

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.

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.
- زهرناجی 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 به صورت بهینه توانسته است رویکردی جامع را در خوشه‌بندی و تخصیص اقلام ارائه دهد و مدیران شرکت‌ها می‌توانند از این مدل برای کاهش

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 شبیه‌سازی شده 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^۱ و زیجم^۲، 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. در واقع هزینه جمع‌آوری و برداشت اقلام یکی از اجزای اصلی هزینه‌بر در عملیات انبار است (راونهرست^۳ 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 مورد مطالعه 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 مورد مطالعه و گروه‌بندی اقلام انبار، (۲) ارائه مدلی جهت بهبود چیدمان گروه اقلام با در نظر گرفتن معیارها، پارامترها و محدودیت‌های

۱. Van den Berg

۲. Zijm

۳. Rouwenhorst

شناسایی شده، دنبال می‌شود. این تحقیق در ادامه پژوهش پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱) 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 به دست آمده هر خوشه بر اساس همان معیارها عمل تخصیص را انجام داده‌اند. درحالی که معیارهای تأثیرگذار بر تخصیص شناسایی نشده است. در این تحقیق ابتدا داده‌های به دست آمده از تحقیق پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱) مجدداً مورد بررسی 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 با اهمیتشان از لحاظ حجمی که برای انبارش نیاز دارند و میزان تیراژ آن‌ها به سه دسته A، B و C تقسیم و سپس اقلام گروه A به منظور 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 گرفته شده از تحقیق پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱) می‌باشند که علاوه بر خوشه‌بندی، در تخصیص و چیدمان نیز اهمیت بالایی دارند. مسئله مورد نظر تحت عنوان مسئله تخصیص

محل‌های انبارش به اقلام انبار^۱ (SLAP) شناخته می‌شود. مسئله SLAP شامل تخصیص اقلام ورودی به محل‌های انبارش باهدف کاهش هزینه‌های سیستم حمل‌ونقل و بهبود استفاده مؤثر از فضای انبار است. انبارهای مختلف بر اساس معیارهای مختلفی مانند مشخصات انبار و واحدهای قابل انبارش و همچنین فناوری انبارش، از خط‌مشی‌های مختلفی از مسئله SLAP استفاده می‌کنند (هان، ۲۰۰۳). ابتدا مدل مسئله SLAP به شکل یک مسئله ILP^۲ 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 مورد مطالعه 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 روش شناسی تحقیق و روش خوشه‌بندی کامینز به صورت اجمالی معرفی تشریح شده است در بخش چهارم نتایج حاصل از اجرای مدل در مورد مطالعه 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 انتخاب شده است.

۱. Storage Location Assignment Problem

۲. Integer linear programing

هراگو^۱ و دیگران (۲۰۰۵) انبار را به منظور دو عملکرد اساسی آن ذخیره‌سازی، حفاظت از محصولات و ارائه خدمات ارزش افزوده، به چندین ناحیه عملکردی تقسیم نموده و سپس مسائل تعیین اندازه ناحیه عملکردی و تخصیص محصول به این محل‌ها را به صورت هم‌زمان در قالب یک مدل ریاضی و الگوریتم ابتکاری ارائه کردند. هدف آن‌ها حداقل‌سازی هزینه‌های انبارداری و جابجایی سالانه بود. یانگ^۲ و فنگ^۳ (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 حداقل‌سازی ساختن هزینه حمل‌ونقل کلی مدل برنامه‌نویسی محدود شده به شانس آن‌ها توسط الگوریتم جستجوی ممنوعه^۴ مبتنی بر شبیه‌سازی فازی طراحی و حل شده است. دانشور کاخکی و دیگران (۱۳۸۵) در مطالعه 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^۵ و دیگران (۲۰۰۷) به بررسی پیشینه مسائل عملیات انبارداری، با تأکید بر ویژگی‌های مدل‌های مختلف و الگوریتم‌های ارائه شده، 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^۶ و دیگران (۲۰۰۸) به‌منظور طراحی پیکربندی قفسه انبار چند سطحی به‌نحوی که هزینه‌های حمل سالانه حداقل گردد مدل ریاضی ارائه کردند و سپس مدل مذکور را توسط الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات حل کردند. کیم^۷ (۲۰۰۹) یک روش ابتکاری تکرارشونده برای حل هم‌زمان و سیستماتیک هر

