئله مانند یک مسئله چندهدفه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مدل‌سازی گردید و در آن سه هدف هزینه‌های کل حمل‌ونقل، تازگی و کیفیت محصول در زمان تحویل و کل گاز دی‌اکسیدکربن منتشرشده از وسایل حمل‌ونقل جهت دستیابی به پایداری مطلوب محیط را بهینه می‌کند. رهبری، نصیری، ورنر، موسوی و فریبرز جولای[1] (۲۰۱۹) مسئله مسیریابی وسایل نقلیه و زمان‌بندی در بارانداز عبوری برای محصولات فاسدشدنی در شرایط عدم اطمینان را مطالعه نمودند. آنها مدل آگوستینا را در قالب مدل چند محصولی، محصولات فاسدشدنی، وسایل حمل‌ونقل یکسان و محدودیت منابع در مکان‌های مشتری توسعه داده‌اند. مدل آنها توالی و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل ورودی (خروجی) در درب‌های ورودی (خروجی) بارانداز عبوری را به‌خوبی مسیریابی و زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل خروجی در فرآیند تحویل به خرده‌فروش (مشتری) به روشی که هزینه کل حداقل شود و هم زمان تازگی محصول حفظ شود، ارائه می‌دهد. تیکنی و کبریا[2] (۱۳۹۹) نیز یک مدل مکان‌یابی – مسیریابی برای محصولات فسادپذیر در گراف چندگانه با در نظرگرفتن آلودگی وسایل حمل‌ونقل و اختلال در انبارها مورد مطالعه قرار دادند. یک مدل دو هدفه مسیریابی زمان‌بندی برای تخلیه اضطراری افراد آسیب دیده در زمان وقوع بحران توسط صبوحی و بزرگی امیری (۱۳۹۸) ارائه شده است. حسنی گودرزی و همکاران (۲۰۱۲) یک مدل مسیریابی با حمل‌ونقل ناهمگون چند محصولی را در باراندازهای عبوری ارائه دادند به‌گونه‌ای که امکان تقسیم چندبخشی تقاضا در برداشت و تحویل وجود دارد. توکلی مقدم و همکاران (۲۰۰۷) یک مدل مسیریابی ظرفیت دار با حمل‌ونقل ناهمگون و تقسیم چندبخشی تقاضا پیشنهاد دادند. اهداف مدل حداقل کردن هزینه‌های ناوگان حمل‌ونقل و حداکثر کردن بهره وری ظرفیت است. آنها از یک الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل مدل استفاده کردند. حسنی گودرزی و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل مسیریابی برای باراندازهای عبوری همراه با زمان‌بندی و تقسیم چندبخشی تقاضا در مرحله برداشت و تحویل را ارائه دادند. کارایی و پاسخ‌گویی دو هدف این مدل بودند. مدل چند هدفه با استفاده از الگوریتم تکاملی فراابتکاری حل گردید. شهابی شهمیری، آسیان، توکلی مقدم، موسوی و رجب زاده[3] (۲۰۲۱) در پژوهشی یک مدل چند هدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط زمان‌بندی مسیریابی را برای اقلام اقلام فاسد شدنی با حمل‌ونقل ناهمگون در نظر گرفته اند. در مدل آنها ضمن امکان برداشت و تحویل هم‌زمان اقلام، امکان تقسیم چندبخشی تقاضا نیز وجود دارد. حداقل کردن هزینه‌های توزیع، حداقل کردن زمان توزیع و حداقل کردن زودکرد و دیرکرد اقلام فاسد شدنی سه هدفی هستند که این پژوهش دنبال می‌کند. به منظور حل مدل یک روش ترکیبی جدید در مقایسه با روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته ارائه شده است. جوانفر، رضاییان، شکوفی و مهدویان (۱۳۹۵) در پژوهش خود به مطالعه مسئله مکان‌یابی– 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 بار وجود دارد. هدف مدل کمینه‌سازی مجموع هزینه باز شدن مراکز بارانداز عبوری و هزینه‌های حمل‌ونقل است.برای مسئله مورد

1. Rahbari, Nasiri, Werner, Musavi & Fariborz Jolai
2. Tikani & Kebria
3. Shahabi-Shahmiri, Asian, Tavakkoli-Moghaddam, Mousavi & Rajabzadeh

نظر یک مدل ریاضی یکپارچه غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه گردیده است. برای حل مسائل در ابعاد بزرگ نیز یک الگوریتم بهینه‌سازی ذرات پیشنهاد شده است. حاجیان، کاظمی، سید حسینی و اشلقی (۱۳۹۸) مدل جدیدی از مسئله مکان‌یابی ـ مسیریابی ـ موجودی را در یک شبکه زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته برای محصولات فاسدشدنی با در نظرگرفتن ملاحظات زیست محیطی ارائه می‌دهد، به نحوی که هم‌زمان مجموع هزینه‌های سیستم، مجموع حداکثر زمان حمل‌ونقل و انتشار آلاینده‌ها در کل شبکه کمینه می‌شود. مسئله پژوهش در قالب یک مدل چند هدفه برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط فرموله شده و برای حل مدل، رویکردی از الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. به منظور اعتبارسنجی، نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش دقیق مقایسه شده‌اند. گنجی، کاظمی پور، حاجی مولانا و سجادی (۱۳۹۹)، یک مدل یکپارچه زمان‌بندی زنجیرهٔ تأمین سبز را ارائه داده‌اند به‌گونه‌ای که تولید، توزیع و مسیریابی با وسیله نقلیه ناهمگن و پنجره‌های زمانی مشتریان را شامل می‌شود. هدف کمینه کردن کل هزینه‌های توزیع سفارش‌ها و هزینه‌های ثابت و متغیر سوخت و انتشار کربن وسیله نقلیه و کل زمان دیرکرد سفارش‌های مشتریان است. برای مسئه یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی مختلط ارائه شده است که برای حل آن از الگوریتم‌های فراابتکاری چندهدفه MOPSO و NSGA-II بهره گرفته شده است.

جدول ۱. مقایسه ویژگی‌های مقالات مختلف

پژوهش	طراحی شبکهٔ هاب	اقلام فاسدشدنی	مسیریابی	مسیریابی با تقاضای چندبخشی	زمان‌بندی	زمان‌بندی- خاصیت تازگی	چند هدفه
آگوستینا و همکاران (۲۰۱۴)		*	*		*		
موسوی و بزرگی امیری (۲۰۱۷)	*	*				*	*
رهبری و همکاران (۲۰۱۹)		*	*			*	*
موسوی و همکاران (۲۰۱۴)	*		*		*		
موسوی و همکاران (۲۰۱۳)			*		*		
تیکنی و همکاران (۱۳۹۹)	*	*	*			*	*
صبوحی و بزرگی امیری (۱۳۹۸)			*		*		*
حسنی گودرزی و همکاران (۲۰۱۲)				*			
توکلی مقدم و همکاران (۲۰۰۷)				*			*
حسنی گودرزی و همکاران(۲۰۲۰)				*	*		*
شهابی ـ شهمیری (۲۰۲۱)		*		*	*		*
جوانفر و همکاران (۱۳۹۵)	*	*		*			
حاجیان و همکاران (۱۳۹۸)	*	*	*				
گنجی و همکاران (۱۳۹۹)			*		*		
این کار پژوهشی	*	*		*		*	*

همان گونه که در جدول ۱ نمایش داده شده است تمام مطالعات روی VRPCD به‌دنبال کاهش هزینه‌های لجستیک بر مبنای تعداد وسایل نقلیه، هزینه نگهداری موجودی در انبارش موقت بارانداز عبوری، هزینه حمل‌و نقل تحویل و هزینه جریمه زودکرد و دیرکرد هستند. هیچ‌کدام از این مقالات ماهیت فاسدشدنی اقلام را با توجه به اینکه امکان تقسیم چندبخشی در تقاضا نیز وجود داشته باشددر نظر نگرفته‌اند. این مقاله خاصیت فسادپذیری محصولات تازه را در مدل LSDVRPCD می‌بیند و یک مدل دو هدفه MIP ارائه می‌دهد که تأثیر فسادپذیر بودن محصولات را در تابع هدف دوم نمایش می‌دهد.

