Archive of SID

Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 11, Serial Number 43, Autumn 2021, Pages 269-295 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.11.3.269

A Hybrid Data-Mining Algorithm and Data-Driven Supply Chain Modeling for Allocation Goods to Warehouses and Warehouse Service to Customers

Sadra Ahmadi[*], Reza Yousefpour[**]

Abstract

In this research, the issue of product allocation in a situation that there are a large number customers and goods are various, is investigated. Expanding the level of Internet access and increasing the desire of online shopping, raise the number of customers. In a situation where there is a great variety of goods and a large number of customers, it is difficult to solve issues such as on-time delivery of goods or services, selection and ordering in decentralized warehouses, and the issue of warehouse allocation to customers. To solve these challenges, the use of mathematical modeling with meta-heuristic solution methods has been proposed so far, but due to the large number of allocation modes, solving mathematical models is very complex and it takes time. With the improvement of computing power and storage space, data-driven methods have been studied by researchers to solve these challenges. In this study, a hybrid data-driven solution that uses data mining and mathematical modeling to manage the variety of goods and the number of customers has been proposed, that manages the variety of goods and the number of customers, and can solve mathematical models in less time. This method has been implemented on the data of "DigiKala".

Keywords: Supply Chain; Warehouse Location; Data Mining; Warehouse Allocation; Clustering.

Received: May. 03, 2021; Accepted: Jun. 26, 2021.
* Assistant Professor, Shahid Beheshti University (Corresponsing Author).
Email: sa_ahmadi@sbu.ac.ir
** Master Student, Shahid Beheshti University.

www.SID.ir

Archive of SID

چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
سال یازدهم، شماره ۴۳، پاییز ۱۴۰۰، ص‌ص ۲۶۹ – ۲۹۵ (**نوع مقاله: پژوهشی**)
DOI: 10.52547/JIMP.11.3.269

الگوریتم ترکیبی داده‌کاوی و مدل‌سازی زنجیره تأمین مبتنی بر داده برای تخصیص کالا به انبارها و خدمت‌دهی انبار به مشتریان

صدرا احمدی*، رضا یوسف‌پور**

چکیده

در این پژوهش، موضوع تخصیص کالا در شرایطی که تنوع کالا و تعداد مشتریان زیاد است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. گسترش سطح دسترسی به اینترنت و افزایش میل به خرید آنلاین، تعداد مشتریان را افزایش داده است. در شرایطی که تنوع کالا و تعداد مشتریان زیاد است، حل مسائلی مانند تحویل به موقع کالا یا خدمات، انتخاب و تعیین سفارش‌ها در انبارهای غیر متمرکز و موضوع تخصیص انبار به مشتریان دشوار است. برای حل این چالش‌ها، استفاده از مدل‌سازی ریاضی با روش‌های حل فراابتکاری پیشنهاد شده است. اما به دلیل تعداد زیاد حالت‌های تخصیص، حل مدل‌های ریاضی بسیار پیچیده و زمانبر است. با بهبود قدرت محاسباتی و فضای ذخیره سازی، روش‌های مبتنی بر داده برای حل این چالش‌ها توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق، یک راه‌حل ترکیبی مبتنی بر داده که از داده‌کاوی و مدل سازی‌ریاضی استفاده می‌کند، تا تنوع کالاها و تعداد مشتریان را مدیریت کند، پیشنهاد شده است که در زمان کمتری مدل‌های ریاضی تخصیص را با دقت بالا، حل می‌کند. این روش روی داده‌های «دیجی کالا» پیاده سازی شده است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین؛ مکان‌یابی انبار؛ داده‌کاوی؛ تخصیص انبار؛ خوشه‌بندی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵.

* استادیار، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول).

Email: sa_ahmadi@sbu.ac.ir

** دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

لجستیک به‌عنوان مجموعه‌ای از کارها مانند بسته‌بندی، انبارداری و توزیع کالا در طول فرایند حمل‌ونقل کالا از فروشنده به خریدار تعریف می‌شود [۱۱]. از گذشته تا به اکنون مسئله تخصیص بهینه کالا به انبارها و انبارها به مشتریان، یکی از اساسی‌ترین مسائل زنجیرهٔ تأمین بوده است. به‌طورکلی مفهوم مدیریت زنجیره تأمین پیرامون دیدگاه مشتری‌محور شرکت شکل می‌گیرد که تغییرات را در سراسر پیوندهای داخلی و خارجی یک شرکت ایجاد می‌کند [۲۱]. در بازار امروز، رضایت مشتری از محصول و خدمات برای کسب‌وکار حیاتی است. در میان عوامل کیفیت خدمات می‌توان به زمان تحویل اشاره کرد. تأخیر در تحویل خدمات یا کالاها ممکن است به ازدست‌رفتن سهم بازار منجر شود[۲۷]. با توجه به اولویت‌های به‌سرعت درحال‌تغییر مشتریان، سفارش‌های مشتریان به‌طور فزاینده‌ای دارای ویژگی‌های تنوع محصولی بالاتر، اندازه سفارش کوچک‌تر و زمان واکنش کوتاه‌تر شده است [۱۶]. از دیدگاه بازار جهانی، مهم نیست که محصول کجا تولید می‌شود، بلکه مهم این است که چقدر زمان و پول برای عملیات حمل‌ونقل و تدارکات هزینه می‌شود. هزینه‌های حمل‌ونقل اغلب بخش زیادی از کل هزینه‌های یک محصول، به‌ویژه برای محصولات با ارزش نسبتاً کوچک را شامل می‌شود[۳۰]. در صورت تأمین تقاضای مشتری توسط شرکت، زمان تحویل و هزینه‌های حمل‌ونقل به‌طور مستقیم با مکان انبارها و سیستم تخصیص کالاها در ارتباط است. از روش‌هایی که شرکت‌ها برای افزایش سرعت تحویل کالا به مشتریان در سطح وسیع جغرافیایی استفاده می‌کنند، استفاده از انبارهای غیرمتمرکز است. این انبارها هر یک به‌تنهایی می‌توانند به ارائه خدمت بپردازند و در خیلی از موارد نیازی به تأمین کالا یا خدمت از انبار مرکزی وجود ندارد.

