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. 3 (2022) 453–465.

Paper Type: Original Article

Modeling and Desigkning a Cross Dock Warehouse Using Multi-Objective Gray Wolf Optimization Algorithm

Maryam Shoaee[1], Parvaneh Samouei[1,*]

[1] *Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran; Shoaee.m@gmail.com; p.samouei@basu.ac.ir.*

Citation:

Shoaee, M., & Samouei, P. (2022). Modeling and desigkning a cross dock warehouse using multi-objective gray wolf optimization algorithm. *Journal of decisions and operations research, 7*(3), 453-465.

Received: 12/01/2021 Reviewed: 08/03/2021 Revised: 02/08/2021 Accepted: 14/08/2021

Abstract

Purpose: Warehousing is very important in the economies of countries, because a significant percentage of assets are stored in the warehouse. Proper warehouse design and layout has a great role in reducing costs, reducing lead time and delivery time, improving resource utilization and customer service. One type of warehouse that has become widely used recently is cross dock warehouses, which differ from traditional warehouses in terms of the number of products stored and their storage time. The main purpose of this research is modeling and solving a problem that is compatible with real world conditions that have received less attention from researchers.

Methodology: Multi-Objective Gray Wolf Optimization (MOGWO) algorithm is used to solve the problem and Parameters are adjusted using the Taguchi method.

Findings: Using the mean ideal distance, spacing, number of pareto solutions and diversification metric, the best possible level for the algorithm parameters is determined by the signal-to-noise ratio diagram. By solving 10 examples in different sizes and reviewing the results and their solution time, it has been determined that with increasing the size of the problem, the solution time also increases.

Originality/Value: In this study, in addition to considering the distance traveled in the warehouse, which most studies have done in the field of warehouse design, more use of available space in the warehouse and the satisfaction of retailers has also been considered. For this purpose, a mixed integer programing model is proposed to design a cross dock warehouse to minimize distances, minimize the vacant space of the warehouse, and maximize retailer's satisfaction.

Keywords: Multi-objective gray wolf optimization algorithm, Cross dock warehouse, Integer programming, Taguchi, Design and layout.

Corresponding Author: p.samouei@basu.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.3.5.4

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 (۳)، (۱۴۰۱)، ۴۶۵-۴۵۳

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی

مدل‌سازی و طراحی انبار عبوری با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری چندهدفه

مریم شعاعی[۱]، پروانه سموئی[۱،*]

[۱]گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

چکیده

هدف: درصد قابل‌توجهی از دارایی‌ها در موجودی‌های انبار انباشته شده است، از این رو انبار در اقتصاد کشورها اهمیت فراوانی دارد. طراحی و چیدمان مناسب یک انبار، نقش بسیار زیادی در کاهش هزینه‌ها، کاهش زمان تدارک و تحویل، ارتقای بهره‌برداری از منابع و ارتقای سرویس‌دهی به مشتریان دارد. یک نوع از انبارهایی که اخیرا کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند، انبارهای عبوری هستند که از نظر میزان کالاهایی که انبار می‌شوند و همچنین مدت‌زمان نگهداری آن‌ها، با انبارهای سنتی تفاوت دارند. هدف اصلی در این تحقیق مدل‌سازی و حل مسئله‌ای سازگار با شرایط دنیای واقعی است که کمتر موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است.

روش‌شناسی پژوهش: برای حل مسئله مورد نظر، الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری چند هدفه (*MOGWO*) بکار می‌رود و تنظیم پارامترها به کمک روش تاگوچی انجام می‌گردد.

یافته‌ها: به کمک شاخص‌های متوسط فاصله از ایده‌آل، فاصله، تعداد نقاط پارتو و پراکندگی، توسط نمودار نسبت سیگنال به نویز، بهترین سطح ممکن برای پارامترهای الگوریتم تعیین شده است. با حل ۱۰ مثال در ابعاد مختلف و بررسی نتایج و زمان حل آن‌ها مشخص شده است که با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل نیز افزایش می‌یابد.

اصالت/ارزش افزوده علمی: در این مطالعه، علاوه بر توجه به میزان مسافت طی شده در انبار که بیشتر مطالعات صورت گرفته در حوزه طراحی انبار بدان پرداخته‌اند، بهره‌گیری بیشتر از فضای قابل‌دسترسی در انبار و رضایت خرده‌فروشان نیز مد نظر قرار گرفته است. به همین منظور، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، برای طراحی و چیدمان یک انبار عبوری در جهت حداقل نمودن مسافت‌ها، حداقل نمودن فضای خالی کف انبار و به حداکثر رساندن رضایت خرده‌فروشان پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری چند هدفه، انبار عبوری، برنامه‌ریزی عدد صحیح، تاگوچی، طراحی و چیدمان.

۱- مقدمه

به‌طور کلی هر زنجیره تامین شامل سه مرحله اصلی تهیه، تولید و توزیع است که هر یک تسهیلات بسیاری را شامل می‌شود. مراکز توزیع نقش مهمی را در مرحله توزیع ایفا می‌کنند. بر اساس نظر سیمچی لیوی و همکاران[۱] (۲۰۰۸)، در زنجیره تامین از سه استراتژی مجزا برای توزیع بیرون کارخانه‌ای استفاده می‌شود: ارسال مستقیم، انبارداری و استفاده از انبارهای عبوری. مسئله انبار عبوری برای اولین بار در سال ۱۹۳۰ و در صنعت حمل‌ونقل آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن در سال ۱۹۵۰ توسط ارتش آمریکا اجرا شد و در سال ۱۹۸۰ نیز

[1] Simchi-Livi et al.

* نویسنده مسئول

p.samouei@basu.ac.ir

http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.3.5.4

شرکت وال مارت که یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های زنجیره‌ای آمریکا می‌باشد، انبار عبوری را در بخش خرده‌فروشی بکار گرفت که در آن انبارها نقش هماهنگ‌کننده موجودی را بر عهده داشتند و هدف آن ذخیره موجودی نبود (استاك و همکاران[1]، ۱۹۹۲).

انبار عبوری، یک جریان مستقیم از فرآیند دریافت به فرآیند حمل‌ونقل با حداقل جابجایی و ذخیره‌سازی است که موجب کاهش انبارداری، افزایش راندمان، کاهش هزینه و در نهایت افزایش رضایت مشتری می‌شود (اسچواینند[2]، ۱۹۹۵). در مقایسه با انبارداری سنتی، انبار عبوری حجم بسیار کمتری از موجودی را نگهداری و حمل می‌کند. برای اینکه انبار عبوری به‌طور صحیح کار کند، بایستی یک تعادل بین بار ورودی و بار خروجی وجود داشته باشد، به‌گونه‌ای که محصولات در یک انبار عبوری، هرگز بیش از ۲۴- ۱۸ ساعت باقی نمانند؛ بنابراین، مواردی که وارد انبار می‌شوند بایستی یا موردتقاضا باشند، یا توسط خرده‌فروشان برده و یا به‌سرعت به نقاط مقصد فرستاده شوند (آپته و ویزواناتان[3]، ۲۰۰۰). البته این محدوده زمانی در منابع مختلف بین یک تا سه روز هم تغییر می‌کند (لی و همکاران[4]، ۲۰۰۴).