مدل مفهومی

ادغام مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری در یک مسئله زمان‌بندی مسیریابی هم‌زمان در مراکز توزیع را می‌توان اینگونه تعریف کرد: مجموعه ای از مشتریان با تقاضای چندبخشی و مجموعه‌ای از مراکز بارانداز عبوری کاندید وجود دارند. در مدل LSDVRP ابتدا از بین مراکز کاندید بارانداز عبوری یک یا چند مرکز انتخاب شده (مشخص می‌گردد کدام مراکز باز و کدام مراکز غیرفعال باشند)، سپس باید تقاضای مشتریان توسط مراکز فعال بارانداز عبوری تحویل داده شود. مسیریابی وسایل حمل‌ونقل با در نظر گرفتن تقسیم چندبخشی تقاضا در دنیای واقعی به منظور پوشش و تحویل تقاضا انجام می‌گیرد. در نهایت در مدل یکپارچه، زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل با توجه به حفظ خاصیت تازگی به منظور تحویل به موقع و سریع اقلام فاسد شدنی به مشتریان لحاظ گردیده است. به‌طور خلاصه، برنامه پخش و زمان‌بندی مسیریابی در حالت چند دپویی با مراکز بارانداز عبوری چندگانه می‌تواند در نهایت رضایت مشتری را به همراه داشته باشد.

در مسئله LSDVRPCD مفروضات مدل پیشنهادی به‌صورت زیر است:

- هر وسیله حداکثر در یک مسیر مورداستفاده قرار گیرد.
- هر مسیر از یک دپو شروع شده و در همان دپو خاتمه می‌یابد.
- کل بار وسیله نقلیه در هر نقطه از مسیر نباید از ظرفیت آن تجاوز کند.
- تقاضای مشتری‌هایی که بیش از ظرفیت وسایل نقلیه است، بین وسایل مختلف تقسیم می‌شود.
- کل بار تحویلی به مشتری‌های اختصاص داده شده به یک مرکز بارانداز عبوری باز نباید از ظرفیت آن مرکز تجاوز نماید.
- وسایل حمل‌ونقل همگون و دارای ظرفیت محدود می‌باشند.

سایر پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در مدل ریاضی در ادامه آمده است.

اندیس‌ها

مجموعه مشتریان	NC
مجموعه مراکز بارانداز عبوری	ND
کل گره‌ها	N
اندیس گره‌ها به‌گونه‌ای که i,j=1…N	i,j

اندیس وسایل حمل‌ونقل به‌گونه‌ای که v=1…V	v

پارامترها

میزان مسافت گره i تا گره j	C_{ij}
میزان تقاضای گره i	D_i
عدد بزرگ	M
ظرفیت وسایل حمل‌ونقل	Q
ظرفیت بارانداز عبوری k ام	W_k
هزینه عملیاتی هر وسیله	E
هزینه ثابت تأسیس هر بارانداز	F_k
دوره عمر محصول	sl
نقطه کاهش کیفیت محصول به‌گونه‌ای که $0 \leq QRP \leq 1$	QRP
زمان سفر از گره i تا گره j	$\boldsymbol{et}_{ij}$
مدت زمانی که طول می‌کشد هر وسیله نقلیه به گره i سرویس دهد	t_i
ماکزیمم مدت زمانی که یک وسیله نقلیه اجازه دارد یک مسیر را طی نماید	T

متغیرهای تصمیم

متغیر باینری z_{ik} در صورتی ۱ است که مشتری i از مرکز بارانداز عبوری k سرویس بگیرد، در غیر این صورت ۰ است.	z_{ik}
متغیر باینری y_k در صورتی ۱ است که مرکز بارانداز عبوری k ام باز شود	y_k
متغیر باینری در صورتی ۱ است که وسیله نقلیه p از گره i به j برود، در غیر این صورت ۰ است.	x_{ijp}
مقداری از محصول که وسیله نقلیه p در طول مسیر گره i به j با خود حمل می‌کند.	y_{ijp}
درصدی از تقاضای مشتری iام که توسط وسیله نقلیه p ام در طول مسیر i به j تحویل میگردد.	r_{ijp}
احتمال خرید مشتری i ام (کیفیت محصول) با وسیله نقلیه p ام	g_i^p
زمان خروج وسیله نقلیه p از گره i ام	Dt_i^p
زمان ورود وسیله نقلیه p به بارانداز عبوری	AT_j^p
زمان ورود وسیله نقلیه p به مشتری j	ATT_j^p

مدل ریاضی فرموله شده برای مسئله مورد بررسی به شرح زیر است:

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

$$max \sum_{i\in N}\sum_{p\in V} g_{ip}$$ رابطه ۲)

Subject to:

$$\sum_{k} z_{ik} = 1 \qquad \forall_i \in N_C, \forall_k \in ND$$ رابطه ۳)

$$\sum_{i\ in\ NC} D_i Z_{ik} \le W_k y_k \qquad \forall_k \in ND$$ رابطه ۴)

$$\sum_{j\in N} x_{ijp} \le 1 \qquad \forall_i \in N_C, \forall p \in V$$ رابطه ۵)

$$\sum_{j\in N} x_{ijp} - \sum_{j\in N} x_{ijp} = 0 \qquad \forall_i \in N, \forall p \in V$$ رابطه ۶)

$$x_{ikp} \le z_{ik} \qquad \forall i \in N_C, \forall k \in N_D, \forall p \in V$$ رابطه ۷)

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

$$x_{ijp} + z_{ik} + \sum_{r\in N_D, r\neq k} z_{jr} \le 2 \qquad \forall i,j \in N_C, i \neq j, \forall k \in N_D, \forall P \in V$$ رابطه ۹)

$$\sum_{l\in N} y_{lip} - \sum_{j\in N} y_{ijp} = \sum_{j\in N} r_{jip} d_i \qquad \forall i \in N_C, \forall p \in V$$ رابطه ۱۰

$$\sum_{j\in N_C}\sum_{p\in V} y_{kjp} = \sum_{j\in N_C} z_{jk} d_j \qquad \forall k \in N_D$$ رابطه ۱۱)

$$\sum_{j\in N_C}\sum_{p\in V} y_{jkp} = 0 \qquad \forall k \in N_D$$ رابطه ۱۲)

$$\sum_{i\in N} r_{ijp} d_j \le Q \qquad \forall j \in N_C, \forall p \in V$$ رابطه ۱۳)

$$\sum_{i\in N, i\neq j}\sum_{p\in V} r_{ijp} = 1 \qquad \forall j \in N_C$$ رابطه ۱۴)

$$r_{ijp} \le x_{ijp} \qquad \forall j \in N_C, \forall i \in N, i \neq j, \forall p \in V$$ رابطه ۱۵)

$$y_{ijp} <= Q x_{ijp} \qquad \forall j \in N, \forall i \in N, i \neq j, \forall p \in V$$ رابطه ۱۶)

$$r_{ijp} d_j \le y_{ijp} \qquad \forall j \in N_C, \forall i \in N, i \neq j, \forall p \in V$$ رابطه ۱۷)

$$y_{ijp} \le Q x_{ijp} - \sum_{r\in N} r_{rip} D_i + M(1 - x_{ijp}) \qquad \forall j \in N, \forall i \in N_C, i \neq j, \forall p \in V$$ رابطه ۱۸)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$y_{ijp} \le Qx_{ijp} \qquad \forall j \in N, \forall i \in N_C, i \ne j, \forall p \in V$$ رابطه ۱۹)

$$r_{ikp} = 0 \qquad \forall i \in N_C, \forall k \in N_D, \forall p \in V$$ رابطه ۲۰)

$$\sum_{i \in N_C} x_{kip} \le 1 \qquad \forall k \in N_D, \forall p \in V$$ رابطه ۲۱)

$$\sum_{i \in N}\sum_{j \in N} t_i x_{ijp} + \sum_{i \in N}\sum_{j \in N} et_{ij} x_{ijp} \le T \qquad \forall p \in V$$ رابطه ۲۲)

$$DT_{jp} = (et_{ij} + DT_{ip} + t_j)x_{ijp} \qquad \forall j \in N_c, \forall i \in N, \forall p \in V$$ رابطه ۲۳)

$$ATT_{jp} = (DT_{jp} - t_j)x_{ijp} \qquad \forall j \in N_c, \forall i \in N, \forall p \in V$$ رابطه ۲۴)

$$AT_{jp} = (et_{ij} + DT_{ip})x_{ijp} \qquad \forall j \in N_D, \forall i \in N_C, \forall p \in V$$ رابطه ۲۵)

$$AT_{qp} = AT_{q'p'} \qquad \forall q, q' \in N_D, q \ne q' \forall p, p' \in V, p \ne p'$$ رابطه ۲۶)

$$g_{ip} <= \frac{1 - \frac{ATT_{ip}}{sl}}{1 - QRP} \qquad \forall i \in N, \forall p \in V$$ رابطه ۲۷)

$$g_{ip} <= 1 \qquad \forall i \in N, \forall p \in V$$ رابطه ۲۸)

$$x_{ijp} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in N, \forall p \in V$$ رابطه ۲۹)

$$z_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in N_C, \forall k \in N_D$$ رابطه ۳۰)

تابع هدف اول (رابطه ۱) به‌دنبال حداقل‌سازی هزینه مسیرهای طی شده، هزینـه ثابـت راه انـدازی مراکـز بارانـداز عبوری و هزینه عملیاتی وسایل حمل‌ونقل مورد استفاده می‌باشد.