به‌طورکلی تصمیمات طراحی شبکه شامل تعیین مکان تسهیلات، نقش و ظرفیت آن‌ها و تخصیص آن‌ها به منابع و بازارهای مختلف است. همه این موضوع‌ها، تأثیر بسزایی بر انعطاف‌پذیری، کارایی و در نتیجه عملکرد زنجیره تأمین دارند[۸]. در بازارهای رقابتی امروز، رضایت مشتری یک امر حیاتی برای کسب‌وکار است. از چالش‌های جدید در خصوص تأمین رضایت مشتری می‌توان به تحویل کالا یا خدمات در زمان مشخص و بدون تأخیر، مسیریابی وسایل حمل‌ونقل در تحویل سفارش مشتری، انتخاب و تخصیص سفارش در انبارهای متصل، مدل‌سازی و حل مدل‌های تخصیص در زمان مناسب برای انبارهای چندگانه و چندمحصولی و خوشه‌بندی سفارش‌ها و محصولات در چندین انبار اشاره کرد [۱; ۵; ۲۳; ۲۷; ۳۲-۳۴]. در سیستم حمل‌ونقل، یک انبار اغلب یک گلوگاه است که کل هزینه‌های تحویل را افزایش می‌دهد؛ درنتیجه اگر برنامه‌ریزی تخصیص محصول به‌صورت تصادفی انجام شود، ممکن است مسافت انتخاب محصولات با تقاضای بالاتر را افزایش دهد که به ازدست‌دادن زمان، افزایش تعداد کارمندان موردنیاز و افزایش استفاده از ابزارهای حمل‌ونقل منجر می‌شود [۱۹]. انتخاب

www.SID.ir

Archive of SID

محل انبار و تخصیص کالا به انبار یکی از چالش‌های کلیدی در توسعه یک سیستم زنجیره تأمین موفق است. درحالی‌که برخی از استراتژی‌های مؤثر برای انتخاب محل انبار توسط کارشناسان، بر اساس تجربه‌های آن‌ها شناسایی شده است، ظهور روش‌های جدید جمع‌آوری داده‌های زنجیره تأمین، الگوی جدیدی را برای انتخاب محل انبار ایجاد کرده است [۵]. مسئله انتخاب محل انبار یک موضوع پژوهشی نسبتاً قدیمی است که توسط پژوهشگران زنجیره تأمین موردمطالعه قرار گرفته است. پژوهش‌های قبلی شامل اجرای روش برنامه‌ریزی عدد صحیح با درنظرگرفتن اهداف بهینه‌سازی مختلف لجستیک بودند؛ اما در حال حاضر این مدل‌ها مقیاس خوبی برای شبکه‌های زنجیره تأمین بزرگ که شامل صدها سایت هستند و نیاز به برخی روش‌های اکتشافی و تقریبی دارند، نیستند. تاکنون استفاده از مدل‌سازی‌های ریاضی با روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری در شرایط قطعیت یا عدم‌قطعیت توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است؛ اما در حال حاضر چون تنوع کالاها و تعداد مشتریان و حالت‌های تخصیص زیاد است، حل مدل‌های ریاضی پیچیدگی زیادی دارد و زمان بسیار زیادی را نیز می‌طلبد؛ بنابراین برخی از پژوهشگران به استفاده از روش‌های مبتنی بر داده، به‌جای استفاده از مدل‌های ریاضی، متمایل شده‌اند. با رشد سریع پایگاه‌های داده در بسیاری از شرکت‌ها، داده‌کاوی به یک روش بسیار مهم برای تحلیل داده‌ها تبدیل شده است. این علاقه‌مندی به‌خاطر این واقعیت است که جمع‌آوری و ذخیره‌سازی داده‌ها آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر شده است؛ بنابراین پایگاه‌های اطلاعاتی در شرکت‌های مدرن امروزه اغلب گسترده هستند. پایگاه‌های کلان داده غالباً انبوهی از داده‌های مهم را دربردارند[۲۵]. با وجود سرعت و راحتی استفاده از روش‌های داده‌کاوی برای حل مسائل زنجیره تأمین، مشکل اساسی این روش‌ها این است که محدودیت‌های مسائل زنجیره تأمین را نمی‌توان به‌طور مستقیم در آن‌ها وارد کرد و این مسئله باعث می‌شود که تحلیل‌ها و خروجی‌های روش‌های داده‌کاوی در عمل مشکلات مسائل زنجیره تأمین و تخصیص را حل نکند. برای پاسخ به مسائل مربوط به تخصیص انبار به مشتریان در شرایطی که تنوع کالاها و تعداد مشتریان زیاد است، تحلیل‌های داده‌کاوی در خصوص سلایق مشتریان و سبد خرید آن‌ها با امر برنامه‌ریزی و تخصیص کالا به انبار برای تأمین نیاز مشتری با استفاده از مدل‌سازی‌های ریاضی ترکیب شد تا بتوان هم حجم و تنوع داده را در نظر گرفت و هم سرعت حل مدل‌های ریاضی را افزایش داد. در این صورت خروجی حاصل از الگوریتم و روش حل پیشنهادی، یکپارچگی در زنجیره تأمین از مرحله تخصیص کالا به انبار، انبارداری و چینش کالا در انبار، تخصیص انبار به مشتریان و تأمین نیازی مشتری از انبار را ایجاد می‌کند.

ازآنجاکه جنس مسائل تخصیص کالا به انبارهای غیرمتمرکز و چینش و تخصیص کالا در انبار تا حدی شبیه به هم هستند، در بخش دوم، روش‌های حل مسائل مکان‌یابی و تخصیص کالا به انبار و مشتریان به انبار بررسی می‌شود. هر دوی این مسائل برای پاسخگویی بهینه به

www.SID.ir

Archive of SID

تقاضای مشتریان در زمانی که تعداد کالاها و تعداد مشتریان افزایش زیادی داشته، بررسی شده است. در بخش سوم، الگوریتم مبتنی بر داده تخصیص کالا و مشتریان به انبارها با استفاده از روش ترکیبی داده‌کاوی و مدل‌سازی زنجیره تأمین شرح داده می‌شود. در بخش چهارم، نتایج و نکاتی در خصوص اجرای مدل بر روی داده‌های واقعی و مقایسه مدل با روش حل دقیق بر مبنای تراکنش‌های خرید «شرکت دیجی‌کالا»، به‌دلیل تنوع در تعداد کالاها و مشتریان، شرح داده خواهد شد. در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی و بینش مدیریتی که از اجرای الگوریتم و روش پیشنهادی حاصل می‌شود، توضیح داده می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

یکی از نخستین و اساسی‌ترین مراحل در برنامه‌ریزی برای ارائه خدمت یا محصول به متقاضیان، تعیین بهترین محل ارائه خدمت یا محصول است [۲۴]. متناسب با شرایط، مدل‌های مکان‌یابی بسیار متنوعی در این راستا توسط پژوهشگران ارائه شده است. پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه مکان‌یابی، گستردگی بسیار زیاد دارد و کاربردهای عملی بسیار وسیعی در زمینه‌های مختلف داشته است. از زمانی که مسئله وبر[1] در سال ۱۹۰۹ به‌صورت تعیین موقعیت یک انبار فرمول‌بندی شده، تاکنون نظریه مکان‌یابی بخش فعالی از پژوهش‌ها را در ۳۰ سال گذشته به خود اختصاص داده است. مدل‌های مکان‌یابی دامنه وسیعی از کاربردها شامل تعیین محل یک تجهیز در کارخانه، محل استقرار یک کارخانه در شهر، محل استقرار مراکز توزیع محصول، مکان‌یابی بیمارستان‌ها، مکان‌یابی مراکز عرضه سوخت و بسیاری مواردی دیگر را شامل می‌شود.