جایارمن و رز[5] (۲۰۰۳)، مطالعه‌ای بر روی مسئله طراحی سیستم تولید، لجستیک، ارسال و انتقال انجام داده‌اند و نقش مهم انبارهای عبوری را در زنجیره تامین متذکر شده‌اند. هراگو و همکاران[6] (۲۰۰۵)، به ارائه یک مدل ریاضی به‌منظور تخصیص محصولات به مکان‌ها و نواحی مختلف یک انبار از جمله ناحیه انبار عبوری پرداخته‌اند و یک الگوریتم ابتکاری برای حل مدل خود ارائه کرده‌اند. انبار موردمطالعه آن‌ها به چند ناحیه کاربردی از جمله ناحیه انبارش، ناحیه جمع‌آوری سفارش‌ها و ناحیه انبار عبوری تقسیم شده است. اونوت و همکاران[7] (۲۰۰۸)، یک انبار توزیعی را در نظر گرفته‌اند که در آن محصولات متفاوتی از فروشگاه‌های مختلف برای ذخیره‌سازی در انبار برای مدت‌زمان مشخص و سپس تحویل به مشتریان مختلف، جمع‌آوری می‌شود. هدف از این مطالعه، طراحی پیکربندی قفسه‌های یک انبار چندسطحی است که هزینه‌های حمل و جابجایی سالانه را به حداقل می‌رساند. باکر و کانسا[8] (۲۰۰۹)، ادبیات کلی طراحی انبار را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده‌اند و تکنیک‌های مورداستفاده را نیز بررسی نموده‌اند. مطالعه و بررسی آن‌ها، به تحقیقات بیشتر در زمینه توسعه روش‌های جامع برای طراحی انبار کمک می‌کند. ویز و رودبرگن[9] (۲۰۱۱)، سه مفهوم متفاوت برای طراحی چیدمان انبارهای عبوری ارائه نموده‌اند: چیدمان ثابت، چیدمان بر اساس دسته‌بندی و چیدمان منعطف. کامپاگنو و همکاران[10] (۲۰۱۲)، در مطالعه خود به بررسی موضوع طراحی انبار پرداخته‌اند و مقایسه‌ای بین دو سیستم انبارش، یکی با هدف کمینه نمودن مسافت حمل و دیگری با هدف کمینه نمودن مصرف انرژی، انجام داده‌اند. ازاکی و همکاران[11] (۲۰۱۳) مسئله طراحی انبارهای عبوری را با استفاده از تئوری شبکه‌های صف موردمطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها به‌طور هم‌زمان فضای انبارش موقت، فضای انبارش جهت درازمدت و تعداد ماشین‌آلات را مدنظر قرار داده‌اند. هورتا و همکاران[12] (۲۰۱۶) از تابع هدف مسافت‌های طی شده در انبار عبوری استفاده نموده‌اند و تخصیص فروشگاه‌ها به قسمت‌های مختلف انبار را مدنظر قرار داده‌اند آن‌ها همچنین یک مطالعه موردی را در یک انبار عبوری میوه و سبزی‌ها در کشور پرتغال انجام داده‌اند و نشان داده‌اند که با تخصیص بهتر فروشگاه‌ها به مکان‌های انبار، میزان مسافت طی شده در انبار می‌تواند بسیار کاهش یابد. ژانگ و خان[13] (۲۰۱۷) چیدمان انبار را برای یک شرکت توزیع‌کننده لوله‌های پلاستیکی و برخی قطعات الکتریکی موردبررسی قرار داده‌اند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که قفسه‌های انبار، قبلا مطابق نیاز اقلام نبوده و پس از ایجاد مدل و تغییر چیدمان انبار، به سطح کارایی و خدمات افزوده شده است. اوزترک‌اوقلو و همکاران[14] (۲۰۱۹)، برای کاهش مسافت‌های طی‌شده جهت عملیات برداشت در انبار که یکی از پرهزینه‌ترین عملیات‌ها می‌باشد، طراحی‌های مختلف انبار را موردبررسی قرار داده‌اند. مرادی و شادرخ[15] (۲۰۱۹)، چندین انبار با ظرفیت‌های محدود را به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته و در کنار مسئله تعیین تخصیص کالاها به هر انبار، مسئله برنامه‌ریزی احتیاجات مواد را نیز در نظر گرفته‌اند. ینر و یازگان[16] (۲۰۱۹)، به بررسی اثر طراحی انبار بر متوسط زمان برداشت سفارش‌ها و فاصله طی‌شده پرداخته‌اند. آن‌ها مسئله خود را با هدف حداقل نمودن تعداد کارگران و بالابرها، هزینه‌های اضافه‌کاری و تراکم رانندگان و همچنین افزایش توانمندی‌های سیستم و رضایت مشتریان، حل نموده‌اند و با کمک شبیه‌سازی، اثربخشی طراحی انبار، تخصیص‌ها و سیاست‌های مختلف برداشت

[1] Stalk et al.
[2] Schwind
[3] Apte and Viswanathan
[4] Li et al.
[5] Jayarman and Ross
[6] Heragu et al.
[7] Önüt et al.
[8] Baker and Canessa
[9] Vis and Roodbergen
[10] Compagno et al.
[11] Ozaki et al.
[12] Horta et al.
[13] Zhang and Khan
[14] Öztürkoğlu et al.
[15] Moradi and Shadrokh
[16] Yener and Yazgan

سفارش‌ها را ارزیابی کرده‌اند. بورتولینی و همکاران[1] (۲۰۲۰) نیز طراحی انبارهای غیرسنتی را با هدف کاهش مسافت‌های طی‌شده، موردمطالعه قرار داده‌اند و چندین راهرو متقاطع را در نظر گرفته‌اند.

هدف اصلی در این تحقیق مدل‌سازی و حل مسئله‌ای سازگار با شرایط دنیای واقعی است که کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. با توجه به بررسی مطالعات پیشین، مشخص می‌شود که در زمینه مدل‌سازی و طراحی انبارهای عبوری، مطالعات اندکی صورت گرفته است و اکثر مطالعات موجود، تنها یک هدف خاص را در نظر گرفته‌اند و مطالعاتی که به‌طور هم‌زمان چند تابع هدف را در مدل خود گنجانده باشند، بسیار کم هستند. علاوه بر این، در بین مطالعات، تعدادی از آن‌ها تابع هدف حداقل‌سازی مسافت و حداکثرسازی میزان رضایت مشتریان را در نظر گرفته‌اند. در حالی که استفاده موثر از فضاهای خالی انبارها، به‌عنوان تابع هدف، در هیچ یک از این مقالات موردبررسی قرار نگرفته است. لذا در این مطالعه اهداف مذکور به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته می‌شوند و مسئله به کمک الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری چند هدفه حل می‌شود.

۲- تعریف مسئله

در این مطالعه به مدل‌سازی، طراحی و چیدمان انبار عبوری پرداخته می‌شود. چیدمان به‌عنوان تخصیص مکان‌های کف انبار به خرده‌فروشان تعریف می‌شود و هدف اصلي، کاهش مسافت نهایی طی‌شده در انبار و همچنین فضای خالی انبار و افزایش رضایت خرده‌فروشان، از طریق در نظرگرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها می‌باشد. در این بخش ابتدا به مفاهیم ساختاری مدل و مفروضات آن پرداخته می‌شود. سپس پارامترها و متغیرهای مسئله معرفی و مدل ریاضی مسئله ارائه می‌شود.

