E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 7, No. 1 (2022) 91–110.

Paper Type: Original Article

Optimization of a Multi-Period Order Picking and Multi-Trip Order-Picker Routing to Minimize Total Tardiness

Morteza Farhadi Sartangi[1], Ali Husseinzadeh Kashan[2,*], Hassan Haleh[3], Abolfazl Kazemi[1]

[1] *Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran; met_farhadi@yahoo.com; abkaazemi@qiau.ac.ir.*

[2] *Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; a.kashan@modares.ac.ir.*

[3] *Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Golpayegan, Iran; hhaleh@gut.ac.ir.*

Citation:

Farhadi Sartangi, M., Husseinzadeh kashan, A., Haleh, H., & Kazemi, A. (2022). Optimization of a multi-period order picking and multi-trip order-picker routing to minimize total tardiness. *Journal of decisions and operations research,* 7(1), 91-110.

Received: 09/07/2021 Reviewed: 15/08/2021 Revised: 04/10/2021 Accepted: 06/10/2021

Abstract

Purpose: Order picking operation is one of the most well-known labor and cost intensive internal logistics processes. Withdrawal of the order in response to customer need is defined in order to collect a set of orders from storage zone in the shortest possible time. The purpose of this research is to provide a scientific and practical basis considering the constraints that enforce to achieve an acceptable level of performance in order picking systems. This is done by building a Mixed Integer Linear Programming (MILP) formulation and developing an adapted solution method suited to the structure of the problem.

Methodology: First, by reviewing the literature in the field of order picking systems, sufficient knowledge has been obtained at the operational level, and with emphasis on warehouse management constraints, a MILP formulation is proposed by integrating order batching and picker routing. After validating the model and solving it through GAMS software, due to the nature of the problem, which is an NP-hard type, the problem is solved with an efficient algorithm, which is a grouping version of the league championship algorithm, and the results are compared. To develop the algorithm, operators are fit to the specific structure of the problem, i.e., the assignment of orders (items) to order pickers (groups).

Findings: Developing a multi-period MILP formulation for multi-trip picker routing, assuming for the first time the possibility of product replenishment and limited access to pickers. For large-scale problem instances, the league championship algorithm is used. The results indicate the effective capability and efficiency of this algorithm for solving large test problem instances.

Originality/Value: The issue of multi-period order picking and multi-trip routing of pickers is considered for the first time in this paper. Because of the limited number of pickers, this must be taken into account in modeling. The assumption of product replenishment is also considered for the first time in this article and its modeling has been done. In this way, orders enter the warehouse over time, during different periods, and are placed in a predetermined positions. The limited access to pickers in each period is also discussed for the first time in this paper. Finally, the objective function of minimizing the total tardiness, which is in line with the needs of the industry, is also introduced in this paper. Regarding the solution method, a league championship metaheuristic algorithm is presented which takes into account the problem structure (which corresponds to the structure of grouping problems) and solution generation operators have been developed to maintain the new solution.

Keywords: Order batching, Picker routing, Multi-period, Multi-trip routing, League championship algorithm.

Corresponding Author: a.kashan@modares.ac.ir

https://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.1.6.1

Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Journal of Decisions and Operations Research

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

دوره ۷، شماره (۱)، (۱۴۰۱)، ۱۱۰-۹۱

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی-کاربردی

بهینه‌سازی سیستم برداشت سفارش چند دوره‌ای و مسیریابی چند سفره برداشت کننده‌ها باهدف حداقل سازی مجموع دیرکرد

مرتضی فرهادی سرتنگی[۱]، علی حسین زاده کاشان[۲،*]، حسن حاله[۳]، ابوالفضل کاظم[۱]

[۱] گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

[۲] دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

[۳] گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، گلپایگان، ایران.

چکیده

هدف: برداشت سفارش، یکی از فرایندهای درونی لجستیکی مبتنی بر نیروی کار و هزینه شناخته‌شده است. برداشت سفارش در قالب مسئله پاسخ به سفارش مشتری، به‌منظور جمع‌آوری مجموعه‌ای از سفارش‌ها در کوتاه‌ترین زمان ممکن در انبار تعریف می‌گردد. لذا هدف این تحقیق فراهم نمودن یک مبنای علمی و هم‌زمان کاربردی با در نظر گرفتن الزامات و محدودیت‌هایی است که سطح قابل قبولی از عملکرد را در سیستم‌های برداشت سفارش به ارمغان آورد. این امر از طریق ساخت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح و هم‌چنین طراحی روش حل متناسب با ساختار مسئله صورت می‌گیرد.

روش‌شناسی پژوهش: ابتدا با مرور ادبیات در حوزه برداشت سفارش دانش کافی در سطح عملیاتی حاصل‌شده است و با تأکید بر محدودیت‌های واقعی اقدام به مدل‌سازی ریاضی از طریق یکپارچه نمودن دسته‌بندی سفارش‌ها و مسیریابی برداشت کننده‌ها، شده است. پس از بررسی صحت مدل و حل آن از طریق نرم‌افزار *GAMS*، به دلیل ماهیت مسئله که از نوع سخت است، مسئله از طریق یک الگوریتم کارا که نسخه گروه‌بندی الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی است، حل‌شده و مقایسات صورت پذیرفته است. برای استفاده از این الگوریتم از اپراتورهای منطبق با ساختار خاص مسئله که هدف آن تخصیص سفارش‌ها (اقلام) به برداشت کننده‌ها (گروه‌ها) است استفاده می‌شود.

یافته‌ها: ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح چند دوره‌ای برای مسیریابی چند سفره برداشت کنندگان با فرض وجود قابلیت باز پر سازی انبار و دسترسی محدود به برداشت کنندگان. برای نمونه مسائل با ابعاد بزرگ، از الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی استفاده‌شده است. نتایج بر قابلیت مؤثر و کارایی این الگوریتم برای حل نمونه مسائل بزرگ اشاره دارد.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: مسئله برداشت سفارش چند دوره‌ای و مسیریابی چند سفره برداشت کنندگان نخستین بار در این مقاله مدنظر قرارگرفته است. زیرابه علت محدود بودن تعداد برداشت کنندگان، این مهم می‌بایست در مدل‌سازی مدنظر قرار گیرد. فرض بازپرسازی نیز نخستین بار در این مقاله موردتوجه قرارگرفته و مدل‌سازی آن صورت گرفته است. بدین ترتیب سفارش‌ها در طول زمان، طی دوره‌های مختلف وارد انبار می‌شوند و در موقعیت از پیش تعیین‌شده قرار می‌گیرند. وجود بازه زمانی برای دسترسی به برداشت کننده‌ها در هر دوره و مدل‌سازی آن نیز نخستین بار در این مقاله موردبررسی قرارگرفته است. درنهایت، تابع هدف حداقل سازی مجموع دیرکرد است که هم‌راستا با نیاز صنایع تولیدی است. در خصوص روش حل نیز یک الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی با در نظر گرفتن ساختار مسئله (که منطبق بر ساختار مسائل گروه‌بندی است) ارائه‌شده است و عملگرهای تولید جواب نیز برای حفظ شدنی بودن جواب، توسعه یافته‌اند.

کلیدواژه‌ها: دسته‌بندی سفارش، مسیریابی برداشت کننده، چند دوره‌ای، الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی.

۱- مقدمه و ادبیات موضوع

مدیریت زنجیره تأمین، کلیه عملکردهای لجستیکی و فعالیت‌های تجاری درون شرکت‌ها را به‌طور کارآمد اداره می‌کند؛ بنابراین اهداف و موضوعات مرتبط با انبارها و مراکز توزیع، ازآنجایی‌که از بخش‌های اصلی مدیریت زنجیره تأمین هستند، مهم می‌باشند (کنو و

* نویسنده مسئول

a.kashan@modares.ac.ir

https://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.1.6.1

همکاران[1]، ۲۰۲۰). ازآنجاکه نقش مشتریان در لجستیک پیشرفته بسیار حیاتی است، انبارها ملزم به بهبود توانایی خود در پاسخگویی مورد انتظار مشتریان می‌باشند، به‌عنوان‌مثال در زمان کوتاه سفارش‌ها مشتریان دریافت و سفارش‌ها را از انبار جمع‌آوری کنند (جیانیکاس و همکاران[2]، ۲۰۱۷). انبارها از اجزای مهم سیستم‌های لجستیکی هستند و از بین هزینه‌های لجستیکی، ۲۰% از کل هزینه‌های عملیاتی مرتبط با فرآیندهای انبارها و مراکز توزیع است (دی کوستر و همکاران[3]، ۲۰۰۷؛ سرگیبوزان وتاسان[4]، ۲۰۱۹). مدیریت انبار شامل فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا نظیر خرید، ذخیره‌سازی، موجودی کالا، جمع‌آوری، برداشت، حمل‌ونقل و تحویل است که نمایشان این فعالیت‌ها، برداشت سفارش یکی از فعالیت‌های اصلی و دارای بالاترین هزینه مبتنی بر نیروی انسانی است (چنگ و همکاران[5]، ۲۰۱۵). در بین فعالیت‌های درون انبار، برداشت سفارش ۵۰% از هزینه‌ها را به خودش اختصاص داده است (تسای و همکاران[6]، ۲۰۰۸؛ مارچت و همکاران[7]، ۲۰۱۵؛ گلوک و همکاران[8]، ۲۰۱۷). تصمیم‌گیری در سیستم‌های برداشت سفارش در سه سطح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی صورت می‌گیرد. در تصمیمات استراتژیک، باید به چیدمان انبار، موقعیت هر منطقه[9]، محل ذخیره‌سازی و انتخاب سیاست برداشت توجه شود. تصمیمات تاکتیکی می‌تواند شامل مکان محصولات بر اساس تقاضای پیش‌بینی‌شده آن‌ها در منطقه ذخیره‌سازی و منطقه برداشت سفارش[10] باشد و در سطح عملیاتی تصمیمات مربوط به دسته‌بندی سفارش‌ها و تعیین مسیرهایی برای برداشت سفارش باید به‌صورت بهینه حل گردد (دی کوستر و همکاران، ۲۰۰۷؛ ونگیلز و همکاران[11]، ۲۰۱۸؛ بریانت و همکاران[12]، ۲۰۲۰). برداشت سفارش به‌صورت بازیابی سفارش‌ها از محل ذخیره‌سازی آن‌ها برای پاسخگویی به درخواست مشتری تعریف می‌گردد (هن[13]، ۲۰۱۵)؛ که (هن، ۲۰۱۵) بازیابی سفارش‌ها را در دسته فعالیت‌های مربوط به سطح عملیاتی طبقه‌بندی می‌نماید. در سطح عملیات در انبار ها فعالیت‌های اصلی شامل دسته‌بندی، مسیریابی، سطح نیروی کار (*workforce level*)، تخصیص نیروی کار (*workforce allocation*) و تخصیص کار (*job assignment*) می‌باشد (چنگ و همکاران، ۲۰۱۵)؛ بنابراین، توسعه روش‌های کارآمد برداشت سفارش و بهینه‌سازی عملیات برداشت تأثیرات ویژه‌ای بر کارایی عملیات بخش‌های مختلف انبار دارد. در واقعیت دو نوع انبار مبتنی بر نقش نیروی انسانی شامل انبار های دستی و اتوماتیک وجود دارد. تعداد زیادی از انبارها در سراسر جهان، در قالب انبار های دستی قرارمی گیرند زیرابه هزینه کم برای سرمایه‌گذاری نیاز دارند. به‌عنوان‌مثال تقریباً ۸۰% از کل سیستم‌های سفارش در اروپای غربی از نوع دستی هستند (تسای و همکاران، ۲۰۰۸؛ مارچت و همکاران، ۲۰۱۵؛ گلوک و همکاران، ۲۰۱۷؛ شولزو واشر[14]، ۲۰۱۷). هم‌چنین در تعداد زیادی از انبار ها و مراکز توزیع برداشت سفارش بر اساس مدل *picker-to-part* به‌صورت دستی انجام می‌دهند به دلیل اینکه انسان توانایی انعطاف‌پذیری در شرایط مختلف پروسه برداشت سفارش را دارد (ماسای و همکاران[15]، ۲۰۲۰).

دربرداشت سفارش دو جنبه مهم می‌باشد، جنبه بهینه‌سازی ذخیره‌سازی وجنبه دوم برداشت سفارش به‌صورت بهینه می‌باشد که جنبه دوم زمانی صورت می‌گیرد که سفارش‌ها به‌صورت دسته‌ای (*batching*)و با توجه به مسیریابی برای برداشت سفارش و زمان مرتبط با آن اتفاق بیفتد (ونگیلز و همکاران، ۲۰۱۸). در برداشت سفارش به‌صورت دستی موضوعات زیادی از قبیل دسته‌بندی، مسیریابی، تعیین توالی سفارش‌ها و موضوعات مرتبط با ازدحام برداشت کنندگان و توجه به چیدمان مختلف شامل چیدمان‌های سطح پایین و سطح بالا مطرح می‌باشد که در بیشتر آن‌ها در سطح تصمیم‌گیری عملیاتی قرار می‌گیرند (دی کوستر و همکاران، ۲۰۰۷؛ سرگیبوزان و تاسان، ۲۰۱۹؛ ونگیلز و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به دو جنبه برداشت سفارش ذکرشده (ذخیره‌سازی بهینه و برداشت سفارش بهینه)، یکی از اهداف این مقاله توجه به برداشت سفارش بهینه با توجه به شرایط واقعی تعریف‌شده می‌باشد و هدف دیگر در این مقاله آنالیز هم‌زمان تعدادی از موضوعات اصلی در سطح عملیاتی، در انبار است. لذا در ادامه به‌مرور ادبیات در سطح عملیاتی پرداخته می‌شود.