با نقش مهمی که انبار در ارتباط با تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان ایفا می‌کند و با توجه به گرانی سیستم‌های ذخیره‌سازی، تلاش‌ها بر کاهش هزینه‌های مربوط به انبار متمرکز شده‌اند [۲۷]. با تمرکز بر مدیریت انبار، فعالیت‌های اصلی یک انبار عبارت‌اند از: دریافت؛ ذخیره‌سازی؛ جمع‌آوری سفارش؛ مرتب‌سازی و حمل‌ونقل [۱۰]. با ظهور روش‌های مدوّن مدیریت زنجیره تأمین، نقش استراتژیک یک انبار تغییر کرده است. چالش‌هایی از قبیل وجود کالا در انبار برای تأمین تقاضای مشتری، تأمین رضایت مشتری به‌خاطر تحویل کالا یا خدمات در زمان مشخص و بدون تأخیر، مسیریابی وسایل حمل‌ونقل در تحویل سفارش مشتری، انتخاب و تخصیص سفارش در انبارهای متصل، مدل‌سازی و حل مدل‌های تخصیص در زمان مناسب برای انبارهای چندگانه و چندمحصولی، چینش کالا در انبار برای تسریع در امر تأمین تقاضای مشتری از مسائلی است که به‌طور مستقیم به موقعیت، مدیریت و تخصیص کالاها به انبار مرتبط است. فعالیت‌های مربوط به پردازش سفارش‌ها در انبارهای امروزی با سرعت بیشتری نسبت به

1. Weber Problem

www.SID.ir

Archive of SID

گذشته انجام می‌شوند. مدیران انبار به‌منظور برآورده‌کردن تقاضاهای مشتریان در چرخه زمانی کوتاه‌تر، علاقه‌مند به یافتن اقتصادی‌ترین روش انجام سفارش‌ها هستند[۱۲]. این روش‌ها طبق بررسی‌های انجام‌شده به دسته‌بندی‌های زیر تقسیم می‌شود:

ـ بهبود سیستم انبارداری با تغییر چینش کالاها در انبار یا بهبود تخصیص کالا در فضای انبار؛

ـ بهبود تخصیص کالاها به چند انبار موجود و یا استفاده از انبارهای غیرمتمرکز؛

ـ ایجاد یا تأسیس انبار جدید.

با توجه به هزینه‌های تأسیس یا ایجاد یک انبار جدید، معمولاً شرکت‌ها تصمیم به ایجاد یا تأسیس یک انبار جدید نمی‌گیرند و از ظرفیت‌های موجود استفاده می‌کنند؛ بنابراین قصد پژوهشگران در این پژوهش، استفاده از ظرفیت‌های موجود شرکت است و تنها به موارد اول و دوم پرداخته می‌شود. با تکامل اقتصاد بازار، تقاضاهای مشتریان متنوع شده‌اند و این امر به تنوع درخواست‌ها و سفارش‌ها منجر شده است؛ درنتیجه فهرست سفارش اقلام منحصربه‌فرد در درخواست‌های مشتریان کاهش‌یافته است [۲۷]. شرکت‌ها برای حل این چالش‌ها از انبارهای غیرمتمرکز برای خدمت‌دهی به مشتریان استفاده می‌کنند. علی‌رغم داشتن ابعاد استراتژیکی بزرگ، انتخاب محل انبار هیچ فرایند ساختاری و برنامه‌ریزی‌شده‌ای ندارد [۲۹].

بهبود سیستم انبارداری با تغییر چینش کالاها یا بهبود تخصیص کالا در انبارها. یکی از دسته‌بندی‌های مطرح در بحث بهبود فرایندهای انبار و کاهش هزینه‌های انبارداری، استفاده از داده‌های خرید مشتریان و بهبود چینش کالاها با تخصیص بهینه کالا است. از روش‌های مورداستفاده در این دسته‌بندی می‌توان به خوشه‌بندی کالاهای سفارش‌داده‌شده توسط مشتریان در انبارها با استفاده از داده‌های خرید مشتریان اشاره کرد. مواردی که در یک خوشه قرار دارند، ممکن است هرکدام در یک انبار جداگانه یا محل‌های مختلف ذخیره‌سازی شوند؛ در این صورت تلاش برای برداشت (یعنی انتخاب کالاها از نواحی ذخیره‌سازی‌شده و برداشتن آن کالاها و تحویل آن به مشتری) کالاهایی که به‌طور مکرر با هم سفارش داده می‌شوند، هزینه خواهد داشت. انتخاب سفارش پرهزینه‌ترین فعالیت در میان عملیات انبار است. هرگونه سفر غیرضروری در طول سفارش، به افزایش زمان سفر غیرضروری و افزایش هزینه راه‌اندازی یک انبار منجر می‌شود. در پژوهش روزنوین[1] (۱۹۹۴)، یک مدل بهینه‌سازی توصیف شده است که خوشه‌های اقلام انبار را که با توجه به داده‌های تاریخی تمایل دارند با هم سفارش داده شوند، شناسایی می‌کند. درصورتی‌که از خوشه‌بندی اقلام در یک انبار استفاده شود، کالاهایی که به‌طور مکرر با هم سفارش داده می‌شوند در یک ناحیه قرار خواهند گرفت و درنتیجه هزینه برداشت کالا کمتر

1. Rosenwein

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. مدل مورداستفاده در این پژوهش یک مدل P_میانه خطی است [۲۸]. در پژوهش راد[1] (۲۰۱۰) یک مدل غیرخطی توسعه داده شده است که این پژوهش تنها به بحث خوشه‌بندی اقلام در تنها یک انبار با استفاده از مدل‌سازی ریاضی می‌پردازد و در خصوص انبارهای غیرمتمرکز یا تخصیص کالاها در انبارهای مختلف بررسی بیشتری انجام نمی‌دهد [۲۷]. هر دوی این پژوهش‌ها به‌دلیل استفاده از مدل‌های ریاضی، در شرایطی که تنوع کالاها و تعداد مشتریان زیاد است، زمان حل خیلی زیادی نیاز دارند که در حال حاضر امکان استفاده از این پژوهش‌ها میسر نیست.