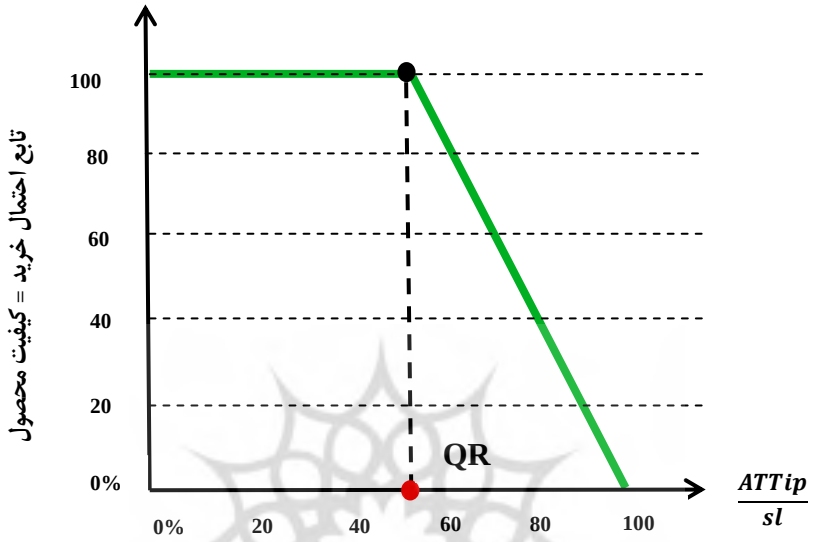
تابع هدف دوم (رابطه ۲) به‌دنبال حداکثرسازی کل احتمال خرید برای همه مشتریان است. همان‌طور که بورتولینی، فاشیو، فراری، گامبری و پیلاتی[1] (۲۰۱۶) بیان کردند یکی از روش‌های کارا برای نشان دادن فسادپذیری محصولات این است که از تابع احتمال خرید بازار و افراد برای هر بازار استفاده شود در اینجا می‌توان عنوان«کیفیت محصول» را به‌جای «احتمال خرید» جایگزین نمود .این تابع به‌صورت زیر است:

$$g_{ip} = min\left\{\frac{1 - ATT_{ip}}{1 - QRP}, 1\right\}$$ رابطه ۳۱)

از آنجا که این امکان وجود دارد تا تقاضای هر گره توسط بیش از یک وسیله نقلیه پوشش داده شود، لذا بایـد تـابع

1. Bortolini, Faccio, Ferrari, Gamberi & Pilati

احتمال خرید در هر گره را به ازای هر وسیله نقلیه (g_{ip}) محاسبه نمود. کیفیت محصول در طول زمان را می‌توان مانند تابع پیوسته کاهشی مانند شکل ۱ در نظر گرفت. زمانی که نرخ $\frac{ATT_{ip}}{sl}$ بر QRP به‌دست می‌آید خط کاهش کیفیت رابطه ۳۱ نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است این معادله غیرخطی است . می‌توان با استفاده از محدودیت‌های ۲۷و ۲۸ این تابع را خطی‌سازی کرد.



شکل۱. تابع احتمال خرید

رابطه (۳) نشان می‌دهد که هر مشتری باید فقط به یک بارانداز عبوری تخصیص یابد.

رابطه (۴) بیان می‌کند که بار تحویلی به مشتریان نباید از ظرفیت مراکزبارانداز عبوری تجاوز نماید.

رابطه (۵) بیان می‌کند که هر وسیله از یک گره مشتری فقط به یک گره دیگر می‌تواند برود.

رابطه (۶) نشان دهنده حرکت متوالی وسایل حمل‌ونقل است.

رابطه (۷) بیان می‌کند که ایجاد مسیر از یک مرکز بارانداز عبوری به یک مشتری زمانی می‌تواند رخ دهد که مشتری ذکرشده به آن مرکز اختصاص یافته باشد.

رابطه (۸) نیز بیان می‌کند که ایجاد مسیر از یک مشتری به یک مرکز بارانداز عبوری زمانی می‌تواند صورت بگیرد که مشتری ذکرشده به آن مرکز اختصاص یافته باشد.

رابطه (۹) از ایجاد مسیرهای غیرمجاز جلوگیری می‌کند.

رابطه‌های (۱۰) تا (۱۲) محدودیت‌های مربوط به جریان در شبکه هستند.

رابطه (۱۳) تضمین می‌کند مقدار کالای بارگیری شده برای تحویل به مشتری نباید از حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز کند.

رابطه (۱۴) نشان‌دهنده یک بودن مجموع درصد پوشش تقاضا هستند.

رابطه (۱۵) تضمین می‌کنند که تقسیم چندبخشی در تقاضای یک مشتری تنها زمانی امکان رخ دادن دارد که مسیری به آن مشتری ایجاد شده باشد.

رابطه (۱۶) بیان می‌کند که مجموع محموله تحویلی در طول یک مسیرکه در حال طی شدن می‌باشد نباید از ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز نماید.

رابطه‌های (۱۷) تا (۱۹) حدود بالا و پایین متغیر y_{ijp} را نشان می‌دهند.

رابطه (۲۰) بیان می‌کند که درصد پوشش تقاضا در مراکز بارانداز عبوری صفر می‌باشد زیرا در مراکز بارانداز عبوری به مانند مشتری‌ها تقاضا وجود ندارد.

رابطه (۲۱) تضمین می‌کنند که هر وسیله نقلیه‌ای که از یک مرکز بارانداز عبوری خارج می‌شود؛ تنها اجازه ورود به یکی از مشتری‌ها را دارد، یعنی نمی‌تواند به‌طور هم‌زمان به بیش از یک مشتری خدمت‌رسانی نماید.

دررابطه (۲۲) جمع کل مدت زمان خدمت دهی و زمان لازم برای حرکت بین دو گره باید کم تر از زمان برنامه‌ریزی شده باشد.

رابطه (۲۳) زمان خروج هر وسیله نقلیه را از هر گره نشان می‌دهد. این زمان از مجموع زمان رسیدن هر وسیله نقلیه به آن گره، زمان خدمت دهی و زمان لازم برای حرکت بین دو گره به‌دست می‌آید.

رابطه (۲۴) زمان ورود هر وسیله نقلیه به گره‌های مشتری را نشان می‌دهد.

رابطه (۲۵) زمان ورود هر وسیله نقلیه به مراکز بارانداز عبوری را نشان می‌دهد.

طبق رابطه (۲۶) وسایل حمل‌ونقلی که از مراکز بارانداز عبوری خارج می‌شوند با این محدودیت مواجه هستند که باید هم‌زمان به مراکز بارانداز عبوری بازگردند.

رابطه‌های (۲۷) و (۲۸) برای خطی‌سازی رابطه (۳۰) استفاده شده است.

و در نهایت رابطه‌های (۲۹) و (۳۰) متغیرهای باینری مسئله را نمایش می‌دهند.

روش‌شناسی پژوهش

در این بخش و برای سهولت درک مدل پیشنهادی و چگونگی کاربرد آن در صنعت مواد غذایی، مثالی در ابعاد کوچک طرح و آزمون گردیده است. یک شرکت توزیع مواد غذایی جهت خدمت‌دهی به ۵ مشتری $NC=\{۲,۴,۵,۶,۸\}$ با تقاضای (D=۶۰,۵۰,۵۰,۴۰,۳۱۰)، ۳ انبار عبوری کاندید $ND=\{۱,۳,۷\}$ با هزینه‌های ثابت یکسان (F=۱۰۰,۱۰۰,۱۰۰) و ظرفیت‌های متفاوت (W=۵۰,۵۰,۱۰۰۰) در اختیار دارد. تعداد وسایل نقلیه موجود در هر مرکز دپو ۶ عدد با ظرفیت Q=۳۰۰ می‌باشد. هزینه عملیاتی هر وسیله نقلیه نیز E=۲۰ است. پارامترهای زمان‌بندی به منظور حفظ خاصیت اقلام فاسدشدنی در زمان تحویل به مشتری عبارت‌اند از دوره عمر محصول sl=۲۰۰ واحد زمان، نقطه کاهش کیفیت QRP=۰.۵، کل زمان در دسترس T=۲۰۰۰ و مدت زمان سرویس‌دهی به هر مشتری (t=۲۰,۲۰۰,۲۰,۶۰,۲۰) است. ماتریس زمان سفر بین گره‌ها et_{ij} همانند ماتریس مسافت C_{ij} در جدول ۲ مفروض است، با این تفاوت که زمان سفر گره ۷ به هر یک از گره‌های ۵ و ۸ برابر ۲۰۰ واحد زمانی است. به‌طور کلی، هدف بررسی و ایجاد یک شبکه بهینه

زنجیرهٔ تأمین است به‌طوریکه هزینه ثابت انبارعبوری و هزینه‌های حمل‌ونقل کمینه و کیفیت اقلام فاسدشدنی در زمان تحویل (پاسخ‌گویی) نیز حداکثرگردد.