۲-۱- ساختار و مفروضات مدل

در این مطالعه سعی شده است مدلی ارائه گردد که هرچه بیشتر با مسائل دنیای واقعی انطباق داشته باشد. علاوه بر توجه به میزان مسافت طی شده در انبار که بیشتر مطالعات صورت گرفته در حوزه طراحی انبار بدان پرداخته‌اند، بهره‌گیری بیشتر از فضای قابل‌دسترسی در انبار نیز مدنظر قرار گرفته است. همچنین رضایت خرده‌فروشان مهم تلقی شده و تلاش می‌گردد رضایت آنان از طریق در نظر گرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها، حداکثر گردد.

مطابق **شکل ۱**، یک نقطه دریافت از جایی که کلیه عملیات برداشت آغاز می‌شود و همچنین دو نقطه حمل در دو طرف مخالف انبار، یعنی جایی که سفارش‌ها حمل می‌شوند، وجود دارند. برای حل مسئله ارائه‌شده، خوشه‌های مکان‌های کف انبار درنظرگرفته می‌شوند. هر خوشه گروهی از چند مکان کف انبار است که با یکدیگر همسایه می‌باشند و یکی پس از دیگری و کنار هم قرار داده شده‌اند. این خوشه‌ها توسط کارگر انبار در مسیر برداشت دیده خواهند شد.

مسافت کل طی‌شده در انبار به دو بخش تقسیم می‌شود: مسافت طی‌شده در عملیات برداشتن و مسافت طی‌شده در طول عملیات حمل‌ونقل. مسافت طی‌شده در عملیات برداشتن، با فاصله بین نقطه دریافت تا اولین مکان از خوشه تعریف می‌شود. مسافت طی‌شده در طول عملیات حمل‌ونقل نیز، با فاصله آخرین مکان خوشه تا نقطه حمل تعریف می‌گردد. عملیات برداشتن نیز ممکن است به برداشتن واحدهای لجستیکی مختلف مانند جعبه‌های کارتنی و جعبه‌های پلاستیکی تقسیم شود.

مفروضاتی که برای مسئله در نظر گرفته شده‌اند، به شرح ذیل می‌باشند که برخی از این موارد، برگرفته از مطالعه هورتا و همکاران (۲۰۱۶) است:

۱. انبار مستطیلی است و در دو طرف انبار قفسه‌هایی وجود دارند که در جهت‌های مخالف قرار گرفته‌اند.
۲. مجموعه‌ای از مکان‌های کف در دسترس در انبار و مجموعه‌ای از خرده‌فروشان برای تخصیص به مکان‌های کف موجودند.
۳. هر مکان کف انبار به دو بخش تقسیم می‌شود. یک بخش برای محصولات درون جعبه‌های کارتنی و بخش دیگر نیز برای محصولات درون جعبه‌های پلاستیکی که هر یک ظرفیت مشخصی دارند.

[1] Bortolini et al.

٤. هر مکان کف، با یک ظرفیت کلی، فاصله از نقطه دریافت و فاصله از نقطه حمل تعریف می‌شود.

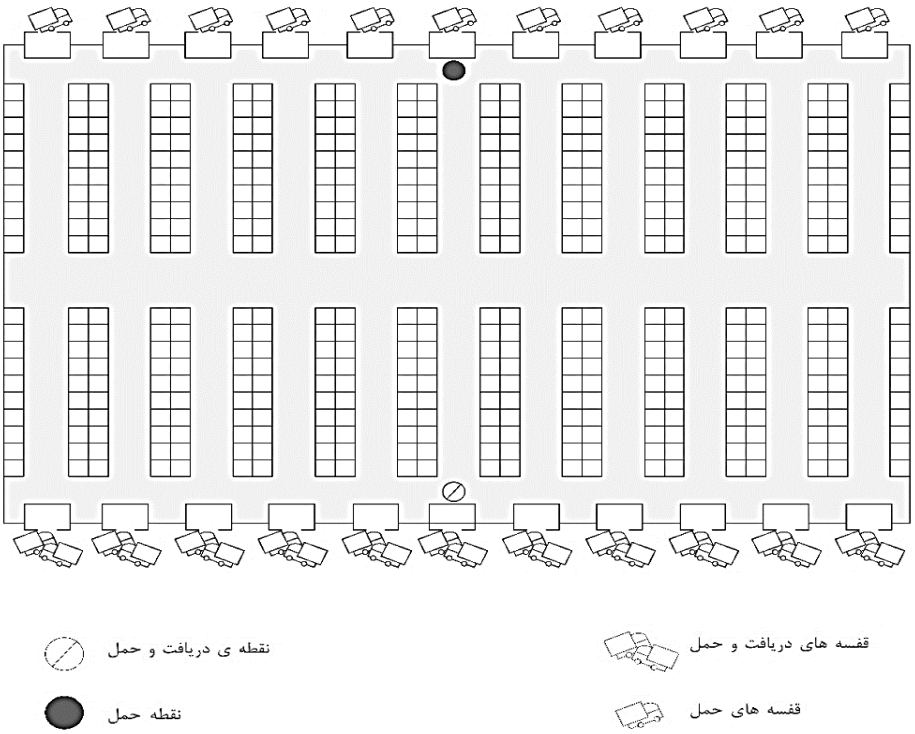
٥. عملیات دریافت تنها در یک طرف انبار صورت می‌گیرد؛ اما عملیات حمل‌ونقل می‌تواند از قفسه‌های واقع در دو طرف انبار انجام شود. فرض می‌شود که عملیات دریافت قبل از عملیات برداشت تکمیل شده است که در این صورت قفسه‌های دریافت می‌توانند نیازهای عملیات حمل‌ونقل را به‌طور کامل برآورده سازند.

٦. یک نقطه دریافت از جایی که کلیه عملیات برداشت آغاز می‌شود و همچنین دو نقطه حمل در دو طرف مخالف انبار، یعنی جایی که سفارش‌ها حمل می‌شوند، تعریف می‌گردد. این نقاط در فاصله میانی کناره‌های انبار که قفسه‌ها در آن‌ها قرار دارند، جای گرفته‌اند. هدف از تعریف نقاط میانی حمل‌ونقل و دریافت، کاهش پیچیدگی مدل ناشی از محاسبه فاصله هر قفسه تا هر محل کف انبار است.

۷. هر یک از مکان‌های کف انبار می‌توانند توسط بیش از یک خرده‌فروش مورداستفاده قرار گیرند.

۸. در طول عملیات برداشت، هر کارگر انبار می‌تواند برای توزیع محتوای یک پالت از محصول، چندین مکان کف انبار را در طی یک مسیر برداشت یکسان، برای برآورده کردن تمام تقاضای خرده‌فروشان مختلف، ببیند.

۹. در هر بار جابجایی در مسیر برداشت یا حمل، کارگر انبار تنها محتوای یک پالت محصول را با استفاده از جک پالت، حمل و توزیع می‌کند.



شکل ۱- شکل کلی انبار، قفسه‌ها و نقاط دریافت و حمل‌ونقل (هورتا و همکاران، ۲۰۱۶).

Figure 1- General shape of warehouse, shelves and receiving and transport points.