در پژوهش ایگاس[2] (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌کاوی، کاهش سفر مازاد برای فعالیت برداشتن کالا بررسی شده است. با استفاده از استخراج دانش از معاملات تاریخی انبار و تعریف خوشه‌ها، محل‌های خاصی برای کالاهای درون یک خوشه در انبار تعریف شده است و تا حدود ۱۴ درصد، سفرها برای برداشتن کالا را نسبت به الگوریتم‌های سنتی تخصیص راهرو کاهش داده است[۶]. در پژوهش پنگ[3] (۲۰۱۷) در خصوص الگوریتم مبتنی بر داده‌کاوی برای تخصیص یک موقعیت ذخیره‌سازی از طریق تحلیل روابط وابستگی بین محصولات مختلف در سفارش‌های مشتریان در یک انبار بحث شده است [۲۶].

از پژوهش‌های مرتبط با تخصیص کالا در انبار می‌توان به پژوهش گویریرو[4] (۲۰۱۵) اشاره کرد که یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته پیشنهاد داده است تا با استفاده از آن بهینه‌سازی تخصیص محصول در یک انبار چندلایه، با محدودیت در میان کلاس‌های مختلف را انجام دهد. برای حل مدل نیز از الگوریتم ابتکاری مبتنی بر جست‌وجوی محلی[5] و الگوریتم ابتکاری مبتنی بر خوشه[6] استفاده شده است [۱۰]. پژوهشی که ونگ[7] (۲۰۱۷) انجام داده است، مدل‌سازی با سه تابع هدف مرتبط با گردش کالا، مرکز ثقل قفسه انبار و ارتباط کالا در یک انبار خودکار است و این تابع هدف با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است [۳۱].

در پژوهش آرناوت[8] (۲۰۲۰)، در خصوص حل مسئله چیدمان انبار چندسطحی که شامل تخصیص اقلام به سلول‌ها و سطوح با هدف به‌حداقل‌رساندن هزینه‌های حمل‌ونقل عمودی و افقی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان است، بحث شده است [۲].

1. Rad
۲. Egas
۳ Pang
۴. Guerriero
۵. Local Search-based Heuristic
۶. Cluster-based Heuristic
7. Wang
8. Arnaout

www.SID.ir

Archive of SID

بهبود تخصیص کالا به انبارهای موجود و یا استفاده از انبارهای غیرمتمرکز. برنامه‌ریزی مناسب برای چیدمان انبار و تخصیص محصول در آن، چالش‌های عمده‌ای را برای شرکت‌ها ایجاد می‌کند [۱۸]. تخصیص کالا به فضاهای مختلف موجود در انبارها، عامل تعیین‌کننده هزینه و زمان عملیات محسوب می‌شود؛ به همین دلیل ایجاد موقعیت‌های بهینه انبار برای سودآوری بهتر و ارائه خدمات برای کسب‌وکارها مهم است [۳۲]. مکان مناسب می‌تواند در جهت‌گیری‌های راهبردی سازمان نقش اساسی داشته باشد و سودآوری سازمان را در بلندمدت تحت تأثیر قرار دهد. اگر در انتخاب مکان، روش‌های علمی در نظر گرفته نشود، بقای سازمان در بلندمدت تحت تأثیر قرار خواهد گرفت [۲۲]؛ همچنین تخصیص ذخیره‌سازی در انبار شامل تصمیم‌گیری در مورد مناطق متناظری است که در آن محصولات باید تخصیص داده شوند [۳].

در پژوهش کورتس[1] (۲۰۲۰)، یک مدل ریاضی چندمنظوره برای تعیین تخصیص کالا در فضاهای مختلف موجود در انبارها با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرغالب نوع ۲[2] ارائه شده است. این مدل ریاضی به‌طور هم‌زمان هزینه‌های عملیاتی و زمان‌های موردنیاز برای انجام فعالیت‌های ذخیره‌سازی را ارزیابی می‌کند. نتایج تولیدشده توسط این الگوریتم، مجموعه‌ای از راه‌حل‌های ممکن به‌دست می‌آورد که به‌طور هم‌زمان هر دو تابع هدف را بهینه می‌کند. تصمیم‌گیرنده می‌تواند هر یک از این راه‌حل‌ها را بر اساس اولویت‌های خود انتخاب کند و مطمئن شود که هر راه‌حل یک طرح تخصیص محصول بهینه را با درنظرگرفتن هر دو تابع برای انبار تولید می‌کند. نکته مفید در این پژوهش استفاده هم‌زمان از دو تابع هدف است که تا حدودی مشکلات پژوهش‌های قبل که تنها از یک منظر به مسائل تخصیص می‌پرداختند را تا حدودی رفع می‌کند[۳۲].

برای پرداختن به مسئله تأمین تقاضای مشتریان، دسته دیگر مسائل حجم درخواست‌هایی که در آینده به یک انبار می‌شود را تخمین می‌زنند و آن را با تخصیص و چینش بهینه انبار ترکیب می‌کنند. برای مثال، می‌توان به پژوهش لی[3] (۲۰۱۹) اشاره کرد که ابتدا به بررسی مدل پیش‌بینی تقاضای چندمحصولی می‌پردازد و سپس سازوکارهای پیش‌بینی حمل‌ونقل را بررسی می‌کند و درنهایت با استفاده از مدل‌سازی ریاضی به مسئله تخصیص کالا در انبار می‌پردازد[۱۷]. نوع دیگر مدل‌سازی‌های تخصیص، ترکیب فرایندهای لجستیک با مسئله تخصیص کالا به انبار است. در پژوهش گنزالز[4] (۲۰۱۸) به یکپارچه‌سازی بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای بررسی یک راه‌حل تخصیص کالا به انبار پرداخته شده است [۹]. با وجود ایده یکپارچه‌سازی مناسب در

1. Cortes
۲. Non-dominated sorting genetic algorithm-II (NSGA-II)
3. Li
4. González

www.SID.ir

Archive of SID

این پژوهش، بحث تنوع سبد خرید مشتریان و همچنین تنوع کالاها در این پژوهش‌ها در نظر گرفته نشده است؛ همچنین زمانی که تعداد مشتریان زیاد باشد، پیچیدگی حل مدل تخصیص بسیار زیاد می‌شود.