بدیهی است، نوع انتخاب پارامترهای یک مدل، بر عملکرد آن تأثیر خواهد گذاشت. لذا به منظور تنظیم پارامترها نیز یک سری مثال حل گردید تا اینکه مقادیر مناسب پارامترها در یک جواب خوب و در مثال‌های متعدد مشخص گردد.

جدول ۲. ماتریس مسافت بین گره‌ها

گره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸
۱	۰	۳۹	۱۶	۵۰	۴۹	۴۵	۲۵	۴۶
۲	۳۹	۰	۴۰	۱۰	۳۱	۳۹	۴۲	۴۸
۳	۱۶	۴۰	۰	۴۰	۲۱	۴۶	۴۸	۵۰
۴	۵۰	۱۰	۴۰	۰	۳۸	۲۱	۴۹	۴۱
۵	۴۹	۳۱	۲۱	۳۸	۰	۳۶	۳۹	۴۱
۶	۴۵	۳۹	۴۶	۲۱	۳۶	۰	۳۱	۲۷
۷	۲۵	۴۲	۴۸	۴۹	۳۹	۳۱	۰	۵۰
۸	۴۶	۴۸	۵۰	۴۱	۴۱	۲۷	۵۰	۰

منبع: (داوودپور، ۱۳۹۴، ۶۴)

مسئله مکان‌یابی و زمان‌بندی مسیریابی چندهدفه پیشنهاد شده یک مسئله NP-hard و چالشی است که نیاز به یک روش حل مؤثر جهت دستیابی به مرز پارتوی مناسب دارد. لذا مدل در نرم افزار سیپلکس نسخه ۲۰.۱ پیاده‌سازی شد و با استفاده از روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته حل و پارامترهای مهم تحلیل حساسیت گردید. روش اپسیلون ـ محدودیت یک رویکرد جواب قطعی است که مرز پارتو بهینه را به‌دست می‌آورد و بسیاری از محققان هم از این روش برای تصمیم‌گیری در مدل‌های چندهدفه استفاده می‌کنند. از جمله می‌توان به کار امیرحسین نجارباشی و لیم[1] (۲۰۱۵) اشاره نمود. ماوروتاس (۲۰۰۹) یک ورژن تکمیلی از روش اپسیلون- محدودیت ارائه داد که به‌عنوان روش AUGMECON[2] نام گرفت. از این روش تکمیلی برای پیاده‌سازی مدل پیشنهادی استفاده گردید. به‌منظور حل مسئله با روش AUGMECON در ابتدا بهینه‌سازی لکسیکوگرافی از توابع هدف به‌منظور به‌دست آوردن مقادیر پرداخت[3] انجام شد. سپس دو تابع هدف به محدودیت تبدیل شد و متغیر کمبود یا مازاد نیز اضافه گردید. مقادیر پرداخت هم برای بازه پارامترهای RHS نیز استفاده گردید از تغییر پارامترهای RHS جواب‌های پارتو بهینه به‌دست آمد. این نکته نیز قابل‌بیان است که برای به‌دست آوردن جواب‌های پارتو قطعی بیشتر، تغییرات کوچکی باید روی مقادیر RHS در هر تکرار انجام شود.

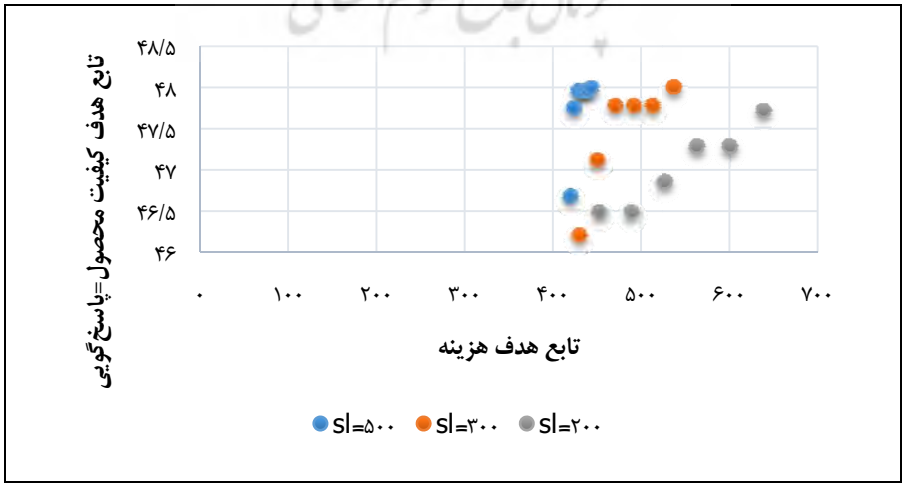
1. Najjarbashi & Lim
2. Augmented - constraint
3. Pay off

یافته‌های پژوهش

در مدل پیشنهادی از میان پارامترهای مدل، سه پارامتر مهم برای تحلیل تأثیر آن بر روی مسائل دنیای واقعی وجود دارد. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد با تغییر این پارامترها، رفتار توابع هدف نسبت به حالت بدون تغییر چگونه خواهد بود. این پارامترها عبارت‌اند از دوره عمر محصول (sl) ، ظرفیت وسایل حمل‌ونقل (Q) و نقطه کاهش کیفیت محصول (QRP). تحلیل حساسیت پارامترها اهمیت جدی برای تصمیم گیران دارد چرا که می‌تواند بأزای شرایط مختلف، بهترین جواب را برای مسائل پیدا کنند.

دو پارامتر دورهٔ عمر محصول (sl) و نقطه کاهش کیفیت (QRP) مربوط به زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل در هنگام تحویل محصول به مشتری هستند. از آنجا که یکی از مزیت‌های مدل پیشنهادی پژوهش ایجاد امکان تقسیم چندبخشی در تقاضا برای پوشش این پارامترها است تحلیل حساسیت آنها انجام گرفت. به منظور انجام تحلیل حساسیت از روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته استفاده شد.

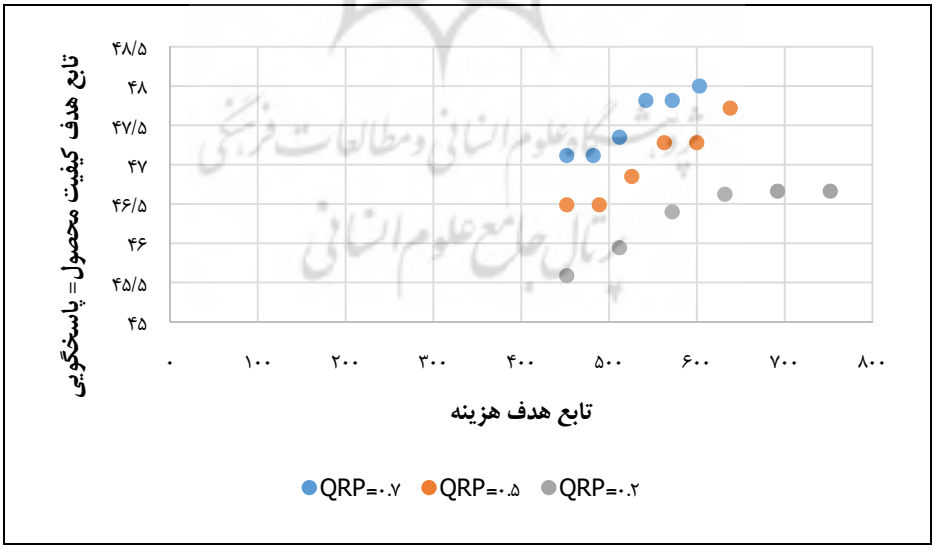
در ابتدا پارامتر دورهٔ عمر محصول، تحلیل حساسیت می‌گردد. شکل ۲ تغییرات مرز پارتو بهینه‌سازی دوهدفه را برای مقادیر مختلف دوره عمر محصول نشان می‌دهد. با توجه به تاریخ انقضای درج شده روی محصول، دورهٔ عمر و ماندگاری محصول معین می‌شود. در مسئلهٔ بالا، دورهٔ عمر محصول پایین و برابر sl = ۲۰۰ است. شرکت‌های تولید کنندهٔ محصول، در صورتی که بتوانند همین محصول را با دوره‌های عمر بالاتر برابر sl = ۳۰۰ و sl = ۵۰۰ تولید و به مراکز بارانداز عبوری برای توزیع ارسال نمایند، این پارامتر تحلیل حساسیت می‌گردد. همان طور که در شکل ۲ مشخص است، اگر دوره عمر محصول تا ۱۰۰ واحد افزایش یابد و از ۲۰۰ به ۳۰۰ برسد، مقدار Z1 به میزان کم‌تر و مقدار Z2 به میزان چشمگیرتری بهبود می‌یابد. همین نتایج را می‌توان بأزای افزایش sl به میزان ۵۰۰ واحد زمانی نیز مشاهده کرد. درواقع تابع هدف دوم بیشترین تأثیر را از تغییر در پارامتر دوره عمر محصولات به خود اختصاص می‌دهد. به‌طور کلی هر چه دوره عمر محصول بیشتر باشد میزان فسادپذیری آن کمتر است. هرچه دوره عمر محصول کمتر باشد فسادپذیری آن افزایش پیدا کرده و تابع g_{ip} یا همان میزان کیفیت محصول کاهش می‌یابد.