۱-۱- تصمیم‌گیری در سطح عملیاتی

واشر[16] (۲۰۰۴) برای کاهش هزینه در انبارها در سیستم *picker-to-part* به آنالیز موضوعات مربوط به تصمیم‌گیری در سطح عملیات شامل مکان اقلام سفارش، دسته‌بندی سفارش‌ها و مسیریابی پرداخته است و در بخش مربوط به دسته‌بندی سفارش‌ها به روش های حل، ازجمله الگوریتم مبتنی بر اولویت و الگوریتم مبتنی بر هسته (*seed*) و ذخیره‌سازی اشاره کرده است. بیشتر مقالات به برداشت کنندگان

---

[1] Cano et al.
[2] Giannikas et al.
[3] De Koster et al.
[4] Cergibozan and Tasan
[5] Cheng et al.
[6] Tsai et al.
[7] Marchet et al.
[8] Glock et al.
[9] Zone
[10] Picking Zone
[11] Van Gils et al.
[12] Briant et al.
[13] Henn
[14] Scholz and Wäscher
[15] Masae et al.
[1] Wäscher

به‌صورت یک برداشت کننده تنها توجه نموده‌اند درصورتی‌که پن و همکاران[1] (۲۰۱۲) به آنالیز موضوع چند برداشت کننده که منجر به بررسی مسئله ازدحام برداشت کنندگان باهدف مینیمم نمودن زمان انتظار و زمان سفر برداشت کنندگان پرداخته است. همچنین چن و همکاران[2] (۲۰۱۶) به موضوع ازدحام در یک مطالعه موردی واقعی (یک انبار آنلاین) اشاره‌کرده است و از الگوریتم کلونی مورچگان برای تولید مسیرهای آنلاین برای جلوگیری از برخورد برداشت کنندگان در انبار استفاده نموده است. هونگ و همکاران[3] (۲۰۱۲) به مطالعه در سطح عملیات برای یکپارچه نمودن موضوع دسته‌بندی و توالی عملیات باهدف مینیمم نمودن زمان پاسخ به سفارش‌ها مشتری توجه نموده است و در آن زمان سفر در انبار و زمان برداشت سفارش و تا خیرات مرتبط با ازدحام در نظر گرفته‌شده است.

نکته قابل‌بیان در این پژوهش این است که نسبت به مدل‌های دسته‌بندی سنتی تفاوت دارد و از الگوریتم تبرئید شبیه‌سازی[4] برای مسائل اندازه بزرگ استفاده‌شده که منجر به کاهش ۵ الی ۱۵ درصد در زمان پاسخ به سفارش‌ها شده است. تحقیقاتی نیز در حوزه مسائل مرتبط با سطح عملیاتی انبارها صورت گرفته است که به موضوعات عملیاتی به‌صورت جداگانه توجه نموده است مانند (هووتسنگ[5]، ۲۰۰۶) که قوانینی مبتنی بر انتخاب بر اساس هسته و همراهی[6] برای دسته‌بندی بر اساس قوانین ثابت‌مسیر یابی معرفی کرده‌اند. تسای و همکاران (۲۰۰۸) از روش الگوریتم ژنتیک که شامل دسته‌بندی ژنتیک و مسئله فروشنده دوره‌گرد ژنتیک می‌باشد، بهره برده است. هن (۲۰۱۵) دو مورد روش حل فرا ابتکاری به نام جستجوی محلی تکراری[7] و الگوریتم مورچگان[8] معرفی کرده است که در آن‌ها به دسته‌بندی بهینه در مقایسه با بهینه نمودن مسیرهای برداشت سفارش توجه شده است (هن و همکاران[9]، ۲۰۱۲). موضوع دسته‌بندی را به‌صورت خاص موردمطالعه قرار داده‌اند و به‌مرور تعدادی از راه‌حل‌های فرا ابتکاری پرداخته‌اند. هن و همکاران (۲۰۱۲) به آنالیز دسته‌بندی دینامیک (دسته‌بندی مبتنی بر پنجره زمانی) و موضوعات استاتیک پرداخته است. در مقاله (زول و همکاران[10]، ۲۰۱۸) نشان داده‌شده است،

مسئله برداشت سفارش یک مسئله از نوع سخت (*NP-hard*) است. آن‌ها از الگوریتم جستجوی ممنوعه در ترکیب با الگوریتم جستجوی انطباقی برای حل مسائل با نمونه‌های بزرگ تا ۶۰۰ سفارش استفاده کرده‌اند. هن و اشمید[11] (۲۰۱۳) به دنبال ترکیب دسته‌بندی با ترتیب دهی[12] با استفاده از الگوریتم‌های جستجوی محلی تکراری و هم‌چنین الگوریتم *attribute-based hill climber* مبتنی بر قوانین الگوریتم جستجوی ممنوعه می‌باشد که نتایج از بهبود ٤٦% نسبت به سایر راه‌حل‌های ابتکاری اشاره دارد. اولین بار ونگیلز و همکاران (۲۰۱۸) وجود رابطه بین فعالیت‌های سطح عملیاتی در انبار شامل ذخیره کردن، دسته‌بندی، برداشت منطقه‌ای (*Zone Picking*) و مسیریابی را مورد آنالیز قراردادند و درصورتی‌که یک انبار این فعالیت‌ها راهم زمان باهم موردتوجه قرار دهد بازدهی آن به‌طور قابل‌توجه ای بالا می‌رود. همچنین مونز و همکاران[13] (۲۰۱۹) از طریق مسئله مسیریابی وسیله نقلیه[14] به یکپارچه‌سازی برداشت سفارش پرداخته است.

همان‌طور که در ادبیات موضوع بررسی‌شده است بیشتر انبارهای سنتی موضوعات سطح عملیاتی را به‌صورت جداگانه مدنظر قرار داده‌اند اما ون و اولافسون[15] (۲۰۰۵) دسته‌بندی سفارش ومسیریابی سفارش را به‌طور هم‌زمان بررسی و بیان نموده‌اند این مسئله از ترکیب مسئله بسته‌بندی اقلام در ظروف (*Bin Packing*) و مسئله فروشنده دوره‌گرد قابل‌حل می‌باشد و چون هر دو مسئله ذکرشده از نوع مسئله سخت می‌باشند پس نتیجه گرفته‌شده است مسئله برداشت سفارش یک مسئله سخت (*NP-hard*) می‌باشد. کولاک و همکاران[16] (۲۰۱۲) نیز به ترکیب مسئله دسته‌بندی و مسیریابی پرداخته است برای انبار استاندارد با تعداد دو بلوک از الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده نموده است. اونجان[17] (۲۰۱۵) جز اولین بررسی‌ها می‌باشد که یک مدل ریاضی برنامه عدد صحیح مختلط برای سه سیاست برداشت سفارش (*traversal,return and mid-point*) معرفی کرده است که از طریق الگوریتم جستجوی محلی مبتنی بر الگوریتم ممنوعه این مسئله را به‌صورت کارا و مؤثر حل کرده است. مطالعه (چن و همکاران، ۲۰۱۵) ازجمله تلاش‌ها در حل سه مسئله دسته‌بندی سفارش‌ها، مسیریابی و ترتیب دهی به‌طور یکپارچه می‌باشد که به معرفی یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح می‌پردازد و از یک الگوریتم ژنتیک برای دسته‌بندی و از الگوریتم مورچگان برای مسیریابی استفاده می‌کند. شولز و همکاران[18] (۲۰۱۷) به ترکیب سه موضوع دسته‌بندی، مسیریابی و تخصیص کار پرداخته و از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر برای حل مسائل اندازه

---

[2] Pan et al.
[3] Chen et al.
[4] Hong et al.
[5] Simulated Annealing Algorithm
[6] Ho and Tseng
[7] Seed-Order and Accompanying
[8] Iterated Local Search
[9] Ant Colony Optimization
[10] Hen et al.
[11] Žulj et al.
[12] Henn and schmid
[13] Sequencing
[14] Moons et al.
[15] Vehicle Routing Problem
[15] Won and Olafsson
[16] Kulak et al.
[17] Öncan
[18] Scholz et al.

بزرگ استفاده نموده است. لازم به ذکر می‌باشد که برای حل مسائل سطح عملیاتی ترکیب‌های مختلفی صورت گرفته است (یعنی به فراخور به ترکیب این موضوعات در سطح عملیات توجه شده است) به‌عنوان‌مثال در (هن، ۲۰۱۵) برای حل یکپارچه مسئله ترتیب دهی و دسته‌بندی سفارش‌ها با توجه به تعداد برداشت کنندگان سفارش چندگانه (*Multi Picker*) از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر و الگوریتم نزول همسایگی متغیر استفاده‌شده است. شولزو واشر (۲۰۱۷) برای ترکیب دسته‌بندی و مسیریابی از الگوریتم جستجوی محلی استفاده کرده است. وال و همکاران[1] (۲۰۱۷) ترکیب دسته‌بندی و مسیریابی را به‌صورت بهینه حل کرده و توانسته برای مسائل تا دسته‌بندی ۵۰۰۰ سفارش، دسته‌بندی را به‌صورت ابتکاری اما مسیریابی را به‌صورت بهینه حل کند. منندز و همکاران[2] (۲۰۱۷) برای ترکیب دسته‌بندی سفارش و مسیریابی از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر استفاده کرده است. چن و همکاران (۲۰۱۸) از تحقیقاتی می‌باشد که فرض شکست سفارش‌ها (*split-off orders*) برای دسته‌بندی در سطح عملیات انبار به‌کاربرده است و یک متد ابتکاری نا پارامتریک برای دسته‌بندی آنلاین سفارش معرفی نموده است.

برای ترسیم نوآوری‌های اصلی در این پژوهش در حوزه سیستم برداشت سفارش با رویکرد به حل تصمیمات عملیاتی (مروری بر تصمیم سطح عملیاتی در سیستم برداشت سفارش[3])، مطالعات تحقیقاتی در **جدول ۱** ارائه‌شده است. پژوهش حاضر به یکپارچه نمودن مسائل سطح عملیات در انبار به همراه استفاده از محدودیت‌های واقعی در یک برنامه‌ریزی چند دوره‌ای می‌پردازد که از دو جنبه دارای نوآوری می‌باشد. در ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح که به‌صورت مدل سیستم برداشت سفارش چند دوره‌ای، چند برداشت کننده و چند سفره (*MPOPS-MPMT*) با توجه به محدودیت‌های واقعی نظیر باز پر سازی انبار و توجه به حضور و عدم حضور برداشت کنندگان برای مسائلی نظیر تعمیرات و نگهداری توسعه پیداکرده است. سپس با معرفی روش حل متناسب با این مسئله جنبه نوآوری آن کامل گردیده است.

جدول ۱- خلاصه ایی ازمرورادبیات سیستم برداشت سفارش.

Table 1- Summary of order picking system literature review.

مرجع	مسئله	مدل ریاضی	لیوت	روش حل	تصمیمات عملیاتی برداشت سفارش			چند دوره‌ای	دسترسی محدود به برداشت کنندگان	چند سفره
					مسیر یابی	دسته‌بندی	تخصیص کار			
(پترسن[4]، ۱۹۹۷)	OPRP[5]	–	مستطیلی *	آماری- واریانس	✓	–	–	–	–	–
(پترسن، ۲۰۰۰)	OPPP[6]	–	مستطیلی *	شبیه‌سازی	–	✓	–	–	–	–
(پترسن وآس[5]، ۲۰۰۰)	PRSPOP[7]	–	مستطیلی *	شبیه‌سازی	✓	✓	–	–	–	–
(ون و اولافسون، ۲۰۰۵)	JOBOP[8]	IP	–	الگوریتم SBF	✓	✓	–	–	–	–
(هو و تسنگ، ۲۰۰۶)	OB[9]	–	مستطیلی *	آماری- واریانس	✓	✓	–	–	–	–
(تسای و همکاران، ۲۰۰۸)	MG-OB[6]	IP	مستطیلی *	ژنتیک چندگانه	✓	✓	–	–	–	–
(هن و همکاران، ۲۰۱۰)	MOBP[7]	IP	مستطیلی *	مورچگان و جستجوی محلی	–	✓	–	–	–	–
(هن و همکاران، ۲۰۱۲)	OBSP[8]	MIP	مستطیلی **	جستجوی محلی	–	✓	✓	–	–	–

[1] Valle et al.
[2] Menéndez et al.
[3] Order Picking System
[5] Petersen
[6] Petersen and Aase

جدول ۱- ادامه.