پیچیدگی مسائل مرتبط با انبار، برخی از پژوهشگران را به سمت استفاده از روش‌های شبیه‌سازی در حل مسائل تخصیص کالا به انبار سوق داده است. در پژوهش جیاو[1] (۲۰۱۸) بهینه‌سازی تخصیص چندهدفه مکان ذخیره‌سازی و تحلیل شبیه‌سازی انبار خودکار بر اساس الگوریتم ژنتیک بررسی شده است [۱۴]. وجه تمایز این پژوهش با پژوهش‌های مشابه در چندهدفه‌بودن تابع هدف است.

در پژوهش هو[2] (۲۰۲۰) به بهینه‌سازی تخصیص پویای کالاها با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات پرداخته شده است. در مقایسه با روش تخصیص دستی، بهبود محاسبات الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات باعث کاهش زمان انبارداری، کاهش ارتفاع مرکز ثقل و بهبود پایداری قفسه می‌شود [۱۱].

پیچیدگی حل مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی موجب شد تا در پژوهش خویشتن‌دار (۲۰۱۶)، برای حل مسئله مکان‌یابی تخصیص زنجیره تأمین زیست متان از الگوریتم‌های ژنتیک و تکامل تفاضلی استفاده شود. در این پژوهش زمان حل و عملکرد هر دو الگوریتم محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند [۱۵].

در پژوهش ژو[3] (۲۰۲۱)، یک الگوریتم خوشه‌بندی ابتکاری برای بهینه‌سازی تخصیص دسته محصول در میان انبارهای متعدد بر اساس توزیع سفارش‌های چندآیتمی پیشنهاد شده است. در یک سوپرمارکت آنلاین، افراد ممکن است چندین آیتم را برای راحتی و یا برای به‌دست‌آوردن امتیاز تحویل رایگان خریداری کنند. سفارش‌های مشتریان چندآیتمی اغلب باید به چندین محموله تقسیم می‌شوند؛ زیرا اقلام سفارشی ممکن است در انبارهای مختلف ذخیره شده باشند. تقسیم سفارش به هزینه‌های بالاتر حمل‌ونقل منجر می‌شود. پژوهش انجام‌شده به این مشکلات پاسخ می‌دهد [۳۴].

در پژوهش لورنس[4] (۲۰۲۱)، مسئله تخصیص محصول در انبار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی[5] و خوشه‌بندی حل شده است. فهرست انتخاب سفارش‌های مشتریان تهیه شد و مورد-بررسی و تحلیل قرار گرفت تا به‌عنوان داده‌های ورودی در شبکه عصبی مصنوعی و خوشه‌بندی مورداستفاده قرار بگیرند [۱۸].

1. Jiao
2. Hou
۳. Zhu
۴. Lorenc
۵. Artificial Neural Network (ANN)

www.SID.ir

Archive of SID

در پژوهش فتاحی (۲۰۰۸) به مسئله تحلیل موقعیت تسهیلات با روش P نقطه واسطه پرداخته شده است. این روش به دسته بزرگی از مسائل جانمایی و تخصیص با عنوان «حداقل‌سازی مجموع» تعلق دارد. در این مسئله از میان نقاط ممکن برای ارائه خدمات، نقاطی به‌عنوان واسطه انتخاب می‌شوند؛ به‌طوری‌که مجموع فواصل بین نقاط واسطه و نقاط تقاضا حداقل شود و تمام تقاضاها برآورده شوند. در این پژوهش مدل‌سازی مسئله بر پایه نظریه گراف و برنامه‌ریزی عدد صحیح، الگوریتم جدیدی بر اساس روش فراابتکاری اجتماع مورچگان پیشنهاد شده است[۷].

پژوهش بالِستِروس[۱] (۲۰۱۹)، کاربرد یک مدل تخصیص ذخیره‌سازی را در یک شرکت غذایی با درنظرگرفتن چندین محصول در یک افق زمانی تعریف‌شده ارائه می‌دهد. این الگوریتم ناحیه عملیات و فضاهای متناظر موردنیاز برای تخصیص محصولات را با هدف کاهش هزینه‌های نگهداری و جابه‌جایی مواد شناسایی می‌کند؛ درنتیجه برنامه‌ریزی تخصیص محصولات را در هر دوره تولید می‌کند که با استفاده از آن برنامه‌ریزی، هزینه‌های نگهداری و جابه‌جایی در انبار کاهش می‌یابد. یک تصمیم مهم در برنامه‌ریزی تأسیسات و عملیات، طراحی و تخصیص پویای فضاهای ذخیره‌سازی است که می‌تواند با استفاده از تکنیک‌های ریاضی انجام شود و تخصیص آیتم‌های مختلف در فضاهای خاص به انبارها را ایجاد می‌کند. روش تخصیص درجه دوم برای مدل‌سازی تخصیص محصولات استفاده می‌شود و شامل تخصیص مجموعه‌ای از عناصر به مجموعه‌ای از فضاها در زمانی است که فواصل بین تمام مکان‌ها و جریان محصولات مشخص باشد [۳].

پژوهش ایزدبسکی[۲] (۲۰۱۶) روش خاصی برای حل مسئله مکان‌های انبار بر اساس کاربرد الگوریتم ژنتیک ارائه می‌کند. هدف اصلی نشان‌دادن محل انبارها از میان آن‌هایی است که از قبل وجود داشته‌اند [۱۳].

برخی از پژوهش‌هایی که در بخش مبانی نظری و پیشینه پژوهش به آن اشاره شد و از الگوریتم‌های حل فراابتکاری برای حل مدل‌سازی تخصیص استفاده کرده‌اند، در جدول ۱، آورده شده است. پژوهش‌های موجود در این جدول شامل همه پژوهش‌های ذکرشده در بخش مبانی نظری و پیشینه پژوهش نیست و تنها پژوهش‌هایی را شامل می‌شود که از الگوریتم‌های حل فراابتکاری برای مسئله تخصیص بهره گرفته‌اند.