۲-۲- مدل‌سازی ریاضی

مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش که بر پایه مدل مقاله هورتا و همکاران (۲۰۱٦) می‌باشد، یک مدل سه هدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است. هدف اول حداقل‌سازی مسافت نهایی طی‌شده در انبار (برحسب متر)، هدف دوم حداقل‌سازی درصد فضای کف خالی در انبار و هدف سوم نیز حداکثرسازی درصد رضایت خرده‌فروشان از در نظر گرفتن اولویت‌های حمل آن‌ها می‌باشد. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای به‌کاررفته در مدل ریاضی ارائه شده، به‌صورت زیر هستند:

اندیس‌ها

f: اندیس مکان‌های کف در دسترس در انبار ($f=1,2,...,F$).

s: اندیس خرده‌فروشان برای تخصیص آن‌ها به مکان‌های کف انبار ($s=1,2,...,S$).

cl: اندیس خوشه‌های مکان‌های کف انبار ($cl=1,2,...,CL$).

پارامترها

cap_f: ظرفیت کف (بر اساس تعداد پالت) برای مکان کف f در دوره زمانی مفروض.

$y_{cl,f}$: نشان‌دهنده تخصیص مکان کف f انبار به هر خوشه cl (صفر و یک).

$distS_f$: فاصله از مکان کف f انبار تا نقطه حمل.

$distPcb_{cl}$: مسافت مربوط به عملیات برداشت در خوشه cl (برای جعبه‌های کارتنی).

$distPpb_{cl}$: مسافت مربوط به عملیات برداشت در خوشه cl (برای جعبه‌های پلاستیکی).

PS_s: تعداد پالت‌های حمل شده به خرده‌فروش s طی دوره زمانی مفروض.

D_s: متوسط تعداد پالت موردنیاز خرده‌فروش s در دوره زمانی مفروض.

R_s :متوسط تعداد مکان‌های کف انبار موردنیاز خرده‌فروش s در دوره زمانی مفروض.

$$R_S = \left\lceil \frac{D_S}{cap_f} \right\rceil, \forall s = 1,2,\ldots,S. \qquad (۱)$$

pb: درصد جعبه‌های پلاستیکی برداشته‌شده نسبت به کل جعبه‌های برداشته‌شده در دوره زمانی مفروض.

$h_{s,f}$: درصد اولویت مکان کف f برای خرده‌فروش s (۰ تا ۱۰۰).

NS_s : تعداد برداشت‌های خرده‌فروش s در دوره زمانی مفروض.

F : تعداد کل مکان‌های کف در دسترس در انبار.

S: تعداد کل خرده‌فروشان.

CL: تعداد کل خوشه‌های مکان.

متغیرها

$X_{s,f}$: متغیر صفر و یک است و اگر خرده‌فروش s به مکان f تخصیص یابد ۱ و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

NV_{cl}: متغیر صحیح غیرمنفی که نشان‌دهنده تعداد دیده شدن خوشه cl است.

$K_{s,f}$: درصدی از فضای مکان کف f که توسط خرده‌فروش s اشغال شده است (۰ تا ۱۰۰).

p: حداقل رضایت کلی هریک از خرده‌فروشان.

مدل ریاضی که در این مطالعه پیشنهادشده، به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Min\, z_1 = \sum_{cl}[distPcb_{cl} * NV_{cl} * (1 - ppb) + distPpb_{cl} * NV_{cl} * ppb] + \sum_f \sum_s [distS_f * X_{s,f} * PS_s]. \qquad (۲)$$

$$Min\, z_2 = (\sum_f \sum_s 100 - K_{s,f}) / (100 * F). \qquad (۳)$$

$$Max\ z_3 = p. \quad (۴)$$

s.t:

$$NV_{cl} \quad NS_s * X_{s,f}, \quad \forall cl = 1,2,\dots,CL, f = 1,2,\dots,F: y_{cl,f} = 1, \forall s = 1,2,\dots,S. \quad (۵)$$

$$\sum_f X_{s,f} * cap_f \geq D_s, \quad \forall s = 1,2,\dots,S. \quad (۶)$$

$$X_{s,f} \leq X_{s,f+1} + X_{s,f-1}, \ \forall s = 1,2,\dots,S: R_s \geq 2, \forall f = 2,\dots,F-1 \quad (۷)$$

$$\sum_f X_{s,f} \leq R_s, \ \forall s = 1,2,\dots,S. \quad (۸)$$

$$K_{s,f} \leq 100 * X_{s,f}, \forall s = 1,2,\dots,S, \forall f = 1,2,\dots,F. \quad (۹)$$

$$K_{s,f} \geq X_{s,f}, \forall s = 1,2,\dots,S, \forall f = 1,2,\dots,F. \quad (۱۰)$$

$$\sum_s K_{s,f} \leq 100, \forall f = 1,2,\dots,F. \quad (۱۱)$$

$$K_{s,f} \leq \frac{D_s}{cap_f} * 100 * X_{s,f}, \quad \forall s = 1,2,\dots,S, \forall f = 1,2,\dots,F. \quad (۱۲)$$

$$\sum_{f \in F} [h_{s,f} * X_{s,f}] \geq p, \ \forall s = 1,2,\dots,S. \quad (۱۳)$$

$$X_{s,f} \in \{0,1\}, \forall s = 1,2,\dots,S, \forall f = 1,2,\dots,F. \quad (۱۴)$$

$$NV_{cl} \in Z^+, \forall cl = 1,2,\dots,CL. \quad (۱۵)$$

$$K_{s,f} \geq 0, \ \forall s = 1,2,\dots,S, \forall f = 1,2,\dots,F. \quad (۱۶)$$

در مدل ریاضی فوق، **تابع هدف (۲)** حداقل کردن کل فاصله طی‌شده در انبار است. قسمت اول آن مربوط به فاصله طی‌شده در طول برداشتن محصولات درون کارتن‌هاست و قسمت دوم آن مربوط به فاصله طی‌شده در طول برداشتن محصولات درون جعبه‌های پلاستیکی است. بخش آخر و سوم آن نیز مربوط به فاصله طی‌شده در انبار در طول عملیات حمل است. **تابع هدف (۳)**، حداقل کردن فضاهای کف خالی انبار است. **تابع هدف (٤)**، حداکثر کردن حداقل رضایت کلی هر یک از خرده‌فروشان از در نظر گرفته شدن اولویت‌های حمل آن‌ها است. **محدودیت (۵)** نشان‌دهنده این است که تعداد دیده شدن‌های یک خوشه، بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین عدد مربوط به برداشت‌های خرده‌فروشانی است که به آن خوشه تخصیص یافته‌اند. **محدودیت (٦)** نشان می‌دهد که ظرفیت کلی فضای اختصاص داده شده به هر خرده‌فروش، بزرگ‌تر یا مساوی الزامات فضای (بر اساس تعداد پالت) مربوط به آن خرده‌فروش است. **محدودیت (۷)** تضمین می‌کند که اگر یک خرده‌فروش نیازمند استقرار در حداقل دو مکان کف در فضا باشد، به مکان‌های کف مجاور یکدیگر اختصاص خواهد یافت. **محدودیت (۸)** نشان می‌دهد که تعداد مکان‌های کف که به یک خرده‌فروش تخصیص می‌یابد، باید بزرگ‌تر یا مساوی الزامات متوسط فضای آن باشد. **محدودیت‌های (۹)** و **(۱۰)** نشان می‌دهند که هر خرده‌فروش در صورت تخصیص مکان کف f به او، می‌تواند تمام یا درصدی از آن مکان را اشغال کند. **محدودیت (۱۱)** نشان می‌دهد که تمام فضای هر مکان کف یا درصدی از آن می‌تواند توسط یک یا چند خرده‌فروش اشغال شود و یا تمام یا بخشی از آن مکان کف خالی باشد. **محدودیت (۱۲)** نشان می‌دهد که در صورت تخصیص یک خرده‌فروش به یک مکان کف، تعداد پالت‌های هر خرده‌فروش که در هر مکان کف قرار می‌گیرد، حداکثر برابر با الزامات متوسط فضای (بر اساس تعداد پالت) مربوط به آن خرده‌فروش است. **محدودیت (۱۳)** نشان‌دهنده این است که رضایت کلی هر یک از خرده‌فروشان بزرگ‌تر یا مساوی حداقل آن‌هاست. **محدودیت‌های (۱٤)** الی **(۱٦)** نیز محدوده متغیرها را نشان می‌دهند.