Table 1- Continued.

مرجع	مسئله	مدل ریاضی	لیوت	روش حل	تصمیمات عملیاتی برداشت سفارش مسیریابی	دسته‌بندی	تخصیص کار	چند دوره‌ای	دسترسی محدود به برداشت کنندگان	چند سفره
(کولاک و همکاران، ۲۰۱۲)	JOBPR[۹]	IP	مستطیلی **	جستجوی ممنوع	✓	✓	✓	–	–	–
(کولاک و همکاران، ۲۰۱۲)	OBP_PC[۱۰]	MIP	مستطیلی *	تبرئید	✓	✓	–	–	–	–
(هن، ۲۰۱۵)	OBSPMP[۱۱]	MIP	مستطیلی *	جستجوی همسایگی	✓	✓	✓	–	–	–
(اونجان، ۲۰۱۵)	OPB	MIP	مستطیلی *	جستجوی محلی	✓	✓	–	–	–	–
(چن و همکاران، ۲۰۱۵)	IOBSRP[۱۲]	MIP	مستطیلی *	مورچگان و ژنتیک	✓	✓	–	–	–	–
(چن و همکاران، ۲۰۱۶)	ORP_MC[۱۳]	IP	مستطیلی **	مورچگان	✓	–	–	–	–	–
(وال و همکاران،۲۰۱۷)	OS-_JOBRP[۱۴]	IP	مستطیلی **	قطعی، ابتکاری	✓	✓	–	–	–	–
(شولز و همکاران، ۲۰۱۷)	JOBASRP[۱۵]	MIlP	مستطیلی **	نزول همسایگی متغیر	✓	✓	✓	–	–	–
(ونگیلز و همکاران، ۲۰۱۸)	ISBZPRPD[۱۶]	–	–	آماری- واریانس	✓	✓	✓	–	–	–
(مونز و همکاران، ۲۰۱۹)	I-OP-VRP[۱۷]	MIlP	–	فرا ابتکاری	✓	✓	–	–	–	–
(کوهن و همکاران[۱]، ۲۰۲۱)	IOBVRPGR[۱۸]	MIlP	مستطیلی ***	جستجوی همسایگی	✓	✓	–	–	–	–
(بریانت و همکاران، ۲۰۲۰)	JOBPR	–	مستطیلی **	ستون ساز[۲]	✓	–	–	–	–	–
پژوهش حاضر	MPOPS-MPMT[۱۹]	MILP	مستطیلی **	قهرمانی در لیگ‌های ورزشی	✓	✓	✓	✓	✓	✓

[۱] Order Picking Routing Policies
[۲] Oder Picking Policies Problem
[۳] Picking Routing Storage Policies Order Picking
[۴] Joint Order Batching and Order Picking
[۵] Order Batching
[۶] A Multiple-GA Method to Solve Order Batching
[۷] Metaheuristic for Order Batching Problem
[۸] Order Batching Sequencing Problem
[۹] Joint Order Batching and Picker Routing
[۱۰] Order Picking Batching _ Picker Congestion
[۱۱] Order Batching Sequencing Problem with Multiple Pickers
[۱۲] Integrated Order Batching, Sequencing, and Routing Problem
[۱۳] Order Routing Problem_ Multi Picker Congestion
[۱۴] Optimally Solve_ Joint Order Batching and Routing Problem
[۱۵] The Joint Order Batching, Assignment, Sequencing and Routing Problem
[۱۶] Integrating Storage Batching, Zone Picking, and Routing Policy Decisions
[۱۷] Integrated Order Picking-Vehicle Routing Problem
Integrated Order Batching and Vehicle Routing Operations in Grocery
[۱۸] Retail
[۱۹] Multi Period Order Picking System-Multi Picker Multi Trip
* Low-level
** Low-leve and two blocks
*** Low-leve and three blocks

در این مقاله یک مدل ریاضی و روش حل فرا ابتکاری برای حل مسئله *MPOPS-MPMT* ارائه می‌شود. مدل ارائه‌شده دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است که به‌طور مختصر در ادامه به آن اشاره می‌شود.

[1] Kuhn et al.

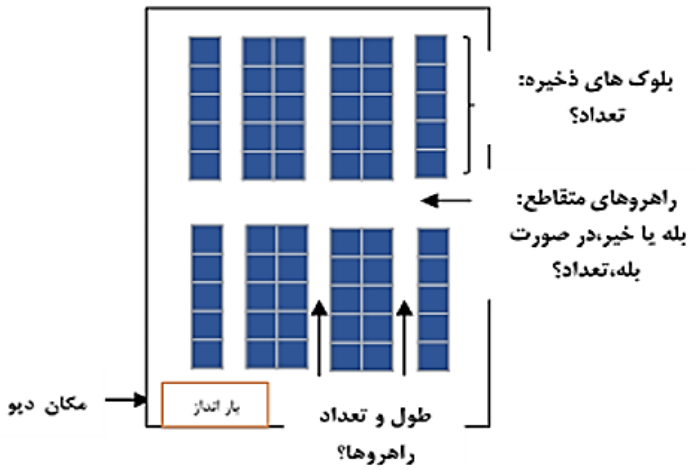
[2] Column Generation

- تابع هدف حداقل سازی مجموع دیرکرد[1] که هم‌راستا با نیاز صنعت است نخستین بار مدنظر قرار می‌گیرد.
- مسئله برداشت سفارش چند دوره‌ای تاکنون در ادبیات موردبررسی قرار نگرفته است.
- مسئله مسیریابی چند سفره برداشت کنندگان در ادبیات موردتوجه قرار نگرفته است و این در حالی است که به علت محدود بودن تعداد برداشت کنندگان، این مهم می‌بایست در مدل‌سازی مدنظر قرار گیرد.
- فرض بازپرسازی نخستین بار در این مقاله موردتوجه قرارگرفته و معرفی‌شده است. بدین ترتیب که سفارش‌ها در طول زمان، طی دوره‌های مختلف وارد انبار می‌شوند و در موقعیت از پیش تعیین‌شده قرار می‌گیرند.
- تعیین بازه زمانی برای کارکرد برداشت کننده‌ها در هر دوره و مدل‌سازی آن، نخستین بار در این مقاله مدنظر قرارگرفته است که راه را برای یکپارچه‌سازی تصمیمات برداشت سفارش و تعمیرات نگهداری برداشت کنندگان را هموار می‌سازد. البته در این مقاله تصمیمات مرتبط با برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری برداشت کنندگان مطرح نیست.

در خصوص روش حل نیز یک الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی با در نظر گرفتن ساختار مسئله (که منطبق بر ساختار مسائل گروه‌بندی است) ارائه می‌شود و عملگرهای تولید جواب نیز برای حفظ شدنی بودن جواب، به فراخور توسعه می‌یابند. محتوای این پژوهش به‌صورت زیر تقسیم‌بندی شده است. مسئله موردبررسی در بخش ۲ بیان و فرمول‌بندی می‌شود. روش ابتکاری پیشنهادی در بخش ۳ ارائه می‌شود و بخش ٤ به ارزیابی کارایی الگوریتم می‌پردازد. نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای تحقیقات آتی در بخش ۵ ارائه می‌شود.

۲- تعریف مسئله و مدل ریاضی

در بیشتر پژوهش‌های مربوط به سیستم انبار دستی برداشت سفارش (*Picker-to-Part*) از چیدمان انبار مانند **شکل ۱** (دی کوستر و همکاران، ۲۰۰۷) استفاده می‌شود که با تغییر در پارامترهای نظیر تعداد بلوک‌ها، طول وعرض راهروهای برداشت سفارش، تعداد تقاطع‌ها، سطح برداشت سفارش مسائل مربوط به سیستم سفارش موردبررسی قرارمی‌گیرد (اونجان، ۲۰۱۵؛ منندز و همکاران، ۲۰۱۷؛ وال و همکاران، ۲۰۱۷؛ چن و همکاران، ۲۰۱۸). در این پژوهش چیدمان مرتبط با پارامترهای متناسب با مسئله انتخاب گردیده است.



شکل ۱- چیدمان استفاده‌شده در اکثر سیستم‌های برداشت سفارش دستی (دی کوستر و همکاران، ۲۰۰۷).
Figure 1- Layout used in most of manual order picking systems (De koster et al., 2007).

مسئله موردبررسی در این تحقیق، مسئله‌ی بسته‌بندی سفارش‌ها و مسیریابی برداشت می‌باشد. در این مسئله، یک انبار با جانمایی مشخص و به‌صورت سلول بندی شده وجود دارد (**شکل ۱**). سفارش‌ها دریافت شده در سلول‌های مختلف قرار می‌گیرند. برداشت کننده‌ها به‌منظور برداشت سفارش‌ها و قرار دادن آن‌ها به‌عنوان‌مثال در بارانداز در مسیرهای خاصی حرکت می‌کنند. برداشت کننده‌ها، اقلام را به‌صورت دسته‌ای برداشت می‌کنند از طریق لیفتراک یا گاری‌های مخصوص برداشت سفارش این کار را صورت می‌دهند. هر سفارش دارای حجم خاصی (Wo) می‌باشد و هر برداشت کننده دارای ظرفیت معین (Cb) به‌منظور برداشت سفارش‌ها است. در این مسئله فرض بر این است که چند برداشت کننده داریم که ممکن است در تمامی زمان‌ها در دسترس نباشند. سفارش‌ها دارای یک‌لحظه ورود به انبار (To) و یک موعد تحویل می‌باشند که عدم خروج سفارش تا موعد تحویل منجر به تأخیر می‌شود. مسئله به‌صورت چند دوره‌ای در نظر گرفته‌شده است

[1] Total tardiness

و انبار می‌تواند در طول دوره‌ها با سفارش‌ها جدید بازپرسازی شود. برداشت کننده تا زمانی که در دسترس باشد در چند مسیر (خدمت‌رسانی متوالی در طی زمان حضور) امکان برداشت سفارش‌ها را دارا است. مسئله به دنبال دسته‌بندی سفارش‌ها و مسیریابی برداشت کننده به‌نحوی‌که میزان تأخیر در ارسال سفارش‌ها حداقل شود. شرایط زیر در مدل در نظر گرفته می‌شود:

- تابع هدف تحت عنوان حداقل سازی مجموع دیرکرد در تحویل سفارش‌ها تعریف می‌گردد.
- تقاضا برای سفارش‌ها معلوم می‌باشد.
- دسترسی پیوسته به برداشت کنندگان وجود ندارد و برداشت کنندگان می‌توانند در زمان‌های خاصی حضور نداشته باشند.
- برداشت کنندگان در زمان حضور به‌صورت چند سفر خدمت‌رسانی می‌کنند.
- انبار از توانایی باز پرسازی برخوردار می‌باشد.
- حجم سفارش‌ها مشخص و محدود می‌باشد.
- زمان‌بندی سفارش‌ها به‌صورت چند دوره‌ای می‌باشد.
- هر دسته از سفارش‌ها که شامل چندین سفارش است تنها به یک برداشت کننده اختصاص پیدا می‌کند.
- یک سفارش قابلیت تجزیه شدن برای قرار گرفتن در چند دسته را ندارند.

۱-۲- نمادگذاری

مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل ریاضی به‌صورت زیر تعریف‌شده‌اند:

مجموعه‌ها.

O	مجموعه سفارش‌ها $\{o, o_P \epsilon O\}$.
B	مجموعه برداشت کنندگان $\{b \epsilon B\}$.
L	مجموعه مکان‌های ذخیره‌سازی $\{i,j \epsilon L\}$، $i=1$ نشان‌دهنده موقعیت اولیه برداشت کننده‌ها است.
R	مجموعه سفرها $\{r, r_p \epsilon R\}$.
T	مجموعه دوره‌ها (برحسب روز) $\{t \epsilon T\}$.

پارامترها.

n_i	تعداد دفعات بازپرسانی مکان i در طول دوره برنامه‌ریزی.
c_b	ظرفیت برداشت کننده (دسته‌ها).
w_o	حجم سفارش o.
d_o	موعد تحویل سفارش o.
e_{ij}	زمان طی مسیر بین مکان i و j.
s_{bt}	ساعت شروع کار برداشت کننده b در دوره t.
f_{bt}	ساعت پایان کار برداشت کننده b در دوره t.
B_{bt}	درصورتی‌که برداشت کننده b دوره t حضور دارد، معادل یک باشد در غیر این صورت معادل صفر. می‌باشد
t_o	اولین زمانی که برداشت سفارش o درخواست می‌گردد.
$s1_{ot}$	معادل یک است چنانچه t بزرگ‌تر یا مساوی t_o باشد و در غیر این صورت صفر می‌باشد.
$sp1_c$	معادل یک است چنانچه t کوچک‌تر t_o باشد و در غیر این صورت صفر می‌باشد.
l_o	مکان سفارش o.
M	عدد بزرگ صحیح.