۱. Heragu

۲. YANG

۳. FENG

۴. Tabu search

۵. Gu

۶. Onut

۷. Kim

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^۱ COI برای حل مسئله گروه‌بندی و تخصیص به فضای انبارش و از مدل بسته‌بندی^۲ برای تخصیص محصولات به کارتن‌ها استفاده شده است. ژانگ^۳ و لایی (۲۰۰۹) مسئله چیدمان انبار چند سطحی با محدودیت‌های مجاورت را بررسی کردند، به منظور فرموله کردن 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 ارائه شده می‌توانند هزینه جابجایی را به صورت قابل توجهی کاهش دهند. ژائو^۴ و ژانگ لی^۵ (۲۰۱۰) گروه‌بندی اقلام انباری ناحیه‌بندی شده مواد اولیه تولید را باهدف حداقل کردن ناحیه‌های مورد بازیابی 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^۶ با مکانیزم‌های متقاطع مختلف^۷ برای گروه‌بندی و حل مسئله تحقیق ارائه شده است. نتایج نشان از عملکرد بهتر الگوریتم ژنتیک طراحی شده با دو نقطه متقاطع، می‌باشند. پارک^۸ 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

-
۱. Cube-per-order index
 ۲. Bin-Packing
 ۳. Zhang
 ۴. Xiao
 ۵. Zheng Li
 ۶. Hybrid genetic algorithms
 ۷. Different crossover mechanisms
 ۸. Park

ابتکاری PSLAP پویا بهتر از روش‌های حل دیگر است. ریساگوتیس^۱ و کونتیس^۲ (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^۳ و دیگران (۲۰۱۲) به بررسی استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی تخصیص اقلام در انبار باهدف نهایی 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^۴ و دیگران (۲۰۱۲) در مطالعه 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 گروه‌بندی شده سپس به‌منظور حل مسئله تخصیص اقلام به محل‌های انبارش، انواع روش‌های تخصیص آزمایش شده‌اند. با اجرای مدل ارائه‌شده در یک مطالعه 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 تجزیه و تحلیل 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، حمل و نقل و فعالیت‌های بارگیری را مورد بررسی قرار دادند. اهداف دیگر مانند بهینه‌سازی فضای

۱. Vrysagotis

۲. Kontis

۳. Bottani

۴. Chuang

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 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^۱ 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 مطالعه خود الگوریتم مبتنی بر داده‌کاوی برای تعیین محل ذخیره‌سازی اقلام تکه‌ای در یک انبار به‌صورت تصادفی به‌وسیله استخراج و تجزیه و تحلیل روابط ارتباطی 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

۱. Synchronized Zoning System

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 محموله 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^۱ و ردوسولجویک^۲ (۲۰۱۸) پژوهشی باهدف تأکید بر اهمیت پیاده‌سازی سیستم مدیریت انبار برای بهبود فرآیند برداشت سفارشی، به‌عنوان فعالیت انبار انجام دادند. نویسندگان مقاله تجزیه و تحلیل 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. تجزیه و تحلیل مطالعه آن‌ها نشان داد که به دلیل استفاده از خوشه‌بندی، فاصله متوسط بین تسهیلات و مشتری به‌طور قابل توجهی 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^۳ پرداخت. مسئله موردبررسی شامل تخصیص اقلام به سلول‌ها و سطوح باهدف کم کردن هزینه حمل‌ونقل می‌باشد. عملکرد الگوریتم مورد استفاده را با

۱. Anđelković

۲. Radosavljević

۳. Worm Optimization Algorithm

الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی کلونی مورچه و راه‌حل دقیق برای مسائل کوچک مقایسه نمود. نتایج مطالعه او نشان داد که الگوریتم مورد استفاده 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 مورد بررسی 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 مورد بررسی می‌باشد. احمدی و اکبری جوکار (۱۳۹۲) در مقاله خود با عنوان یک مدل 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 به صورت 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 به دست آمده 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 حسینی نسب (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 با توجه به تعداد ورق پیش‌بینی شده 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 (روزنوا، 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 اشاره شده، 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 از جمله: (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 اختصاص یافته است. درحالی‌که تحقیق حاضر با

طراحی مدلی تلفیقی برای خوشه‌بندی اقلام انبار و تخصیص...؛ مهاجر باجگیران و همکاران | ۱۶۷

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 به صورت 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 پرداخته شده و اکثر مقالات پیرامون مکان‌یابی محل انبار می‌باشند تا این که به طور خاص به چیدمان اقلام در آن بپردازند.