۳- روش حل

ازآن‌جایی‌که مسئله موردبررسی در این مطالعه، با توجه به مسائل مشابه آن (ژو و همکاران[1]، ۲۰۰۳؛ چان و کومار[2]، ۲۰۰۹)، یک مساله *NP-hard* است، برای حل آن در ابعاد متوسط یا بزرگ، روش‌های فرابتکاری مورداستفاده قرار می‌گیرند. با توجه به کاربردی بودن الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری چند هدفه در مسائل دارای ماهیت مشابه با مسئله مورد نظر و سرعت بالای همگرایی در اکثر مسائل، این

[1] Zhou et al.

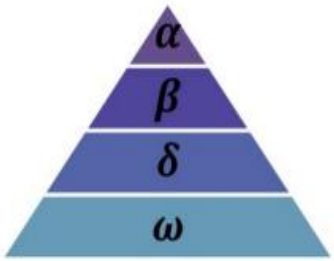
[2] Chan and Kumar

الگوریتم فراابتکاری در این مطالعه به کار گرفته شده است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. همچنین با توجه به ماهیت مسئله و چند هدفه بودن آن، می‌توان از سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مناسب از جمله الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نوع ۲[1] (*NSGA-II*) استفاده نمود.

۱-۳- الگوریتم گرگ خاکستری چند هدفه

الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری چند هدفه (*MOGWO*)، یکی از الگوریتم‌های اکتشافی حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه است که از مدل‌سازی زیستی جمعیت جانداران به وجود آمده است. این الگوریتم توسط میرجلیلی و همکاران[2] (۲۰۱۶) بر مبنای شکار دسته‌جمعی گرگ‌ها ارائه شده است. گرگ‌های خاکستری یک سلسله‌مراتب بسیار سخت اجتماعی دارند. رهبران گروه یک جنس نر و یک ماده هستند که آلفا نامیده می‌شوند. آلفا عمدتا مسئول تصمیم‌گیری در مورد شکار، محل خواب، زمان بیداری و غیره می‌باشد. تصمیمات آلفا به گروه دیکته شده است. با این حال نوعی رفتار دموکراتیک نیز مشاهده شده است که در آن آلفا از دیگر گرگ‌های گروه پیروی می‌کند. آلفا لزوما قوی‌ترین عضو گروه نیست، اما بهترین عضو از نظر مدیریت گروه است. این نشان می‌دهد که سازمان و نظم یک گروه، از قدرت آن بسیار مهم‌تر است. سطح دوم در سلسله‌مراتب گرگ‌های خاکستری، بتا است. گرگ بتا، مشاور آلفا و سازمان‌دهنده گروه است. بتا دستورات آلفا را در سراسر گروه اجرا کرده و بازخورد آن را به آلفا ارجاع می‌دهد. پایین‌ترین رتبه را در بین گرگ‌های خاکستری، امگا دارد. امگا نقش قربانی دارد. آن‌ها آخرین گروه از گرگ‌هایی هستند که مجاز به خوردن هستند. اگر گرگی آلفا، بتا و یا امگا نباشد، زیردست (و یا دلتا در برخی منابع) نامیده می‌شود. گرگ دلتا باید به آلفا و بتا گزارش دهد، اما بر امگا تسلط دارد.

علاوه بر سلسله‌مراتب اجتماعی، شکار گرگ‌های خاکستری دارای سه مرحله ردیابی، تعقیب و نزدیک شدن به طعمه است. برای مدل‌سازی سلسله‌مراتب اجتماعی گرگ‌ها، بهترین پاسخ را آلفا و از بین بهترین راه‌حل‌ها، دومین و سومین را بتا و دلتا در نظر می‌گیریم. بقیه راه‌حل‌های کاندیدا را امگا در نظر می‌گیریم. بهینه‌سازی توسط آلفا، بتا و دلتا هدایت می‌شود و گروه چهارم از این سه گروه پیروی می‌کند. **شکل ۲** سلسله‌مراتب گرگ‌های خاکستری را نشان می‌دهد.



شکل ۲- سلسله‌مراتب گرگ‌های خاکستری (سلطه از بالا به پایین کاهش می‌یابد) (هاتا و همکاران[3]، ۲۰۱۹).

Figure 2- Gray wolf hierarchy (dominance decreases from top to bottom).

با توجه به مطالعه مورو و همکاران[4] (۲۰۱۱)، مراحل اصلی شکار گرگ‌های خاکستری به شرح زیر است:

۱. ردیابی، تعقیب و نزدیک شدن به طعمه.
۲. تعقیب، محاصره و آزار طعمه تا زمانی که از حرکت بازایستد.
۳. حمله به سمت طعمه.

به‌منظور مدل‌سازی ریاضی رفتار محاصره طعمه، **معادله‌های (۱۷)** و **(۱۸)**، ارائه شده است:

$$\vec{D} = \left|\vec{C}\,\vec{X_p}(t) - \vec{X}(t)\right|. \qquad (۱۷)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X_p}(t) - \vec{A}\vec{D}. \qquad (۱۸)$$

[1] Non-dominated sorting genetic algorithm II
[2] Mirjalili et al.
[3] Hatta et al.
[4] Muro et al.

که t تعداد تکرار فعلی، A و C بردارهای ضرایب، $\overrightarrow{X_p}$ بردار موقعیت شکار و X بردار موقعیت یک گرگ را نشان می‌دهد. بردارهای A و C نیز از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\vec{A} = 2\vec{a}\,\vec{r_1} - \vec{a}. \quad (۱۹)$$

$$\vec{C} = 2\vec{r_2}. \quad (۲۰)$$

که در آن مؤلفه‌های $\vec{a}$ به‌صورت خطی از ۲ تا صفر در طول تکرارها کاهش می‌یابند و $\vec{r_1}$ و $\vec{r_2}$ بردارهای تصادفی در بازه صفر تا ۱ هستند. با توجه به تصادفی بودن بردارهای r، گرگ‌ها می‌توانند موقعیت خود را در داخل فضایی که طعمه را در برگرفته، به‌صورت تصادفی و با استفاده از **رابطه‌های (۲۱)** و **(۲۲)** تغییر دهند. همین مفهوم را می‌توان به یک فضای جستجوی n بعدی تعمیم داد. در این حالت گرگ‌های خاکستری پیرامون بهترین راه‌حل به‌دست‌آمده در ابعادی بیشتر از ابعاد مکعب حرکت می‌کنند.