متغیرهای تصمیم.

X_{obtr}	معادل یک می‌باشد اگر سفارش o توسط برداشت کننده b در دوره t در سفر r برداشت شود در غیر این صورت صفر می‌باشد.
Y_{ijbtr}	معادل یک می‌باشد اگر برداشت کننده b در دوره t مکان i را به سمت مکان j در سفر r ترک کند در غیر این صورت صفر می‌باشد.
Z_{ibtr}	معادل یک می‌باشد اگر مکان i توسط برداشت کننده b در دوره t در سفر r ملاقات شود در غیر این صورت صفر می‌باشد.
R_{btr}	معادل یک می‌باشد اگر برداشت کننده b در دوره t سفر r را انجام دهد در غیر این صورت صفر می‌باشد.
W_{btri}	حجم حمل شده توسط برداشت کننده b در دوره t در سفر r بعد از ترک مکان i.
S_{btr}	زمان شروع سفر r توسط برداشت کننده b در دوره t.
F_{btr}	زمان پایان سفر r توسط برداشت کننده b در دوره t.

۲-۲- مدل ریاضی

$$min \sum_{o} max\left(\sum_{b}\sum_{t}\sum_{r} tX_{obtr} - d_o, 0\right). \quad (۱)$$

$$Z_{ibtr} \le B_{bt}. \qquad \forall i,b,t,r,\ i \neq 1 \quad (۲)$$

$$X_{obtr} \le Z_{ibtr}. \qquad \forall o,b,t,r,\ i=l_O, sl_{ot}=1 \quad (۳)$$

$$\forall i,b,t,r, n_i=0 Z_{ibtr}=0. \quad (۴)$$

$$\sum_{b}\sum_{t}\sum_{r} Z_{ibtr} = n_i. \qquad \forall i, i \neq 1 \quad (۵)$$

$$\sum_{b}\sum_{t,\ sl_{ot}=1}\sum_{r} X_{obtr} = 1. \qquad \forall o \quad (۶)$$

$$X_{obtr} = 0. \quad \forall o,b,t,r, sp1_{ot}=1 \quad (۷)$$

$$\sum_{j,\ j \neq i} Y_{ijbtr} = Z_{ibtr}. \qquad \forall b,t,r,\ i,\ i \neq 1 \quad (۸)$$

$$\sum_{i,\ i \neq j} Y_{ijbtr} = Z_{jbtr}. \qquad \forall b,t,r,\ j,\ j \neq 1 \quad (۹)$$

$$W_{btri} + \sum_{O,\ \substack{sl_{ot}=1,\\ j=L_o}} w_O \times X_{obtr} \le W_{btrj} + M(1-Y_{ijbtr}). \qquad \forall b,t,r,\ i,\ j,\ i \neq j, j \neq 1 \quad (۱۰)$$

$$W_{btri} \ge c_b * B_{bt}. \qquad \forall i,b,t,r \quad (۱۱)$$

$$S_{btr} + \sum_{i}\sum_{j} e_{ij} * Y_{ijbtr} \le F_{btr}. \qquad \forall b,t,r \quad (۱۲)$$

$$S_{btr} \ge F_{bt,r-1}. \quad \forall b,t,r,\ r \neq 1 \quad (۱۳)$$

$$S_{bt1} = s_{bt}. \quad \forall b,t \quad (۱۴)$$

$$F_{btr} \le f_{btr}. \quad \forall b,t,r \quad (۱۵)$$

$$\sum_{b}\sum_{t}\sum_{r} t * X_{obtr} \le t_{o_p} - 1. \qquad \forall i,o,o_P, i=l_o,\ i=l_{o_p}, t_{o_p} > t_o \quad (۱۶)$$

$$Z_{ibtr} \le R_{btr}. \quad \forall i,b,t,r \quad (۱۷)$$

$$R_{btr} \geq R_{btr_p}. \quad \forall b,t,r,r_p, r<r_p \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{i,\ i\neq 1} Z_{ibtr} \geq R_{btr}. \quad \forall b,t,r \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{b}\sum_{r_p} R_{btr_p} = \sum_{j}\sum_{b}\sum_{r} Y_{1jbtr}. \qquad \forall t \qquad (۲۰)$$

$$W_{btri}, S_{btr}, F_{btr} \geq 0. X_{obtr}, Y_{ijbtr}, Z_{ibtr}, R_{btr} \in \{0, 1\} \qquad (۲۱)$$

با توجه به پارامترها، اندیس‌ها و متغیرهای ذکرشده در بالا، مدل ریاضی مسئله (*MILP*) به شکل زیر می‌باشد که در ادامه به توضیح تابع هدف و محدودیت‌های آن خواهیم پرداخت:

رابطه (۱) تابع هدف را که به‌صورت مینیمم کردن تا خیرات سفارش‌ها می‌باشد، نشان می‌دهد. **رابطه (۲)** دسترسی به برداشت کننده درصورتی‌که مکان دیده شود را بیان می‌کند. **رابطه‌های (۳)** و **(٤)** تعداد دفعات ملاقات مکان iام را مشخص می‌کنند. **رابطه (۵)** نشان‌دهنده‌ی تعداد دفعاتی است که مکان i در دوره برنامه‌ریزی ملاقات می‌گردد. **رابطه (٦)** تأکید می‌کند که همه‌ی سفارش‌ها باید تحویل داده شوند. **رابطه (۷)** تضمین می‌کند که سفارش‌هایی که قبل از زمان دوره برنامه‌ریزی دریافت شده‌اند، در نظر گرفته نشوند. **رابطه‌های (۸)** و **(۹)** نشان‌دهنده محدودیت‌های *TSP* می‌باشند. **رابطه (۱۰)** از ایجاد زیر تور جلوگیری می‌کند. **رابطه (۱۱)** محدودیت ظرفیت برداشت کنندگان را مشخص می‌کند. **رابطه (۱۲)** زمان پایان کار هر برداشت کننده را نشان می‌دهد. **رابطه (۱۳)** بیان می‌کند که زمان شروع دور بعدی باید از زمان پایان دور قبل بیشتر باشد. **رابطه (۱٤)** بیان می‌کند که زمان شروع به کار باید متناسب بازمان شروع کار برداشت کننده در روز باشد. **رابطه (۱۵)** بیان می‌کند که زمان پایان کار برداشت کننده b در دورهای مختلف باید کم‌تر از زمان پایان کار این برداشت کننده باشد. **رابطه (۱٦)** محدودیت باز پرسازی انبار را نشان می‌دهد. **رابطه (۱۷)** تا **(۲۰)** برای ترتیب دهی سفرها در یک روز استفاده می‌شوند و درنهایت متغیرها و نوعشان در **رابطه (۲۱)** بیان‌شده‌اند.

۳-۲- خطی سازی تابع هدف

تابع هدف (۱) غیرخطی می‌باشد. لذا از طریق **رابطه (۲۲)** به‌عنوان تابع هدف جدید آن را خطی می‌کنیم. با این کار **رابطه (۲۳)** با در نظر گرفتن $Z(o)>0$، به‌منظور خطی سازی به مدل اضافه می‌شود:

$$Min \sum_{o} Z_o. \qquad (۲۲)$$

$$Z_o \geq \sum_{b}\sum_{t}\sum_{r} tX_{obtr} - d_o. \qquad \forall o \qquad (۲۳)$$

۳- روش حل

مدل ارائه‌شده در این پژوهش در مسئله با اندازه‌های کوچک قابل‌حل می‌باشد چون مسئله تحقیق از دو مسئله دسته‌بندی سفارش‌ها و مسیریابی برداشت کننده تشکیل‌شده است؛ که هردوی این مسائل *NP-hard* هستند (چنگ و همکاران، ۲۰۱۵)؛ بنابراین مسئله تحقیق نیز در طبقه‌ی مسائل *NP-hard* قرار می‌گیرد برای حل مسائل اندازه بزرگ و مسائل دنیای واقعی نمی‌توان با استفاده از نرم‌افزار *GAMS* حل نمود و برای حل آن‌ها به الگوریتم کارآمدتری نیازمندیم. مسئله در نظر گرفته‌شده در این پژوهش را می‌توان از جنس گروه‌بندی در نظر گرفت. مسائل گروه‌بندی را می‌توان به‌عنوان مسائلی که هدف آن‌ها گروه‌بندی اعضای مجموعه‌ی U در یک یا چند (حداکثر به‌اندازه‌ی U) گروه از اشیاء که هر یک از اشیاء دقیقاً در یک گروه باشد نام‌گذاری کرد (فالکناور[1]، ۱۹۹٤).مسئله شکل‌دهی سلول در سیستم‌های تولیدی[2]، مسئله بالانس خط مونتاژ[3]و مسئله زمان‌بندی ماشین پردازنده انباشته[4]در قسمت مسائل گروه‌بندی قرار می‌گیرند. در مسئله

[1] Falkenauer
[2] Cell Formation
[3] Assembly Line Balancing
[4] Batch-Processing Machine Scheduling

موردبررسی سفارش‌هایی که در هر دوره، توسط هر برداشت کننده و در هر سفر حمل می‌شوند را می‌توان به‌صورت یک گروه در نظر گرفت. در این فصل از الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی گروه‌بندی[1] به‌منظور حل این مسائل استفاده می‌کنیم.

۱-۳- الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی

الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی، یک الگوریتم جمعیت محور برای جستجوی سرا سری در فضای پیوسته، با الهام از مسابقات ورزشی در جهان واقعیت، نخستین بار توسط حسین زاده کاشان[2] (۲۰۰۹) ارائه‌شده است. در خلال این الگوریتم راه‌حل‌های متفاوتی که می‌توان به یک مسئله داد، بر اساس میزان برازندگی‌شان، مقایسه و هرکدام بهبود داده‌شده و نهایتاً راه‌حلی نزدیک به بهینه انتخاب می‌گردد. تعدادی تیم (استعاره از جواب‌های در حال بررسی) در قالب یک لیگ (استعاره از جمعیت جواب‌های شدنی)، طی چند هفته (استعاره از تعداد مراحل ارزیابی در یک تکرار از الگوریتم) به رقابت با یکدیگر پرداخته و دوبه‌دو باهم مسابقه می‌دهند. بر مبنای قدرت بازی (استعاره از میزان برازندگی یا مقدار تابع هدف بردار حل) حاصل از آرایش تیمی (استعاره از کد آن جواب شدنی برای مسئله) تیم‌های برنده و بازنده مشخص می‌شوند (مساوی مجاز نمی‌باشد). در هر هفته هر تیم توسط مربی‌اش با فرآیند تحلیل مصنوعی بازی‌های هفته‌ی قبل و توسط بهترین آرایش تیمی حاصل تا آن زمان، به آرایش تیمی جدیدی می‌رسد (استعاره از ایجاد جواب‌های شدنی جدید). بدین ترتیب رقابت برای قهرمانی به مدت چندین فصل (استعاره از تعداد تکرارهای الگوریتم) ادامه خواهد یافت. تعداد فصل‌ها (S) و تعداد تیم‌ها (L) پارامترهای قابل تنظیم هستند که تغییر آن‌ها در پاسخ نهایی الگوریتم تأثیر مستقیم دارد .مفروضاتی که در الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی مبنا قرار می‌گیرد:

فرض ۱: تیم قوی‌تر احتمال برد بیشتری نسبت به تیم ضعیف‌تر داراست، اما تیم ضعیف‌تر، هم چنان، شانس بردن تیم قوی‌تر را دارد.

فرض ۲: احتمال برد یک تیم یا باخت تیم مقابل ازنقطه‌نظر هر دو تیم یکسان است.

فرض ۳: نتیجه‌ی بازی‌ها تنها به‌صورت برد یا باخت بوده و امکان تساوی وجود ندارد.

فرض ٤: تمرکز تیم‌ها بر بازی هفته‌ی آتی خود بوده و تمامی تغییرات در آرایش تیمی بر مبنای وقایع رخ‌داده در هفته‌ی قبل است. آرایش انتخاب‌شده بر مبنای بهترین آرایش تیمی یافت شده تا آن لحظه صورت می‌پذیرد. در ادامه، توضیحات مربوط به الگوریتم قهرمانی لیگ ورزشی در ۳ مرحله تکمیل می‌گردد: ابتدا به شیوه‌ی ایجاد برنامه‌ی بازی‌های لیگ پرداخته می‌شود. سپس قاعده‌ی تعیین تیم برنده در یک بازی ذکر می‌شود و درنهایت نحوه‌ی تغییر آرایش تیمی با استفاده از تحلیل *SWOT* (قوت-ضعف-فرصت-تهدید) بیان می‌شود.