شکل ۲. تحلیل حساسیت پارامتر دوره عمر محصول (sl)

در ادامه تحلیل حساسیت نقطه کاهش کیفیت (QRP) بازای مقادیر مختلف مورد بررسی قرار گرفته و نتایج در شکل ۳ ارائه شده است. نقطه کاهش کیفیت (QRP) نیز مشخص می‌کند از چه زمانی فساد محصول شروع می‌شود. به عنوان مثال اگر دوره عمر محصول ۲۰۰ واحد زمانی باشد و QRP=0.5 باشد بدین معنا است که اگر زمان ورود محصول به‌دست مشتری کمتر از نصف دوره عمر محصول باشد (یعنی زمان ورود محصول به مشتری کمتر از واحد زمانی ۱۰۰ باشد)، محصول قابل استفاده است و میزان رضایت مشتری صد درصد است. اما اگر محصول بعد از زمان ۱۰۰ به‌دست مشتری رسد، طبق تابع g_{ip} فسادپذیری محصول آغاز شده و کیفیت آن طبق تابع کاهشی، کاهش یافته و میزان رضایت مشتری یا همان قدرت پاسخ‌گویی شبکه، تقلیل می‌یابد.

عمدتا محصولات فاسدشدنی با وسایل نقلیه یخچالی از مراکز تولید به مراکز بارانداز عبوری انتقال می‌یابند. سپس محموله‌ها با توجه محل مقصد تخلیه، اسکن و مرتب‌سازی شده و در نهایت بعد گذر از بخش ارزش افزوده در وسایل نقلیه خروجی بارگیری می‌شوند. وسایل نقلیه خروجی عمدتا یخچالی نیستند و قرار است بدون وقفه، محصولات را توزیع و به مشتری ارسال نمایند. به‌طور مسلم اقلامی که توزیع می‌شوند، نقطه کاهش کیفیت مختلفی دارند و هرچه محصولات به زمان حساس‌تر باشند، نقطه کاهش کیفیت آنها اهمیت بیشتری دارد. به عنوان مثال نقطه کاهش کیفیت فراورده‌های خونی، خیلی پایین‌تر از میوه‌ها و سبزیجات است. هر گونه روشی که بتواند در بهبود نقطه کاهش کیفیت کمک نماید مانند استفاده از وسایل نقلیه یخچالی برای توزیع و ... می‌تواند توسط مراکز بارانداز عبوری استفاده گردد. در حال حاضر در مسئله مذکور QRP = ۰/۵ است. بسته به توانایی مراکز بارانداز عبوری، حساسیت نقطهِ کاهش کیفیت محصول برای مقادیر کمتر (QRP = ۰/۲) و مقادیر بیشتر (QRP = ۰/۷) تحلیل گردید.



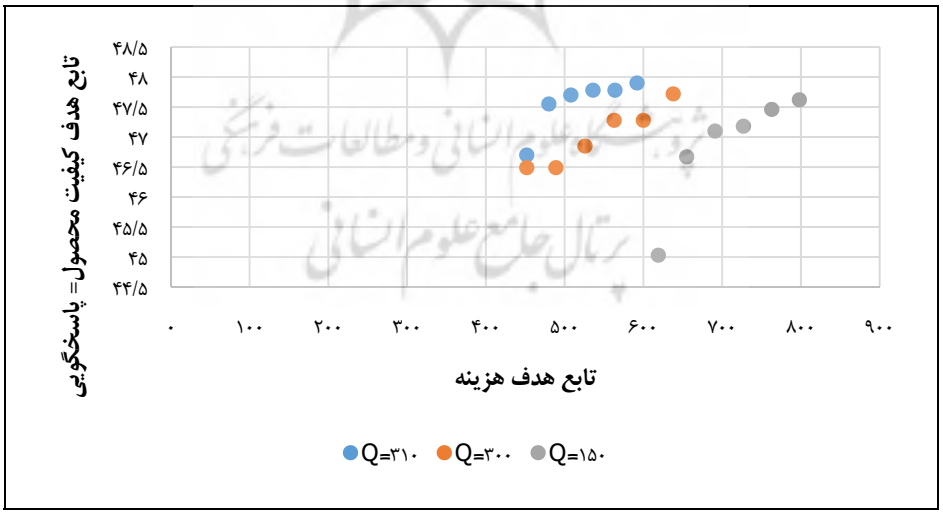
شکل ۳. تحلیل حساسیت پارامتر نقطه کاهش کیفیت (QRP)

بر مبنای شکل ۳ مشخص است که هرچه QRP کمتر و نزدیک به صفر باشد (QRP= ۰/۲) فسادپذیری محصول بیشتر است و مقدار پاسخ‌گویی کاهش می‌یابد و پایین ترین خط پارتو را به خود اختصاص می‌دهد. بر عکس هر چه نقطه

QRP برای محصولی بالاتر باشد (QRP = ۰/۷) بدین معناست که آن محصول دیرتر فاسد شده و کم تر وابسته به زمان است لذا 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 QRP همانند پارامتر دوره عمر محصول (sl)، تابع هدف دوم بیشترین تأثیر را از تغییر این پارامتر به خود می‌گیرد.

در راستای هدف اول و هزینه‌های مسیریابی با امکان تقسیم چندبخشی تقاضا تحلیل حساسیت ظرفیت وسایل حمل‌ونقل نیز انجام گرفت. از آنجا محصول دوره عمر پایین با sl = ۲۰۰ و QRP = ۰/۵ دارد و ظرفیت وسایل نقلیه Q = ۳۰۰ است این سوال مطرح می‌شود که آیا استفاده از وسایل نقلیه با ظرفیت‌های پایین تر Q = ۱۵۰ و ظرفیت بالاتر QRP = ۳۱۰ تأثیری در جواب بهینه دارد یا خیر؟

همان طور که در شکل بالا مشاهده می‌شود زمانی که ظرفیت وسایل نقلیه از ۳۰۰ به ۱۵۰ کاهش می‌یابد، افزایش چشمگیری در مقدار تابع هدف هزینه یا همان Z_1 صورت می‌گیرد که حاکی از بدتر شدن جواب Z_1 است. چراکه با کاهش ظرفیت وسایل حمل‌ونقل، حجم کمتری از محصولات جابه‌جا می‌شود. از آنجا که بالاترین مقدار تقاضای مشتریان برابر با ۳۱۰ واحد و متعلق به گره ۸ است بالاترین ظرفیت وسایل حمل‌ونقل هم برابر Q = ۳۰۰ در نظر گرفته شد تا این امکان فراهم شود که مدل ریاضی این پژوهش را با مدل CLRP که قابلیت تقسیم چندبخشی را ندارد، مقایسه نمود. تحلیل حساسیت ظرفیت وسایل حمل‌ونقل به تصمیم‌گیران این اجازه را می‌دهد که بهترین تصمیم را برای تعیین میزان ظرفیت وسایل حمل‌ونقل با توجه به سطح مورد انتظارشان در ارضای اهداف و امکانات موجود و معیارهای مورد نظرشان اتخاذ کنند.