۱. Ballesteros
۲. Izdebski

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. خلاصه مرور مبانی نظری

پژوهشگر، سال	الگوریتم حل فراابتکاری
لورنس، (۲۰۲۱) [۱۸]	ANN[۱]
ژو، (۲۰۲۱) [۳۴]	K-link
هو، (۲۰۲۰) [۱۱]	PSO[۲]
بلال، (۲۰۲۰) [۴]	MOGA[۳] NSGA[۴]-II
کورتس، (۲۰۲۰) [۳۲]	MOGA NSGA-II
محمد، (۲۰۲۰) [۲۳]	TSA[۵]
چن، (۲۰۱۷) [۵]	ANN+E&M
ایزدبسکی، (۲۰۱۶) [۱۳]	GA[۶]
لطفی، (۲۰۱۶) [۲۰]	Hybrid Simplex Fuzzy+GA

شکاف پژوهشی در مطالعات پیشین. با وجود تلاش‌های مفیدی که در پژوهش‌های پیشین در خصوص تحلیل سبد خرید مشتریان و مدل‌سازی‌های مربوطه در بحث چینش کالا در انبارها یا مکان‌یابی انبارها انجام شده است، همه این پژوهش‌ها یا صرفاً به استفاده از مدل‌سازی‌های ریاضی با حل‌های ابتکاری و فراابتکاری و یا صرفاً به استفاده از روش‌های داده‌کاوی پرداخته‌اند؛ همچنین در خصوص تأمین تقاضای مشتریان با استفاده از تخصیص بهینه کالا به انبار و خدمت‌دهی انبار به مشتریان کمتر پرداخته شده است.

با توجه به نتایج این پژوهش‌ها، با وجود اینکه الگوریتم‌های مطرح‌شده از سرعت و دقت خوبی برخوردار هستند، نکته‌ای که باید به آن اشاره کرد این است که تمامی مسائل تخصیص مکان و تحلیل موقعیت تسهیلات از نوع NP-hard هستند که راه‌حل دقیق آن‌ها از طریق زمان معقول ممکن نیست [۲۷] و در این پژوهش‌ها فکری برای رفع این چالش نشده است؛ همچنین با توجه به رویکرد مدل‌سازی‌های به‌کاررفته در این پژوهش‌ها استفاده از مدل‌سازی‌ها در شرایطی که تعداد محل‌های قرارگیری انبارها و همچنین تعداد مشتریان و تنوع کالاها زیاد باشند، زمان حل الگوریتم را به‌صورت نمایی رشد می‌دهد و برای حل مدل ناچار باید از الگوریتم‌های ابتکاری یا فراابتکاری استفاده شود و طبق ویژگی‌های این الگوریتم‌ها، لزوماً به جواب بهینه منجر نمی‌شوند و همچنین در برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری امکان افزایش سطح دقت و تنظیم میزان نزدیک‌شدن به جواب بهینه وجود ندارد. جدای از این موارد، ماهیت مسئله

۱. Artificial neural network
۲. Particle swarm optimization
۳. Multi-objective Genetic Algorithm
۴. Fast Non-dominated Sorting Genetic Algorithms
۵. Tabu Search Algorithm
۶. Genetic algorithm

www.SID.ir

Archive of SID

که شامل حجم بالای تقاضاها، تنوع کالاها و تنوع تصمیم‌گیری در تخصیص کالا به انبار و انبار به مشتریان است، در این مدل‌سازی‌ها و استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری دیده نمی‌شود. برای استفاده از روش‌های شبیه‌سازی نیز به حجم داده‌های زیاد با تنوع بالا در شرایط مختلف برای تخمین وضعیت شبیه‌سازی نیاز است که در اغلب صنایع، امکان ایجاد مقدمات برای جمع‌آوری داده در شرایط مختلف برای انجام شبیه‌سازی وجود ندارد؛ همچنین چالش‌هایی از قبیل وجود کالا در انبار به‌منظور تأمین تقاضای مشتری که بی‌توجهی به آن موجب ازدست‌رفتن مشتری می‌شود، تحویل به‌موقع کالا یا خدمات که به‌طور مستقیم به مسئله تخصیص کالا به انبار و انبار به مشتریان مربوط است و تسهیل مسیریابی وسایل حمل‌ونقل در تحویل سفارش مشتری با استفاده از رویکرد یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین در این پژوهش‌ها دیده نشده است؛ ازاین‌رو در این پژوهش الگوریتم و روش حلی پیشنهاد می‌شود تا هم تنوع کالاها و حجم تقاضاها و هم مسائل تخصیص برای تأمین تقاضای مشتری در نظر قرار گرفته شود؛ همچنین زمان حل مدل‌سازی نسبت به تنوع کالاها و تعداد مشتریان حساسیت زیادی نداشته باشد. الگوریتم و روش پیشنهادی، الگوریتمی مبتنی بر داده است که به‌جای استفاده از حجم تقاضاها از تراکنش‌ها و تحلیل سبد خرید مشتریان و موقعیت آن‌ها استفاده می‌کند و برای تخصیص کالا به انبار و انبار به مشتریان برای تأمین تقاضای مشتری، از مدل‌سازی ریاضی استفاده می‌کند. در این صورت ویژگی سرعت روش‌های داده‌کاوی و دقت مدل‌سازی‌های ریاضی، توأمان در نظر گرفته می‌شود. در بخش بعد این الگوریتم توضیح داده خواهد شد.

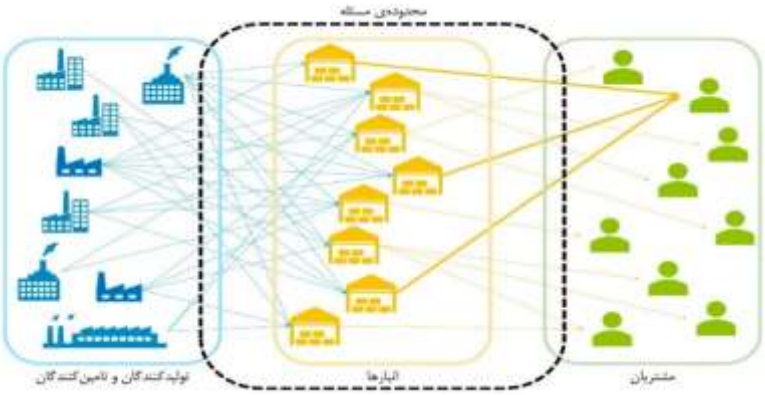
۳. روش‌شناسی پژوهش

تعریف مسئله. مسئله پژوهش در خصوص تخصیص کالاها به انبارهای غیرمتمرکز شرکت است که هر یک از انبارها توانایی خدمت‌دهی جداگانه به مشتریان را دارند. شرکت کالاهای متنوعی را به مشتریان ارائه می‌دهد و از این منظر، یک مسئلهٔ تخصیص چندمحصولی به چند مرکزِ خدمت‌دهی است که بعد از تخصیص کالا به انبارها، انبارها باید به مشتریان خدمت ارائه دهند. وضعیت فعلی شرکت به این صورت است که کالاها از شرکت‌های تولیدی و تأمین‌کنندگان مختلف به انبارهای مختلف شرکت ارسال می‌شوند. هر انبار بر اساس نیاز خود از شرکت‌های تولیدی و تأمین‌کنندگان، کالا دریافت می‌کند و لزومی به ذخیره‌سازی همه انواع کالاها در تمام انبارها وجود ندارد.