جدول ۱. خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده

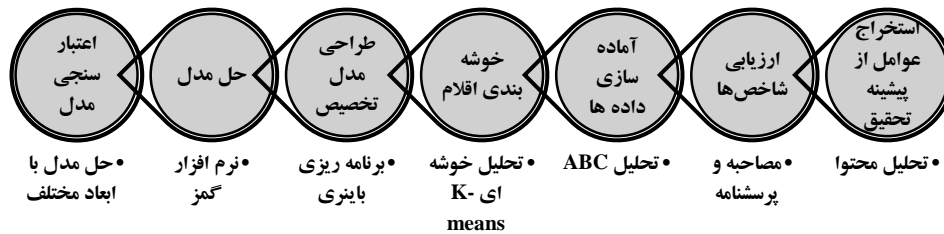
ردیف	سال	نام نویسندگان	عنوان	عوامل در نظر گرفته شده جهت خوشه‌بندی کالا و تخصیص	تکنیک حل مسئله تخصیص اقلام به انبار
۱	۲۰۰۶	یانگ و فنگ	مسئله چیدمان انبار چند سطحی فازی، یک مدل و الگوریتم جدید	تقاضای ماهانه، نوع کالا و فاصله افقی فازی	مدل ریاضی و حل آن با الگوریتم جستجوی ممنوعه
۲	۲۰۰۷	گوی و دیگران	بررسی پیشینه 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 تکرار شونده برای حل هم‌زمان دو مسئله
۵	۲۰۰۹	ژانگ و لایی	رویکردهای جستجوی ممنوعه برای مسائل	میزان جابجایی عمودی و افقی کالا	مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح و ارائه سه

ردیف	سال	نام نویسندگان	عنوان	عوامل در نظر گرفته شده جهت خوشه بندی کالا و تخصیص	تکنیک حل مسئله تخصیص اقلام به انبار
			چیدمان انبار چند سطحی با محدودیت های مجاورت		رویکرد از الگوریتم جستجوی ممنوعه
۶	۲۰۱۰	ژائو و ژنگ لی	تخصیص ذخیره سازی 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 هم زمان دو مسئله
۷	۲۰۱۰	پارک و جانیونگ	مقایسه الگوریتم های ابتکاری از مسئله تخصیص محل های انبارش به اقلام انبار دوسطحی		مدل برنامه ریزی ریاضی و حل آن توسط دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSLAP ابتکاری پویا
۸	۲۰۱۲	بوتانی و دیگران	بهبود سازی تخصیص انبارش در عملیات آماده سازی سفارش از طریق الگوریتم ژنتیک	جابجایی و سفر	الگوریتم ژنتیک
۹	۲۰۱۲	چانگ و دیگران	مدل تخصیص خوشه ای 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 به کارگیری الگوریتم ابتکاری	حجم کالا، نیاز به دسترسی سریع، سطح تقاضا، میانگین میزان مراجعه به کالا، تشابه در سفارش، زمان دریافت و ذخیره سازی، زمان بازایی و ارسال و ...	تخصیص گروه ها بر اساس الگوریتم ابتکاری
۱۱	۲۰۱۴	احمدی و	یک مدل برنامه ریزی	---	استفاده از دو مدل

ردیف	سال	نام نویسندگان	عنوان	عوامل در نظر گرفته شده جهت خوشه‌بندی کالا و تخصیص	تکنیک حل مسئله تخصیص اقلام به انبار
	(۱۳۹۲)	اکبری جوکار	غیرخطی بهبودیافته برای مسائل چیدمان تسهیلات با مساحت‌های نابرابر		برنامه‌ریزی غیرخطی
۱۲	۲۰۱۴ (۱۳۹۲)	عبداللهی و حسینی نسب	انتخاب بهترین چیدمان تسهیلات با استفاده از روش تلفیقی GRA، NLP	---	توسعه و حل یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی
۱۳	۲۰۱۴ (۱۳۹۲)	خلیلی و لطفی	تعیین ظرفیت بهینه انبار با تحلیل هزینه‌های ساخت انبار به کمک مدل‌های صف	---	استفاده از مدل‌های 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. به گونه‌ای که پیام‌ها در متن همان شاخص‌ها بوده‌اند که بر مبنای فراوانی (تکرار) آن در متون مختلف احصا و مبنای تعدیل توسط متخصصان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در تحقیق حاضر، در گام اول تمامی شاخص‌های تأثیرگذار در خوشه‌بندی اقلام انبار مطابق جدول ۲ شناسایی شده است.