۱-۱-۳- ایجاد برنامه بازی‌های لیگ

جهت تولید یک برنامه‌ی زمانی برای مسابقات لیگ، ابتدا فرض می‌شود هر دو تیم در طول فصل فقط یک بازی باهم انجام دهند. در پایان فصل هر یک از L تیم $L\text{-}1$ مسابقه انجام خواهد داد که این یعنی آن‌که درمجموع $\frac{L(L-1)}{2}$ بازی در طول هر فصل انجام می‌پذیرد

۲-۱-۳- تعیین تیم برنده در هر بازی

برنده‌ی یک بازی بر اساس مقایسه‌ی یک عدد تصادفی تولیدشده با مقدار تابعی به دست می‌آید که با میزان قدرت آن تیم رابطه‌ی مستقیم دارد؛ یعنی شانس برد تیم قوی‌تر بیشتر است ولی درعین‌حال، شانس برنده شدن در بازی با یک تیم قوی‌تر، همچنان باقی است (فرض ۱). آرایش تیمی و میزان قدرت تیم i در هفته‌ی t به ترتیب با X_i^t و $f(X_i^t)$ نشان می‌دهند. فرض کنید، تیم‌های i و j در هفته‌ی t با یکدیگر مسابقه می‌دهند. در این صورت احتمال برد تیم i در هفته‌ی t که با P_i^t نشان داده می‌شود، از **رابطه (۲٤)** به دست می‌آید (به شکلی مشابه P_j^t قابل‌تعریف می‌باشد). بدیهی است که $P_i^t+P_j^t=1$. عدد حاصل از آن تابع، مرزی را در بازه‌ی [0,1] ایجاد می‌نماید .اکنون عددی تصادفی تولید می‌گردد؛ درصورتی‌که کوچک‌تر از P_i^t (مرز تعیین‌شده) باشد، تیم موردنظر برنده‌ی آن مسابقه اعلام می‌گردد و در غیر این صورت، بازنده است. f^t بهترین مقدار تابع هدف تا آن لحظه می‌باشد (یک کران پایین برای تابع هدف مسئله)، و مقدار P_i^t از **رابطه (۲٤)** به دست می‌آید:

[1] Grouping League Championship Algorithm

[2] Husseinzadeh Kashan

$$P_i^t=\frac{f(X_j^t)-f^t}{f(X_j^t)+f(X_i^t)-2f^t}. \qquad (۲۴)$$

۳-۱-۳- تغییر در آرایش تیمی

چهار راهبرد مختلف جهت مقابله با تیم حریف، در هر هفته، برای هر تیم قابل اتخاذ است، هر راهبرد، از ترکیبی دوتایی از چهار نقطه‌نظر *SWOT* پدید می‌آیند. این ترکیب‌ها عبارت‌اند از *S/T*، *S/O*، *W/T* و *W/O* که هر یک معادلات منحصر به خودشان را دارا هستند (**روابط (۲۵)** تا **(۲۸)**). در این معادلات *i*، *l*، *j* و *k* به ترتیب عبارت‌اند از اندیس‌های تیم خودی، تیم حریف در هفته‌ی جاری (*t+1*)، تیم حریف در هفته‌ی گذشته (*t*) و تیمی که در هفته‌ی گذشته با حریف کنونی مسابقه داده است (*i=1,...,L*). آرایش تیم *i* در هفته‌ی *t* با $X_i^t=(X_{i1}^t,X_{i2}^t,...,X_{in}^t)$ و بهترین آرایش تیمی به‌دست‌آمده تا هفته‌ی *t* (حاکی از بهترین مقدار به‌دست‌آمده‌ی تابع هدف) با $B_i^t=(b_{i1}^t,b_{i2}^t,...,b_{in}^t)$ نشان داده می‌شوند. در زیر برای نشان دادن یک مؤلفه از هر بردار بالا از نماد *d* استفاده‌شده است (*d=1,...,n*).

اگر هر دو تیم *i* و *j* در هفته‌ی *t* برنده‌ی بازی‌های خود با تیم‌های *j* و *k* باشند، آرایش تیمی *i* در هفته‌ی *t+1* با استراتژی *S/T* طراحی گردیده و به‌صورت زیر است:

$$x_{id}^{t+1}=b_{id}^t+y_{id}^t\left(c_1r_1(x_{id}^t-x_{kd}^t)+c_1r_2\left(x_{id}^t-x_{jd}^t\right)\right). \qquad \forall d=1,...,n \qquad (۲۵)$$

اگر در هفته‌ی *t* تیم *i* از تیم *j* برده باشد و تیم *l* به *k* باخته باشد، آرایش تیمی *i* در هفته‌ی *t+1* با استراتژی *S/O* طراحی گردیده و به‌صورت زیر است:

$$x_{id}^{t+1}=b_{id}^t+y_{id}^t\left(c_2r_1(x_{kd}^t-x_{id}^t)+c_1r_2\left(x_{id}^t-x_{jd}^t\right)\right). \qquad \forall d=1,...,n \qquad (۲۶)$$

اگر در هفته‌ی *t* تیم *i* به تیم *j* باخته باشد و تیم *l* بر *k* غلبه کرده باشد، آرایش تیمی *i* در هفته‌ی *t+1* با استراتژی *W/T* طراحی گردیده و به‌صورت زیر است:

$$x_{id}^{t+1}=b_{id}^t+y_{id}^t\left(c_1r_2(x_{id}^t-x_{kd}^t)+c_2r_2\left(x_{jd}^t-x_{id}^t\right)\right). \qquad \forall d=1,...,n \qquad (۲۷)$$

اگر هر دو تیم *i* و *j* در هفته‌ی *t* بازنده‌ی بازی‌های خود با تیم‌های *j* و *k* باشند، آرایش تیمی *i* در هفته‌ی *t+1* با استراتژی *W/O* طراحی گردیده و به‌صورت زیر است:

$$x_{id}^{t+1}=b_{id}^t+y_{id}^t\left(c_2r_2(x_{kd}^t-x_{id}^t)+c_2r_2\left(x_{jd}^t-x_{id}^t\right)\right). \qquad \forall d=1,...,n \qquad (۲۸)$$

در معادلات بالا، c_1 و c_2 ضرایب ثابت دورکننده و نزدیک کننده، r_1 و r_2 اعداد تصادفی یکنواخت در بازه‌ی [0,1] و y_{id}^t مؤلفه‌ی بردار باینری تصادفی است که مشخص می‌سازد *d*امین عنصر از بردار x_{id}^{t+1} تغییر می‌کند یا خیر. برای همه‌ی تیم‌ها، به همین شکل معادله تعریف می‌شود .تعداد یک‌های این بردار باینری از یک توزیع تصادفی هندسی با پارامتر *pc* تبعیت می‌کند.

۳-۲- الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی گروه‌بندی[1]

در این بخش مراحل الگوریتم قهرمانی لیگ ورزشی گروه‌بندی ذکر گردیده است. در اینجا نیز به‌منظور بازسازی معادلات به‌روزرسانی اصلی الگوریتم به شکلی که برای اعمال در فضای گسسته‌ی این مسئله مناسب باشند، ایده‌ی کلیدی استفاده از عملگرهای[2] مناسب به‌جای عملگرهای ریاضیاتی است. درنتیجه عملگر ریاضیاتی تفریق[3] («-») را با معیار عدم شباهت جاکارد **رابطه (۲۹)**، جایگزین

می‌کنیم و در ادامه به معرفی کامل این الگوریتم می‌پردازیم.

[1] Grouping League Championship Algorithm

[2] Operator

[3] Subtraction

$$Jaccard's\ Distance(G,G')=1-\frac{|G\cap G'|}{|G\cup G'|}. \qquad (۲۹)$$

۱-۲-۳- شیوه‌ی نمایش جواب‌ها

هنگام طراحی این الگوریتم بهینه‌سازی، یک مسئله‌ی کلیدی روشی است که با آن راه‌حل‌ها نمایش (نمایش جواب‌ها[1]) داده می‌شوند. برای پژوهش حاضر شیوه‌ی نمایش گروهی مناسب می‌باشد. این شیوه نمایش، نوعی رمزگذاری است که توسط فالکناور ارائه‌شده است. در حالت کلی رمزگذاری گروهی شامل دو بخش می‌باشد. یک بخش از اقلام و یک بخش گروهی که مربوط به ترکیب گروه‌ها است. بخش اقلام شامل یک آرایه با اندازه‌ی n می‌باشد که n تعداد اقلام است. بخش گروهی یک لیست از برچسب‌ها را که مربوط به هر یک از گروه‌های موجود در جواب می‌باشد، در خود جای‌داده است. در مقاله‌های اصلی مرتبط با گروه‌بندی ترتیب اقلام در هر گروه حائز اهمیت نبوده است، اما در الگوریتم بکار گرفته‌شده برای حل مسئله‌ی تحقیق این ترتیب حائز اهمیت بوده و مشخص‌کننده‌ی ترتیب ملاقات مکان‌های مختلف در هر مسیر می‌باشد. یک نمونه از طرح نمایش جواب در **شکل ۲** آمده است. نخست اینکه به ازای هر برداشت کننده، در هر دوره و در هر سفر آن‌یک گروه در نظر گرفته می‌شود. در **شکل ۲** هر خانه معرف یکی از این گروه‌هاست. در این شکل جداکننده سبز، جداکننده مربوط به برداشت کننده و جداکننده نارنجی، جداکننده مربوط به دوره است. به‌عنوان نمونه در طرح نمایش نشان داده‌شده در **شکل ۲** از هفت سفارش واردشده، سفارش اول در دوره اول، توسط برداشت کننده اول و در مسیر اول برداشته می‌شود. سفارش‌های چهارم و پنجم در دوره اول، توسط برداشت کننده اول، در مسیر دوم برداشته می‌شود؛ بدین‌صورت که ابتدا سفارش چهارم و سپس سفارش پنجم برداشته می‌شود. در دوره دوم، برداشت کننده‌ی اول، در مسیر اول سفارش شماره دو و سه و در مسیر دوم سفارش‌ها شماره پنج و شش را برداشت می‌کند. همچنین در این دوره برداشت کننده دوم، در مسیر اول سفارش هفت را برداشت می‌کند.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	4, 5					2, 3	5, 6		7		
t=1	t=1	t=1	t=1	t=1	t=1	t=2	t=2	t=2	t=2	t=2	t=2
b=1	b=1	b=1	b=2	b=2	b=2	b=1	b=1	b=1	b=2	b=2	b=2
r=1	r=2	r=3	r=1	r=2	r=3	r=1	r=2	r=3	r=1	r=2	r=3

شکل ۲- یک گروه‌بندی نمونه برای مسئله تحقیق.

Figure 2- A sample grouping for the research problem.

۲-۲-۳- معادلات به‌روزرسانی

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، معادلات در الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی برای کار در فضای پیوسته طراحی‌شده و قابل‌استفاده در مسائل بهینه‌سازی ترکیبی[2] نیست؛ بنابراین جهت مواجهه با این مسائل باید **روابط (۲۵)** تا **(۲۸)** را طوری اصلاح کنیم که در فضای گسسته‌ی حاکم بر این نوع مسائل عمل نمایند برای انجام این کار عملگرهای مناسب فضای گسسته، باید جایگزین عملگرهای ریاضیاتی استفاده‌شده در **روابط (۲۵)** تا **(۲۸)** شوند. ما عملگر "-" را با معیار فاصله جاکارد که جایگزین می‌کنیم. ابتدا معادلات کلاسیک الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی را به شکل زیر تغییر شکل می‌دهیم:

$$x_{id}^{t+1}-b_{id}^{t}=y_{id}^{t}\left(c_1r_1(x_{id}^{t}-x_{kd}^{t})+c_1r_2\left(x_{id}^{t}-x_{jd}^{t}\right)\right). \qquad \forall d=1,\dots,n \qquad (۳۰)$$

$$x_{id}^{t+1}-b_{id}^{t}=y_{id}^{t}\left(c_2r_1(x_{kd}^{t}-x_{id}^{t})+c_1r_2\left(x_{id}^{t}-x_{jd}^{t}\right)\right). \qquad \forall d=1,\dots,n \qquad (۳۱)$$

$$x_{id}^{t+1}-b_{id}^{t}=y_{id}^{t}\left(c_1r_2(x_{id}^{t}-x_{kd}^{t})+c_2r_2\left(x_{jd}^{t}-x_{id}^{t}\right)\right). \qquad \forall d=1,\dots,n \qquad (۳۲)$$

$$x_{id}^{t+1}-b_{id}^{t}=y_{id}^{t}\left(c_2r_2(x_{kd}^{t}-x_{id}^{t})+c_2r_2\left(x_{jd}^{t}-x_{id}^{t}\right)\right). \qquad \forall d=1,\dots,n \qquad (۳۳)$$

برای ساخت معادلات به‌روزرسانی مناسب، شرایطی را در نظر بگیرید که در آن هر دو تیم i و l در بازی هفته گذشته‌ی خود شکست‌خورده باشند و ما در طرف راست معادله به‌روزرسانی، درگیر مقایسه تیم بازنده‌ی i و تیم‌های برنده‌ی j و k هستیم. در چنین شرایطی، می‌خواهیم

