Journal of Industrial Management Studies
Vol. 20, No.66, Fall 2022; p 153-195
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2019.41124.2299

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 05/08/2019
Received: 03/03/2019
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Designing a Hybrid Model for Clustering Warehouse Items and Allocating Them to Storage Locations

Morteza Mohajer Bajgiran — M.A. in Industrial Management, Management Department, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Alireza Pooya * — Professor, Management Department, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Zahra Naji Azimi — Associate Professor, Management Department, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Somayeh Fadaei — Ph.D. Candidate, Management Department, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

Management and warehousing operations are one of the essential parts of manufacturing and service organizations. Warehousing is one of the main components of the organization's activities, which has a high cost and deserves more attention from researchers in this field. The aim of this research is to investigate the storage problem based on the clustering of items, take into account all the factors affecting the storage of products in warehouse with bulky and varied products. The main objective of this research is to reduce Transport costs of collecting and delivering orders and more efficient use of storage space. The K-mean technique is used for solving the clustering problem and the Generalized Allocation mathematical programming model has been used to solve the problem of assigning categories of items to storage locations. This is an integer programming model with the goal of minimizing transportation costs of collecting and delivering orders. This research has been able to provide a comprehensive approach in clustering and allocation of items by identifying and considering

* Corresponding Author: alirezapooya@um.ac.ir
How to Cite: Mohajer Bajgiran, M., Pooya, A., Naji Azimi, Z., Fadaei, S. (2022). Designing a Hybrid Model for Clustering Warehouse Items and Allocating Them to Storage Locations, *Journal of Industrial Management Studies*, 20(66), 153-195.

the effective indexes and using the generalized allocation math planning model and formulating the actual conditions of the problem and solving it in an optimal way. Companies managers can use this model to reduce their inventory costs. Using of clustering in the allocation of storage sites to the warehouse items and then their mathematical modeling is innovation of present research. The proposed model was implemented at Mashhad Housebuilding Company. A number of simulated problems are solved from the actual problem with the GAMS software for validation.

Keywords: Clustering, Warehouse, Allocation Generalized Mathematical Programming Model.

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۱۴

ISSN: 2251/8029

eISSN: 2476-602X

فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی

سال بیستم، شماره ٦٦، پاییز ١٤٠١، ص ١٥٣ تا ١٩٥

jims.atu.ac.ir

DOI: 10.22054/jims.2019.41124.2299

طراحی مدلی تلفیقی برای خوشه‌بندی اقلام انبار و تخصیص آن‌ها به محل انبارش

مرتضی مهاجر باجگیران — کارشناس ارشد، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

علیرضا پویا * — استاد، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

زهرا ناجی عظیمی — دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

سمیه فدائی — دانشجوی دکتری، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

مدیریت و عملیات انبارداری یکی از بخش‌های ضروری در سازمان‌های تولیدی و خدماتی است. انبارداری یکی از اجزای اصلی هزینه‌بر در فعالیت‌های سازمان و سزاوار توجه بیشتر محققین به این حوزه است. این تحقیق مسئله انبارش بر اساس خوشه‌بندی اقلام را با در نظر گرفتن کلیه عوامل مؤثر در ذخیره‌سازی محصولات در انباری با محصولات حجیم و متنوع بررسی نموده است. هدف اصلی این تحقیق کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل به هنگام جمع‌آوری و تحویل سفارش‌ها و استفاده مؤثرتر از فضای انبار می‌باشد. از تکنیک تحلیل خوشه‌ای کامینز برای حل مسئله خوشه‌بندی و از مدل برنامه‌ریزی ریاضی تخصیص تعمیم‌یافته برای حل مسئله تخصیص دسته‌های اقلام به محل‌های انبارش استفاده گردیده است که یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح باهدف مینیمم کردن هزینه حمل‌ونقل به هنگام جمع‌آوری و تحویل سفارش‌ها است. این تحقیق با شناسایی و در نظر گرفتن شاخص‌های تأثیرگذار و با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی تخصیص تعمیم‌یافته و فرموله کردن شرایط واقعی مسئله و حل آن به‌صورت بهینه توانسته است رویکردی جامع را در خوشه‌بندی و تخصیص اقلام ارائه دهد و مدیران شرکت‌ها می‌توانند از این مدل برای کاهش

* نویسنده مسئول: alirezapooya@um.ac.ir

هزینه‌های انبار خود استفاده نمایند. نوآوری تحقیق حاضر استفاده از خوشه‌بندی در مسئله تخصیص محل‌های انبارش به اقلام انبار و سپس مدل‌سازی ریاضی آن می‌باشد. مدل پیشنهادی در شرکت خانه‌سازی مشهد اجرا شد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل، تعدادی مسئله شبیه‌سازی‌شده از مسئله واقعی طرح و با نرم‌افزار گمز حل شد.

کلیدواژه‌ها: خوشه‌بندی، انبار، مدل برنامه‌ریزی ریاضی تخصیص تعمیم‌یافته.

مقدمه

بحث انبار و انبارداری یکی از محورهای اصلی صنایع و شرکت‌ها است. در صورت مدیریت صحیح انبار، می‌توان کارایی و بهره‌وری سازمان را به نحو مطلوب افزایش داد. امروزه انبار فقط به‌عنوان مکانی که جهت نگهداری و تحویل کالا از آن استفاده می‌شود، تعریف نمی‌گردد. در مدیریت نوین انبار به‌عنوان واحدی که در تعامل با کلیه بخش‌های سازمان است، نگریسته می‌شود (خلیلی و لطفی، ۱۳۹۲) انبارداری شامل دسته‌ای از فعالیت‌های حمل‌ونقل مواد است که در داخل انبار و مکان‌های دریافت و ارسال انجام می‌گیرند، مانند دریافت کالا، ذخیره، انتخاب سفارش، جمع‌بندی، طبقه‌بندی و ارسال می‌باشد (وندنبرگ[1] و زیجم[2]، ۱۹۹۹). در بین اجزای مختلف عملیات انبارداری شامل دریافت اقلام، انبارش اقلام، جمع‌آوری سفارش‌ها و ارسال اقلام، جمع‌آوری سفارش‌ها بیش از نیمی از هزینه عملیات انبارداری را تشکیل می‌دهد و یک فعالیت بحرانی در انبار محسوب می‌شود. درواقع هزینه جمع‌آوری و برداشت اقلام یکی از اجزای اصلی هزینه‌بر در عملیات انبار است (راونهرست[3] و دیگران، ۲۰۰۰). همان‌طور که گفته شد انبارداری یکی از اجزای اصلی هزینه‌بر در فعالیت‌های سازمان و سزاوار توجه بیشتر محققین به این حوزه است. لذا هدف اصلی این تحقیق کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل به هنگام جمع‌آوری و تحویل سفارش‌ها و استفاده مؤثرتر از فضای انبار می‌باشد. برای این منظور انبار کارخانه خانه‌سازی مشهد موردمطالعه قرار گرفت. انبار کارخانه خانه‌سازی مشهد برای جمع‌آوری سفارش‌ها خود هزینه بسیار زیادی را متحمل می‌شود که نتیجه چیدمان نامناسب انبار است؛ بنابراین در تحقیق حاضر به‌منظور رسیدن به طرح استقرار مناسب و کاهش هزینه‌های انبارداری اهداف:۱) شناسایی معیارهای تأثیرگذار در گروه‌بندی اقلام و مدل تخصیص گروه‌ها به محل انبارش با توجه به انبار موردمطالعه و گروه‌بندی اقلام انبار، ۲) ارائه مدلی جهت بهبود چیدمان گروه اقلام با در نظر گرفتن معیارها، پارامترها و محدودیت‌های شناسایی‌شده، دنبال می‌شود. این تحقیق در ادامه پژوهش پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱)

1. Van den Berg
2. Zijm
3. Rouwenhorst

می‌باشد و سعی می‌کند عواملی که آن‌ها در تحقیق خود در نظر نگرفتند و در جواب نهایی مسئله تأثیرگذار هست را پوشش دهد. دو مشکل اساسی که بر تحقیق آن‌ها وارد است عبارت‌اند از: اول مدل تخصیص گروه‌های اقلام (حاصل از تحلیل خوشه‌ای) به محل‌های انبارش می‌باشد، آن‌ها محدودیت‌های فضای انبار را در مسئله خود مدل‌سازی نکرده و تخصیص را بر مبنای یک الگوریتم ابتکاری پیش بردند. بر طبق نظر راونهرست و دیگران (۲۰۰۰) با این مدل تخصیص، استفاده مؤثری از فضا به عمل نخواهد آمد. همچنین آن‌ها بر اساس معیارهای تأثیرگذار بر خوشه‌بندی کالاها در انبار، اقلام انبار را دسته‌بندی کرده و بر اساس میانگین وزنی به‌دست‌آمده هر خوشه بر اساس همان معیارها عمل تخصیص را انجام داده‌اند. درحالی‌که معیارهای تأثیرگذار بر تخصیص شناسایی نشده است. در این تحقیق ابتدا داده‌های به‌دست‌آمده از تحقیق پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱) مجدداً موردبررسی و بعضی از این اطلاعات دوباره جمع‌آوری شده است و سپس خوشه‌بندی اقلام با در نظر گرفتن محدودیت‌های انبار و شاخص‌های تأثیرگذار در چیدمان انجام می‌شود.

در تحقیق حاضر نیز مانند تحقیق پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱) ابتدا با توجه به آنالیز ABC، اقلام را متناسب بااهمیتشان ازلحاظ حجمی که برای انبارش نیاز دارند و میزان تیراژ آن‌ها به سه دسته A، B و C تقسیم و سپس اقلام گروه A به‌منظور خوشه‌بندی انتخاب شده‌اند. البته در حل مسئله تخصیص کلیه اقلام گروه B و C نیز تحت عنوان یک خوشه مجازی در نظر گرفته شده است. بعد از خوشه‌بندی با توجه به محدودیت‌هایی از قبیل فضای دسترسی انبار، میزان وابستگی گروه‌ها و میزان تقاضا، ابعاد فیزیکی گروه‌های اقلام و محل‌های انبارش، میزان جابجایی جرثقیل به هنگام تحویل سفارش و ... مسئله مدل‌سازی می‌شود. معیارهایی که بر اساس آن تابع هدف مسئله فرموله شده است، معیارهای در نظر گرفته‌شده از تحقیق پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱) می‌باشند که علاوه بر خوشه‌بندی، در تخصیص و چیدمان نیز اهمیت بالایی دارند. مسئله موردنظر تحت عنوان مسئله تخصیص محل‌های انبارش به اقلام انبار[1] (SLAP) شناخته می‌شود. مسئله SLAP شامل تخصیص اقلام ورودی به محل‌های انبارش باهدف کاهش هزینه‌های سیستم حمل‌ونقل و بهبود

1. Storage Location Assignment Problem

استفاده مؤثر از فضای انبار است. انبارهای مختلف بر اساس معیارهای مختلفی مانند مشخصات انبار و واحدهای قابل انبارش و همچنین فنّاوری انبارش، از خط‌مشی‌های مختلفی از مسئله SLAP استفاده می‌کنند (هان،۲۰۰۳). ابتدا مدل مسئله SLAP به شکل یک مسئله ILP[1] با خصوصیات و داده‌های انبار شرکت خانه‌سازی فرموله می‌شود و سپس در نرم‌افزار GAMS که از دسته نرم‌افزارهای OR می‌باشد که جواب بهینه ارائه می‌کنند، وارد می‌شود و جواب بهینه مسئله به دست می‌آید. در این تحقیق سعی می‌شود تا خروجی حاصل از چیدمان انبار بتواند حداکثر رضایت را برای موردمطالعه با توجه به پارامترهای تأثیرگذار فراهم کند. نوآوری تحقیق حاضر استفاده از خوشه‌بندی در مسئله SLAP و سپس مدل‌سازی ریاضی آن می‌باشد.