شکل ٤. تحلیل حساسیت ظرفیت وسایل حمل‌ونقل (Q)

مقایسه کارایی مدل ریاضی پژوهش با یک مدل بنچ مارک

به منظور ارزیابی سطح کارایی مدل پیشنهادی و تحلیل تأثیر آن روی نتایج نهایی، در این بخش ابتدا مدل پیشنهادی در قالب مسئله ذکر شده با فرض Q = ۳۱۰ و sl = ۲۰۰ ، در نرم‌افزار سیپلکس پیاده‌سازی شد و سپس با یک مدل بنچ

مارک در شرایط تجربی برابر مقایسه گردید. مدل بنچ مارک، از کار مدل جلوداری ممقانی و ستاک (۲۰۱۷) می‌باشد . مدل بنچ مارک مورد اشاره نیز از کار جلوداری ممقانی و ستاک (۲۰۱۷) اقتباس شده است. این نویسندگان، مدلی را برای مکان‌یابی – مسیریابی (LRP) را ارئه دادند که در آن، مسئله مسیریابی بدون در نظر گرفتن حالت تقسیم تقاضا تعریف شده است. در راستای تطبیق پاسخ‌ها، محدودیت‌های مربوط به زمان‌بندی مدل پیشنهادی نیز به مدل بنچ مارک اضافه گردید. در این حالت، دو سناریو مطرح است:

- سناریو ۱: مدل مکان‌یابی – زمان‌بندی مسیریابی بدون در نظر گرفتن امکان تقسیم چندبخشی تقاضا
- سناریو ۲: مدل مکان‌یابی – زمان‌بندی مسیریابی با در نظر گرفتن امکان تقسیم چندبخشی تقاضا

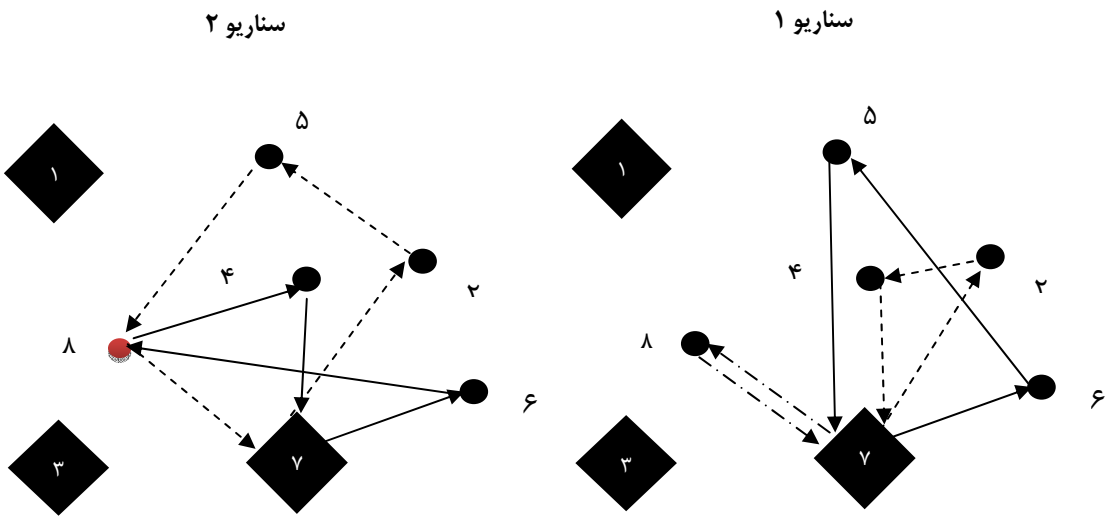
این دو سناریو با روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته، در نرم‌افزار سیپلکس حل گردید. همان گونه که انتظار می‌رفت سناریو ۱ به‌دلیل اینکه شرط تقسیم چندبخشی تقاضا را ندارد، نمی تواند مثال موردی را در حالتی که ظرفیت وسایل حمل‌ونقل کم‌تر از حداکثر تقاضای مشتریان باشد ($Q < ۳۱۰$) و نیز در حالتی که دوره عمر محصول کم‌تر از حداکثر زمان ورود به گره‌ها باشد ($sl < ۲۰۰$) حل کند. در واقع عدم رعایت این شرط‌ها با محدودیت‌های دنیای واقعی سازگاری نداشته و این امر باعث می‌شود که سناریو ۱ قابل حل نباشد. به منظور اجتناب از این وضعیت و فراهم‌سازی امکان مقایسه دو مدل، ظرفیت وسایل حمل‌ونقل برابر با بیشترین مقدار تقاضای مشتریان و برابر $Q = ۳۱۰$ و مقدار دورهٔ عمر محصول برابر با حداکثر زمان ورود به گره‌ها ($sl = ۲۰۰$) در نظر گرفته شد و مدل‌های دو سناریو مجددا حل گردید. جدول ۳، جدول پرداخت حاصله از سناریو ۲ در مقایسه با سناریو ۱ است.

جدول ۳. جدول پرداخت سناریو ۱ و ۲

سناریو		هزینه (Z1)	پاسخ‌گویی (Z2)	تعداد وسیله حمل‌ونقل
سناریو ۱ (مدل بنچ مارک)	هزینه (Z1)	۴۶۷	۴۰/۳۸	۳
	پاسخ‌گویی (Z2)	۵۵۲	۴۲	۴
سناریو ۲ (مدل پیشنهادی)	هزینه (Z1)	۴۵۲	۴۶/۴۹	۲
	پاسخ‌گویی (Z2)	۵۹۲	۴۷/۹	۴

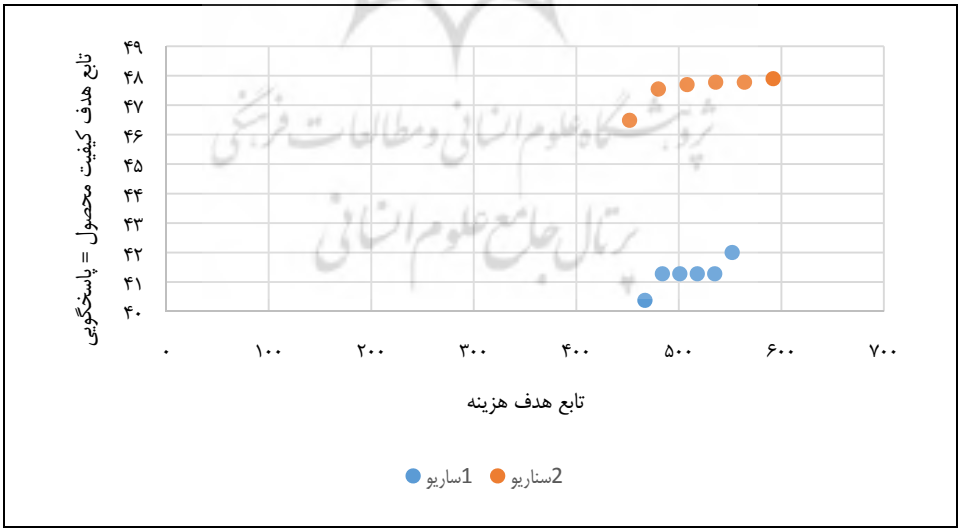
در شکل ۵ ، مسیرهای حاصل از سناریو ۱ و ۲ با اولویت هدف اول با توجه به داده‌های جدول ۳ ترسیم شده است.

همان گونه که داده‌های جدول ۳ و مسیرهای شکل ۵ نشان می‌دهد، در سناریو ۱ با درنظرگرفتن اولویت هدف اول، از ۳ وسیله نقلیه استفاده شده و مقادیر $Z_۱ = ۴۶۷$ و $Z_۲ = ۴۰/۳۸$ حاصل شده است. اما در سناریو ۲ با در نظر گرفتن اولویت هدف اول، از ۲ وسیله نقلیه استفاده شده و $Z_۱ = ۴۵۲$ و $Z_۲ = ۴۶/۴۹$ به‌دست آمده است. همان گونه که شکل ۵ در سناریو ۲ نشان می‌دهد، تقاضای گره ۸ با توجه به محدودیت ظرفیت وسایل حمل‌ونقل و نیز محدودیت دوره عمر محصول توانسته است ۲ مسیر مختلف را پوشش دهد اما در سناریو ۱ با وجود این محدودیت‌ها، تقاضای گره ۸ اجبارا با یک وسیله نقلیه پوشش داده شده است.



شکل ۵. مسیرهای سناریو ۱ و ۲

مرز پارتو این دو سناریو با توجه به داده‌های جدول ۳ در شکل ۶ ترسیم گردیده است. شکل ۶ برتری سناریو ۲ (مدل پیشنهادی) به سناریو ۱ (مدل بنچ مارک) را به وضوح نشان می‌دهد. در واقع نه تنها اینکه مدل پیشنهادی می‌تواند با امکان تقسیم چندبخشی در تقاضا از نقطه نظر تابع هدف اول (Z_1) به نتیجه بهتری دست یابد بلکه می‌تواند با وجود محدویت زمانی در پارامترهای زمان‌بندی (دوره عمر محصول)، همچنان با امکان پوشش تقاضا از مسیرهای مختلف و با وسایل نقلیه مختلف مقدار تابع هدف دوم (Z_2) را نیز به‌طور چشمگیری بهبود بخشد.