[1] Solution Representation
[2] Combinatorial Optimization Problems

جواب جدید را به شکلی بسازیم که فاصله‌ی بین جواب جدید و b_{id}^t تقریباً برابر برآیند فاصله‌ی بین i و k و فاصله‌ی بین i و j باشد. به‌عبارت‌دیگر، جواب جدید باید پارامترهایی از x_{kd}^t و x_{jd}^t که در x_{id}^t وجود ندارند را داشته باشد؛ بنابراین "-" را در $x_{jd}^t-x_{id}^t$ و $x_{kd}^t-x_{id}^t$ با "*Distance*" جایگزین می‌کنیم. به‌علاوه واضح است که $\left(x_{id}^t-x_{jd}^t\right)=-\left(x_{id}^t-x_{id}^t\right)$ و همچنین $-\left(x_{kd}^t-x_{id}^t\right)=\left(x_{id}^t-x_{kd}^t\right)$). حال با جایگزینی "-" با "*Distance*" می‌توان آن را به شکل $-Distance\left(x_{id}^t,x_{jd}^t\right)$ و همچنین $-Distance\left(x_{id}^t,x_{kjd}^t\right)$ نشان داد. ازآنجایی‌که معکوس معیار "*Distance*" عملگر شباهت است، می‌توانیم به‌جای "*Distance*–" از "*similarity*" استفاده کنیم. جایگزینی عملگر ریاضیاتی تفریق با این عملگرهای مناسب، به خلق معادلات زیر که در فضای گسسته (و نه پیوسته) عمل می‌کنند، منجر خواهد شد:

$$Distance(x_{id}^{t+1},b_{id}^t)\approx y_{id}^t\left(c_1r_1Similarity(x_{id}^t,x_{kd}^t)+c_1r_2Similarity\left(x_{id}^t,x_{jd}^t\right)\right), \quad (۳۴)$$

$$Distance(x_{id}^{t+1},b_{id}^t)\approx y_{id}^t\left(c_2r_1Distance(x_{kd}^t,x_{id}^t)+c_1r_2Similarity\left(x_{id}^t,x_{jd}^t\right)\right), \quad (۳۵)$$

$$Distance(x_{id}^{t+1},b_{id}^t)\approx y_{id}^t\left(c_1r_2Similarity(x_{id}^t,x_{kd}^t)+c_2r_1Distance\left(x_{jd}^t,x_{id}^t\right)\right), \quad (۳۶)$$

$$Distance(x_{id}^{t+1},b_{id}^t)\approx y_{id}^t\left(c_2r_2Distance(x_{kd}^t,x_{id}^t)+c_2r_1Distance\left(x_{jd}^t,x_{id}^t\right)\right). \quad (۳۷)$$

که در آن $d=1,\dots,D_{X_i^t}$ مشخص‌کننده‌ی اندیس گروه و $i=1,\dots,NP$ می‌باشد که NP معرف اندازه جمعیت است. لازم به ذکر است که در **روابط (۳٤)** تا **(۳۷)**، عبارات x_{id}^t، x_{jd}^t، x_{kd}^t و b_{jd}^t نمایانگر یک گروه یا یک مجموعه از سفارش‌ها تخصیص‌یافته به یک برداشت کننده در یک دوره خاص و یک سفر خاص در جواب‌های i و j و k هستند؛ در **روابط (۲۵)** تا **(۲۸)** این نمادها اعداد حقیقی هستند که نسخه اصلی الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی با آن‌ها کار می‌کند. حال آماده خلق جواب جدید می‌باشیم.

۳-۲-۳- خلق جواب جدید

بعد از بازسازی معادلات به‌روزرسانی الگوریتم اصلی به شکلی که مناسب فضای گسسته شوند، می‌توانیم به خلق مجموعه جواب جدید بپردازیم. در هر سه بخش طرح نمایش، برای انجام این کار، ابتدا طرف راست معادله به‌روزرسانی مربوطه که یکی از **روابط (۳٤)** تا **(۳۷)** است، محاسبه می‌شود. در این معادلات علامت "$\approx$" به معنی تقریباً مساوی است. از این علامت به‌جای "=" استفاده‌شده است، زیرا احتمالاً ساخت جواب جدیدی که فاصله آن با b_{id}^t دقیقاً برابر با مقدار سمت راست باشد غیرممکن است. فرض کنید R را برابر مقدار به‌دست‌آمده از سمت راست روابط به‌روزرسانی بنامیم، داریم:

$$Distance(x_{id}^{t+1},b_{id}^t)\approx R. \quad (۳۸)$$

می‌دانیم $Distance(.,.)\leq 1$؛ بنابراین زمانی که مقدار R بیش از یک باشد، آن را برابر ۱ در نظر می‌گیریم. حال برای تولید جواب جدید دو فاز طی می‌شود. در فاز اول در مورد قسمت‌هایی از جواب مادر که فرزندان به ارث می‌برند تصمیم می‌گیریم. این مرحله را "فاز وراثت[1]" می‌نامیم. احتمالاً پس‌ازاین مرحله، تعدادی از اقلام در جواب فرزند غایب خواهند بود. به این دلیل در مرحله‌ی بعد این اقلام به درون گروه‌های حاضر یا گروه‌های جدید برگردانده می‌شوند. این فاز را به‌عنوان "فاز باز درج[2]" نام‌گذاری می‌کنیم. در ادامه به‌طور مفصل‌تری به شرح این مراحل می‌پردازیم:

فاز وراثت. فاز وراثت توسط **رابطه (۳۸)** کنترل می‌شود. با توجه به این معادله، جواب جدید x_{id}^{t+1} باید طوری به وجود بیاید که فاصله آن با b_{id}^t تقریباً برابر با R باشد. به‌بیان‌دیگر اگر $n_{id}^{t+1}=\left|x_{id}^{t+1}\cap \boldsymbol{b_{id}^t}\right|$ مشخص‌کننده‌ی تعداد اقلام مشترک بین دو گروه باشد b_{id}^t و x_{id}^{t+1} باشد، می‌خواهیم $\boldsymbol{n_{id}^{t+1}}$ را به شکلی بیابیم که مقدار $Distance(x_{id}^{t+1},b_{id}^t)$ به نزدیک‌ترین مقدار ممکن به R برسد. درواقع اقلام مشترک بین اقلامی هستند که جواب جدید x_{id}^{t+1} از والد خود b_{id}^t به ارث برده است. ازآنجایی‌که x_{id}^{t+1} حداکثر می‌تواند تمامی اقلام b_{id}^t را به ارث ببرد، در طول فاز وراثت قابل‌پذیرش است که فرض کنیم $x_{id}^{t+1}\subseteq \boldsymbol{b_{id}^t}$. با مقدار مشخص‌شده‌ی R و شروع از **رابطه (۳۸)** داریم:

$$Distance\ (x_{id}^{t+1},b_{id}^t)=jaccard\ coefficient\ of\ dissimilarity(x_{id}^{t+1},b_{id}^t)\approx R\Longrightarrow n_{id}^{t+1}=(1\text{-}R)\ |b_{id}^t| \quad (۳۹)$$

[1] Inheritance Phase

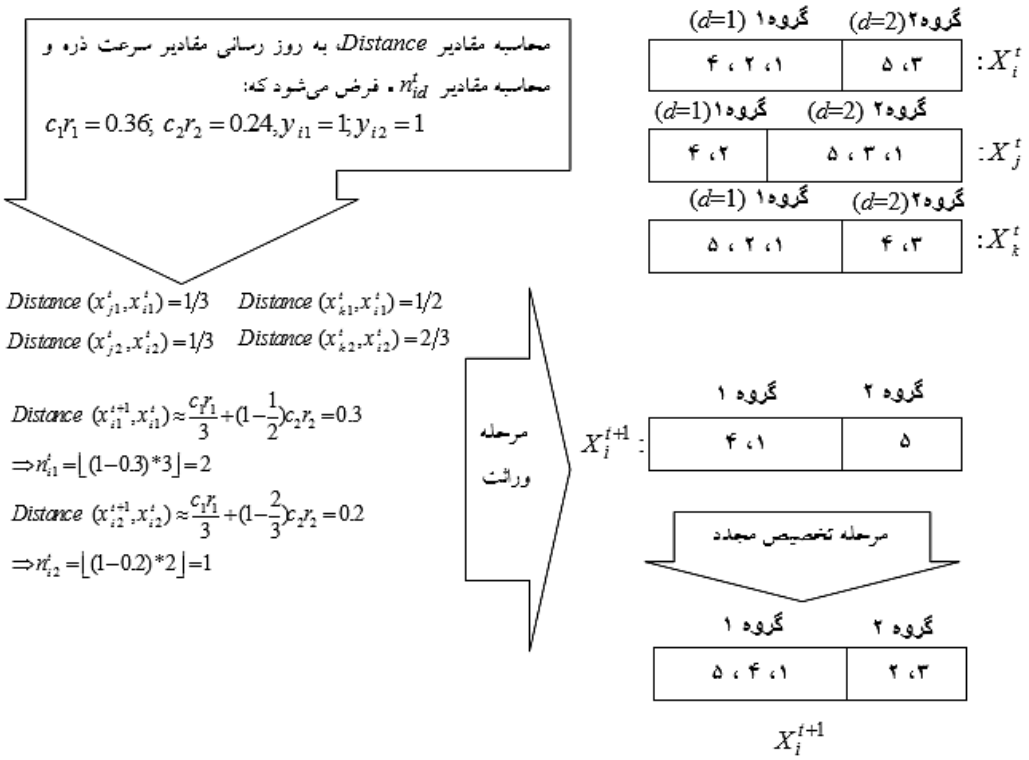
[2] Reinsertion Phase

ازآنجایی‌که n_{id}^{t+1} مشخص‌کننده‌ی تعداد اقلام مشترک بین b_{id}^{t} و x_{id}^{t+1} می‌باشد، بنابراین می‌بایست یک عدد صحیح باشد. برای داشتن یک عدد صحیح به‌عنوان n_{id}^{t+1}، مقدار n_{id}^{t+1} به دست آمده در بالا را به نزدیک‌ترین عدد صحیح گرد می‌کنیم؛ بنابراین داریم:

$$n_{id}^{t+1}=\lfloor (1-R)|b_{id}^{t}| \rfloor. \qquad (۴۰)$$

که در آن $\lfloor . \rfloor$ مشخص‌کننده‌ی گرد کردن به نزدیک‌ترین عدد صحیح ممکن است.

فاز باز درج. پس از این فاز وراثت، احتمالاً تعدادی از اقلام در جواب فرزند غایب خواهند بود. به این دلیل در این مرحله، بر اساس منطق دلخواه یک گروه (چه از بین گروه‌های موجود و چه گروه جدید) به هرکدام از عناصر باقی‌مانده که در مرحله‌ی قبل انتخاب‌نشده‌اند، تخصیص می‌دهیم. تخصیص گروه به اقلام باید به نحوی باشد که جواب به‌دست‌آمده، شدنی باشد. بدین منظور هر قلم غایب به گروهی تخصیص می‌یابد که اولاً در دوره‌ای بعد از زمان رسیدن قلم موردنظر باشد (به‌عنوان نمونه درصورتی‌که زمان رسیدن سفارش در دوره دوم باشد، هنگام تخصیص مجدد نمی‌توان آن را به گروهی که در دوره اول قرار داشته باشد تخصیص داد) و ثانیاً ظرفیت لازم برای برداشت کننده جهت برداشت این سفارش در آن گروه وجود داشته باشد. همچنین درصورتی‌که عنصری از یک گروه در مرحله‌ی گذشته برداشته‌شده و در بین اقلام غایب قرار بگیرد، هنگام تخصیص اقلام غایب و درج هر قلم غایب در هر یک از گروه‌ها و ساخت مسیر حرکت برداشت کننده، نخست جایگاه‌هایی که در فاز وراثت خالی مانده‌اند با اقلام جدید پر می‌شوند و سپس در صورت وجود ظرفیت، امکان تخصیص جایگاه‌های جدید فراهم می‌شود.



شکل ۳- یک مثال از فرآیند تولید جواب جدید.

Figure 3- An example of a new solution generation process.

به‌منظور درک بهتر فرآیند تولید جواب جدید، در ادامه به ذکر یک مثال از نحوه تولید جواب جدید می‌پردازیم. فرض کنید در هفته‌ی t تیم i بازی را از تیم j برده باشد و تیم l به k باخته باشد، جواب جدید x_i^{t+1} بر اساس استراتژی S/O بر اساس فرآیند **شکل ۳** تولید می‌شود. برای اجرای الگوریتم $GLCA$ اندازه جمعیت برابر ۱۰ در نظر گرفته‌شده است. برای تعیین پارامتر γ، در نسخه اصلی الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی از یک توزیع هندسی بریده‌شده استفاده می‌شود؛ اما در این تحقیق برای ایجاد پراکندگی بیشتر در جواب‌ها مقدار γ همواره برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. مقادیر c_1 و c_2 نیز هر دو برابر ۰/۹۵ در نظر گرفته‌شده‌اند.