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

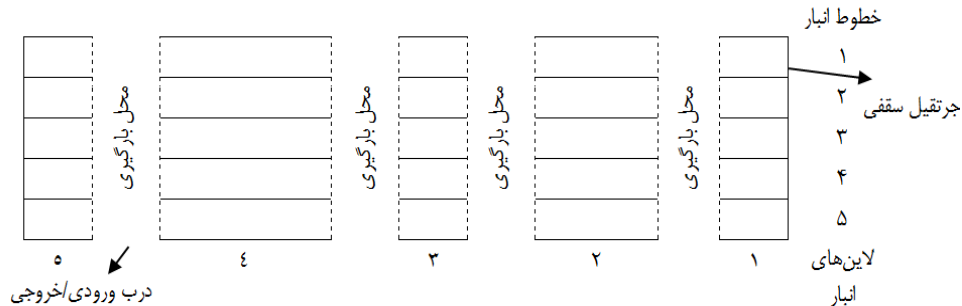
ردیف	نام شاخص	تعریف	منبع
۱	نیاز به دسترسی سریع	کالاهای اضطراری و سطح دسترسی بالا	آخوندی و همکاران (۱۳۸۷)، نایی و همکاران (۱۳۸۷)، جینشیانگ و همکاران (۲۰۰۷)
۲	سرعت پاسخ به تقاضا	زمان درخواست تا تحویل کالا به درخواست کننده	نایی و همکاران (۱۳۸۷)، ماتزینی و همکاران (۲۰۱۰)، صدیق (۱۹۹۳)، شاه (۱۹۹۸)، ژائو و 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	زمان بارگیری کالا در انبار	نایی و همکاران (۱۳۸۷)، گارفینکل

ردیف	نام شاخص	تعریف	منبع
	ذخیره‌سازی و دریافت		(۲۰۰۵)، هراگو و همکاران (۲۰۰۴)، پسینجر (۱۹۹۸)
۶	زمان بازیابی و ارسال	زمان جست‌وجو کالا پس از درخواست و ارسال آن	دانشور کاخکی و همکاران (۱۳۸۵)، شهر روز (۱۳۸۱)، گارفینکل (۲۰۰۵)، هراگو و همکاران (۲۰۰۴)، پسینجر (۱۹۹۸)
۷	حامل مشترک	حمل‌کننده مشترک برای کالا	نایی و همکاران (۱۳۸۷)، دانشور کاخکی 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 (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 مورد نیاز 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	نایی و همکاران (۱۳۸۷)، فراهانی و همکاران (۲۰۱۰)
۱۵	احتمال اشتباه در عملیات	نسبت تعداد اشتباه کالا در عملیات انبارداری به تعداد عملیات	نایی و همکاران (۱۳۸۷)

ردیف	نام شاخص	تعریف	منبع
	انبارداری	انبارداری کالا در یک بازه زمانی مشخص	
۱۶	شرایط ایمنی کارکنان	ایمنی کارکنان در ارتباط با عملیات انبارداری کالا	آخوندی و همکاران (۱۳۸۷)، نایی و همکاران (۱۳۸۷)، فراهانی و همکاران (۲۰۱۰)

مورد مطالعه

مورد مطالعه تحقیق حاضر کارخانه خانه‌سازی است و برای اعتبارسنجی مدل از کارخانه خانه‌سازی مشهد به عنوان پایلوت تست مدل استفاده شد. از محصولات کارخانه خانه‌سازی مشهد می‌توان دیوارهای حصار، بلوک‌های بتنی، دیوارهای نیوجرسی و سقف‌های بتنی را نام برد. انبار فرآورده‌های مورد بررسی، 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 تقسیم شده است. هر خط انبار مجهز به یک جرثقیل سقفی که کل خط را برای بارگیری و حمل محصولات پوشش می‌دهد و تجهیزات دیگر جهت دپو کردن، بارگیری و حمل قطعات جهت ارسال به نقاط مورد نظر 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 مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی هیراگو و دیگران (۲۰۰۴)، فواصل میان ابتدا و انتهای ورودی و خروجی انبار، به عنوان «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 در زمینه مورد بحث استفاده شد. در واقع 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 با سابقه‌ای بیش از ۱۰ سال هستند و به صورت تنوری 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 طبقه 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)، به دست آمده 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 به دست آمده است.