شکل ٦. تحلیل هزینه – پاسخ‌گویی در سناریوهای مختلف

مهم‌ترین نوآوری و برتری مدل پیشنهادی پژوهش در قالب سناریو ۲ ظاهر می‌شود بدین معنی که نه تنها زمانی که ظرفیت وسایل حمل‌ونقل کمتر از حداکثر مقدار تقاضای مشتریان (D_i) است بلکه زمانی که دوره عمر محصول نیز

کمتر از حداکثر زمان ورود به گره‌ها (et_{ij}) است، این قابلیت را دارد که از ویژگی تقسیم چندبخشی تقاضا استفاده شده و هر دو تابع هدف هزینه‌ها و پاسخ‌گویی را به‌طور چشمگیری بهبود دهد. بهبود در زمان پاسخ‌گویی تأثیر بسزایی در حفظ کیفیت اقلام فاسدشدنی در زمان تحویل به مشتریان دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعات پیشین، مشخص شد که در راستای موضوع پژوهش مقالات مختلفی به مطالعهٔ مدل‌های یکپارچه مکان‌یابی ـ مسیریابی و زمان‌بندی پرداخته‌اند. برخی مقالات یک مدل یکپارچه مکان‌یابی مسیریابی، مانند حاجیان و همکاران (۱۳۹۸) و برخی مدل‌های مسیریابی زمان‌بندی را ارائه داده‌اند مانند گنجی و همکاران (۱۳۹۹). مسئله مسیریابی با امکان تقسیم چندبخشی تقاضا (SDVRP) نیز توسط نویسندگان مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است از جمله می‌توان به کار حسنی گودرزی و همکاران (۲۰۱۲) و توکلی مقدم و همکاران (۲۰۰۷) اشاره نمود. برخی مسئله SDVRP را با مسئله زمان‌بندی حسنی گودرزی و همکاران (۲۰۲۰) و شهابی شهمیری (۲۰۲۱) و برخی با مسئله مکان‌یابی جوانفر و همکاران (۱۳۹۵) ترکیب کرده‌اند. معدود پژوهش‌هایی هم به مطالعه زمان‌بندی وسایل نقلیه با توجه به تابع کیفیت محصول به منظور حفظ خاصیت تازگی آنها پرداخته‌اند. رهبری و همکاران (۲۰۱۹) در قالب یک مسئله مسیریابی زمان‌بندی و موسوی و بزرگی امیری (۲۰۱۷) در قالب یک مسئله مکان‌یابی زمان‌بندی، تابع کیفیت محصول را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این میان هیچ کدام از مطالعات مرور شده در قالب یک مدل یکپارچه به مطالعهٔ مسئله مکان‌یابی، مسئله SDVRP و زمان‌بندی با توجه به تابع کیفیت محصول نپرداخته‌اند.

در این مطالعه مدل جدیدی برای مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری و زمان‌بندی مسیریابی وسایل حمل‌ونقل با امکان تقسیم چندبخشی تقاضا برای اقلام فسادپذیر ارائه شد. مدل مکان‌یابی- مسیریابی با امکان تقسیم چندبخشی تقاضا (LSDVRP) مسئله را به مفروضات دنیای واقعی نزدیک تر می‌سازد. در این پژوهش این مدل در قالب سناریو ۲ با یک مدل مکان‌یابی ـ مسیریابی (CLRP) در قالب سناریوی اول مقایسه گردید. مقایسه این دو سناریو همانند پژوهش شهابی شهمیری (۲۰۲۱) نشان داد که استفاده از مسیریابی در حالت چندبخشی تقاضا می‌تواند ضمن کاهش هزینه کل، تعداد ناوگان حمل‌ونقل مورد استفاده را نیز کاهش دهد.

از آنجا که کانون تمرکز این مدل اقلام فسادپذیر است، زمان تحویل هر محصول به مشتری بسیار مهم است. لذا در کنار مسیریابی که به‌دنبال کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل است، مسئله زمان‌بندی وسایل حمل‌ونقل نیز در قالب هدف حداکثرسازی کیفیت محصول در زمان پاسخ‌گویی، مطرح است. برای حل مدل از روش اپسیلون محدودیت توسعه یافته استفاده شد. نوآوری پژوهش حاضر در این است که از ویژگی تقسیم چندبخشی تقاضا، در مسئله زمان‌بندی نیز استفاده کرده و ضمن حفظ ماهیت اقلام فاسدشدنی، زمان تحویل اقلام به مشتری را بهبود داده است (سناریو۲). بهبود چشمگیر تابع هدف پاسخ‌گویی نسبت به زمانی که این امکان وجود ندارد (سناریو۱) به خوبی در شکل ۶ نمایش داده شده است.

در ادامه، تحلیل حساسیت روی سه پارامتر مهم دوره عمر محصول (sl)، ظرفیت وسایل حمل (Q) و نقطه کاهش کیفیت محصول (QRP) گزارش شد. کاهش کیفیت محصول (QRP) نیز با مطالعه تیکنی و همکاران (۱۳۹۹) همراستا

بود و نشان داد که هر دو پارامتر مورد اشاره، تحت تأثیر زمان تحویل محصول به مشتری هستند. این پارامترها در مقایسه با هدف اول (هزینه‌های شبکه) بیشترین تأثیر را روی هدف دوم (پاسخ‌گویی شبکه) دارند.

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت پارامتر طول عمر محصول (sl)، نشان می‌دهد که هر چه محصولی طول عمر کمتری داشته باشد، خاصیت فسادپذیری آن نیز بیشتر است و قدرت پاسخ‌گویی شبکه پایین‌تر است. همچنین هرچه نقطه کاهش کیفیت محصولی (QRP) پایین‌تر باشد، احتمال فاسدشدن آن سریع‌تر است و بالعکس. صبوحی و بزرگی امیری (۱۳۹۷) نیز همانند مطالعه حاضر، در تحلیل حساسیت ظرفیت وسایل حمل‌ونقل به نتایج مشابهی دست یافتند؛ به این ترتیب که با افزایش ظرفیت وسایل حمل‌ونقل، به این دلیل که حجم بیشتری از محصولات انتقال می‌یابند، هزینه‌های کل از جمله مسافت طی شده و نیز تعداد وسیله نقلیه مورد استفاده، کاهش می‌یابند.

این پژوهش محدود به برخی فرض‌ها از جمله فرض قطعی بودن پارامترها و حل مسئله برای نمونه‌های کوچک و متوسط است. لذا در راستای این مطالعه می‌توان به برخی محورها برای تحقیقات آتی نیز اشاره داشت؛ از جمله اینکه در پژوهش‌های آتی با پارامترهای مدل پیشنهادی در محیط نامطمئن برخورد شود مانند بهینه‌سازی استوار و برنامه‌ریزی فازی. همچنین در اجرای مدل می‌توان از داده‌های واقعی بهره جست. با توجه به NP-Hard بودن مدل ریاضی پیشنهادی زمان حل مسئله برای مسائل سایز بزرگ بسیار زیاد است، استفاده از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل مدل ارائه شده پیشنهاد می‌شود تا بتوان از نتایج آن بهترین تصمیمات را اتخاذ کرد. امروزه از بارانداز عبوری در بسیاری از شرکت‌ها و صنایع مانند صنعت خرده‌فروشی، صنعت خودروسازی، صنایع الکترونیک و مخابرات و ... استفاده می‌شود.

منابع

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.

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

داوودپور، حمید (۱۳۹۴). *مکان‌یابی راهبردی، مطالعات موردی در صنایع مختلف*. دانشگاه صنعتی امیرکبیر ـ پلی تکنیک تهران.

حاجیان، سیما؛ افشار کاظمی، محمد علی؛ سید حسینی، سید محمد و طلوعی اشلقی، عباس (۱۳۹۸). ارائه مدل چند هدفه برای مسئله مکان‌یابی ـ مسیریابی– موجودی در شبکه زنجیرهٔ تأمین حلقه بسته سبز چند دوره‌ای و چند محصولی برای کالاهای فاسدشدنی. *مدیریت صنعتی*، ۱۱(۱)، ۸۳–۱۱۰.

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 تصمیم گیری*، ۴(۱)، ۱۱۹–۱۳۷.

گنجی، ملیحه؛ کاظمی پور، حامد؛ حاجی مولانا، سید محمد و سجادی، سید مجتبی (۱۳۹۹). توسعه مدل دو هدفه یکپارچه زمان‌بندی زنجیرهٔ تأمین سبز: تولید، توزیع و مسیریابی با وسیله نقلیه ناهمگن و پنجره‌های زمانی مشتریان. *مدیریت صنعتی*، ۱۲(۱)، ۴۷-۸۱.