پس از تخصیص کالاها به انبارها، مشتریان کالاهای موردنیاز خودشان را سفارش می‌دهند. برای تأمین تقاضای مشتریان ممکن است از یک یا چند انبار، کالاها تأمین شوند و بعد از تأمین تقاضای مشتری، بسته‌های سفارش به مشتری ارسال می‌شود؛ یعنی هر مشتری ممکن است از یک یا چند انبار خدمت بگیرد.

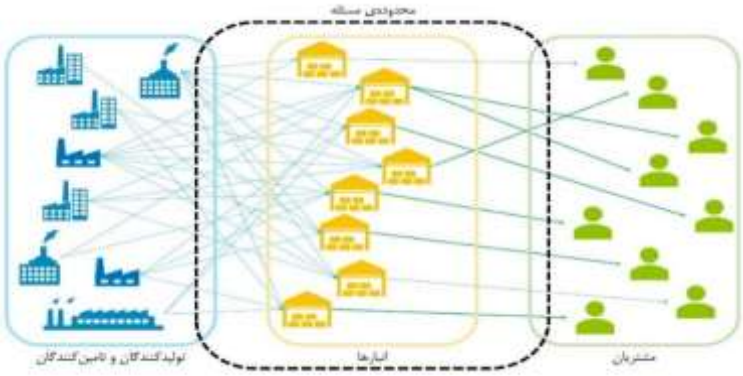
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. محدوده مسئله و وضعیت فعلی شرکت

هدف این پژوهش، به‌دست‌آوردن توزیع و تخصیص سفارش‌ها به انبارها و تخصیص خدمت‌دهی انبارها به مشتریان است؛ به‌طوری‌که هر فرد ترجیحاً از یک انبار خدمت بگیرد. مدل تخصیص کالاها به انبارها و انبارها به مشتریان باید تنوع کالاها و تعداد مشتریان را در نظر داشته باشد و با وجود این در زمان مناسبی حل شود؛ همچنین باید مدل تخصیص به‌صورتی باشد که تأمین تقاضای مشتریان در آن دیده شود. تخصیص‌ها باید با توجه به داده‌های تراکنش‌های موجود با تابع هدف کمینه‌شدن هزینه‌های مربوط به انبارداری و حمل‌ونقل کالا به مشتری به‌دست بیاید. شکل ۲، وضعیت موردانتظار شرکت بعد از اجرای الگوریتم و روش حل را نشان می‌دهد. محدوده مسئله از تخصیص کالا از تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان شروع و تا ارائه تخصیص خدمت‌دهی انبارها به مشتریان ادامه دارد.



شکل ۲. محدوده‌ی مسئله و وضعیتِ مورد انتظار شرکت بعد از اجرای الگوریتم و روش حل

www.SID.ir

Archive of SID

مفروضات. در این مسئله مفروضات زیر برقرار است:

۱. شرکت، یک مجموعه خدماتی دریافت سفارش و تحویل کالا است و تولید در شرکت اتفاق نمی‌افتد؛

۲. شرکت دارای چند انبار غیرمتمرکز در نقاط مختلف است؛

۳. شرکت محصولات مختلف با اندازه‌ها و انواع مختلفی برای خدمت‌دهی به مشتریان تحویل می‌دهد؛

۴. مشتریان کالاهای مختلفی سفارش می‌دهند؛ اما اندازه کالاها از سه حالت کوچک، متوسط و بزرگ خارج نیست (این تقسیم‌بندی برای نحوه ارسال کالا از انبار به مشتری در نظر گرفته می‌شود تا وسیله حمل‌ونقل مناسب برای تحویل کالا به مشتری در نظر گرفته شود. برای مثال، کالاهای کوچک امکان ارسال به‌وسیله پیک موتوری یا پست را دارا هستند)؛

۵. اندازهٔ کالاها در هزینه ارسال کالا مؤثر است؛ به این نحوه که هزینه‌ی ارسال کالا برابر است با ضریبی از اندازهٔ کالا در مسافتی که کالا از انبار به مشتری باید جابه‌جا شود؛

۶. هزینه نگهداری کالاها در انبارها، ضریبی از قیمت کالا است و هر انبار با توجه به امکانات و شرایط آن، ضریب قیمتی جداگانه‌ای دارد؛

۷. هر انبار ظرفیت مشخصی دارد که نمی‌تواند بیشتر از آن ظرفیت، کالا با ابعاد مشخص ذخیره‌سازی کند.

مدل‌سازی ریاضی. نمادهای به‌کاررفته در مدل‌سازی به شرح زیر است.

شاخص‌ها. شاخص‌های به‌کاررفته در مدل‌سازی در زیر، آمده است.

W: تعداد کل انبارها

C: تعداد کل سفارش‌ها

j: شماره‌ی انبار از ۱ تا w

i: شماره‌ی سفارش در تراکنش‌های تاریخی از ۱ تا C

پارامترها. پارامترهای به‌کاررفته در مدل‌سازی به شرح زیر است.

s_i: اندازهٔ کالای سفارش‌داده‌شده در سفارش i

q_i: تعداد کالای سفارش‌داده‌شده در سفارش i

P_i: قیمت کالا در سفارش i

CF_j: ضریب هزینهٔ نگهداری کالاها در انبار j

wx_j: موقعیت عرضی انبار j

wY_j: موقعیت طولی انبار j

www.SID.ir

Archive of SID

$WCap_j$: ظرفیت انبار j
cx_i: موقعیت عرضی سفارش i
cY_i: موقعیت طولی سفارش i
d_{ij}: فاصلهٔ محل تحویل سفارش i از انبار j

فاصلهٔ محل تحویل سفارش i از انبار j به صورت زیر تعریف شده است:

رابطه (۱) $$d_{ij} = |CX_i - wX_j| + |CY_i - wY_j|$$

متغیرها. متغیرهای مورداستفاده در مدل‌سازی به شرح زیر است.
x_{ij}: متغیر دودویی وضعیت است، به این صورت که اگر سفارش i توسط انبار j خدمت‌دهی شد، مقدار ۱ و در غیر این صورت، مقدار ۰ را می‌گیرد.

تابع هدف. تابع هدف مسئله به‌صورت زیر است:

رابطه (۲) $$Min \sum_{j=1}^{W} \sum_{i=1}^{C} \left(x_{ij}\left(d_{ij}S_iq_i + CF_jP_iq_i\right)\right)$$

محدودیت‌ها. محدودیت‌های مسئله به‌صورت زیر است.