۴- روش حل محاسبات و نتایج

عملکرد الگوریتم ارائه‌شده با استفاده از نمونه‌های تصادفی مورد ارزیابی قرارگرفته است. کد الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی در نرم‌افزار *MATLAB* نوشته‌شده است و با یک کامپیوتر با پردازنده هفت هسته‌ای ۳٫۴ گیگاهرتز و ۳۲ گیگابایت رم عملکرد الگوریتم با نتایج حل مسئله با *GAMS/CPLEX* مقایسه شده‌اند؛ و برای نمونه‌هایی که جواب قطعی یافت نشده است بهترین جواب یافت شده گزارش‌شده است. برای اینکه مدل ریاضی ارائه‌شده و الگوریتم‌های فرا ابتکاری معرفی‌شده مورد ارزیابی قرار گیرند، تعدادی نمونه مسئله تصادفی ایجادشده و این نمونه مسائل با استفاده از مدل ریاضی معرفی‌شده و الگوریتم فرا ابتکاری حل‌شده‌اند. نمونه مسائل تصادفی به‌گونه‌ای ایجادشده‌اند که نماینده مسئله دنیای واقعی باشند. نمونه‌های تصادفی مسائل به شکل زیر خلق کمی شوند:

- تعداد سفارش‌ها از بین اعداد ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ انتخاب خواهد شد.
- تعداد دوره‌ها برابر ۳، ۵ و ۷ روز خواهد بود.
- تعداد برداشت کننده‌ها از بین اعداد ۳، ۵ و ۷ انتخاب خواهد شد.
- ظرفیت برداشت کننده‌ها برابر یکی از اعداد ۱، ۶ و ۹ خواهد بود.

جدول ۲- نتایج برای نمونه‌های با ابعاد کوچک با ۵ سفارش و دوره‌های ۳ و ۵ و ۷.

Table 2- Results on small instances with 5 orders and 3, 5 and 7 periods.

شماره نمونه	تعداد دوره	تعداد برداشت کننده‌ها	ظرفیت برداشت کننده	بهترین جواب تابع هدف	زمان (ثانیه)	GLCA تابع هدف کمترین	GLCA تابع هدف میانگین	GLCA تابع هدف بیشترین	میانگین زمان	شکاف (%)
1	3	3	1	2	0.81	2	2	2	0.04	0
2			6	0	0.22	0	0	0	0.22	0
3			9	0	0.23	0	0	0	0.46	0
4		5	1	0	0.29	0	0	0	2.39	0
5			6	0	0.31	0	0	0	2.03	0
6			9	0	0.30	0	0	0	1.45	0
7		7	1	0	0.40	0	0	0	2.82	0
8			6	0	0.43	0	0	0	1.91	0
9			9	0	0.43	0	0	0	1.93	0
10	5	3	1	2	0.79	2	2	2	0.9	0
11			6	0	0.31	0	0	0	4.27	0
12			9	0	0.31	0	0	0	3.52	0
13		5	1	0	0.45	0	0	0	3.21	0
14			6	0	0.47	0	0	0	2.67	0
15			9	0	0.45	0	0	0	2.43	0
16		7	1	0	0.63	0	0	0	3.36	0
17			6	0	0.62	0	0	0	3.32	0
18			9	0	0.64	0	0	0	4.65	0
19	7	3	1	2	0.57	2	2	2	2.67	0
20			6	0	0.41	0	0	0	2.45	0
21			9	0	0.43	0	0	0	3.51	0
22		5	1	0	0.61	0	0	0	3.36	0
23			6	0	0.66	0	0	0	3.59	0
24			9	0	0.65	0	0	0	2.36	0
25		7	1	0	0.87	0	0	0	3.36	0
26			6	0	0.91	0	0	0	3.54	0
27			9	0	0.81	0	0	0	3.14	0

با توجه به موارد بالا پنج دسته برای تعداد سفارش‌ها، سه دسته برای تعداد برداشت کننده، سه دسته برای تعداد دوره و سه دسته برای ظرفیت برداشت کننده در نظر گرفته‌شده است. جهت اثبات کارایی الگوریتم، ابتدا این الگوریتم را در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده است. در مسائل با اندازه‌های کوچک، نتایج به‌دست‌آمده از این الگوریتم را با نتایج به‌دست‌آمده از حل دقیق مدل توسط نرم‌افزار گمز مقایسه شده است. نتایج مربوط به این مسائل در **جداول ۲** و **۳** آورده شده است. برای هر مسئله، هر الگوریتم پنج بار اجراشده و بهترین، بدترین و میانگین نتایج به‌دست‌آمده، میانگین زمان اجرای لازم جهت رسیدن به بهترین جواب هر اجرا و میزان شکاف تا جواب دقیق یافته شده توسط گمس در جداول ثبت گردیده است.

جدول ۳- نتایج برای نمونه‌های با ابعاد کوچک با ۱۰ سفارش و دوره‌های ۳ و ۵ و ۷.

Table 3- Results on small instances with 10 orders and 3, 5 and 7 periods.

شماره نمونه	تعداد دوره	تعداد برداشت کننده‌ها	ظرفیت برداشت کننده	بهترین جواب تابع هدف	زمان (ثانیه)	GLCA تابع هدف کمترین	میانگین	بیشترین	میانگین زمان	شکاف (%)
28	3	3	1	4	2.28	4	4	4	8.62	0
29			6	0	0.35	0	0	0	3.46	0
30			9	0	0.34	0	0	0	2.91	0
32		5	1	5	0.83	5	5	5	2.4	0
32			6	0	0.53	0	0	0	2.55	0
33			9	0	0.54	0	0	0	2.16	0
34		7	1	3	0.96	3	3	3	2.02	0
35			6	0	0.67	0	0	0	2.07	0
36			9	0	0.67	0	0	0	2.98	0
37	5	3	1	12	14.76	12	12	12	0.97	0
38			6	0	0.51	0	0	0	1.17	0
39			9	0	0.50	0	0	0	2.52	0
40		5	1	5	0.77	5	5	5	1.29	0
41			6	0	0.81	0	0	0	2.32	0
42			9	0	0.80	0	0	0	2.31	0
43		7	1	3	16.31	3	3	3	2.36	0
44			6	0	1.13	0	0	0	3.21	0
44			9	0	1.07	0	0	0	3.51	0
46	7	3	1	12	2.98	12	12	12	1.48	0
47			6	0	0.69	0	0	0	2.36	0
48			9	0	0.68	0	0	0	2.48	0
49		5	1	5	3.11	5	5	5	2.61	0
50			6	0	1.18	0	0	0	2.51	0
51			9	0	1.1	0	0	0	2.65	0
52		7	1	3	30.25	3	3	3	2.34	0
53			6	0	1.57	0	0	0	3.99	0
54			9	0	1.67	0	0	0	2.4	0

با توجه به نتایج بالا، می‌توان به کارایی الگوریتم طراحی‌شده پی برد. مشاهده می‌شود که در تمامی مسائل اندازه کوچک میزان شکاف الگوریتم برابر صفر است و لذا کد نوشته‌شده برای حل مسئله با استفاده از الگوریتم‌های ارائه‌شده، کارایی لازم را برای حل مسائل با ابعاد بزرگ‌تر را دارد. در مسائل با تعداد بیست سفارش و بالاتر، گمس قادر به دست‌یابی به جواب در زمان معمول نیست. لذا در ادامه برای حل این مسائل سایز بزرگ از الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی گروه‌بندی استفاده‌شده است. برای هر مسئله اندازه بزرگ، الگوریتم مربوطه ده بار اجراشده و بهترین، بدترین و میانگین نتایج به‌دست‌آمده و میانگین زمان اجرای لازم جهت رسیدن به بهترین جواب هر اجرا و میزان شکاف تا جواب دقیق یافته شده توسط گمس ثبت گردیده است. نتایج حاصله در **جدول ٤** ارائه‌شده است.

جدول ٤ درواقع نشان‌دهنده نتایج اجرای مسائل نمونه با *GAMS/CPLEX* و الگوریتم *GLCA* می‌باشد مقدار تابع هدف برحسب میزان تا خیرات سفارش‌ها و زمان اجرا برای هر نمونه مسئله ارائه‌شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، عملکرد الگوریتم *GLCA* از ثبات بالایی برخوردار است زیرا عملکرد بهترین و بدترین حالت آن در بسیاری از مسائل یکسان است. تنها در ۴ نمونه مسئله از ۲۷ نمونه مسئله عملکرد بهترین و بدترین حالت با یکدیگر یکسان نیستند. این در حالی است که مدل ریاضی قادر به یافتن جواب شدنی برای هیچ‌کدام از نمونه‌های مسائل با ابعاد بزرگ نمی‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، روی نمونه مسائل کوچک، زمان‌های اجرا اندک هستند که دلالت بر کارایی الگوریتم پیشنهادی دارند. روی نمونه مسائل بزرگ نیز اگرچه زمان‌های اجرا با افزایش ابعاد مسئله افزایش می‌یابند، کماکان بزرگی آن‌ها معقول است و کاربردی بودن الگوریتم را در عمل میسر می‌سازد.

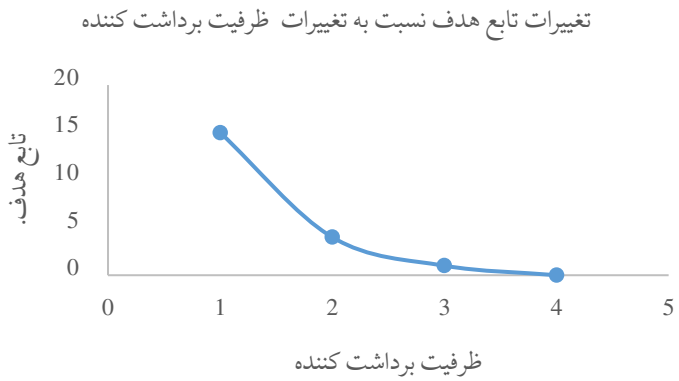
۱-۴- تحلیل حساسیت

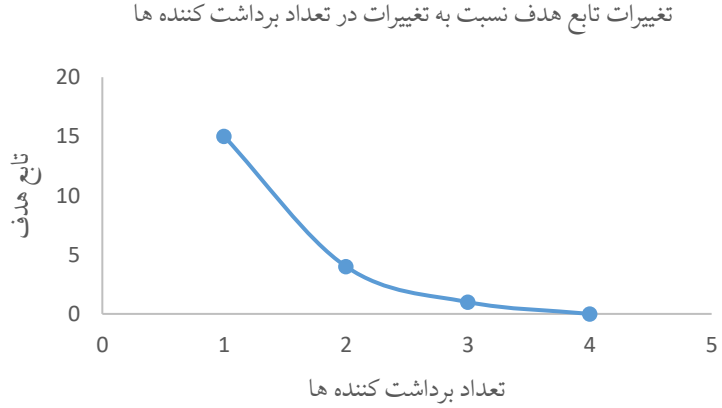
در این بخش به سنجش عملکرد مدل ارائه‌شده برحسب تغییر در ابعاد مسئله و پارامترهای مدل می‌پردازیم. بدین منظور به‌منظور سنجش حساسیت عملکرد مدل ارائه‌شده نسبت به تغییر در پارامترها، در این بخش به بررسی رفتار مدل برحسب تغییر در موعدهای تحویل، تعداد برداشت کنندگان، ظرفیت برداشت کنندگان و حجم سفارش‌ها می‌پردازیم. نتایج در **شکل ٤** آمده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، تغییرات در مقدار تابع هدف به ازای تغییر در سطوح پارامترها معنی‌دار است.

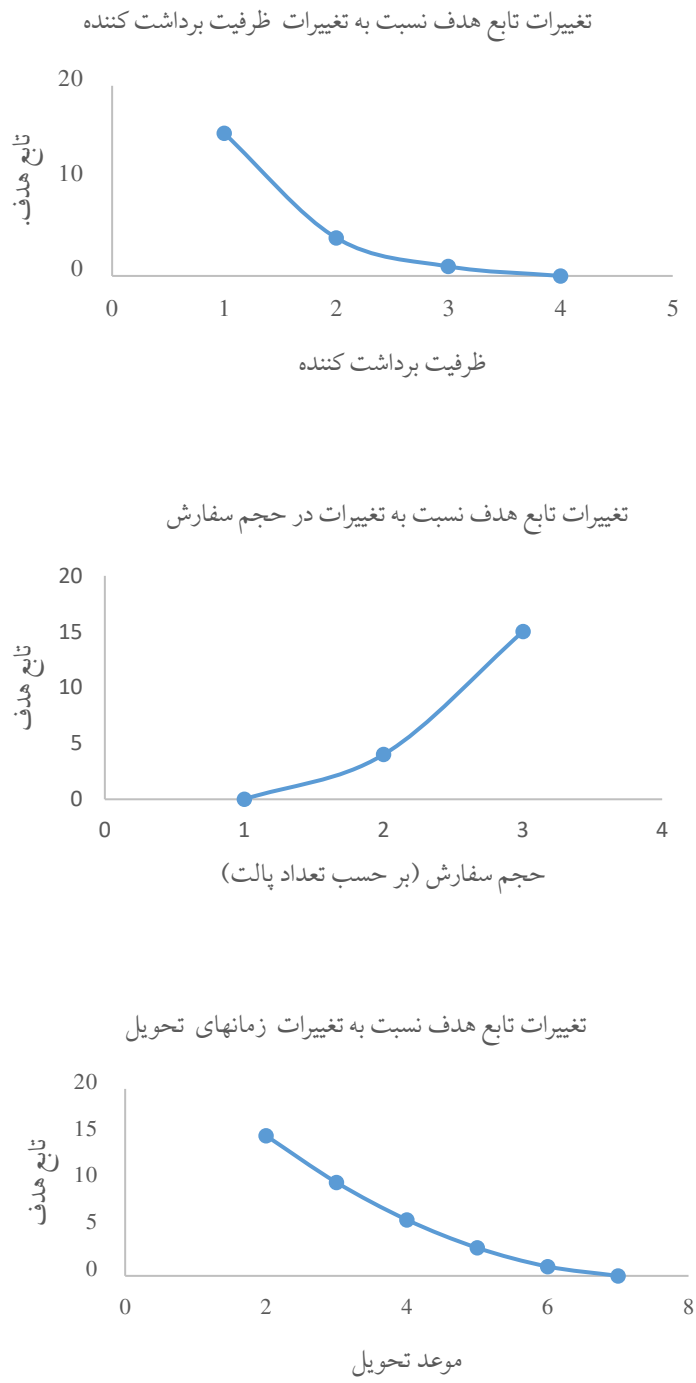
جدول ۴- نتایج اجرای الگوریتم برای نمونه‌های با ابعاد بزرگ.