References

Agustina, D., Lee, C. K. M., & Piplani, R. (2014). Vehicle scheduling and routing at a cross docking center for food supply chains. *Intern. Journal of Production Economics*, *152*, 29–41.

Apte, U. M., & Viswanathan, S. (2000). Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *3*(3), 291–302.

Archetti, C., Bianchessi, N., & Speranza, M. G. (2011). A column generation approach for the split delivery vehicle routing problem. *Networks*, *58*(4), 241–254.

Archetti, C., & Speranza, M. G. (2012). Vehicle routing problems with split deliveries. *International Transactions in Operational Research*, *19*(1–2), 3–22.

Archetti, C., Speranza, M. G., & Hertz, A. (2006). A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem. *Transportation Science*, *40*(1), 64–73.

Archetti, C., & Speranza, M. G. (2008). The split delivery vehicle routing problem: A survey. *Operations Research/ Computer Science Interfaces Series*, *43*, 103–122.

Archetti, C., Bianchessi, N., & Speranza, M. G. (2014). Branch-and-cut algorithms for the split delivery vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, *238*(3), 685–698.

Belenguer, J. M., Martinez, M. C., & Mota, E. (2000). Lower bound for the split delivery vehicle routing problem. *Operations Research*, *48*(5), 801–810.

Berbotto, L., García, S., & Nogales, F. J. (2013). A Randomized Granular Tabu Search heuristic for the split delivery vehicle routing problem. *Annals of Operations Research 2013 222:1*, 222(1), 153–173.

Bianchessi, N., & Irnich, S. (2019). Branch-and-Cut for the Split Delivery Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Transportation Science*, *53*(2), 442–462.

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.

Bruck, B. P., & Iori, M. (2017). Non-Elementary Formulations for Single Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries. *Operations Research*, *65*(6), 1597–1614.

Buakum, D., & Wisittipanich, W. (2019). A literature review and further research direction in cross-docking. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, *2019*(MAR), 471–481.

Buijs, P., Vis, I. F. A., & Carlo, H. J. (2014). Synchronization in cross-docking networks: A

research classification and framework. In *European Journal of Operational Research*, 239(3), 593–608.

Davoudpour, H. (2014). Strategic Location: Case Studies in different industries. *Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic).* (i*n Persian*)

Dror, M., Laporte, G., & Trudeau, P. (1994). Vehicle routing with split deliveries. *Discrete Applied Mathematics*, *50*(3), 239–254.

Dror, M., & Trudeau, P. (1989). Savings by Split Delivery Routing. *Transportation Science*, *23*(2), 141–145.

Dror, M., & Trudeau, P. (1990). Split delivery routing. *Naval Research Logistics (NRL)*, *37*(3), 383–402.

Ganji, M., Kazemipoor, H., Hadji Molana, S. M., & Sajadi, S. M. (2020). Development of Integrated Multi-objective Green Supply Chain Scheduling Model: Production, Distribution and Heterogeneous Vehicle Routing with Customer Time Windows. *Industrial Management Journal, 12(1),* 47–81. (*in Persian*)

Gümüş, M., & Bookbinder, J. H. (2004). Cross-docking and its implications in location-distribution systems. *Journal of Business Logistics*, *25*(2), 199–228.

Hajian, S., Afshar Kazemi, M. A., Seyed Hosseini, S. M., & Eshlaghy, A. (2019). Developing a Multi-Objective Model for Locating-Routing-Inventory Problem in a Multi-Period and Multi-Product Green Closed-Loop Supply Chain Network for Perishable Products. *Industrial Management Journal*, *11*(1), 83–110. (*in Persian*)

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.

Hasani Goodarzi, A., & Zegordi, S. H. (2016). A location-routing problem for cross-docking networks: A biogeography-based optimization algorithm. *Computers and Industrial Engineering*, *102*, 132–146.

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., Zegordi, S. H., Alpan, G., Nakhai Kamalabadi, I., & Husseinzadeh Kashan, A. (2021). Reliable cross-docking location problem under the risk of disruptions. In *Operational Research* (Vol. 21, Issue 3). Springer Berlin Heidelberg.

Hosseinabadi Rahmani, A. A., & Nad AliZade Chari, M. (2018). *Vehicle routing problem (theories and aplications)*. Babol: New Technology.

Irnich, S., Schneider, M., & Vigo, D. (2014). Chapter 9: Four Variants of the Vehicle Routing Problem. *MOS-SIAM Series on Optimization*, 241–271.

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*, 603–627. (*in Persian*)

Jayaraman, V., & Ross, A. (2003). A simulated annealing methodology to distribution network design and management. *European Journal of Operational Research*, *144*(3), 629–645.

Jelodari_Mamghani, E., & Setak, M. (2017). The bi-objective location-routing problem based on simultaneous pickup and delivery with soft time window. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, *22*, 81–91.

Ladier, A.-L., & Alpan, G. (2016). Cross-docking operations : Current research versus industry practice $. *Omega*, *62*, 145–162.

Moreno, L., De Aragão, M. P., & Uchoa, E. (2010). Improved lower bounds for the Split Delivery Vehicle Routing Problem. *Operations Research Letters*, *38*(4), 302–306.

Mousavi, S. Meysam, & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A hybrid simulated annealing algorithm for location and routing scheduling problems with cross-docking in the supply chain. *Journal of Manufacturing Systems*, *32*(2), 335–347.

Mousavi, S Meysam, Vahdani, B., Tavakkoli-moghaddam, R., & Hashemi, H. (2014). Location of cross-docking centers and vehicle routing scheduling under uncertainty : A fuzzy possibilistic – stochastic programming model. *Applied Mathematical Modelling*, *38*, 2249–2264.

Mousavi, Seyed Meysam, Antuchevičienė, J., Zavadskas, E. K., Vahdani, B., & Hashemi, H. (2019). A new decision model for cross-docking center location in logistics networks under interval-valued intuitionistic fuzzy uncertainty. *Transport*, *34*(1), 30–40.

Musa, R., Arnaout, J.-P., & Jung, H. (2010). Ant colony optimization algorithm to solve for the transportation problem of cross-docking network. *Computers & Industrial Engineering*, *59*(1), 85–92.

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.

Najjarbashi, A., & Lim, G. (2015). Using Augmented ε-constraint Method for Solving a Multi-objective Operating Theater Scheduling. *Procedia Manufacturing*, *3*(Ahfe), 4448–4455.

Ozbaygin, G., Karasan, O., & Yaman, H. (2018). New exact solution approaches for the split delivery vehicle routing problem. *EURO Journal on Computational Optimization*, *6*(1), 85–115.

Qiu, M., Fu, Z., Eglese, R., & Tang, Q. (2018). A Tabu Search algorithm for the vehicle routing problem with discrete split deliveries and pickups. *Computers and Operations Research*, *100*, 102–116.

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.

Rajappa, G. P., Wilck, J. H., & Bell, J. E. (2016). An Ant Colony Optimization and Hybrid Metaheuristics Algorithm to Solve the Split Delivery Vehicle Routing Problem. *International Journal of Applied Industrial Engineering*, *3*(1), 55–73.

Ross, A., & Jayaraman, V. (2008). An evaluation of new heuristics for the location of cross-docks distribution centers in supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, *55*, 64–79. https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.12.001

Sabouhi, F., & Ali Bozorgi Amiri. (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*)

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.

Shi, J., Zhang, J., Wang, K., & Fang, X. (2018). Particle Swarm Optimization for Split Delivery Vehicle Routing Problem.

Shuib, A., & Fatthi, W. N. A. W. A. (2012). A Review on Quantitative Approaches for Dock Door Assignment in Cross-Docking. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, *2*(5), 370.

Stephan, K., & Boysen, N. (2011). Cross-docking. *Journal of Management Control*, *22*(1), 129–137.

Sung, C. S., & Song, S. H. (2003). Integrated service network design for a cross-docking supply chain network. *Journal of the Operational Research Society*, *54*(12), 1283–1295.

Sung, C. S., & Yang, W. (2017). An exact algorithm for a cross-docking supply chain network design problem. *Journal of the Operational Research Society*, *5682*.

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.

Theophilus, O., Dulebenets, M. A., Pasha, J., Abioye, O. F., & Kavoosi, M. (2019). Truck scheduling at cross-docking terminals: A follow-up state-of-the-art review. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(19).

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*)

Van Belle, J., Valckenaers, P., & Cattrysse, D. (2012). Cross-docking: State of the art. *Omega*, *40*(6), 827–846.

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.

Yu, V. F., Normasari, N. M. E., & Chen, W. H. (2021). Location-routing problem with time-dependent demands. *Computers and Industrial Engineering*, *151*(2), 106936.