در این تحقیق ابتدا شاخص‌های تأثیرگذار در خوشه‌بندی اقلام انبار، برگرفته از تحقیق پویا و کرمانشاهیان (۱۳۹۱) مورد بررسی 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 هر کدام از آن‌ها را شناسایی نمود. پرسش‌نامه طراحی شده، 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 به‌دست آمده 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 به‌دست آمده 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 بازبایی و ارسال	مستقیم	۷	۰٫۷۸
۷	حامل مشترک	ندارد	-	-
۸	سطح فعالیت محصول	مستقیم	۷	۰٫۷۸

ردیف	شاخص	ارتباط	میانگین نظرات	میزان اهمیت نورمالایز شده
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 پیدا کردن خوشه‌های واقعی مورد استفاده 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 سلسله مراتبی، خوشه‌بندی با افزایش 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 خدیوور؛ ۱۳۹۳).

- ۱- اشیاء را به k خوشه اولیه افزایش 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.

به منظور تعیین مناسب‌ترین تعداد خوشه‌های کالا، تحقیقات گذشته‌مطلبی ارائه نموده‌اند، لئو (۱۹۹۹) نتایج تحقیق خود را برای تعداد گروه‌های مختلف مورد بررسی قراردادده 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 به دست آمده است. به عبارتی دیگر برای مشخص ساختن تعداد خوشه‌ها، ۱۵۴ قلم کالا در ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ دسته، خوشه‌بندی شدند و در نهایت 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 به صورت 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 در نهایت با توجه به نتایج این تحلیل‌ها، تعداد ۲۰ خوشه مورد پذیرش 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 مورد نظر 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 از نظر این عامل در مرتبه دوم در بین خوشه‌ها قرار دارد. خوشه دوم محصول سقف را شامل می‌شود. از نظر 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 از نظر 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 قرار گرفته‌اند. گروه چهاردهم با انواع تیر حمل 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 از نظر 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 از نظر میانگین مدت ذخیره برای بازیابی داری کمترین نمره در بین کلیه خوشه‌ها است. محصولات گروه نوزدهم از نظر حجم کالا در رتبه سوم قرار دارند. گروه بیستم نیز از نظر سطح فعالیت محصول و سطح تقاضا در رتبه دوم قرار گرفته‌اند.

جدول ۴. مراکز گروه‌های نهایی، مقادیر هر گروه و تحلیل واریانس

میانگین هر گروه	شرایط ایمنی کارکنان	احتمال اشتباه در عملیات انبارداری	استفاده مؤثر از تجهیزات	میانگین مدت ذخیره برای بازیابی	تعداد دفعات بازیابی	تعداد دفعات ذخیره‌سازی	حداکثر احتیاجات انبار	سطح فعالیت محصول	زمان بازیابی و ارسال	زمان ذخیره‌سازی و دریافت	تشابه در مصرف	میانگین میزان مراجعه به اقسام	سطح تقاضا	نیاز به دسترسی سریع	حجم کالا	عوامل تأثیرگذار بر خوشه‌بندی و چیدمان
2.07	3	1/7	0.83	2.67	1.89	1	1/73	3/11	1.87	1.56	2.17	2	2.67	2.8	2	1
2.82	3	1/7	2/5	2	3/21	1/3	2/75	3/27	1.56	2/33	2.89	3/5	4.44	4/8	3	2
2.58	3	1/7	1.67	2.67	3/3	2/2	3/39	1.4	3.03	3.58	2.67	2.17	1.96	1/2	4/7	3
2.23	3	0.94	2.5	3.33	4.25	2	2.89	1.56	1/17	2.33	2.89	0.83	1.78	2	2	4
2.03	4	0.94	1.67	3.33	3.78	1.5	2.17	2.33	3/11	3/11	0.72	0.83	0.89	1	1	5
2.07	3/83	1.57	2.64	2.5	2.36	1/17	3/25	1.43	2.46	1/3	2.89	0.83	1.93	1/17	1.67	6
2.22	3	1.22	1.67	3.33	2.55	1.6	3/39	1.79	2.56	2.64	2.6	2.25	2.05	1/3	1/3	7
2.65	3	1.57	2.78	2.22	4.41	2.17	2.41	2.59	2.85	3/11	1.44	2.22	2.67	2.67	3.67	8
1.92	3	2.83	3/27	1.93	1.89	1/19	1/33	2.51	0.78	0.78	1.44	2.05	1.78	3	1	9
2.51	3	1.54	2.58	2.42	3.78	1.59	3/35	0.99	3.46	3/11	2.56	1/36	2.67	2	3/27	10
2.04	4	1.68	2.78	2.82	2.46	1.39	2.57	2.42	0.78	1.04	1.16	2.5	1.78	2	1/28	11
2.44	3.8	0.94	2.67	1.84	3.4	1/4	2.46	3/11	1/71	2.02	2/31	3	2.67	2.8	2.4	12