$$\overrightarrow{D_\alpha} = \left|\overrightarrow{C_1}.\overrightarrow{X_\alpha} - \vec{X}\right|.$$

$$\overrightarrow{D_\beta} = \left|\overrightarrow{C_2}.\overrightarrow{X_\beta} - \vec{X}\right|. \quad (۲۱)$$

$$\overrightarrow{D_\delta} = \left|\overrightarrow{C_3}.\overrightarrow{X_\delta} - \vec{X}\right|.$$

$$\overrightarrow{X_1} = \overrightarrow{X_\alpha} - \overrightarrow{A_1}.\overrightarrow{D_\alpha}.$$

$$\overrightarrow{X_2} = \overrightarrow{X_\beta} - \overrightarrow{A_2}.\overrightarrow{D_\beta}. \quad (۲۲)$$

$$\overrightarrow{X_3} = \overrightarrow{X_\delta} - \overrightarrow{A_3}.\overrightarrow{D_\delta}.$$

شکار گرگ‌های خاکستری اغلب توسط آلفا هدایت می‌شود. گرگ‌های بتا و دلتا نیز گاهی اوقات در شکار شرکت می‌کنند. به‌منظور مدل نمودن این رفتار، سه مورد از بهترین راه‌حل‌های به‌دست‌آمده را ذخیره کرده و دیگر عوامل جستجو را طبق **رابطه (۲۳)** وادار می‌کنیم تا موقعیت خود را با توجه به موقعیت بهترین عوامل جستجو، به‌روزرسانی نمایند.

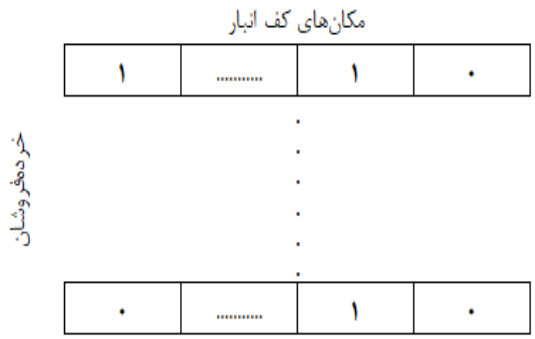
$$\overrightarrow{X(t+1)} = \frac{\overrightarrow{X_1} + \overrightarrow{X_2} + \overrightarrow{X_3}}{3}. \quad (۲۳)$$

به‌طورکلی رویکرد این الگوریتم برای جلوگیری از گیر افتادن در بهینه‌های محلی، بر اساس مفهوم اکتشاف (جستجوی طعمه) می‌باشد. مفهوم اکتشاف به الگوریتم این امکان را می‌دهد که بتواند جهت دستیابی به پاسخ‌های جدید، فضای جواب مسئله را با بالاترین راندمان و بدون گیرافتادن در بهینه‌های محلی جستجو نماید. گرگ‌های خاکستری برای جستجوی شکار از یکدیگر دور می‌شوند و برای حمله به شکار به هم نزدیک می‌شوند. برای مدل‌سازی ریاضی این مورد، $\vec{A}$ با مقادیر تصادفی بزرگ‌تر از ۱ یا کمتر از ۱-، برای مجبور کردن عامل جستجو برای دور شدن از طعمه به کار رفته است که این موضوع به الگوریتم اجازه جستجوی کلی را می‌دهد.

۲-۳- ساختار نمایش جواب

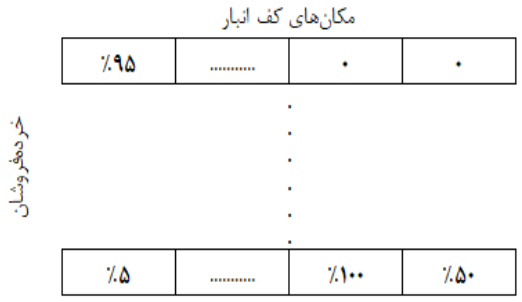
یکی از قدم‌های اصلی الگوریتم‌های فراابتکاری که نقش اساسی در کیفیت جواب‌های ایجادشده و زمان محاسباتی دارد، چگونگی نمایش جواب‌های مسئله است. نحوه نمایش جواب در مسئله موردبررسی، از دو نوع ساختار ماتریسی و رشته‌ای تشکیل می‌شود.

با توجه به نمایش جواب مربوط به متغیر تخصیص هر یک از خرده‌فروشان به مکان‌های کف انبار، یک ماتریس در نظر گرفته شده است که به تعداد خرده‌فروشان (s) دارای سطر و به تعداد مکان‌های کف انبار (f)، دارای ستون است. آرایه‌های این ماتریس مقادیر صفر و یک را به خود اختصاص می‌دهند که نشان‌دهنده تخصیص و یا عدم تخصیص خرده‌فروش به مکان کف انبار هستند. این ساختار نمایش جواب در **شکل ۳** نشان داده شده است.



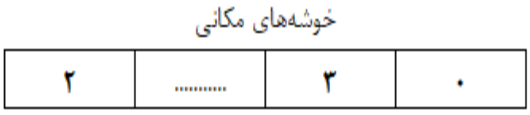
شکل ۳- ساختار نمایش جواب تخصیص خرده‌فروشان به مکان‌های کف انبار.
Figure 3- The answer display for retailers' allocation to warehouse floor locations.

بعد از تعیین چگونگی تخصیص خرده‌فروشان به مکان‌های کف انبار، ماتریس مربوط به درصد اشغال هر مکان توسط خرده‌فروشان تشکیل می‌شود. هر یک از درایه‌های ماتریس، نشان می‌دهد که هر خرده‌فروش چه میزان از فضای هر مکان کف انبار را با محصولات خود پر کرده است و عددی بین صفر تا ۱۰۰ را به خود اختصاص می‌دهد. ساختار نمایش جواب برای این مورد در **شکل ٤** آمده است.



شکل ۴- ساختار نمایش جواب میزان پر شدن مکان‌های کف با محصولات خرده‌فروشان.
Figure 4- The answer display for Percentage of floor locations occupied by retailers.

در نهایت ساختار نمایش جواب مربوط به تعداد دفعات دیده شدن خوشه‌ها، رشته‌ای خواهد بود که طول آن برابر با تعداد خوشه‌ها می‌باشد. هر یک از اعداد درون رشته، نشان می‌دهند که هر خوشه مکانی چند بار جهت برداشت محصولات دیده شده است. **شکل ۵** ساختار نمایش جواب برای این بخش را نشان می‌دهد.



شکل ۵- ساختار نمایش جواب برای خوشه‌های مکانی.
Figure 5- The answer display for location clusters.

۴- حل مدل و تجزیه‌وتحلیل

به‌منظور استفاده مناسب از الگوریتم *MOGWO*، پارامترهای آن با روش تاگوچی تنظیم شده است. پارامترهایی که برای بررسی و ارزیابی کارایی این الگوریتم در نظر گرفته شده است، به همراه سطوح انتخابی آن‌ها، در **جدول ۱** آورده شده است.

جدول ۱- پارامترها و سطوح آن‌ها برای الگوریتم MOGWO.
Table 1- Parameters and their levels for MOGWO algorithm.

پارامتر	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
تکرار	100	150	200
تعداد عامل جستجو	50	100	150
تعداد آرشیو	50	100	150

برای تعیین کاراترین سطوح هر پارامتر به روش تاگوچی، با استفاده از نرم‌افزار *Minitab 16*، ۹ آزمایش در نظر گرفته شده و هر یک از آزمایش‌ها نیز ۲۵ بار تکرار گردیده است تا نتایج دقیق‌تری کسب گردد.