ساختار مقاله بدین شرح است که بخش دوم پیشینه مطالعاتی مرتبط با موضوع آورده شده است. در بخش سوم روش‌شناسی تحقیق و روش خوشه‌بندی کامینز به‌صورت اجمالی معرفی تشریح شده است در بخش چهارم نتایج حاصل از اجرای مدل در موردمطالعه و در ادامه نحوه بررسی روایی مدل، آورده شده است. در بخش پایانی بحث و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

مروری بر مطالعات گذشته

جین و لای (۲۰۰۵) در پژوهش خود، انباری ناحیه‌بندی شده با سیستم آماده‌سازی و سفارش هم‌زمان از ناحیه‌های مختلف انبار را بررسی و از تکنیک P-median و یک الگوریتم ابتکاری برای تخصیص گروه‌ها به ناحیه‌ها، باهدف بالانس بارکاری سیستم و کاهش زمان آماده‌سازی سفارش در انبار، استفاده کرده‌اند. تقاضای مشتریان به‌عنوان معیار شباهت و گروه‌بندی هر زوج محصول برای قرارگیری در کنار یکدیگر انتخاب‌شده است. هراگو[2] و دیگران (۲۰۰۵) انبار را به‌منظور دو عملکرد اساسی آن ذخیره‌سازی، حفاظت از محصولات و ارائه خدمات ارزش‌افزوده، به چندین ناحیه عملکردی تقسیم نموده و سپس

1. Integer linear programing
2. Heragu

مسائل تعیین اندازه ناحیه عملکردی و تخصیص محصول به این محل‌ها را به‌صورت هم‌زمان در قالب یک مدل ریاضی و الگوریتم ابتکاری ارائه کردند. هدف آن‌ها حداقل‌سازی هزینه‌های انبارداری و جابجایی سالانه بود. یانگ[1] و فنگ[2] (۲۰۰۶)، مسئله چیدمان انبار چند سطحی را در یک محیط فازی در نظر گرفتند، تقاضای ماهانه هر قلم کالا و فاصله افقی (سفر) طی شده توسط جرثقیل‌های انتقال به‌عنوان متغیرهای فازی در نظر گرفته شد. سپس به‌منظور حداقل ساختن هزینه حمل‌ونقل کلی مدل برنامه‌نویسی محدودشده به شانس آن‌ها توسط الگوریتم جستجوی ممنوعه[3] مبتنی بر شبیه‌سازی فازی طراحی و حل شده است. دانشور کاخکی و دیگران (۱۳۸۵) در مطالعهٔ خود محصولاتی که در یک‌زمان و به یک مقصد ارسال می‌شوند را در مجاورت یکدیگر قرار داده‌اند؛ که منجر به بهبود در مسافت طی شده در انبار موردبررسی شده است. گوی[4] و دیگران (۲۰۰۷) به بررسی پیشینهٔ مسائل عملیات انبارداری، با تأکید بر ویژگی‌های مدل‌های مختلف و الگوریتم‌های ارائه‌شده، پرداخته‌اند. در این پژوهش سه مورد از پرکاربردترین عوامل مؤثر در ذخیره‌سازی کالاها در انبار، سطح فعالیت محصول، حداکثر احتیاجات انبار برای هر محصول و حجم محصول بیان شده‌اند. اونات[5] و دیگران (۲۰۰۸) به‌منظور طراحی پیکربندی قفسه انبار چند سطحی به‌نحوی‌که هزینه‌های حمل سالانه حداقل گردد مدل ریاضی ارائه کردند و سپس مدل مذکور را توسط الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات حل کردند. کیم[6] (۲۰۰۹) یک روش ابتکاری تکرارشونده برای حل هم‌زمان و سیستماتیک هر دو مسئله تصمیم‌گیری NP-Hard شامل: مسئله تخصیص گروه محصولات به فضای انبارش و مسئله کارتن‌بندی کالاها، باهدف کاهش هزینه‌های انبارداری، ارائه کرده است. در این تحقیق از یک راه‌حل ابتکاری شبیه‌سازی و شاخص[7] COI برای حل مسئله

1. YANG
2. FENG
3. Tabu search
4. Gu
5. Onut
6. Kim
7. Cube-per-order index

گروه‌بندی و تخصیص به فضای انبارش و از مدل بسته‌بندی[1] برای تخصیص محصولات به کارتن‌ها استفاده‌شده است. ژانگ[2] و لایی (۲۰۰۹) مسئله چیدمان انبار چند سطحی با محدودیت‌های مجاورت را بررسی کردند، به‌منظور فرموله‌کردن مسئله مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح استفاده شد که در دسته مسائل NP-hard قرار داشت و برای حل از سه رویکرد الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده گردید، نتایج محاسباتی نشان داد که رویکردهای ارائه‌شده می‌توانند هزینه جابجایی را به‌صورت قابل‌توجهی کاهش دهند. ژائو[3] و ژنگ لی[4] (۲۰۱۰) گروه‌بندی اقلام انباری ناحیه‌بندی شده مواد اولیهٔ تولید را باهدف حداقل کردن ناحیه‌های مورد بازبینی برای آماده‌سازی یک سفارش، بررسی کرده‌اند. سطح تقاضای مواد و سطح فعالیت محصول به‌عنوان معیار گروه‌بندی اقلام می‌باشند. یک مدل ریاضی، دو الگوریتم ابتکاری و دو الگوریتم ژنتیک ترکیبی[5] با مکانیزم‌های متقاطع مختلف[6] برای گروه‌بندی و حل مسئله تحقیق ارائه شده است. نتایج نشان از عملکرد بهتر الگوریتم ژنتیک طراحی‌شده با دو نقطهٔ متقاطع، می‌باشند. پارک[7] و جانیونگ (۲۰۱۰) به مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری در مسئله تخصیص محل‌های انبارش به اقلام انبار دوسطحی پرداختند. الگوریتم ابتکاری PSLAP پویا را با الگوریتم ژنتیک در حل یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی توسعه دادند. نتایج مقایسه نشان داد که الگوریتم ابتکاری PSLAP پویا بهتر از روش‌های حل دیگر است. ریساگوتیس[8] و کونتیس[9] (۲۰۱۱) به بررسی انواع مسائل و الگوریتم‌های حل مسئله چیدمان انبار پرداختند، هدف آن‌ها ارائه دیدگاهی ساختاریافته‌تر در مسئله مهمی همچون چیدمان انبار بود. بوتانی[10] و دیگران (۲۰۱۲) به بررسی استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی تخصیص اقلام در انبار باهدف نهایی

1. Bin-Packing
2. Zhang
3. Xiao
4. Zheng Li
5. Hybrid genetic algorithms
6. Different crossover mechanisms
7. Park
8. Vrysagotis
9. Kontis
10. Bottani

کاهش زمان جابجایی (سفر) پرداختند. الگوریتم ژنتیک تخصیص آیتم جدیدی را شناسایی کرد که به‌طور قابل‌توجهی فاصله جابجایی (سفر) را حدود ۲۰٪ کاهش داد و علاوه بر کاهش هزینه جابجایی، اجازه داد تا انبار به درخواست مشتریان پاسخ سریع‌تر بدهد. چانگ[1] و دیگران (۲۰۱۲) در مطالعهٔ خود، مدلی برای گروه‌بندی و تخصیص اقلام با مقدار سفارش اندک و تعداد دفعات سفارش زیاد، به فضای انبار، باهدف کاهش مسافت بازیابی سفارش‌ها، ارائه نموده است. ابتدا از طریق مدل‌سازی ریاضی و در نظر گرفتن میزان سفارش‌ها، کالاها گروه‌بندی‌شده سپس به‌منظور حل مسئله تخصیص اقلام به محل‌های انبارش، انواع روش‌های تخصیص آزمایش شده‌اند. با اجرای مدل ارائه‌شده در یک مطالعهٔ موردی، بهبود ۴۵ درصدی در فواصل طی شده برای بازیابی و آماده‌سازی سفارش‌ها، مشاهده شده است.

شارما و شاه (۲۰۱۵) مطالعه‌ای را در انبار یک شرکت تولیدی انجام داده‌اند که تنها محصول واحد با انواع معیارهای مواد و کیفیت تولید می‌کرد. آن‌ها در این مطالعه از تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای مبتنی بر کیفیت برای نزدیک بودن در میان مشتریان انجام دادند، از تحلیل خوشه‌ای برای ارائه الگوریتم با طراحی طرح‌بندی جدید، تقسیم‌بندی و سیاست ذخیره‌سازی استفاده کردند. آن‌ها در این مطالعه برای طراحی و بهینه‌سازی انبارها، زمان و فاصله کل جمع‌آوری، شامل تخصیص، نگهداری، جستجو، بازیابی، حمل‌ونقل و فعالیت‌های بارگیری را موردبررسی قرار دادند. اهداف دیگر مانند بهینه‌سازی فضای ذخیره‌سازی، سطح پذیرش مشتری و منابع، اپراتورها و کارگرها نیز در نظر گرفتند. یانگ و نگوین (۲۰۱۶) مطالعه‌ای باهدف توسعه یک روش خوشه‌بندی محدودشده با یکپارچه‌سازی مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای پاسخ‌گویی به نیاز خوشه‌بندی اقلام ذخیره‌شده با توجه به محدودیت‌های ذخیره‌سازی عملی انجام دادند. روش پیشنهادشده محدودیت خوشه‌بندی، از بارهای جزء اصلی به‌عنوان ویژگی‌های زیرگروهی برای تعیین توزیع COI زیرگروه‌ها استفاده می‌کند. سپس نتایج خوشه‌بندی برای تخصیص ذخیره‌سازی با استفاده از مدل تخصیص ابتکاری بر اساس COI استفاده می‌شود. نتیجه

1. Chuang

شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تعیین موقعیت جدید توسط روش پیشنهادی‌شان قادر به بهبود کارایی بازیابی تا ۳۳ درصد بوده است. کو و همکاران (۲۰۱۶) از الگوریتم‌های فراابتکاری بهینه‌سازی ذرات (PSO) و الگوریتم ژنتیک (GA) برای تخصیص اقلام در سیستم هماهنگ منطقه‌ای[1] استفاده کردند. الگوریتم‌های اصلی PSO و GA اصلاح شده‌اند به‌طوری‌که برای حل مسئله تخصیص اقلام مناسب شدند. آن‌ها از مجموعه داده‌ها با اندازه‌های مختلف برای اعتبارسنجی روش استفاده نمودند. نتایج حاصل از PSO و GA با نتیجه الگوریتم موجود مقایسه کردند و مشاهده نمودند که PSO و GA بهتر از الگوریتم موجود عمل می‌کنند. همچنین مشاهده نمودند که PSO عملکرد بهتری نسبت به GA به‌ویژه برای مشکلات بزرگ‌تر دارد.

پانگ و چانگ (۲۰۱۷) در مطالعهٔ خود الگوریتم مبتنی بر داده‌کاوی برای تعیین محل ذخیره‌سازی اقلام تکه‌ای در یک انبار به‌صورت تصادفی به‌وسیله استخراج و تجزیه‌وتحلیل روابط ارتباط بین محصولات مختلف در سفارش مشتری ارائه می‌کنند. الگوریتم آن‌ها باهدف به حداقل رساندن کل فاصله حرکات برای هر دو عملیات جمع‌آوری و برداشت سفارش است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی آن‌ها از نزدیک‌ترین مکان‌های باز و سیستم تخصیص انبارش اختصاصی در به حداقل رساندن کل فاصله حرکات کارآمدتر است. یان و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود بر روی بهینه‌سازی انبارداری و تخصیص مکان کالا در زمانی که محصولات الکترونیکی در یک انبار ذخیره می‌شود، تمرکز می‌کنند. آن‌ها بر اساس پیشینه مدیریت موجودی انبار و توزیع محمولهٔ انبار کالاهای متعلق به شرکت W، در این مطالعه با استفاده از استراتژی تخصیص مکان‌های محموله‌های پویای موجودی تصادفی، مدل چند هدفه تخصیص موقعیت مکانی اجناس در انبار ایجاد می‌کنند. آن‌ها از الگوریتم ژنتیک برای ایجاد مدل چند هدفه تخصیص مکان کالا استفاده کردند و به‌طور مؤثر به راه‌حل بهینه همگرا رسیدند.

اندلوکویک[2] و ردوسولجویک[3] (۲۰۱۸) پژوهشی باهدف تأکید بر اهمیت پیاده‌سازی

1. Synchronized Zoning System
2. Anđelković
3. Radosavljević

سیستم مدیریت انبار برای بهبود فرآیند برداشت سفارشی، به‌عنوان فعالیت انبار انجام دادند. نویسندگان مقاله تجزیه‌وتحلیل کرده‌اند که کدام بخش فرایند سفارش‌گیری می‌تواند حداکثر مزایای استفاده از تکنولوژی سیستم مدیریت انبار را به دست آورد و آیا محدودیت‌های مربوط به اجرای آن وجود دارد. شارما و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل برای مشکل تخصیص امکانات را ایجاد کرد. برای الگوریتم راه‌حل، یک رویکرد ترکیبی است که بر اساس خوشه‌بندی و برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح پیشنهاد نمودند. تجزیه‌وتحلیل مطالعه آن‌ها نشان داد که به دلیل استفاده از خوشه‌بندی، فاصله متوسط بین تسهیلات و مشتری به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. دیسانتیس و همکاران (۲۰۱۸) یک الگوریتم جدید مسیریابی متاهیورستی را برای به حداقل رساندن فاصله جمع‌آوری سفارش‌ها در انبارهای دستی پیشنهاد نمودند. آن‌ها مقایسه الگوریتم را با توجه به طرح‌بندی‌های انبار و پیچیدگی‌های مختلف انجام دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که الگوریتم پیشنهادی قادر به ارائه نتایج بهتر از الگوریتم‌های اکتشافی و فراشناختی است و اغلب قادر به یافتن یک راه‌حل دقیق است. آرنوات (۲۰۱۸) به مسئله چیدمان انبار چندمرحله‌ای با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کرم[1] پرداخت. مسئله موردبررسی شامل تخصیص اقلام به سلول‌ها و سطوح باهدف کم کردن هزینه حمل‌ونقل می‌باشد. عملکرد الگوریتم مورداستفاده را با الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی کلونی مورچه و راه‌حل دقیق برای مسائل کوچک مقایسه نمود. نتایج مطالعه او نشان داد که الگوریتم مورداستفاده در مسائل کوچک و بزرگ بهتر عمل می‌کند.

پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱)، مسئله گروه‌بندی اقلام و مسئله جایگذاری گروه محصولات در محل‌های انبارش را باهدف استفاده مؤثرتر از فضای انبار موردبررسی قراردادند، برای این منظور از تکنیک تحلیل خوشه‌ای غیر سلسله‌مراتبی کا-میانگین برای حل مسئله گروه‌بندی و یک الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله تخصیص به محل‌های انبارش استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده بهبود ۳۰ درصدی در مساحت اشغال‌شده انبار موردبررسی می‌باشد. احمدی و اکبری جوکار (۱۳۹۲) در مقاله خود با عنوان یک مدل

1. Worm Optimization Algorithm

برنامه‌ریزی غیرخطی بهبودیافته برای مسائل چیدمان تسهیلات با مساحت‌های نابرابر جهت تعیین چیدمان بلوکی تسهیلات ابتدا از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی که در آن دپارتمان‌ها به‌صورت دایره تخمین زده می‌شود و مکان نسبی آن‌ها به نسبت به یکدیگر تعیین می‌گردد و در مرحله بعد به کمک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی دیگر و جواب به‌دست‌آمده از مرحله قبل، مکان دقیق دپارتمان‌ها و همچنین ابعاد آن‌ها را تعیین نمودند. نتایج نشان از کاهش هزینه و افزایش کیفیت چیدمان می‌باشد. در تحقیق دیگری عبداللهی و حسینی‌نسب (۱۳۹۲) با استفاده از روش تلفیقی GRA، NLP بهترین چیدمان تسهیلات را از طرح‌های چیدمان تولیدشده نرم‌افزار ALDEP با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی ابتکاری تصحیح‌شده با ضرایب خاکستری تعیین نمودند. آن‌ها در مدل خود معیارهای کمی و کیفی را لحاظ نموده و بیشینه‌سازی و کمینه‌سازی را به‌طور هم‌زمان انجام دادند. خلیلی و لطفی (۱۳۹۲) ظرفیت بهینه انبار را با تحلیل هزینه‌های ساخت انبار به کمک مدل‌های صف تعیین نمودند، هدف آن‌ها پاسخ به این سؤال اساسی بود که اندازه بهینه برای ساخت انبار خصوصی چقدر باشد تا کل هزینه‌های مرتبط کمینه شود. نتایج نشان داد مدل پیشنهادی آن‌ها برای شرایط مختلف قابل توسعه است. در تحقیق دیگری کاظمی و بذرافشان (۱۳۹۲) به حل مسئله چیدمان تسهیلات با مساحت‌های نابرابر پرداختند که از الگوی نواری پیروی می‌کرد، آن‌ها مسئله خود را توسط الگوریتم فراابتکاری مورچگان توسعه دادند و نتایج الگوریتم پیشنهادی آن‌ها بر روی مسائل نمونه، کارایی بالای الگوریتم را تضمین می‌نماید. امانی و همکاران (۱۳۹۰) مدل انبارش بهینه در انبار محصول کارخانه تخته خرده چوب اسالم را تعیین کردند. آن‌ها از مدل مقدار اقتصادی تولید استفاده نمودند. آن‌ها با استفاده از این مدل تعداد ورق انبارش شده سالانه پیش‌بینی نمودند سپس باتوجه به تعداد ورق پیش‌بینی‌شده و حجم انبار موجود برای چیدمان محصول در انبار نیز ارائه نمودند. اصغرپور و هاتفی (۱۳۸۷) روشی را برای چیدمان قطعات مستطیل شکل در فضای مستطیل شکل ارائه نمودند روش آن‌ها مبتنی بر رویکرد تولید ستون است. در انتها روش فوق را با سایر روش‌های موجود با رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی مقایسه نمودند.

جمع‌بندی

در این تحقیق مانند تحقیقات (پویا و کرمانشاهیان،۱۳۹۳)، (گارفینکل و ماریس، ۲۰۰۵)، (جین ولای، ۲۰۰۵)، (لئو، ۱۹۹۹)، (مانزینی و دیگران، ۲۰۱۰)، (نایک، ۲۰۰۴) و (روزنواین، ۱۹۹۴) از تکنیک تحلیل خوشه‌ای استفاده می‌شود و شاخص‌هایی که در این تحقیقات به آن‌ها اشاره شد، جمع‌آوری و متناسب با مسئله در نظر گرفته شده است. تفاوت این پژوهش با موارد اشاره‌شده، جامعیت آن در لحاظ کردن عوامل مؤثر در خوشه‌بندی و تخصیص کالاها است. در تحقیقات (فرازل، ۱۹۹۰)، (صدیق، ۱۹۹۳)، (لارسون و دیگران، ۱۹۹۷)، (شاه، ۱۹۹۸)، (لئو، ۱۹۹۹)، (جین و لای، ۲۰۰۵) و (پویا و کرمانشاهیان، ۱۳۹۳) پس از مشخص ساختن دسته‌های اقلام انبار یا کالاهای هم‌خانواده، تخصیص این کالاها و دسته‌ها را به محل‌های انبارش بر اساس یک الگوریتم ابتکاری انجام داده‌اند. همچنین تحقیقات دیگر ازجمله: (امیرحسینی و شارپ، ۱۹۹۶)، یان و همکاران (۲۰۱۸)، کو و همکاران (۲۰۱۶)، (اونات و دیگران ۲۰۰۸)، (چانگ و دیگران، ۲۰۱۲) برای تخصیص اقلام از الگوریتم‌های فراابتکاری همچون ژنتیک، مورچگان و ازدحام ذرات استفاده کردند که جواب نزدیک به بهینه ارائه می‌کند. اغلب این پژوهش‌ها در این زمینه به پیدا کردن و جایابی کل محصولات از ابتدا اختصاص‌یافته است. درحالی‌که تحقیق حاضر با شناسایی شاخص‌های تأثیرگذار و در نظر گرفتن آن‌ها و با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی تخصیص تعمیم‌یافته و فرموله کردن شرایط واقعی مسئله و حل آن به‌صورت بهینه توانسته است رویکردی جامع را در خوشه‌بندی و تخصیص اقلام ارائه دهد. همچنین با توجه به بررسی پیشینه می‌توان گفت که مسائل چیدمان و خوشه‌بندی کالاهای انبار خیلی کم پرداخته‌شده و اکثر مقالات پیرامون مکان‌یابی محل انبار می‌باشند تا این‌که به‌طور خاص به چیدمان اقلام در آن بپردازند.

جدول ۱. خلاصه‌ای از تحقیقات انجام‌شده

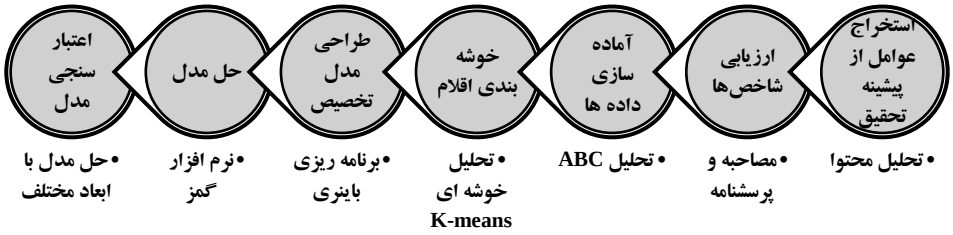
ردیف	سال	نام نویسندگان	عنوان	عوامل در نظر گرفته‌شده جهت خوشه‌بندی کالا و تخصیص	تکنیک حل مسئله تخصیص اقلام به انبار
۱	۲۰۰۶	یانگ و فنگ	مسئله چیدمان انبار چند سطحی فازی، یک مدل و الگوریتم جدید	تقاضای ماهانه، نوع کالا و فاصله افقی فازی	مدل ریاضی و حل آن با الگوریتم جستجوی ممنوعه
۲	۲۰۰۷	گوی و دیگران	بررسی پیشینهٔ مسائل عملیات انبارداری	سه مورد از پرکاربردترین عوامل ذخیره‌سازی عبارت‌اند از: سطح فعالیت محصول، حداکثر احتیاجات انبار برای هر محصول و حجم محصول	---
۳	۲۰۰۸	اونات و دیگران	الگوریتم بهینه‌سازی SWARM (ازدحام ذرات) برای مسئله طراحی چیدمان انبار چند سطحی	---	الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
۴	۲۰۰۹	کیم	مسئله بسته‌بندی و کارتن‌بندی پویا در سیستم چینش کارتن بر اساس یک ناحیه	سطح فعالیت محصول و حجم کالا	الگوریتم ابتکاری و تکرارشونده برای حل هم‌زمان دو مسئله
۵	۲۰۰۹	ژانگ و لایی	رویکردهای جستجوی ممنوعه برای مسائل چیدمان انبار چند سطحی با محدودیت‌های مجاورت	میزان جابجایی عمودی و افقی کالا	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح و ارائه سه رویکرد از الگوریتم جستجوی ممنوعه
۶	۲۰۱۰	ژائو و ژنگ لی	تخصیص ذخیره‌سازی وابسته جهت حداقل مراجعات برای چینش صورت مواد (BOM)	سطح تقاضا و سطح فعالیت	مدل ریاضی و تخصیص توسط الگوریتمی ابتکاری و الگوریتم ژنتیک برای حل هم‌زمان دو مسئله

ردیف	سال	نام نویسندگان	عنوان	عوامل در نظر گرفته‌شده جهت خوشه‌بندی کالا و تخصیص	تکنیک حل مسئله تخصیص اقلام به انبار
۷	۲۰۱۰	پارک و جانیونگ	مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری از مسئله تخصیص محل‌های انبارش به اقلام انبار دوسطحی		مدل برنامه‌ریزی ریاضی و حل آن توسط دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ابتکاری PSLAP پویا
۸	۲۰۱۲	بوتانی و دیگران	بهینه‌سازی تخصیص انبارش در عملیات آماده‌سازی سفارش از طریق الگوریتم ژنتیک	جابجایی و سفر	الگوریتم ژنتیک
۹	۲۰۱۲	چانگ و دیگران	مدل تخصیص خوشه‌ای موردی جهت مسائل تخصیص انبار	تعداد دفعات سفارش و مقدار سفارش	مدل ریاضی و آزمایش چندین روش تخصیص
۱۰	۲۰۱۲ (۱۳۹۱)	پویا و کرمانشاهیان	انبارش و جانمایی اقلام انبار با استفاده از فناوری گروهی و به‌کارگیری الگوریتم ابتکاری	حجم کالا، نیاز به دسترسی سریع، سطح تقاضا، میانگین میزان مراجعه به کالا، تشابه در سفارش، زمان دریافت و ذخیره‌سازی، زمان بازیابی و ارسال و ...	تخصیص گروه‌ها بر اساس الگوریتم ابتکاری
۱۱	۲۰۱۴ (۱۳۹۲)	احمدی و اکبری جوکار	یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی بهبودیافته برای مسائل چیدمان تسهیلات با مساحت‌های نابرابر	---	استفاده از دو مدل برنامه‌ریزی غیرخطی
۱۲	۲۰۱۴ (۱۳۹۲)	عبداللهی و حسینی‌نسب	انتخاب بهترین چیدمان تسهیلات با استفاده از روش تلفیقی GRA، NLP	---	توسعه و حل یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی
۱۳	۲۰۱۴	خلیلی و لطفی	تعیین ظرفیت بهینه انبار با	---	استفاده از مدل‌های

ردیف	سال	نام نویسندگان	عنوان	عوامل در نظر گرفته‌شده جهت خوشه‌بندی کالا و تخصیص	تکنیک حل مسئله تخصیص اقلام به انبار
	(۱۳۹۲)		تحلیل هزینه‌های ساخت انبار به کمک مدل‌های صف		صف
۱۴	۲۰۱۴ (۱۳۹۲)	کاظمی و بذرافشان	حل مسئله چیدمان تسهیلات با مساحت‌های نابرابر با استفاده از الگوریتم مورچگان	---	توسعه الگوریتم مورچگان

روش تحقیق

در این تحقیق برای حل مسئله SLAP از روش تلفیق خوشه‌بندی اقلام انبار جهت مشخص شدن خوشه کالاهای قابل تخصیص و مدل برنامه‌ریزی ریاضی تخصیص تعمیم‌یافته جهت تخصیص خوشه‌ها به محل‌های قابل انبارش استفاده شده است. سپس با استفاده از مقایسه با شرایط واقعی، اعتبارسنجی گردید. مراحل اجرایی جهت حل مسئله در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. گام‌های اجرایی تحقیق

استخراج عوامل مؤثر بر خوشه‌بندی اقلام انبار با استفاده از روش تحلیل محتوا است. تحلیل محتوا روشی برای بررسی محتوای اطلاعات اسنادی است و برای گرفتن نتایج معتبر و قابل تکرار از داده‌های استخراج شده از متن بکار می‌رود. در پژوهش پویا و کرمانشاهیان

(۱۳۹۱) برای احصای شاخص‌های خوشه‌بندی از این روش استفاده شده است. به‌گونه‌ای که پیام‌ها در متن همان شاخص‌ها بوده‌اند که بر مبنای فراوانی (تکرار) آن در متون مختلف احصا و مبنای تعدیل توسط متخصصان موردمطالعه قرارگرفته‌اند. در تحقیق حاضر، در گام اول تمامی شاخص‌های تأثیرگذار در خوشه‌بندی اقلام انبار مطابق جدول ۲ شناسایی‌شده است.

جدول ۲. تحلیل محتوای شاخص‌های مؤثر بر انبارش انبار (پویا و کرمانشاهیان،۱۳۹۱).