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

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 به گونه‌ای که هزینه‌ها کاهش یابد. پس از بررسی پیشینه تحقیقات انجام گرفته 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 بُعد خوشه اقلام و محل انبارش است که بعد اول، کلیه اقلام گروه A (شامل پنج خوشه اقلام پرمصرف و ۲۰ خوشه اقلام به دست آمده از خوشه بندی) 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 محل های انبارش می باشد که کل فضای انبار به مساحت های واحد تقسیم بندی شده و شامل ۳۶۰ محل انبارش با مساحت های برابر است که در مدل در نظر گرفته شده است.

مدل مسئله، مدلی تعمیم یافته از مدل تخصیص خواهد بود که به صورت گام به گام پارامترها، تابع هدف، متغیرهای مدل و محدودیت های آن تشریح خواهد شد.

مفروضات مسئله

- ۱ - فضای انبار به صورت مسطح و فاقد طبقات می باشد.
- ۲ - جهت جابجایی اقلام از جرثقیل ریلی استفاده می شود که هر جرثقیل، اقلام یک لاین از انبار را پوشش می دهد.
- ۳ - امکان تغییر چیدمان بر اساس چیدمان بهبود یافته حاصل از حل مسئله وجود دارد.
- ۴ - مساحت انبارش را می توان برحسب سلول های دارای مساحت یکسان با توجه به مساحت خوشه های اقلام محاسبه و بیان کرد.
- ۵ - با توجه به احتمال خرابی هر کدام از جرثقیل ها باید فضایی برای اقلام پرمصرف در هر لاین منظور گردد.

اندیس ها

جدول ۵. تعریف اندیس های مدل پیشنهادی

اندیس	تعریف
$Hh_1, h_2, h_3, \dots, h_{26}$	مجموعه خوشه های اقلام
$H': H' \subset H$	زیرمجموعه ای از مجموعه H و شامل خوشه های پرمصرف
$R: \{(r, s) r, s \in H, \}$	r و s نمی توانند در کنار هم باشند
$I: \{i_1, i_2\}$	مجموعه ستون های انبار مورد مطالعه که هر دو ستون تشکیل یک لاین را می دهد

اندیس	تعریف
$J: \{j_1, j_2, j_3, \dots, j_{36}\}$	مجموعه ردیف‌های انبار مورد مطالعه
$K: \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5\}$	مجموعه جرثقیل‌های انبار مورد مطالعه که در هر لاین انبار قرار گرفته‌اند
$K_H': \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5\}$	مجموعه (تک‌عضوی) شامل جرثقیل قابل اختصاص به خوشه $h' \in H'$

پارامترهای مدل

جدول ۶. پارامترهای مدل پیشنهادی

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

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

$$\text{Min } Z = \sum_h \frac{F_h \times W_h}{A_h} \left(\sum_k \sum_i \sum_j C d_{ijk} X_{hijk} \right) \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k X_{hijk} = A_h, \forall h \in H \quad (2)$$

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

$$\sum_i^h \sum_j X_{h'ijk} = A_h; \forall h' \in H', \forall k \in K_{h'} \quad (۴)$$