با توجه به اینکه در مسائل چندهدفه، یک جواب بهینه به‌تنهایی وجود نداشته و مجموعه‌ای از جواب‌های نامغلوب به‌عنوان بهینه در نظر گرفته می‌شوند، در الگوریتم‌های این‌گونه مسائل از چندین شاخص جهت تنظیم پارامترها استفاده می‌گردد (دب و جین[1]، ۲۰۰۲).

شاخص‌های موردبررسی در این مطالعه عبارت‌اند از تعداد جواب‌های پارتو، متوسط فاصله جواب‌های پارتو از جواب ایده‌آل، فاصله و پراکندگی که در ادامه توضیح داده شده‌اند:

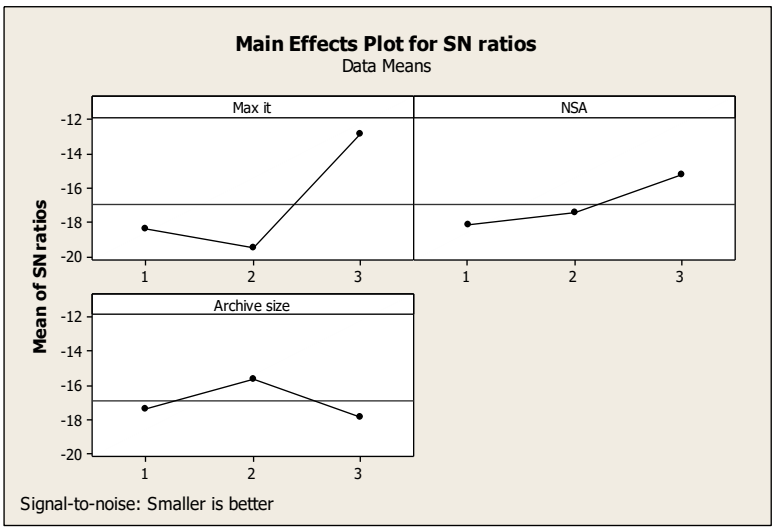
تعداد جواب‌های پارتو[2]: این شاخص تعداد جواب‌های موجود در پارتو مربوط به هر الگوریتم حل را نشان می‌دهد. هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، مناسب‌تر می‌باشد.

متوسط فاصله جواب‌های پارتو از جواب ایده‌آل[3]: مقدار این شاخص برابر با فاصله نقاط پارتو الگوریتم موردبررسی از نقطه ایده‌آل می‌باشد. پایین‌تر بودن مقدار این شاخص بهتر است.

شاخص فاصله[4]: این شاخص یکنواختی مجموعه نقاط نامغلوب را در فضای حل اندازه‌گیری می‌کند. مقادیر کم این شاخص بیانگر توزیع یکنواخت‌تر جواب در پارتوی شناسایی‌شده است.

شاخص پراکندگی[5]: این شاخص وسعت جواب‌های پارتوی یک الگوریتم را نشان می‌دهد. مقادیر بزرگ‌تر این شاخص بیانگر پخش بودن بهتر جواب‌ها می‌باشد.

شکل ٦ نمودار نسبت سیگنال به نویز برای الگوریتم *MOGWO* می‌باشد.



شکل ۶- نمودار نسبت سیگنال به نویز.

Figure 6- S/N ratios chart.

نتیجه نهایی تنظیم پارامترهای الگوریتم *MOGWO*، در **جدول ۲** مشاهده می‌شود.

[1] Deb and Jain
[2] Number of Pareto Solutions (NPS)
[3] Mean Ideal Distance (MID)
[4] Spacing Metric (SM)
[5] Diversification Metric (DM)

جدول ۲- نتیجه نهایی تنظیم پارامترهای الگوریتم.

Table 2- The final result of setting the algorithm parameters.

پارامتر	مقدار
تکرار	150
تعداد عامل جستجو	50
تعداد آرشیو	150

پس از تنظیم پارامترهای الگوریتم فراابتکاری، ۱۰ مثال در سایزهای مختلف به کمک الگوریتم *MOGWO* و با استفاده از کامپیوتر با پردازنده *Intel(R)Core(TM) i3– 5005U CPU@2.00GHz* و سیستم‌عامل *Microsoft Windows 10* حل شده‌اند. لازم به ذکر است که هر یک از مثال‌ها نیز ۲۵ بار اجرا شده‌اند تا نتایج دقیق‌تری حاصل گردد. مقادیر میانگین این اجراها به همراه میانگین زمان حل، در **جدول ۳** ارائه شده‌اند. داده‌های مورد نیاز برای حل مسئله نیز، موارد زیر را در بر می‌گیرند:

- *لیست خرده‌فروشانی که تقاضای آن‌ها باید به‌طور کامل برآورده گردد.*
- *لیستی از مکان‌های کف که به‌طور کامل شماره‌گذاری شده‌اند.*
- *خوشه‌هایی از مکان‌های کف که شماره‌گذاری شده‌اند.*
- *ظرفیت هر یک از مکان‌های کف.*
- *فاصله هر مکان کف تا نقطه دریافت. ازآن‌جاکه هر فضای کف به فضای جعبه‌های کارتنی و پلاستیکی تقسیم شده است، این تقسیم‌بندی ممکن است نیازمند فواصل متفاوتی از نقطه دریافت باشد.*
- *فاصله هر مکان کف تا نقطه حمل.*
- *میزان تقاضای هر خرده‌فروش از پالت‌ها در یک دوره زمانی.*
- *تعداد برداشت‌های هر خرده‌فروش در یک دوره زمانی.*
- *الزامات مکان کف برای هر خرده‌فروش.*
- *درصد اولویت حمل‌ونقل هر مکان کف برای هر یک از خرده‌فروشان.*

جدول ۳ - مقادیر میانگین ۲۵ بار اجرای اهداف و زمان اجرای الگوریتم فراابتکاری.

Table 3- Average values of 25 times execution of goals and execution time of meta-heuristic algorithm.

ابعاد مسائل	MOGWO			
خوشه* مکان* خرده‌فروش	هدف ۱ (متر)	هدف ۲ (درصد)	هدف ۳ (درصد)	زمان اجرا (ثانیه)
12*12*4	2498.9	10.98	9.48	30.75
15*15*5	3606.6	13.99	4.2	39.79
16*15*5	15610	14.98	6	43.58
16*18*6	14309.8	14.98	6.15	52.26
17*18*6	16543.5	15.97	7.68	50.91
18*18*6	19726.9	16.68	10.4	54
19*18*6	20685.7	17.97	10.16	58.91
20*21*7	34624	18.97	7.24	75.56
22*24*8	39335.3	20.96	6.12	81.53
27*26*9	62438.6	25	9.24	107.2

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در فضای رقابتی کنونی، نقش تاثیرگذار مراکز توزیع در تحویل به‌موقع کالا به مشتریان و کاهش هزینه‌های موجودی، توجه بسیاری از مدیران زنجیره تامین را به خود جلب کرده است. دراین‌بین سیستم انبارهای عبوری با مزایایی همچون چابکی زنجیره تامین، گردش بالای موجودی، هزینه پایین نگهداری موجودی، هزینه پایین حمل‌ونقل و فضای کم مورد نیاز برای موجودی، شرکت‌های لجستیکی زیادی را متقاعد به استفاده از این سیاست انبارداری کرده است. ازاین‌رو بررسی مدل‌های مختلف انبار عبوری و روش‌های حل آن، می‌تواند به‌عنوان گام موثری در کاهش هزینه‌های زنجیره تامین مورد توجه قرار گیرد.