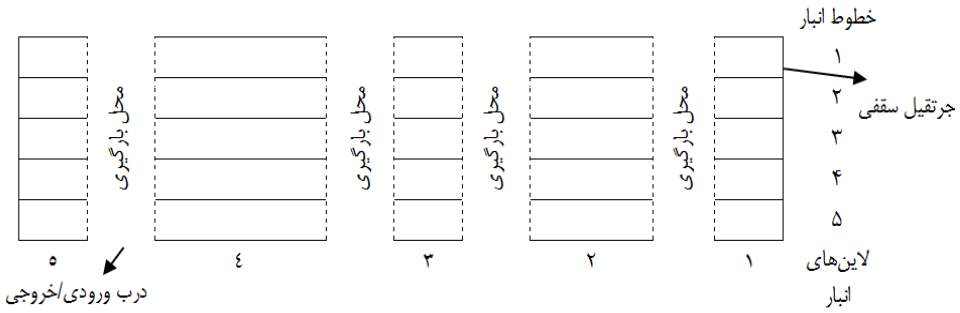
ردیف	نام شاخص	تعریف	منبع
۱	نیاز به دسترسی سریع	کالاهای اضطراری و سطح دسترسی بالا	آخوندی و همکاران (۱۳۸۷)، نایبی و همکاران (۱۳۸۷)، جینشیانگ و همکاران (۲۰۰۷)
۲	سرعت پاسخ به تقاضا	زمان درخواست تا تحویل کالا به درخواست‌کننده	نایبی و همکاران (۱۳۸۷)، مانزینی و همکاران (۲۰۱۰)، صدیق (۱۹۹۳)، شاه (۱۹۹۸)، ژائو و ژنگ لی (۲۰۱۰)
۳	میانگین میزان مراجعه به اقلام	میانگین درخواست کالا در یک بازه زمانی مشخص	آخوندی و همکاران (۱۳۸۷)، گارفینکل (۲۰۰۵)، صدیق (۱۹۹۳)، شاه (۱۹۹۸)،
۴	تشابه در مصرف	کالاهای مشابه در هنگام درخواست	لئو (۱۹۹۹)، نایک (۲۰۰۴)، روزن‌وین (۱۹۹۴)
۵	زمان ذخیره‌سازی و دریافت	زمان بارگیری کالا در انبار	نایبی و همکاران (۱۳۸۷)، گارفینکل (۲۰۰۵)، هراگو و همکاران (۲۰۰۴)، پسینجر (۱۹۹۸)
۶	زمان بازیابی و ارسال	زمان جست‌وجو کالا پس از درخواست و ارسال آن	دانشورکاخکی و همکاران (۱۳۸۵)، شهروز (۱۳۸۱)، گارفینکل (۲۰۰۵)، هراگو و همکاران (۲۰۰۴)، پسینجر (۱۹۹۸)
۷	حامل مشترک	حمل‌کننده مشترک برای کالا	نایبی و همکاران (۱۳۸۷)، دانشورکاخکی و همکاران (۱۳۸۵).
۸	سطح فعالیت محصول	سطح نیاز کالای نهایی	آخوندی و همکاران (۱۳۸۷)، امیرحسینی و شارپ (۱۹۹۶)، جینشیانگ و همکاران (۲۰۰۷)، کیم (۲۰۰۹)، کوکیدنیس و همکاران (۲۰۱۲)، لرسون (۱۹۹۷)، لئو (۱۹۹۹)، مانزینی و همکاران (۲۰۱۰)، نایک

ردیف	نام شاخص	تعریف	منبع
			(۲۰۰۴)، ژائو و ژنگ لی (۲۰۱۰).
۹	حداکثر احتیاجات انبار	میزان ذخیره اطمینان کالا در انبار	آخوندی و همکاران (۱۳۸۷)، جینشیانگ و همکاران (۲۰۰۷)، لرسون (۱۹۹۷).
۱۰	تعداد دفعات ذخیره‌سازی	تعداد دفعات بارگیری کالا	گارفینکل (۲۰۰۵)، هراگو و همکاران (۲۰۰۴)،
۱۱	تعداد دفعات بازیابی	تعداد دفعات تخلیه بار و تحویل	گارفینکل (۲۰۰۵)، هراگو و همکاران (۲۰۰۴)، هو (۲۰۰۱)
۱۲	حجم کالا	حداقل فضای موردنیاز کالا	آخوندی و همکاران (۱۳۸۷)، امیرحسینی و شارپ (۱۹۹۶)، هراگو و همکاران (۲۰۰۴)، هو (۲۰۰۱)، جینشیانگ و همکاران (۲۰۰۷)، جورایتس و همکاران (۲۰۰۶)، نایک (۲۰۰۴)
۱۳	میانگین مدت ذخیره برای بازیابی	میانگین مدت بارگیری تا تخلیه کالا	هراگو و همکاران (۲۰۰۴)، جینشیانگ و همکاران (۲۰۰۷)
۱۴	استفاده مؤثر از تجهیزات	استفاده بهینه کالا از تجهیزات انبارداری	نایبی و همکاران (۱۳۸۷)، فراهانی و همکاران (۲۰۱۰)
۱۵	احتمال اشتباه در عملیات انبارداری	نسبت تعداد اشتباه کالا در عملیات انبارداری به تعداد عملیات انبارداری کالا در یک بازه زمانی مشخص	نایبی و همکاران (۱۳۸۷)
۱۶	شرایط ایمنی کارکنان	ایمنی کارکنان در ارتباط با عملیات انبارداری کالا	آخوندی و همکاران (۱۳۸۷)، نایبی و همکاران (۱۳۸۷)، فراهانی و همکاران (۲۰۱۰)

موردمطالعه

موردمطالعه تحقیق حاضر کارخانه خانه‌سازی است و برای اعتبارسنجی مدل از کارخانه خانه‌سازی مشهد به‌عنوان پایلوت تست مدل استفاده شد. از محصولات کارخانه خانه‌سازی مشهد می‌توان دیوارهای حصار، بلوک‌های بتنی، دیوارهای نیوجرسی و سقف‌های بتنی را نام برد. انبار فراورده‌های موردبررسی، محل نگهداری بیش از ۴۰۰ نوع محصول تولیدی

قطعات پیش‌ساخته بتنی به مقدار بیش از ده هزار عدد است. این انبار دارای ۵ خط می‌باشد که هر خط به ۵ لاین تقسیم‌شده است. هر خط انبار مجهز به یک جرثقیل سقفی که کل خط را برای بارگیری و حمل محصولات پوشش می‌دهد و تجهیزات دیگر جهت دپوکردن، بارگیری و حمل قطعات جهت ارسال به نقاط موردنظر می‌باشند. طول انبار ۲۵۶٫۵۱ متر، عرض آن ۸۹٫۶۶ متر و ارتفاع آن ۷٫۴ متر است. همچنین انبار دارای ۴ محل ورودی/خروجی دوطرفه است که از داخل خط تولید کارخانه در عرض انبار قرار دارند. شکل ۲ شمایی از انبار موردمطالعه را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی هیراگو و دیگران (۲۰۰۴)، فواصل میان ابتدا و انتهای ورودی و خروجی انبار، به‌عنوان «محل بارگیری برای ارسال» تعیین می‌شوند و فضای لاین‌های انبار، «محل انبارش» محصولات می‌باشند. پس از حذف مساحت محل‌های بارگیری، مساحت مفید انبار ۱۸،۵۳۱ مترمربع خواهد بود. این فضا با توجه به محل قرارگیری سازه‌ها و ستون‌های انبار شامل ۹۰ خانه با مساحت‌های یکسان خواهد بود.



شکل ۱. نمای تشریح شده انبار کارخانه خانه‌سازی مشهد

روش جمع‌آوری داده‌ها

در این تحقیق، جمع‌آوری اطلاعات در چند مرحله صورت گرفته است. برای دستیابی به برخی اطلاعات از مصاحبه با خبرگان و افراد مطلع درزمینهٔ موردبحث استفاده شد. درواقع معیارهای تأثیرگذار در تخصیص و خوشه‌بندی با استفاده از مصاحبه خبرگان تعدیل و

بومی‌سازی شد. تمرکز این پژوهش به بخش انبار کارخانه خانه‌سازی مشهد است، تیم تصمیم شامل دو خبره دانشگاهی، مدیر، سرپرست و انباردار که این ۲ نفر از مسئول‌های انبار این کارخانه باسابقه‌ای بیش از ۱۰ سال هستند و به‌صورت تئوری و تجربی اشراف بیشتری بر موضوع تحقیق دارند، می‌شود. این تیم اهمیت پارامترها و میزان تأثیر هر پارامتر را در خوشه‌بندی مشخص کرده‌اند. محدودیت‌ها و تابع هدف مدل تخصیص نیز ابتدا به تأیید خبرگان دانشگاهی و سپس در جلسه‌ای مشترک به تأیید تیم خبره شرکت رسانده شد.

با توجه به حجم بزرگ انبار و تنوع زیاد محصولات انبارشده، با طبقه‌بندی ABC کالاها را تفکیک کرده و فقط طبقهَ A خوشه‌بندی می‌گردد. موجودی اقلام انبار و میزان اهمیت هر قلم کالا در معیارهای تخصیص و خوشه‌بندی بر اساس داده‌های استفاده‌شده در تحقیق پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱)، به‌دست‌آمده است. برای به دست آوردن مساحت محل‌های انبارش، از نقشه دوبعدی انبار استفاده شده است، مساحت و ابعاد کالاها بر اساس مراجعه به اسناد کارخانه و نقشه‌های محصول به‌دست‌آمده است.

در این تحقیق ابتدا شاخص‌های تأثیرگذار در خوشه‌بندی اقلام انبار، برگرفته از تحقیق پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱) موردبررسی قرار گرفت، آن‌ها شاخص‌های تأثیرگذار را پس از بررسی ادبیات و پیشینه داخلی و خارجی مشخص و همه شاخص‌ها را در نظر گرفتند. این تحقیق در ادامه کار آن‌ها با توجه به این موضوع که برای حل مسئله SLAP به روش تلفیقی خوشه‌بندی و تخصیص از طریق برنامه‌ریزی ریاضی نیاز است که شاخص‌های موردنظر بر خوشه‌بندی و برنامه‌ریزی ریاضی اهمیت داشته باشند لذا پرسش‌نامه‌ای تهیه شد که از طریق آن بتوان شاخص‌های مشترک، ارتباط شاخص‌ها با مدل مسئله و اهمیت هرکدام از آن‌ها را شناسایی نمود. پرسش‌نامه طراحی‌شده، در اختیار تیم تصمیم که شامل مدیر و مسئول انبار بود قرار گرفت و نتایج موردنظر به دست آمد.

به‌طور مثال: معیار نیاز به دسترسی سریع: دارای اهمیت ۹ و رابطه آن مستقیم است؛ یعنی در هنگام چیدمان اقلام انبار، اقلامی که نیاز به دسترسی بالایی دارند در مکان

مناسب‌تری قرار گیرند و اهمیت این معیار در مقایسه با معیارهای دیگر عدد ۹ (تأثیر زیاد) است. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل پرسش‌نامه حاکی از آن است که از ۱۶ معیار تأثیرگذار، ۱۵ معیار بر خوشه‌بندی و تخصیص اهمیت داشته و میزان اهمیت و ارتباط آن‌ها به شرح جدول است.

جدول ۳. نتایج به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه ارزیابی شاخص‌های تأثیرگذار بر خوشه‌بندی و چیدمان

ردیف	شاخص	ارتباط	میانگین نظرات	میزان اهمیت نرمالایز شده
۱	نیاز به دسترسی سریع	مستقیم	۹	۱
۲	سرعت پاسخ به تقاضا	مستقیم	۸	۰٫۸۹
۳	میانگین میزان مراجعه به اقلام	مستقیم	۷٫۵	۰٫۸۳
۴	تشابه در مصرف	مستقیم	۶٫۵	۰٫۷۲
۵	زمان ذخیره‌سازی و دریافت	مستقیم	۷	۰٫۷۸
۶	زمان بازیابی و ارسال	مستقیم	۷	۰٫۷۸
۷	حامل مشترک	ندارد	–	–
۸	سطح فعالیت محصول	مستقیم	۷	۰٫۷۸
۹	حداکثر احتیاجات انبار	مستقیم	۶٫۵	۰٫۷۲
۱۰	تعداد دفعات ذخیره‌سازی	مستقیم	۴٫۵	۰٫۵
۱۱	تعداد دفعات بازیابی	مستقیم	۸٫۵	۰٫۹۴
۱۲	حجم کالا	مستقیم	۹	۱
۱۳	میانگین مدت ذخیره برای بازیابی	مستقیم	۷٫۵	۰٫۸۳
۱۴	استفاده مؤثر از تجهیزات	مستقیم	۷٫۵	۰٫۸۳
۱۵	احتمال اشتباه در عملیات انبارداری	مستقیم	۸٫۵	۰٫۹۴
۱۶	شرایط ایمنی کارکنان	مستقیم	۹	۱

تحلیل خوشه‌ای K-means

تحلیل خوشه‌ای از روش‌های آماری است که در زمینه کاهش داده‌ها و پیداکردن خوشه‌های واقعی مورداستفاده قرار می‌گیرد (کلانتری،۱۳۸۹). روش‌های خوشه‌بندی داده‌ها را می‌توان به دو دسته تحلیل خوشه سلسله مراتبی و تحلیل خوشه‌بندی غیر سلسله

مراتبی تقسیم‌بندی کرد. در روش‌های خوشه‌بندی غیر سلسله‌مراتبی، خوشه‌بندی با افراز اولیه اقلام به دسته‌ها که اساس خوشه‌ها را می‌سازند، شروع می‌شود (حبیب‌پور و صفری،۱۳۹۰). در میان شیوه‌های خوشه‌بندی غیر سلسله مراتبی، روش کامینز و متغیرهای آن بیشترین کاربرد را در تحقیقات انبارداری دارد (نایک، ۲۰۰۴). در این تحقیق به‌مانند نایک (۲۰۰۴)، از روش تحلیل خوشه‌ای غیر سلسله‌مراتب کامینز استفاده گردید. کامینز روشی مبتنی بر گرانیگاه است. در این الگوریتم ابتدا k مقدار از اشیاء به‌عنوان مراکز اولیه خوشه‌ها انتخاب می‌شود و سپس هر شیء به خوشه‌ای اختصاص می‌یابد که فاصله آن با مرکز خوشه کمترین باشد. مراحل الگوریتم کامینز به شرح ذیل است (آذر و خدیور؛ ۱۳۹۳).