Table 4- Results of algorithm for large instances.

شماره نمونه	تعداد دوره	تعداد برداشت کننده‌ها	ظرفیت برداشت کننده	بهترین جواب تابع هدف	زمان (ثانیه)	GLCA تابع هدف کمترین	میانگین	بیشترین	میانگین زمان
1	3	3	1	+	3600	92	92	92	47.5
2			6	+	3600	92	92	92	2.8
3			9	+	3600	46	47.5	48	31.9
4		5	1	+	3600	95	95	95	35.2
5			6	+	3600	40	40	40	70.4
6			9	+	3600	65	67.75	69	3.0
7		7	1	+	3600	95	95	95	22.8
8			6	+	3600	74	74	74	8.6
9			9	+	3600	37	37	37	27.6
10	5	3	1	+	3600	190	190	190	39.4
11			6	+	3600	92	92	92	153.2
12			9	+	3600	139	139.25	140	6.8
13		5	1	+	3600	200	200	200	0.1
14			6	+	3600	120	120	120	31.3
15			9	+	3600	65	65.5	67	66.0
16		7	1	+	3600	190	190	190	36.6
17			6	+	3600	74	74	74	126.0
18			9	+	3600	37	37	37	146.3
19	7	3	1	+	3600	285	285	285	40.6
20			6	+	3600	230	230	230	18.6
21			9	+	3600	138	138	138	46.0
22		5	1	+	3600	285	285	285	64.9
23			6	+	3600	120	120	120	152.4
24			9	+	3600	65	65	65	154.1
25		7	1	+	3600	190	190	190	127.0
26			6	+	3600	74	74	74	396.8
27			9	+	3600	37	37	37	533.0







شکل ۴- نمودار تغییرات تابع هدف برحسب تغییرات پارامترها.

Figure 5- Graph of changes in the objective function in terms of changes in parameters.

۵- نتیجه‌گیری

این مطالعه بر روی یکپارچه‌سازی فعالیت‌های سطح عملیات در مراکز توزیع و انبارها با تأکید بر ترکیب مسائل مسیریابی و دسته‌بندی با توجه به محدودیت‌های واقعی نظیر باز پرسازی انبار تأکید دارد. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح که به‌صورت مدل سیستم برداشت سفارش چند دوره ایی، چند برداشت کننده و چند سفره با توجه به محدودیت‌های واقعی نظیر باز پرسازی انبار و توجه به حضور و عدم حضور برداشت کنندگان برای مسائلی نظیر تعمیرات و نگهداری توسعه پیداکرده است. به‌منظور حل مسائل دنیای واقعی که به‌صورت کارا با استفاده از مدل ریاضی قابل‌حل نیستند، یک الگوریتم ابتکاری ارائه‌شده است، این الگوریتم که با توجه به ساختار مسئله که به‌صورت گروه‌بندی

تعریف‌شده است، عملکرد قابل قبولی در مسائل اندازه کوچک در مقایسه با نتایج بهینه برخوردار بوده است و سپس در مسائل اندازه بزرگ نیز می‌تواند جواب‌های قابل قبولی ارائه دهد.

برای پژوهش‌های آتی می‌توان برای مسائل در سطح عملیاتی انبارها و مراکز توزیع، محدودیت‌های بیشتری ازجمله تداخل[1] برداشت کنندگان در هنگام برداشت و هم‌چنین انبار های چند سطحی[2] در نظر گرفت. الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگری برای حل مسئله طراحی کرد و همچنین می‌توان سطح یکپارچه‌سازی را گسترش داد و مسائل موجود در سطوح بالاتر نظیر سطوح تاکتیکی و استراتژی در مدل مدنظر قرارداد.

منابع

Briant, O., Cambazard, H., Cattaruzza, D., Catusse, N., Ladier, A. L., & Ogier, M. (2020). An efficient and general approach for the joint order batching and picker routing problem. *European journal of operational research*, *285*(2), 497-512. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.059

Cano, J. A., Correa-Espinal, A. A., & Gómez-Montoya, R. A. (2020). Mathematical programming modeling for joint order batching, sequencing and picker routing problems in manual order picking systems. *Journal of King Saud university-engineering sciences*, *32*(3), 219-228. https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.02.004

Cergibozan, Ç., & Tasan, A. S. (2019). Order batching operations: an overview of classification, solution techniques, and future research. *Journal of intelligent manufacturing*, *30*(1), 335-349. https://doi.org/10.1007/s10845-016-1248-4

Cheng, C. Y., Chen, Y. Y., Chen, T. L., & Yoo, J. J. W. (2015). Using a hybrid approach based on the particle swarm optimization and ant colony optimization to solve a joint order batching and picker routing problem. *International journal of production economics*, *170*, 805-814. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.021

Chen, F., Wang, H., Xie, Y., & Qi, C. (2016). An ACO-based online routing method for multiple order pickers with congestion consideration in warehouse. *Journal of intelligent manufacturing*, *27*(2), 389-408. https://doi.org/10.1007/s10845-014-0871-1

Chen, F., Wei, Y., & Wang, H. (2018). A heuristic based batching and assigning method for online customer orders. *Flexible services and manufacturing journal*, *30*(4), 640-685. https://doi.org/10.1007/s10696-017-9277-7

Chen, T. L., Cheng, C. Y., Chen, Y. Y., & Chan, L. K. (2015). An efficient hybrid algorithm for integrated order batching, sequencing and routing problem. *International journal of production economics*, *159*, 158-167. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.029

De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: a literature review. *European journal of operational research*, *182*(2), 481-501. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009

Falkenauer, E. (1994). A new representation and operators for genetic algorithms applied to grouping problems. *Evolutionary computation*, *2*(2), 123-144. DOI: 10.1162/evco.1994.2.2.123

Giannikas, V., Lu, W., Robertson, B., & McFarlane, D. (2017). An interventionist strategy for warehouse order picking: evidence from two case studies. *International journal of production economics*, *189*, 63-76. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.04.002

Glock, C. H., Grosse, E. H., Elbert, R. M., & Franzke, T. (2017). Maverick picking: the impact of modifications in work schedules on manual order picking processes. *International journal of production research*, *55*(21), 6344-6360. https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1252862

Henn, S. (2015). Order batching and sequencing for the minimization of the total tardiness in picker-to-part warehouses. *Flexible services and manufacturing journal*, *27*(1), 86-114. https://doi.org/10.1007/s10696-012-9164-1

Henn, S., Koch, S., Doerner, K. F., Strauss, C., & Wäscher, G. (2010). Metaheuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *Business research*, *3*(1), 82-105. https://doi.org/10.1007/BF03342717

Henn, S., Koch, S., & Wäscher, G. (2012). Order batching in order picking warehouses: a survey of solution approaches. In *Warehousing in the global supply chain* (pp. 105-137). Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2274-6_6

Henn, S., & Schmid, V. (2013). Metaheuristics for order batching and sequencing in manual order picking systems. *Computers & industrial engineering*, *66*(2), 338-351. https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.07.003

Ho, Y. C., & Tseng, Y. Y. (2006). A study on order-batching methods of order-picking in a distribution centre with two cross-aisles. *International journal of production research*, *44*(17), 3391-3417. https://doi.org/10.1080/00207540600558015

Hong, S., Johnson, A. L., & Peters, B. A. (2012). Batch picking in narrow-aisle order picking systems with consideration for picker blocking. *European journal of operational research*, *221*(3), 557-570. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.03.045

Kashan, A. H. (2009, December). League championship algorithm: a new algorithm for numerical function optimization. *2009 international conference of soft computing and pattern recognition* (pp. 43-48). IEEE. DOI: 10.1109/SoCPaR.2009.21

Kuhn, H., Schubert, D., & Holzapfel, A. (2021). Integrated order batching and vehicle routing operations in grocery retail–a general adaptive large neighborhood search algorithm. *European journal of operational research*, *294*(3), 1003-1021. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.03.075

Kulak, O., Sahin, Y., & Taner, M. E. (2012). Joint order batching and picker routing in single and multiple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search algorithms. *Flexible services and manufacturing journal*, *24*(1), 52-80. https://doi.org/10.1007/s10696-011-9101-8

[1] Congestion

[2] High Level

Marchet, G., Melacini, M., & Perotti, S. (2015). Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach. *International journal of logistics research and applications*, *18*(1), 82-98. https://doi.org/10.1080/13675567.2014.945400
Masae, M., Glock, C. H., & Grosse, E. H. (2020). Order picker routing in warehouses: a systematic literature review. *International journal of production economics*, *224*, 107564. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107564
Menéndez, B., Pardo, E. G., Alonso-Ayuso, A., Molina, E., & Duarte, A. (2017). Variable neighborhood search strategies for the order batching problem. *Computers & operations research*, *78*, 500-512. https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.01.020
Moons, S., Braekers, K., Ramaekers, K., Caris, A., & Arda, Y. (2019). The value of integrating order picking and vehicle routing decisions in a B2C e-commerce environment. *International journal of production research*, *57*(20), 6405-6423. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566668
Öncan, T. (2015). Milp formulations and an iterated local search algorithm with tabu thresholding for the order batching problem. *European journal of operational research*, *243*(1), 142-155. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.11.025
Pan, J. C. H., Shih, P. H., & Wu, M. H. (2012). Storage assignment problem with travel distance and blocking considerations for a picker-to-part order picking system. *Computers & industrial engineering*, *62*(2), 527-535. https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.001
Petersen, C. G. (1997). An evaluation of order picking routeing policies. *International journal of operations & production management*, *17*(11), 1098-1111. https://doi.org/10.1108/01443579710177860
Petersen, Ch. G. (2000). An evaluation of order picking policies for mail order companies. *Production and operations management*, *9*(4), 319-335. https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2000.tb00461.x
Petersen, C. G., & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International journal of production economics*, *92*(1), 11-19. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.09.006
Scholz, A., & Wäscher, G. (2017). Order batching and picker routing in manual order picking systems: the benefits of integrated routing. *Central European journal of operations research*, *25*(2), 491-520. https://doi.org/10.1007/s10100-017-0467-x
Scholz, A., Schubert, D., & Wäscher, G. (2017). Order picking with multiple pickers and due dates–simultaneous solution of order batching, batch assignment and sequencing, and picker routing problems. *European journal of operational research*, *263*(2), 461-478. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.038
Tsai, C. Y., Liou, J. J., & Huang, T. M. (2008). Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time. *International journal of production research*, *46*(22), 6533-6555. https://doi.org/10.1080/00207540701441947
Valle, C. A., Beasley, J. E., & Da Cunha, A. S. (2017). Optimally solving the joint order batching and picker routing problem. *European journal of operational research*, *262*(3), 817-834. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.069
Van Gils, T., Ramaekers, K., Braekers, K., Depaire, B., & Caris, A. (2018). Increasing order picking efficiency by integrating storage, batching, zone picking, and routing policy decisions. *International journal of production economics*, *197*, 243-261. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.11.021
Wäscher, G. (2004). Order picking: a survey of planning problems and methods. In *Supply chain management and reverse logistics* (pp. 323-347). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24815-6_15
Won, J., & Olafsson, S. (2005). Joint order batching and order picking in warehouse operations. *International journal of production research*, *43*(7), 1427-1442. https://doi.org/10.1080/00207540410001733896
Žulj, I., Kramer, S., & Schneider, M. (2018). A hybrid of adaptive large neighborhood search and tabu search for the order-batching problem. *European journal of operational research*, *264*(2), 653-664. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.06.056

فرهادی سرتنگی و همکاران / تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، صفحه: ۱۱۰-۹۱