در این مطالعه تلاش شد تا مسئله چیدمان انبار عبوری موقت با هدف حداقل نمودن مسافت‌های طی‌شده در انبار و فضای کف خالی انبار و نیز حداکثر نمودن رضایت خرده‌فروشان، موردبررسی قرار گیرد. چیدمان به‌عنوان تخصیص مکان‌های کف انبار به خرده‌فروشان

تعریف شده است و مسافت‌های در نظر گرفته شده نیز شامل مسافت طی‌شده در عملیات حمل و مسافت طی‌شده در عملیات برداشت می‌باشد. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح با توجه به اهداف مذکور، برای مسئله موردنظر ارائه شده است. با توجه به *NP-hard* بودن مسئله موردبررسی، برای حل آن الگوریتم فرااابتکاری بهینه‌سازی گرگ خاکستری چند هدفه به کار رفته است. به کمک شاخص‌های متوسط فاصله از ایده‌آل، فاصله، تعداد نقاط پارتو و پراکندگی، توسط نمودار نسبت سیگنال به نویز، بهترین سطح ممکن برای پارامترهای این الگوریتم تعیین شده است. سپس ۱۰ مثال در ابعاد مختلف حل و نتایج آن به همراه زمان حل گزارش شده است. با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل نیز افزایش می‌یابد.

جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد که در کنار این روش، از الگوریتم‌های مناسب دیگری نیز استفاده نمود تا بتوان به نتایج قوی‌تری دست یافت. علاوه بر این، می‌توان موارد زیر را نیز در مطالعات آتی مدنظر قرار داد:

- *تعریف چندین انبار عبوری در شبکه زنجیره تامین به جای یک انبار عبوری موقت.*
- *ترکیب موضوع مسیریابی کامیون‌ها با مسئله حاضر و در نظر گرفتن این دو مسئله به‌صورت هم‌زمان.*
- *اضافه نمودن عدم قطعیت برای پارامترهایی که طبیعت عدم قطعیت دارند، مانند تعداد برداشت‌های خرده‌فروشان.*
- *در نظر گرفتن مسئله تخصیص کالاهای خرده‌فروشان به وسایل حمل، علاوه بر مسئله تخصیص کالاها به مکان‌های کف انبار.*
- *ادغام مسئله زمان‌بندی با اهدافی همچون حداقل کردن دیرکردها، حداقل کردن زمان‌های مربوط به تحویل اقلام و غیره، با مسئله موردبررسی در این مطالعه.*
- *پرداختن به موضوع مکان‌یابی و انتخاب مناسب‌ترین محل برای تاسیس انبار عبوری، در کنار مسئله مطالعه حاضر.*

مشارکت نویسندگان

مقاله حاضر، مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم مهندس مریم شعاعی تحت راهنمایی خانم دکتر پروانه سموئی به عمل آمده است.

تعارض با منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضادی در منافع در مورد انتشار این نسخه وجود ندارد.

منابع

Apte, U. M., & Viswanathan, S. (2000). Effective cross docking for improving distribution efficiencies. *International journal of logistics*, *3*(3), 291-302. https://doi.org/10.1080/713682769

Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: a structured approach. *European journal of operational research*, *193*(2), 425-436. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.045

Bortolini, M., Galizia, F. G., Gamberi, M., & Gualano, F. (2020). Integration of single and dual command operations in non-traditional warehouse design. *The international journal of advanced manufacturing technology*, *111*(9), 2461-2473. https://doi.org/10.1007/s00170-020-06235-4

Chan, F. T., & Kumar, N. (2009). Effective allocation of customers to distribution centres: a multiple ant colony optimization approach. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, *25*(1), 1-12. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.05.002

Compagno, L., D'urso, D., & Trapani, N. (2012, September). Designing an optimal shape warehouse. In *IFIP international conference on advances in production management systems* (pp. 248-255). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40361-3_32

Deb, K., & Jain, S. (2002). *Running performance metrics for evolutionary multi-objective optimization*. Retrieved from https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.9.159

Hatta, N. M., Zain, A. M., Sallehuddin, R., Shayfull, Z., & Yusoff, Y. (2019). Recent studies on optimisation method of Grey Wolf Optimiser (GWO): a review (2014–2017). *Artificial intelligence review*, *52*(4), 2651-2683. https://doi.org/10.1007/s10462-018-9634-2

Heragu, S. S., Du, L., Mantel, R. J., & Schuur, P. C. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International journal of production research*, *43*(2), 327-338.

Horta, M., Coelho, F., & Relvas, S. (2016). Layout design modelling for a real world just-in-time warehouse. *Computers & industrial engineering*, *101*, 1-9.

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

Li, Y., Lim, A., & Rodrigues, B. (2004). Crossdocking—JIT scheduling with time windows. *Journal of the operational research society*, *55*(12), 1342-1351.

Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S. M., & Coelho, L. D. S. (2016). Multi-objective grey wolf optimizer: a novel algorithm for multi-criterion optimization. *Expert systems with applications*, *47*, 106-119.

Moradi, N., & Shadrokh, S. (2019). Simultaneous solution of material procurement scheduling and material allocation to warehouse using simulated annealing. *Journal of applied research on industrial engineering*, *6*(1), 1-15.

Muro, C., Escobedo, R., Spector, L., & Coppinger, R. P. (2011). Wolf-pack (Canis lupus) hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations. *Behavioural processes*, *88*(3), 192-197.

Önüt, S., Tuzkaya, U. R., & Doğaç, B. (2008). A particle swarm optimization algorithm for the multiple-level warehouse layout design problem. *Computers & industrial engineering*, *54*(4), 783-799.

Ozaki, M., Hara, T., Higashi, T., & Ota, J. (2013). Design of warehouse including temporary storage using queuing network theory. In *2013 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics* (pp. 1247-1252). IEEE.

Öztürkoğlu, Ö., & Hoser, D. (2019). A discrete cross aisle design model for order-picking warehouses. *European journal of operational research*, *275*(2), 411-430.

Schwind, G. F. (1995). Considerations for cross docking. *Material handling engineering*, *50*(12), 47-51.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, Ph., Simchi-Levi, E., & Shankar, R. (2008). *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies*. Tata McGraw Hill Education Private Limited. https://www.worldcat.org/title/designing-and-managing-the-supply-chain-concepts-strategies-and-case-studies/oclc/733909566?referer=di&ht=edition

Stalk, G., Evans, P., & Shulman, L. E. (1992). Competing on capabilities: the new rules of corporate strategy. *Harvard business review*, *70*(2), 57-69. https://www.semanticscholar.org/paper/Competing-on-capabilities%3A-the-new-rules-of-Stalk-Evans/a85f39bd907590c41db9ce1793a8ad31bfe8295b

Vis, I. F., & Roodbergen, K. J. (2011). Layout and control policies for cross docking operations. *Computers & industrial engineering*, *61*(4), 911-919.

Yener, F., & Yazgan, H. R. (2019). Optimal warehouse design: literature review and case study application. *Computers & industrial engineering*, *129*, 1-13.

Zhang, Y., & Khan, S. A. R. (2017). Importance of warehouse layout in order fulfilling process improvement. *International journal of transportation engineering and technology*, *3*(4), 49-52.

Zhou, G., Min, H., & Gen, M. (2003). A genetic algorithm approach to the bi-criteria allocation of customers to warehouses. *International journal of production economics*, *86*(1), 35-45.