۱- اشیاء را به k خوشه اولیه افراز کنید و میانگین آن‌ها را محاسبه کنید.

۲- فاصله اشیاء را از میانگین خوشه‌های اولیه به دست آورید و یک شیء را که دارای کمترین فاصله از میانگین مرکز خوشه است به آن خوشه نسبت دهید. میانگین مرکز را برای خوشه‌ای که یک شیء جدید دریافت کرده و خوشه‌ای که شیء را از دست داده مجدداً محاسبه کنید.

۳- مرحله دوم را تکرار کنید تا جایی که تخصیص دوباره‌ای صورت نگیرد.

به‌منظور تعیین مناسب‌ترین تعداد خوشه‌های کالا، تحقیقات گذشته مطلبی ارائه ننموده‌اند، لئو (۱۹۹۹) نتایج تحقیق خود را برای تعداد گروه‌های مختلف موردبررسی قرارداده است. نایک (۲۰۰۵) تعداد گروه‌ها را با توجه به تقسیم‌بندی محل انبارش و نظر محقق، از دو تا تعداد کل کالاها، متغیر می‌داند. در این تحقیق تعداد مناسب خوشه‌ها با در نظر گرفتن چندین حالت مختلف به‌دست‌آمده است. به‌عبارتی‌دیگر برای مشخص ساختن تعداد خوشه‌ها، ۱۵۴ قلم کالا در ۱۰،۱۵،۲۰ و ۳۰ دسته، خوشه‌بندی شدند و درنهایت پس از بررسی نتایج تعداد ۲۰ خوشه با توجه به نظرات تیم تصمیم و محدودیت‌های مسئله انتخاب شد که به واقعیت بسیار نزدیک‌تر بود.

یافته‌های تحقیق

همان‌طور که در روش تحقیق اشاره شد، در این تحقیق مدل مسئله SLAP با استفاده از دو روش تحلیل خوشه‌ای و برنامه‌ریزی ریاضی حل شده است. لذا بخش یافته‌ها نیز به‌صورت گام‌به‌گام در دو بخش تحلیل خوشه‌ای و مدل برنامه‌ریزی ریاضی ارائه می‌شود.

نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای کامینز

در این پژوهش با توجه به محدودیت‌های انبار، نوع اقلام و نظر خبرگان، تعداد خوشه‌ها ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ خوشه در نظر گرفته شد و تحلیل خوشه‌ای صورت گرفت و درنهایت با توجه به نتایج این تحلیل‌ها، تعداد ۲۰ خوشه موردپذیرش تیم تصمیم و محقق قرار گرفت که بیشترین قرابت را با پارامترها و محدودیت‌های مسئله داشت. خروجی گروه‌بندی کالاها با توجه به داده‌های ۱۵ عامل معرفی‌شده، برای ۱۵۴ قلم کالا، به شرح جدول می‌باشند. اعدادی که در جدول ۴ مقابل هر خوشه و معیار خوشه‌بندی قرار گرفته‌اند، بیانگر مرکز ثقل آن معیار در خوشه موردنظر می‌باشند. به‌طور مثال عدد ۲/۱۷ مربوط به معیار تشابه مصرف در خوشه یک می‌باشد و به آن معناست که میانگین وزن اقلام خوشه یک در معیار تشابه در مصرف یا همان مرکز ثقل در آن معیار برابر عدد ۲/۱۷ می‌باشد.

خوشه اول انواع فوتینگ‌ها را شامل می‌شود با توجه به نتایج تحلیل خوشه‌ای، در بین عوامل، عامل سطح فعالیت نسبت به دیگر عامل بیشتر است همچنین این خوشه ازنظر این عامل در مرتبه دوم در بین خوشه‌ها قرار دارد. خوشه دوم محصول سقف را شامل می‌شود. ازنظر عامل نیاز به دسترسی سریع نمره بالاتری در بین عامل‌ها دارد. همچنین در بین تمامی خوشه‌ها، خوشه دوم دارای بالاترین نمره در عامل‌های نیاز به دسترسی سریع، سطح تقاضا، تشابه در مصرف، سطح فعالیت محصول و میانگین میزان مراجعه به اقلام است. در بین عامل‌های خوشه سوم، حجم کالا بالاترین نمره را کسب کرده، همچنین زمان ذخیره‌سازی و دریافت در بین کلیه خوشه دارای بالاترین نمره است. محصولات این گروه دیوار، سقف و ستون و شناژ است. در خوشه چهارم عامل تعداد دفعات بازیابی دارای بالاترین نمره و ازنظر این عامل در رتبه دوم در بین خوشه‌ها است. خوشه پنجم با محصولات لوله فکی

دارای بالاترین نمره در شرایط ایمنی کارکنان در کلیه خوشه‌ها است. گروه ششم با محصولات نما، فونداسیون میراث، تیرحمال هوانیرو دارای بالاترین نمره تشابه در مصرف در کلیه خوشه‌ها است. در گروه هفتم حداکثر احتیاجات انبار دارای بالاترین نمره در بین عامل‌ها است و در بین خوشه‌ها عامل میانگین مدت ذخیره برای بازیابی نمره بالا را کسب نموده است. محصولات این گروه شامل انواع دیوار است. گروه هشتم در عامل‌های تعداد دفعات بازیابی و تعداد دفعات ذخیره‌سازی به ترتیب در بین خوشه‌ها دارای رتبه اول و دوم کسب نموده‌اند. گروه نهم با انواع محصولات جدول، دارای بالاترین احتمال اشتباه در عملیات انبارداری است. گروه دهم در زمان بازیابی و ارسال بالاترین نمره کسب کرده‌اند. گروه یازدهم با محصولات تیر برق و انواع دال در عامل شرایط ایمنی کارکنان بالاترین نمره را دارند. گروه دوازدهم با محصولات پاگرد و پله و دال ترافیکی و نیوجرسی شهرداری در عامل‌های میانگین میزان مراجعه به اقلام و سطح فعالیت در رتبه دوم در کلیه خوشه‌ها قرار دارد. گروه سیزدهم در زمان بازیابی و ارسال و زمان ذخیره‌سازی و دریافت در بین خوشه‌ها در رتبه دوم قرارگرفته‌اند. گروه چهاردهم با انواع تیر حمال و تیر عرضی در استفاده مؤثر از تجهیزات بالاترین نمره را دارند. گروه پانزدهم با محصول جان‌پناه در سطح فعالیت محصول و تعداد دفعات ذخیره‌سازی در بین کلیه گروه‌ها کمترین نمره را کسب کرده‌اند. گروه شانزدهم در حداکثر احتیاجات انبار در رتبه سوم و ازنظر عامل تعداد دفعات بازیابی کمترین نمره را در بین کلیه خوشه‌ها دارند یعنی در رتبه آخر بیستم قرار گرفته‌اند. گروه هفدهم در استفاده مؤثر از تجهیزات در رتبه ۱۹ قرار دارند. گروه هجدهم در حداکثر احتیاجات انبار و شرایط ایمنی کارکنان دارای بالاترین نمره و ازنظر میانگین مدت ذخیره برای بازیابی داری کمترین نمره در بین کلیه خوشه‌ها است. محصولات گروه نوزدهم ازنظر حجم کالا در رتبه سوم قرار دارند. گروه بیستم نیز ازنظر سطح فعالیت محصول و سطح تقاضا در رتبه دوم قرارگرفته‌اند.

جدول ٤. مراکز گروه‌های نهایی، مقادیر هر گروه و تحلیل واریانس

عوامل تأثیرگذار بر خوشه‌بندی و چیدمان		حجم کالا	نیاز به دسترسی سریع	سطح تقاضا	میانگین میزان مراجعه به اقلام	تشابه در مصرف	زمان ذخیره‌سازی و دریافت	زمان بازیابی و ارسال	سطح فعالیت محصول	حداکثر احتیاجات انبار	تعداد دفعات ذخیره‌سازی	تعداد دفعات بازیابی	میانگین مدت ذخیره برای بازیابی	استفاده مؤثر از تجهیزات	احتمال اشتباه در عملیات انبارداری	شرایط ایمنی کارکنان	میانگین هر گروه
گروه‌ها	1	2	2٫8	2٫67	2	2٫17	1٫56	1٫87	3٫11	1٫73	1	1٫89	2٫67	0٫83	1٫7	3	2٫07
	2	3	4٫8	4٫44	3٫5	2٫89	2٫33	1٫56	3٫27	2٫75	1٫3	3٫21	2	2٫5	1٫7	3	2٫82
	3	4٫7	1٫2	1٫96	2٫17	2٫67	3٫58	3٫03	1٫4	3٫39	2٫2	3٫3	2٫67	1٫67	1٫7	3	2٫58
	4	2	2	1٫78	0٫83	2٫89	2٫33	1٫17	1٫56	2٫89	2	4٫25	3٫33	2٫5	0٫94	3	2٫23
	5	1	1	0٫89	0٫83	0٫72	3٫11	3٫11	2٫33	2٫17	1٫5	3٫78	3٫33	1٫67	0٫94	4	2٫03
	6	1٫67	1٫17	1٫93	0٫83	2٫89	1٫3	2٫46	1٫43	3٫25	1٫17	2٫36	2٫5	2٫64	1٫57	3٫83	2٫07
	7	1٫3	1٫3	2٫05	2٫25	2٫6	2٫64	2٫56	1٫79	3٫39	1٫6	2٫55	3٫33	1٫67	1٫22	3	2٫22
	8	3٫67	2٫67	2٫67	2٫22	1٫44	3٫11	2٫85	2٫59	2٫41	2٫17	4٫41	2٫22	2٫78	1٫57	3	2٫65
	9	1	3	1٫78	2٫05	1٫44	0٫78	0٫78	2٫51	1٫33	1٫19	1٫89	1٫93	3٫27	2٫83	3	1٫92
	10	3٫27	2	2٫67	1٫36	2٫56	3٫11	3٫46	0٫99	3٫35	1٫59	3٫78	2٫42	2٫58	1٫54	3	2٫51
	11	1٫28	2	1٫78	2٫5	1٫16	1٫04	0٫78	2٫42	2٫57	1٫39	2٫46	2٫82	2٫78	1٫68	4	2٫04
	12	2٫4	2٫8	2٫67	3	2٫31	2٫02	1٫71	3٫11	2٫46	1٫4	3٫4	1٫84	2٫67	0٫94	3٫8	2٫44
	13	2٫5	1٫67	2٫15	2٫02	2٫23	3٫24	3٫24	1٫62	3٫01	1٫75	2٫83	3٫13	1٫74	1٫57	3	2٫38
	14	1٫31	2٫25	2	1٫72	2٫8	1٫66	3٫06	2٫14	2٫35	1٫47	2٫65	2٫03	3٫33	1٫77	3	2٫24
	15	3	2	2٫67	2٫5	2٫89	1٫56	2٫33	0٫78	3٫61	0٫5	1٫89	2٫5	1٫67	0٫94	4	2٫19
	16	1	1٫5	1٫34	1٫04	0٫9	0٫98	0٫98	1٫17	3٫43	0٫75	1٫42	2٫71	2٫71	0٫94	3٫75	1٫64
	17	4٫4	3	2٫67	2٫17	2٫17	1٫56	1٫71	3٫11	2٫02	1٫4	1٫89	2٫5	0٫83	1٫51	3	2٫26
	18	4	2٫33	2٫67	1٫95	0٫72	2٫33	2٫07	1٫82	3٫61	2	2٫83	1٫67	2٫78	0٫94	4	2٫38
	19	4٫25	2	1٫78	1٫46	1٫08	1٫75	1٫56	1٫37	2٫71	1٫38	1٫65	2٫5	2٫5	1٫18	3٫75	2٫06
	20	1٫11	2٫94	2٫87	1٫95	2٫81	2٫2	2٫12	3٫11	2٫97	1٫25	2٫26	2٫22	2٫64	1٫26	3٫56	2٫35
تحلیل واریانس	F	44٫6	36٫9	26٫4	6٫85	33٫7	47٫1	54٫5	17٫0	14٫6	8٫57	14٫9	6٫75	22٫3	10٫9	24٫37	---
	Sig	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	٫000	---

تحلیل ANOVA جهت بررسی تأثیر هر عامل مؤثر در انبارش در گروه‌ها انجام شد که مقدار آماره F برای آزمون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در تمامی گروه‌ها میان تمامی عوامل می‌باشد.