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

شرح محدودیت‌ها و تابع هدف مدل

معادله (۱): مدل مسئله تخصیص است که باهدف مینیمم کردن مسافت حمل‌ونقل طی شده توسط جرثقیل در برداشتن 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 (۳،۴،۲۳) Windows x86/MS VS8 17710.17719 (WIN) 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، مدت زمان 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 مورد نظر تخصیص یافته 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		۴		۵	
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
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										

k	۱		۲		۳		۴		۵	
i \ j	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
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
35	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶
36	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶

اعتبارسنجی مدل

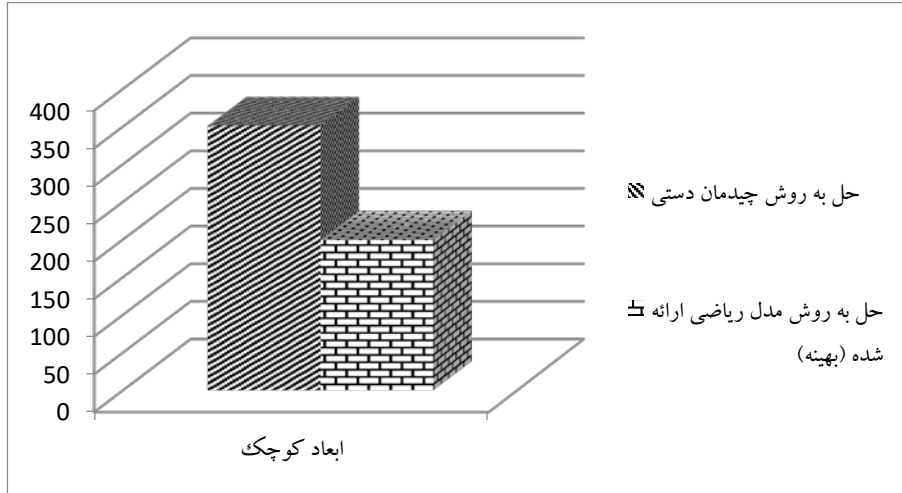
جهت اعتبارسنجی مدل‌های تحقیق در عملیات بهترین راه تست عملکرد آن‌ها در واقعیت است، اما اکثر مواقع شبیه‌سازی حالت واقعی بسیار مشکل بوده و محقق مجبور به اضافه کردن محدودیت‌ها و فرض‌هایی می‌شود که شبیه‌سازی مدل خود را به واقعیت نزدیک کند. با توجه به این موضوع که اقلام انبار کارخانه خانه‌سازی نشده‌اند؛ به همین منظور جهت تست مدل، مسئله در ابعاد کوچک‌تر حل شد و پس از آن از سرپرست انبار (خبره) خواسته شد تا خوشه‌های اقلام را به صورت 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.

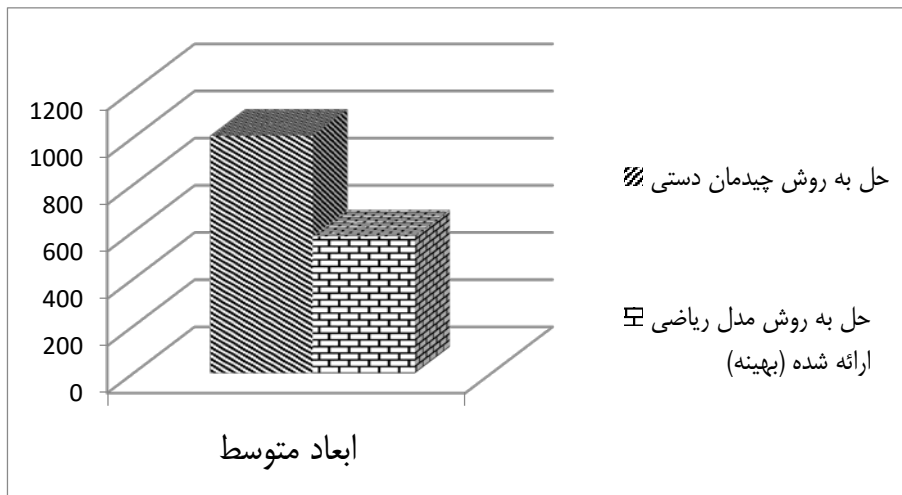
ابتدا با توجه به پارامترهای واقعی و محدودیت‌های مسئله اصلی دو مسئله کوچک‌تر یکی در ابعاد متوسط و دیگری در ابعاد کوچک طراحی گردید. سپس در دو حالت چیدمان اقلام صورت گرفت. حالت اول چیدمان به صورت دستی بود که مسئله طراحی شده در ابعاد کوچک و متوسط در اختیار سرپرست انبار کارخانه خانه‌سازی قرار گرفت و سپس از 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)