طراحی مدل تخصیص خوشه‌های اقلام انبار به محل انبارش

در این بخش مدلی ارائه داده می‌شود که بر اساس آن خوشه‌های انبار به بهترین جای خود در انبار تخصیص یابند به‌گونه‌ای که هزینه‌ها کاهش یابد. پس از بررسی پیشینه تحقیقات انجام‌گرفته که جمع‌بندی آن در جداول ۱ ارائه شده است و همچنین مصاحبه با خبرگان دانشگاهی و سرپرست و انباردار کارخانه خانه‌سازی مشهد و جمع‌بندی نظرات آن‌ها مدل تخصیص طراحی گردید. مسئله تخصیص در این تحقیق دارای ۲ بُعدِ خوشه اقلام و محل انبارش است که بعد اول، کلیه اقلام گروه A (شامل پنج خوشه اقلام پرمصرف و ۲۰ خوشه اقلام به‌دست‌آمده از خوشه‌بندی) و گروه B و C اقلام انبار (شامل یک خوشه برگرفته از کلیه اقلام گروه B و C و اقلام مجازی) بوده و بعد دوم، شامل محل‌های انبارش می‌باشد که کل فضای انبار به مساحت‌های واحد تقسیم‌بندی شده و شامل ۳۶۰ محل انبارش با مساحت‌های برابر است که در مدل در نظر گرفته شده است.

مدل مسئله، مدلی تعمیم‌یافته از مدل تخصیص خواهد بود که به‌صورت گام‌به‌گام پارامترها، تابع هدف، متغیرهای مدل و محدودیت‌های آن تشریح خواهد شد.

مفروضات مسئله

۱ - فضای انبار به‌صورت مسطح و فاقد طبقات می‌باشد.

۲ - جهت جابجایی اقلام از جرثقیل ریلی استفاده می‌شود که هر جرثقیل، اقلام یک لاین از انبار را پوشش می‌دهد.

۳ - امکان تغییر چیدمان بر اساس چیدمان بهبودیافته حاصل از حل مسئله وجود دارد.

۴ - مساحت انبارش را می‌توان برحسب سلول‌های دارای مساحت یکسان با توجه به مساحت خوشه‌های اقلام محاسبه و بیان کرد.

۵ - با توجه به احتمال خرابی هرکدام از جرثقیل‌ها باید فضایی برای اقلام پرمصرف در

هر لاین منظور گردد.

اندیس‌ها

جدول ۵. تعریف اندیس‌های مدل پیشنهادی

تعریف	اندیس
مجموعه خوشه‌های اقلام	$Hh_1, h_2, h_3, \dots, h_{26}$
زیرمجوعه‌ای از مجموعه Hو شامل خوشه‌های پرمصرف	$H' : H' \subset H$
s و r نمی‌توانند در کنار هم باشند	$R: \{(r,s) \mid r,s \in H,\}$
مجموعه ستون‌های انبار موردمطالعه که هر دو ستون تشکیل یک لاین را می‌دهد	$I: \{i_1, i_2\}$
مجموعه ردیف‌های انبار موردمطالعه	$J: \{j_1, j_2, j_3, \dots, , j_{36}\}$
مجموعه جرثقیل‌های انبار موردمطالعه که در هر لاین انبار قرار گرفته‌اند	$K: \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5\}$
مجموعه (تک‌عضوی) شامل جرثقیل قابل اختصاص به خوشه $h' \in H'$	$K_{H'}: \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5\}$

پارامترهای مدل

جدول ٦. پارامترهای مدل پیشنهادی

تعریف	پارامتر
مجموعه سلول‌های همسایه سلولijk	N_{ijk}
نشان‌دهنده تعداد سلول‌های موردنیاز خوشهh	A_h
فاصله بین مربع با اندیس i به‌عنوان ستون و اندیس j به‌عنوان ردیف با جرثقیل k تا نزدیک‌ترین خروجی انبار	$\mathrm{d_{ijk}}$
متوسط مسافت طی شده خوشه h بین جرثقیل kو مکان ذخیره	$\sum_{j \in J} \frac{1}{A_h} d_{ijk}$
متوسط تعداد تردد خوشه hدر یک دوره زمانی مشخص با توجه به نتایج حاصل از خوشه‌بندی	W_h
هزینه جابجایی جرثقیل به ازای واحد (ریال/متر)	C
وزن به‌دست‌آمده خوشه hحاصل از تحلیل خوشه‌ای	F_h

متغیرهای تصمیم

$$X_{hijk} = \begin{cases} 1 & \text{اگر خوشه } h \text{ به مربع } ijk \text{ تخصیص یابد} \\ 0 & \text{اگر خوشه } h \text{ به مربع } ijk \text{ تخصیص نیابد} \end{cases}$$

فرموله کردن مدل ریاضی

$$Min\ Z = \sum_{h} \frac{F_h \times W_h}{A_h} \left(\sum_{k} \sum_{i} \sum_{j} Cd_{ijk} X_{hijk} \right) \quad (۱)$$

$$\sum_{i} \sum_{j} \sum_{k} X_{hijk} = A_h; \forall h \in H \quad (۲)$$

$$\sum_{h} X_{hijk} = 1;\ \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۳)$$

$$\sum_{i} \sum_{j} X_{h'ijk} = A_h;\ \forall h' \in H', \forall\ k \in K_{h'} \quad (۴)$$

$$X_{rijk} + X_{si'j'k'} \leq 1, \quad \forall (r,s) \in R, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall i', j', k' \in N_{ijk} \quad (۵)$$

شرح محدودیت‌ها و تابع هدف مدل

معادله (۱): مدل مسئله تخصیص است که باهدف مینیمم کردن مسافت حمل‌ونقل طی شده توسط جرثقیل دربرداشتن سفارش و کاهش زمان جستجو در جمع‌آوری سفارش‌ها مسئله را حل می‌کند.

معادله (۲): محدودیت تخصیص همه خوشه‌ها است و نشان می‌دهد که تمام خوشه‌های اقلام انبار به محل‌های انبارش به تعداد سلول‌های موردنیاز تخصیص می‌یابند.

معادله (۳): تضمین می‌کند که هر سلول انبارش دقیقاً به یک خوشه تخصیص می‌یابد.

معادله (۴): بیانگر محدودیت مربوط به خوشه اقلام پرمصرف است که دقیقاً به یک لاین انبار بایستی تخصیص یابد.

معادله (۵): نشان‌دهنده محدودیت‌های مربوط به محدودیت قرار نگرفتن دو خوشه خاص r

و s در کنار هم می‌باشد. با توجه به شکل فیزیکی اقلام موجود در خوشه‌ها و کاهش اشتباه انباردار به هنگام تحویل کالا، نباید دو خوشه خاص در کنار یکدیگر قرار گیرند.

نتایج حاصل از اجرای مدل تخصیص در نرم‌افزار گمز

در این بخش، با احتساب تمام پارامترهای مسئله، مدل تخصیص پیشنهادی به کمک نرم‌افزار گمز، نسخه (WIN 17710.17719 VS8 x86/MS Windows ۲۳,۴,۳) کد نویسی گردید و پس از برطرف کردن خطاهای کد نویسی، توسط حل‌کننده CPLEX مسئله حل شد مدل تخصیص کد نویسی شده در نرم‌افزار گمز بر روی یک کامپیوتر با پردازشگر Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E7300@ 2.66GHz و دو گیگابایت رم اجرا نموده و نرم‌افزار به جواب بهینه رسید که مقدار تابع هدف مسئله ۱۲۸۸/۳۳۴ به دست آمد. روی کامپیوتر با این مشخصات، مدت‌زمان حل مسئله حدود ۰/۰۴۷ ثانیه بوده است.

مقادیر متغیرهای تصمیم صفر یا یک خواهد بود، اگر این مقدار برابر یک باشد به این معنی است که آن خوشه به سلول موردنظر تخصیص‌یافته است. به همین منظور، نتایج این قسمت نرم‌افزار در قالب چیدمان خوشه‌های انبار در سلول‌های انبارش در جدول ۷ ارائه می‌شود.

جدول ۷. جانمایی بهینه خوشه‌های اقلام در انبار کارخانه خانه‌سازی مشهد

k	۱		۲		۳		٤		٥	
i / j	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	۸	۴	۱۲	۱۰	۱	۱۵	۱۰	۲	۱۴	۱۷
2	۹	۱۸	۱۲	۱	۱	۱۵	۷	۲	۱۴	۱۷
3	۱۸	۱۸	۱۲	۸	۶	۱	۷	۲	۱۴	۱۷
4	۸	۱۸	۱۲	۴	۱۰	۱۵	۷	۱۰	۱۴	۱۷
راهرو خروجی										
5	۴	۱۰	۶	۶	۱۵	۲	۱۴	۱۹	۲۰	۱۳
6	۱۲	۶	۱۵	۷	۲	۱۶	۱۷	۲۰	۱۳	۱۳
7	۱	۱۵	۷	۲	۱۶	۱۹	۲۰	۱۳	۱۳	۳
8	۱۰	۲	۲	۱۷	۲۰	۲۰	۱۳	۳	۳	۵

k	۱		۲		۳		٤		٥	
i / j	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
9	۲	۱۴	۱۷	۲۰	۱۳	۱۳	۳	۳	۵	۱۱
10	۲	۱۷	۱۹	۲۰	۱۳	۳	۳	۳	۱۱	۱۱
11	۲	۱۶	۱۹	۲۰	۱۳	۳	۳	۵	۱۱	۱۱
12	۲	۱۷	۱۹	۲۰	۱۳	۳	۳	۳	۵	۱۱
13	۲	۱۷	۲۰	۲۰	۱۳	۳	۳	۳	۵	۱۱
14	۲	۱۷	۱۹	۲۰	۱۳	۳	۳	۳	۵	۱۱
راهرو ورودی/ خروجی										
15	۱۴	۲۰	۱۳	۱۳	۳	۳	۵	۱۱	۱۱	۲۵
16	۱۳	۱۳	۳	۳	۵	۱۱	۱۱	۱۱	۲۵	۲۵
17	۱۳	۱۳	۳	۳	۵	۱۱	۱۱	۲۴	۲۵	۲۵
18	۱۳	۱۳	۳	۳	۵	۱۱	۱۱	۲۴	۲۵	۲۵
راهرو ورودی/ خروجی										
19	۳	۳	۵	۱۱	۱۱	۱۱	۲۴	۲۴	۲۵	۲۵
20	۵	۱۱	۱۱	۱۱	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۲۵	۲۵
21	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۲۵	۲۵
22	۱۱	۱۱	۲۲	۲۲	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۲۵	۲۶
23	۱۱	۲۱	۲۲	۲۲	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۲۶	۲۶
24	۲۱	۲۱	۲۲	۲۲	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴	۲۶	۲۶
25	۲۱	۲۱	۲۲	۲۶	۲۳	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
26	۲۱	۲۱	۲۲	۲۶	۲۳	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
27	۲۱	۲۱	۲۲	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
28	۲۱	۲۱	۲۲	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
29	۲۱	۲۶	۲۲	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
30	۲۱	۲۶	۲۲	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
31	۲۱	۲۶	۲۲	۲۶	۲۳	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
32	۲۱	۲۶	۲۲	۲۶	۲۳	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
راهرو خروجی										
33	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
34	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶

k	۱		۲		۳		٤		٥	
i / j	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
35	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
36	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶

اعتبارسنجی مدل

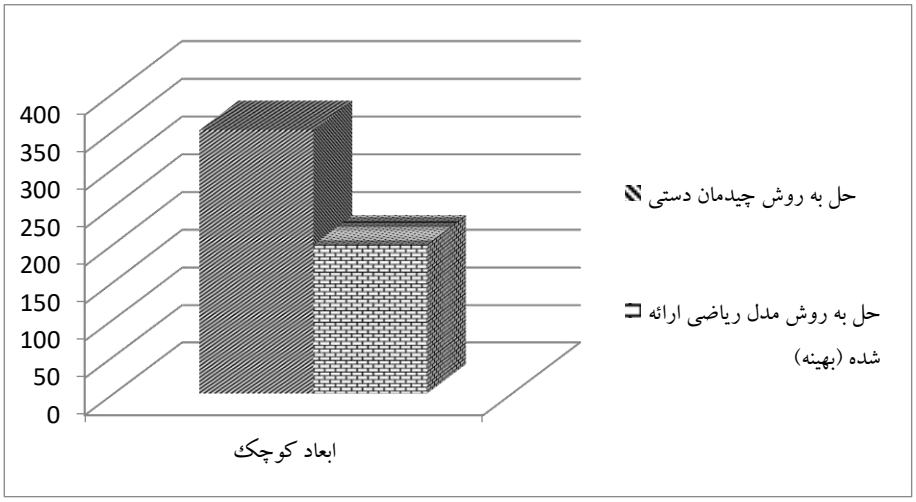
جهت اعتبارسنجی مدل‌های تحقیق در عملیات بهترین راه تست عملکرد آن‌ها در واقعیت است، اما اکثر مواقع شبیه‌سازی حالت واقعی بسیار مشکل بوده و محقق مجبور به اضافه‌کردن محدودیت‌ها و فرض‌هایی می‌شود که شبیه‌سازی مدل خود را به واقعیت نزدیک کند. با توجه به این موضوع که اقلام انبار کارخانه خانه‌سازی نشده‌اند؛ به همین منظور جهت تست مدل، مسئله در ابعاد کوچک‌تر حل شد و پس‌ازآن از سرپرست انبار (خبره) خواسته شد تا خوشه‌های اقلام را به‌صورت دستی در همین ابعاد چیدمان نماید، سپس مقدار تابع هدف مسئله در این حالت نیز به دست آمد. در ادامه نتایج حل مسئله با ابعاد کوچک آورده شده است.

ابتدا با توجه به پارامترهای واقعی و محدودیت‌های مسئله اصلی دو مسئله کوچک‌تر یکی در ابعاد متوسط و دیگری در ابعاد کوچک طراحی گردید. سپس در دو حالت چیدمان اقلام صورت گرفت. حالت اول چیدمان به‌صورت دستی بود که مسئله طراحی‌شده در ابعاد کوچک و متوسط در اختیار سرپرست انبار کارخانه خانه‌سازی قرار گرفت و سپس از ایشان خواسته شد تا با توجه به داده‌های این مسئله چیدمان را انجام دهد. بعد از چیدمان دستی، کارایی این حالت در نرم‌افزار و با قراردادن مقدار یک برای متغیرهای تصمیمی که سرپرست انبار دسته را به آن‌ها اختصاص داده بود محاسبه شد. در حالت دوم همین مسئله در نرم‌افزار کد نویسی شده و مقدار آن بر اساس مدل ارائه‌شده توسط محقق به دست آمد. نتایج در

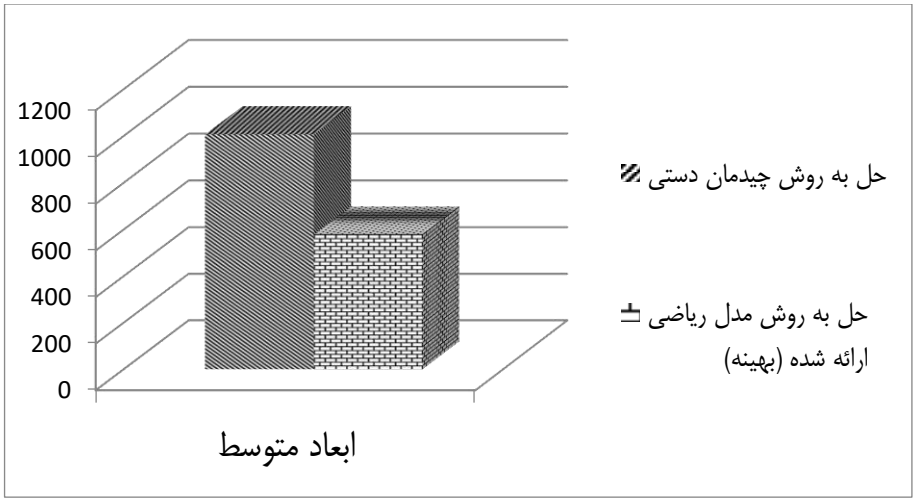
جدول ارائه‌شده است.

جدول ۸ مقادیر تابع هدف در دو حالت روش حل (دستی و استفاده از مدل ریاضی)

نوع مسئله	شیوه چیدمان		میزان بهبود
	حل به روش چیدمان دستی	حل به روش مدل ریاضی ارائه‌شده (بهینه)	
ابعاد کوچک	۳۵۰٫۳۶	۱۹۹٫۰۵۴	٪۷۶
ابعاد متوسط	۱۰۰۶٫۹۱۹	۵۷۹٫۸۷۳	٪۷۴



نمودار ۱. مقایسه حل به دو روش دستی و استفاده از مدل ریاضی برای مسئله با ابعاد کوچک



نمودار ۲. مقایسه حل به دو روش دستی و استفاده از مدل ریاضی برای مسئله با ابعاد متوسط

همان‌طور که در جدول ۷ و نمودارهای ۱ و ۲ مشاهده می‌شود بیش از ۷۰٪ بهبود در حل به روش استفاده از مدل ریاضی محقق نسبت به چیدمان دستی حاصل شده است. شایان توجه است که شرایط واقعی انبار کارایی بسیار کمتری از چیدمان دستی که توسط سرپرست انبار ارائه شده است، دارد؛ زیرا ۱- خوشه‌بندی اقلام صورت گرفته است، ۲- سرپرست انبار با داده‌های حاصل از خوشه‌بندی انبار مسئله را به‌صورت دستی چیدمان نموده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به موارد ذکرشده در پیشینه تحقیق آنچه این تحقیق را از سایر تحقیقات گذشته برجسته می‌کند، ارائه یک رویکردی تطبیقی است که این رویکرد عبارت است از تخصیص محل‌های انبارش بر اساس خوشه‌بندی با شاخص‌های تأثیرگذار در چیدمان و خوشه‌بندی اقلام است. پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۳)، تخصیص اقلام بر محل‌های انبارش را بر اساس خوشه‌بندی اقلام انجام داده بودند اما شاخص‌های تأثیرگذار آن‌ها تنها در خوشه‌بندی بود و شامل چیدمان اقلام نمی‌شد درحالی‌که آن‌ها از نتایج تحلیل خوشه‌ای در الگوریتمی ابتکاری برای تخصیص اقلام استفاده کرده بودند. این پژوهش در ادامه کار آن‌ها اما با خوشه‌بندی مجدد بر اساس معیارهای تأثیرگذار بر خوشه‌بندی و چیدمان و تأثیر پارامترهای کلیدی در تخصیص و درنهایت ارائه الگوریتمی بهینه جهت تخصیص خوشه‌های اقلام به محل‌های انبارش انجام شده است. تحقیق حاضر مانند تحقیقات (پویا و کرمانشاهیان،۱۳۹۳)، (گارفینکل و ماریس، ۲۰۰۵)، (لئو، ۱۹۹۹)، (مانزینی و دیگران، ۲۰۱۰)، (نایک، ۲۰۰۴) و (روزنواین، ۱۹۹۴) از تکنیک تحلیل خوشه‌ای استفاده شد و تمام شاخص‌هایی که در این تحقیقات به آن‌ها اشاره شد، جمع‌آوری و متناسب با مسئله در نظر گرفته شد. تفاوت این پژوهش با موارد اشاره‌شده، جامعیت آن در لحاظ کردن عوامل مؤثر در خوشه‌بندی و تخصیص کالاها می‌باشد.

تحقیقات گذشته ازجمله: (فرازل، ۱۹۹۰)، (صدیق، ۱۹۹۳)، (لارسون و دیگران، ۱۹۹۷)، (شاه، ۱۹۹۸)، (لئو، ۱۹۹۹)، (جین و لای، ۲۰۰۵) و (پویا و کرمانشاهیان، ۱۳۹۳)

پس از مشخص ساختن دسته‌های اقلام انبار یا کالاهای هم‌خانواده، تخصیص این کالاها و دسته‌ها را به محل‌های انبارش بر اساس یک الگوریتم ابتکاری انجام داده‌اند همچنین تحقیقات دیگر ازجمله: (امیرحسینی و شارپ، ۱۹۹۶)، (اونات و دیگران ۲۰۰۸)، (چانگ و دیگران، ۲۰۱۲) برای تخصیص اقلام از الگوریتم‌های فراابتکاری همچون ژنتیک، مورچگان و ازدحام ذرات استفاده کردند که جواب نزدیک به بهینه ارائه می‌کند. بوتانی و دیگران در سال ۲۰۱۲ باهدف بهینه‌سازی تخصیص انبارش در عملیات آماده‌سازی سفارش از طریق الگوریتم ژنتیک توانستند زمان جابجایی و سفر را حدود ۲۰٪ کاهش دهند. نقطه تمایز این تحقیق در این است که الگوریتم ارائه‌شده آن برگرفته از محدودیت‌ها و شاخص‌های مؤثر می‌باشد و از الگوریتمی بهینه جهت تخصیص خوشه‌های اقلام به محل‌های انبارش استفاده‌شده و با استفاده از نرم‌افزار GAMS جواب بهینه برای مسئله ارائه می‌کند. این تحقیق یک تحقیق کاربردی می‌باشد که از طریق بررسی محقق در مبانی نظری و پیشینه تحقیق و شبیه‌سازی شرایط واقعی مسئله بر اساس یافته‌های علمی صورت گرفته است؛ یعنی سعی شده است مشکلات واقعی یک موردمطالعه (انبار کارخانه خانه‌سازی) شناسایی و سپس به دنبال حل آن در دنیای تئوری برآید. در این رفت‌وبرگشت‌ها فضاهای خالی تحقیقات گذشته شناسایی و مدلی ارائه شده است که بتواند حداکثر بهبود را برای موردمطالعه ارائه نماید. همان‌طور که توضیح داده شد، تحقیقات گذشته به چند دسته تقسیم شده‌اند، عده‌ای که از تحلیل خوشه‌ای استفاده کرده و تخصیص را به‌صورت الگوریتم‌های ابتکاری انجام داده‌اند، عده‌ای دیگر نیز برای حل مسئله تخصیص از تحلیل خوشه‌ای استفاده نکرده‌اند. این تحقیق با شناسایی و در نظر گرفتن شاخص‌های تأثیرگذار و با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی تخصیص تعمیم‌یافته و فرموله کردن شرایط واقعی مسئله و حل آن به‌صورت بهینه توانسته است رویکردی جامع را در خوشه‌بندی و تخصیص اقلام ارائه دهد.

گروه‌بندی کالاها با استفاده از نتایج حاصل‌شده از تحلیل خوشه‌ای؛ با توجه به این‌که معیارهای تحلیل خوشه‌ای برگرفته ازنظر خبرگان و تحقیقات پیشین می‌باشد و سپس با

توجه به اسناد کارخانه و نظر خبرگان اقلام انبار وزن‌دهی شدند، گروه‌بندی به‌دست‌آمده از تحلیل خوشه‌ای باعث می‌شود اقلام بر اساس معیارهای مهمی همچون تقاضا، نیاز به دسترسی، شرایط ایمنی کارکنان و ... در کنار هم قرار گیرند و تشکیل کالاهای هم‌خانواده را بدهند. این موضوع سبب می‌شود تا در هنگام درخواست سفارش، کمترین زمان برای جست‌وجوی کالای درخواست‌شده و تحویل به‌موقع آن صورت گیرد. با توجه به این موضوع که در این تحقیق با استفاده از حداکثر موجودی هر کالا، مساحت هر خوشه به‌دست‌آمده است و همچنین ضریب اطمینانی نیز برای مساحت هر خوشه در نظر گرفته‌شده و سپس تخصیص صورت گرفته است لذا فضای کافی در صورت اضافه شدن موجودی در نظر گرفته‌شده است. تنها در صورت اضافه‌شدن محصول جدید به محصولات کارخانه به مدیران پیشنهاد می‌شود در ابتدا مجدداً تحلیل خوشه‌ای صورت گرفته تا مشخص شود کالای اضافه‌شده متعلق به کدام گروه می‌باشد و درصورتی‌که مساحت آن دسته بیش از مساحت در نظر گرفته‌شده در این تحقیق بود مسئله تخصیص مجدداً حل شود.

از محدودیت‌های تحقیق حاضر این است که شاخص‌ها، مستقل فرض شده‌اند. همچنین با توجه به این موضوع که سیستم حسابداری مبتنی بر فرایند در کارخانه وجود نداشت، هزینه جابجایی برای جرثقیل‌ها به‌صورت دقیق محاسبه نشده است. همچنین با توجه به اینکه در مقادیر عوامل برای هر کالا به‌مرورزمان تغییر رخ خواهد داد، می‌بایست به‌صورت دوره‌ای نسبت به گروه‌بندی دوباره اقلام انبار اقدام نموده و تغییراتی در جایگذاری کالاها انجام داد. در بلندمدت با ثبت چگونگی تغییرات می‌توان به یک نظم در چیدمان انبار کارخانه دست‌یافت. لذا پیشنهاد می‌شود تحقیقی دیگری در همین زمینه انجام شود. با توجه به این موضوع که یکی از زیرمجموعه‌های مدیریت کیفیت فراگیر پیاده‌سازی 5S می‌باشد و این موضوع باعث کاهش هزینه‌های انبارداری می‌شود. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی اصول آراستگی محیط کار انبار بر اساس تلفیق تحلیل خوشه‌ای و الگوریتم SLAP در تخصیص صورت پذیرد. از این طریق، به‌طور چشم‌گیری هزینه‌های

انبارداری کاهش خواهد یافت. چگونگی چیدمان کالاها در هر گروه نیز می‌تواند در تحقیقات آتی موردبررسی قرار گیرند تا بدین شکل از فضای انبار به نحو مؤثرتری استفاده شود. تعیین و تأثیر تغییر در تعداد گروه‌ها بر چیدمان انبار نیز از موضوعاتی است که تحقیقات گذشته و این تحقیق کمتر به آن اشاره نموده است و استفاده از سایر روش‌های وزن‌دهی در خوشه‌بندی نیز می‌تواند در تحقیقات آتی موردبررسی قرار گیرد، همچنین مدل برنامه‌ریزی ریاضی تخصیص این تحقیق اهمیت یکسانی را برای میزان تردد (جابجایی کل) و وزن خوشه قرار داده است که تحقیقات آتی می‌تواند با در نظر گرفتن میزان اهمیت این شاخص‌ها بسته به مسئله موردنظر بهبود ایجاد کنند. همچنین در تحقیق حاضر طبقه‌بندی ABC به‌عنوان پیش‌نیاز کار بوده و خوشه‌بندی فقط در اقلام با اهمیت انجام شد. ازاین‌رو به محققان پیشنهاد می‌شود در هرخوشه هم ABC انجام دهند تا در مدل تخصیص اقلام بااهمیت‌تر درنتیجه طبقه‌بندی ABC به فضاها تخصیص یابد.