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



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 به صورت دستی چیدمان نموده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به موارد ذکر شده 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 در حالی که 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 در نهایت 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 (روزنوا، 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 اشاره شده، جامعیت آن در لحاظ کردن عوامل مؤثر در خوشه‌بندی و تخصیص کالاها می‌باشد.

تحقیقات گذشته از جمله: (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 کالاها هم‌خانواده، تخصیص این کالاها و دسته‌ها را به محل‌های انبارش بر اساس یک الگوریتم ابتکاری انجام داده‌اند همچنین تحقیقات دیگر از جمله: (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 ارائه شده آن برگرفته از محدودیت‌ها و شاخص‌های مؤثر می‌باشد و از الگوریتمی بهینه جهت تخصیص خوشه‌های اقلام به محل‌های انبارش استفاده شده 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 مورد مطالعه (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 مورد مطالعه ارائه نماید. همان‌طور که توضیح داده شد، تحقیقات گذشته به چند دسته تقسیم شده‌اند، عده‌ای که از تحلیل خوشه‌ای استفاده کرده و تخصیص را به صورت 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 تعمیم یافته و فرموله کردن شرایط واقعی مسئله و حل آن به صورت بهینه توانسته است رویکردی جامع را در خوشه‌بندی و تخصیص اقلام ارائه دهد.

گروه‌بندی کالاها با استفاده از نتایج حاصل شده از تحلیل خوشه‌ای؛ با توجه به این که معیارهای تحلیل خوشه‌ای برگرفته از نظر خبرگان و تحقیقات پیشین می‌باشد و سپس با توجه به اسناد کارخانه و نظر خبرگان اقلام انبار وزن‌دهی شدند، گروه‌بندی به دست آمده 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 درخواست شده و تحویل به موقع آن صورت گیرد. با توجه به این موضوع که در این تحقیق با استفاده از حداکثر موجودی هر کالا، مساحت هر خوشه

به دست آمده است و همچنین ضریب اطمینانی نیز برای مساحت هر خوشه در نظر گرفته شده و سپس تخصیص صورت گرفته است لذا فضای کافی در صورت اضافه شدن موجودی در نظر گرفته شده است. تنها در صورت اضافه شدن محصول جدید به محصولات کارخانه به مدیران پیشنهاد می‌شود در ابتدا مجدداً تحلیل خوشه‌ای صورت گرفته تا مشخص شود کالای اضافه شده متعلق به کدام گروه می‌باشد و در صورتی که مساحت آن دسته بیش از مساحت در نظر گرفته شده 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 جرتفیل‌ها به صورت دقیق محاسبه نشده است. همچنین با توجه به اینکه در مقادیر عوامل برای هر کالا به مرور زمان تغییر رخ خواهد داد، می‌بایست به صورت 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 دست یافت. 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، به طور چشم‌گیری هزینه‌های انبارداری کاهش خواهد یافت. چگونگی چیدمان کالاها در هر گروه نیز می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی 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 مورد بررسی 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 مورد نظر بهبود ایجاد کنند. همچنین در تحقیق حاضر طبقه‌بندی ABC به‌عنوان پیش‌نیاز کار بوده و خوشه‌بندی فقط در اقلام با اهمیت انجام شد. از این رو به محققان پیشنهاد می‌شود در هر خوشه هم ABC انجام دهند تا در مدل تخصیص اقلام با اهمیت‌تر در نتیجه طبقه‌بندی ABC به فضاها تخصیص یابد.

ORCID

Morteza Mohajer

Bajgiran


Alireza Pooya


Zahra Naji Azimi

Somayeh Fadaei

 <https://orcid.org/0000-0003-3904-0539>

 <https://orcid.org/0000-0001-6000-3535>

 <https://orcid.org/0000-0003-1583-7244>

 <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 بفرولی، 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 *NLP, GRA*. 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.
- نایی، 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 ۰۱۶ شرکت ایران خودرو، 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.
- Andelković, 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 warehouse 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.