ORCID

Morteza Mohajer Bajgiran **https://orcid.org/0000-0003-3904-0539**

Alireza Pooya **https://orcid.org/0000-0001-6000-3535**

Zahra Naji Azimi **https://orcid.org/0000-0003-1583-7244**

Somayeh Fadaei **https://orcid.org/0000-0002-7471-1708**

منابع

آذر، ع و خدیور، آ. (۱۳۹۳). *کاربرد تحلیل آماری چندمتغیره در مدیریت*. انتشارات نگاه دانش.

احمدی، ع و اکبری جوکار، م. (۱۳۹۲). *یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی بهبودیافته برای مسائل چیدمان تسهیلات با مساحت‌های نابرابر*. دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع. تهران: دانشگاه تهران.

آخوندی، ع؛ فرقانی، ع؛ خاک‌گزار بفروئی، م. (۱۳۸۷). *طراحی انبار (استقرار تجهیزات، کالا، وسایل حمل‌ونقل)*. نشر جهاد دانشگاهی، تهران، صص ۲۱۳-۲۴۰.

پویا، ع و کرمانشاهیان، ی. (۱۳۹۱). انبارش و جانمایی اقلام انبار با استفاده از فناوری گروهی و به‌کارگیری الگوریتم ابتکاری. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۱۰۹-۱۲۸.

حبیب پور، ک.، صفری ر. (۱۳۹۰). *راهنمای جامع کاربرد spss در تحقیقات پیمایشی تحلیل داده‌های کمی*؛ چاپ چهارم انتشارات لویه (متفکران).

خلیلی، س و لطفی، م. (۱۳۹۲). *تعیین ظرفیت بهینه انبار با تحلیل هزینه‌های ساخت انبار به کمک مدل‌های صف*. دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع. تهران: دانشگاه تهران.

دانشور کاخکی، م؛ نصیری خونساری، م؛ مظفری، د و نجاتی و. (۱۳۸۵). *الگوی مناسب چیدمان اقلام در یک انبار کانبان، مطالعه موردی شرکت ایران‌خودرو. دومین کنفرانس لجستیک و زنجیره تأمین*.

عبداللهی، پ و حسینی‌نسب، ح. (۱۳۹۲). *انتخاب بهترین چیدمان تسهیلات با استفاده از روش تلفیقی GRA، NLP*. دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع. تهران: دانشگاه تهران.

کاظمی، م و بذرافشان، س. (۱۳۹۲). *حل مسئله چیدمان تسهیلات با مساحت‌های نابرابر با استفاده از الگوریتم ژنتیک*. دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع. تهران: دانشگاه تهران.

کلانتری، خلیل. (۱۳۹۰). *پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی و اقتصادی با استفاده از نرم‌افزار SPSS*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

نایبی، ع.ح؛ اخوان ماسوله، س؛ شریفی، م. (۱۳۸۷). کاربرد *روش تحلیل سلسله مراتبی در*

انتخاب الگوی مناسب چیدمان اقلام در انبار مطالعه موردی در انبار ۱۶۰ شرکت ایران‌خودرو، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه صنعتی شریف.

References

Amirhosseini, M.M. and Sharp, G.P. (1996), Simultaneous analysis of products and orders in storage assignment, *Manufacturing Science and Engineering ASME 1996 MED*-Vol. 4, 803-811.

Arnaout, J. P. (2018). Worm optimization for the multiple level warehouse layout problem. *Annals of Operations Research*, *269*(1-2), 29-51.

Anđelković, A., & Radosavljević, M. (2018). Improving order-picking process through implementation of warehouse management system. *Strategic Management*, *23*(1), 3-10.

Bottani, E. Cecconi, M. Vignali, G. & Roberto, M. (2012). Optimisation of storage allocation in order picking operations through a genetic algorithm. *Journal of Logistics Research and Applications*, 127-146.

Chuang, Y.F. Lee, H.T. & Lai, Y.C. (2012). Item-Associated Cluster Assignment Model on Storage Allocation Problems. *Computers & industrial engineering, 63(4), 1171-1177.*

De Santis, R., Montanari, R., Vignali, G., & Bottani, E. (2018). An adapted ant colony optimization algorithm for the minimization of the travel distance of pickers in manual warehouses. European Journal of Operational Research, 267(1), 120-137.

Frazelle, E. (1990). *Stock location assignment and order picking productivity. (Ph.D. Dissertation).* Georgia institute of technology.

Farahani, R. Z., Steadieseifi, M., Asgari, N. (2010). Multiple criteria facility location problems: A survey. *Journal of Applied Mathematical Modeling*, No. 34, pp. 1689-1709.

Gu, J. Goetschalckx, M. & McGinnis, L. (2007). Research on warehouse operations: a comprehensive review. *Eur.J.Oper.Res*, 1-21.

Garfinkel, Maurice, (2005), *"Minimizing Multi-zone Orders in the Correlated Storage Assignment Problem",* A Dissertation for the PhD degree, School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology.

Hun, S. (2003). *Algorithms For Dynamic Forward Area Allocation In A Warehouse*. Sabanc University.

Heragu, S. Du, L. Mantel, R. & Schuur, P. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*, 327-338.

Hua, W. (2001). *Cluster based storage policies in kitting area*. (Ph.D.

Dissertation). Georgia institute of technology.

Jane, C. C., & Laih, Y. W. (2005). A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system. *European Journal of Operational Research, 166*(2), 489-496.

Juraitis, Mykolas. Stonys, Tomas. Strinskas, Arunas. Jankauskas, Darius and Rubliauskas, Dalius. (2006). a randomized heuristic for the container loading problem: further investigation. *Information Technology and Control,* Vol. 35, No: 1.

Jinxiang Gu, Marc Goetschalckx, Leon F. McGinnis. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research,* No. 177, pp. 1˚21.

Kim, S. (2009). *Dynamic Slotting and Cartonization Problem in Zone-based Carton Picking Systems. (A Dissertation for the PhD degree).* Auburn University.

Küçükdeniz, T., Baray, A., Ecerkale, K., & Esnaf, Ş. (2012). Integrated use of fuzzy c-means and convex programming for capacitated multi-facility location problem. *Expert Systems with Applications*, 39(4), 4306-4314.

Kuo, R. J., Kuo, P. H., Chen, Y. R., & Zulvia, F. E. (2016). Application of metaheuristics-based clustering algorithm to item assignment in a synchronized zone order picking system. *Applied Soft Computing*, 46, 143-150.

Larson, T. March, h. & Kusiak, A. (1997). A heuristic approach to warehouse layout with class-based storage. *IIE Transactions*

Liu, C. (1999). Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center. *Computers & operations research*, 989-1002.

Manzini R. Bindi, F. Ferrari E, Pareschi A. (2010), "Correlated Storage Assignment and Isotime Mapping for Profiling Sku", XVI International Working Seminar on production Economics, *Innsbruck (Austria), PRE-PRINTS*, Volume 4, pp 27-41.

Naik, V. C. (2004). Fuzzy C-means clustering approach to design a warehouse layout.

Onut, S. Tuzkaya, U. & Dogac, B. (2008). A Particle swarm optimization for the multiple- level warehouse layout design problem. *Computer and Industrial engineering, 54*(4), 783-799.

Park, C. & Junyong, S. (2010). Comparing heuristic algorithms of the planar storage location assignment problem. *Transportation Research Part E*, 171-185.

Pisinger, David. (1998). A tree search heuristic for the container loading problem. Ricerca operativa, No: 28.

Pang, K. W., & Chan, H. L. (2017). Data mining-based algorithm for storage location assignment in a randomised warehouse. *International Journal*

of Production Research, 55(14), 4035-4052.

Rouwenhorst, B. Reuter, B. Stockrahm, V. van Houtum, G. Mantel, R. & Zijm, W. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515-533.

Rosenwein, M. B. (1994), "An application of cluster-analysis to the problem of locating items within a warehouse", *IIE transactions*. 26, pp 101-103.

Sadiq, M. (1993). *A hybrid clustering algorithm for reconfiguration of dynamic order picking systems. (PhD Dissertation).* University of Arkansas.

Shah, P. (1988), *"Decision problems in mini-load automatic warehousing systems",* Ph.D. Dissertation, Purdue University.

Sharma, S., & Shah, B. (2015). A proposed hybrid storage assignment framework: a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 64(6), 870-892.

Sharma, A., Sharma, A & Jalal, A. (2017). Clustering based hybrid approach for facility location problem.*Management Science Letters*, 7(12), 577-584.

Van den Berg, J. & Zijm, W. (1999). Models for waehouse management: classification and examples. *Int.J.production Economics*, 519-528.

Vrysagotis, V. & Kontis, P. (2011). Warehouse layout problems: Types of problems and solution algorithms. *Journal of Computations & Modelling*, 131-152.

Xiao, J. & Zheng, L. (2010). A Correlated storage assignment to minimize zone visits for BOM picking. *International journal of advanced manufacturing technology*.

YANG, L. & FENG, Y. (2006). Fuzzy Multi-Level Warehouse Layout Problem: New Model and Algorithm. *J Syst Sci Syst Eng*, 493-503.

Yan, B., Yan, C., Long, F., & Tan, X. C. (2018). Multi-objective optimization of electronic product goods location assignment in stereoscopic warehouse based on adaptive genetic algorithm. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(6), 1273-1285.https://doi.org/10.1007/s10845-015-1177-7.

Yang, C. L., & Nguyen, T. P. Q. (2016). Constrained clustering method for class-based storage location assignment in warehouse. *Industrial Management & Data Systems*, *116*(4), 667-689.

Zhang, G. & Lai, K. (2009). Tabu search approaches for the multi-level warehouse layout problem with adjacency constraints. *Engineering Optimization*, 775-790.

References [In Persian]

Azar, A. and Khadivar, A. (2013). *The application of multivariate statistical analysis in management.* Negah Danesh Publications. [In Persian]

Ahmadi, A. and Akbari Jokar, M. (2012). *An improved nonlinear programming model for facility layout problems with unequal areas. 10th International Industrial Engineering Conference*. Tehran: University of Tehran. [In Persian]

Akhundi, A; Farghani, A; Khaqazar Bafroi, M. (1387). *Warehouse design (installation of equipment, goods, means of transportation).* Jihad University Press, Tehran, pp. 213-240. [In Persian]

Pooya, A., & Kermanshahian, Y. (2012). Using the Group Technology and a Heuristic Algorithm for Storage Location Assignment Problem. *Journal of Industrial Management Perspective*, *2*(Issue 2, Summer 2012), 109-128. [In Persian]

Habibpour, K., Safari R. (1390). *A comprehensive guide to the use of spss in quantitative data analysis survey research*; The fourth edition of Loya Publications. [In Persian]

Khalili, S. and Lotfi, M. (2012). *Determining the optimal warehouse capacity by analyzing warehouse construction costs with the help of queue models. 10th International Industrial Engineering Conference.* Tehran: University of Tehran. [In Persian]

Daneshwar Kakhki, M.; Nasiri Khoonsari, M.; Mozafari, D. and Nejati,V. (1385). *The appropriate pattern of arranging items in a Kanban warehouse, a case study of Iran Khodro Company*. The second logistics and supply chain conference. [In Persian]

Abdullahi, P. and Hosseininsab, H. (2012). *Choosing the best arrangement of facilities using the combined method of GRA, NLP. 10th International Industrial Engineering Conference*. Tehran: University of Tehran. [In Persian]

Kazemi, M. and Bazarafshan, S. (2012). *Solving the problem of arranging facilities with unequal areas using genetic algorithm. 10th International Industrial Engineering Conference*. Tehran: University of Tehran. [In Persian]

Kalantari, K. (1390). *Data processing and analysis in socio -economic research.*Tehran: Tehran University Press. [In Persian]

Naibi, A.H.; Akhwan Masuleh, S; Sharifi, M. (1387). *Application of Hierarchical Analysis Method in Choosing the Appropriate Pattern of Arrangement of Items in the Warehouse Case Study in Iran Khodro*

Company 16 Warehouse, 6th International Industrial Engineering Conference, Tehran, Iran Industrial Engineering Association, Sharif University of Technology. [In Persian]

استناد به این مقاله: مهاجر باجگیران، مرتضی.، پویا، علیرضا.، ناجی عظیمی، زهرا.، فدائی، سمیه. (۱۴۰۱). طراحی مدلی تلفیقی برای خوشه‌بندی اقلام انبار و تخصیص آن‌ها به محل انبارش، *فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی*، ۲۰(۶۶)، ۱۵۳-۱۹۵.

DOI: 10.22054/jims.2019.41124.2299

Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.