رابطه (۳) $$\sum_{j=1}^{W} x_{ij} = 1, \qquad i \in \{1,2,\dots,C\}$$

رابطه (۴) $$\sum_{i=1}^{C} x_{ij}S_iq_i \le CF_j,\ j = \{1,2,\dots,w\}$$

رابطه (۵) $$x_{ij} = \{0,1\}$$

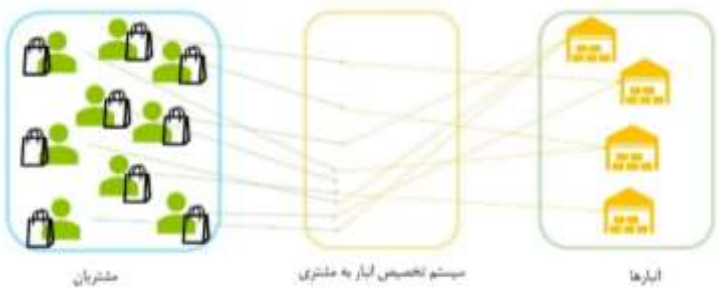
رابطه ۲، نمایانگر تابع هدف مسئله است. این معادله نشان می‌دهد که مسئله به دنبال حداقل‌سازی هزینه‌ی ارسال و نگهداری کالاها به انبار است.
رابطه ۳، نشان می‌دهد که همه سفارش‌ها باید پاسخ داده شوند و هر سفارش باید تنها از یک انبار، پاسخ داده شود.
رابطه ۴، محدودیت ظرفیت انبار را کنترل می‌کند.
رابطه ۵، متغیر وضعیت تخصیص کالا در انبار را مشخص می‌کند و یک متغیر دودویی است.

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم حل. برای حل مسئله با استفاده از تراکنش‌های تاریخی خرید کالا توسط مشتریان، الگوریتم و روش حل زیر پیشنهاد شده است.

ویژگی‌های الگوریتم. الگوریتم پیشنهادی به‌جای استفاده از حجم تقاضای کالا و مکان جغرافیایی مشتریان، از خود تراکنش‌ها استفاده می‌کند. برای این کار، ابتدا تحلیلی از وضعیت سفارش‌ها و سبد خرید مشتریان انجام می‌شود و هر کدام از مشتریان درون دسته‌هایی خوشه‌بندی می‌شوند. در وضعیت فعلی شرکت، هر یک از اعضای خوشه‌ها، جداگانه به مرکز تخصیص انبار به مشتری سفارش ارسال می‌کنند که موجب حجم بالای تقاضاها و تنوع بالای کالاها در این حالت می‌شود (شکل ۳).

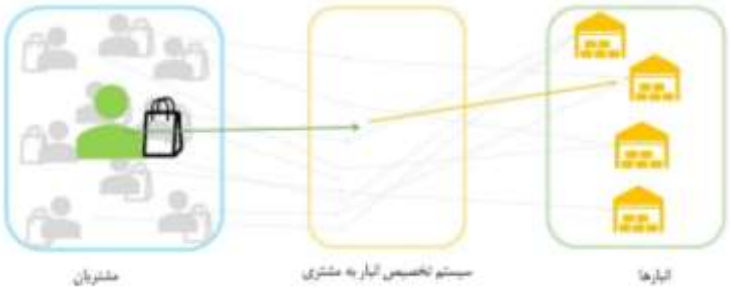


شکل ۳. وضعیت فعلی شرکت

الگوریتم پیشنهادی، به‌جای استفاده از حجم تقاضاهای مختلفی که از اعضای هر خوشه انجام می‌شود، برای هر خوشه (با توجه به اینکه مشابهت‌هایی از نظر موقعیت مکانی و سبد خرید در این خوشه‌ها وجود دارد) نماینده‌ای تعیین می‌کند و سفارش خرید همه اعضای درون خوشه را آن نماینده انجام می‌دهد (شکل‌های ۴ و ۵). این کار باعث می‌شود که در فرایند تخصیص کالا به انبار و انبار به مشتری، نخست کالاهایی که توسط یک خوشه سفارش داده می‌شود، در یک انبار قرار گیرند و هزینه‌های حمل‌ونقل مربوط به خدمت‌دهی به مشتریان درون یک خوشه کاهش یابد و دوم، زمانی که نماینده‌ها به‌جای تک‌تک اعضا جایگزین می‌شوند، تعداد حجم تقاضاهای ارسالی به سیستم تخصیص انبار بسیار کاهش پیدا کند. فرایند تخصیص و مدل‌سازی را می‌توان با استفاده از روش‌های حل دقیق مدل‌سازی ریاضی حل کرد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. جایگزینی نماینده خوشه‌ها به‌جای اعضای درون خوشه در الگوریتم پیشنهادی



شکل ۵. شمای کلی کارکرد الگوریتم برای مواجه‌شدن با حجم بالای تقاضاهای ارسالی از طرف اعضای درون خوشه با جایگزینی نماینده‌ی خوشه‌ها

الگوریتم پیشنهادی، سرعت روش‌های داده‌کاوی و دقت روش مدل‌سازی ریاضی با حل دقیق را توأمان دارا است؛ البته می‌توان با تنظیم پارامتر تعداد خوشه‌ها، بین سرعت و دقت به‌دلخواه توازن ایجاد کرد.

نحوه اجرا. نحوه اجرای الگوریتم به‌ترتیب شامل موارد زیر است:

۱. ابتدا داده‌ها برای ورود به مدل‌سازی و الگوریتم باید بی‌بُعدسازی می‌شوند. شروع الگوریتم با بی‌بُعدسازی داده‌ها است.

۲. داده‌ها از پایگاه‌داده که در ابتدای امر بی‌بُعدسازی شده‌اند، فراخوانی می‌شود.

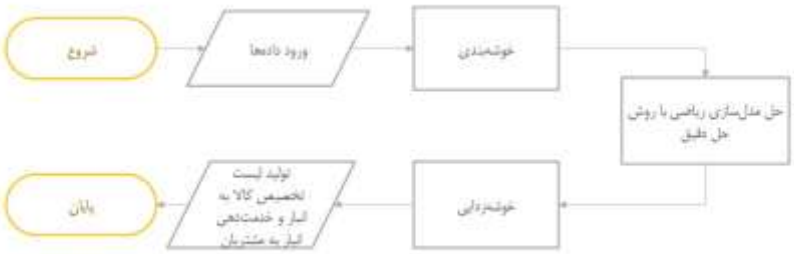
۳. الگوریتم خوشه‌بندی تراکنش‌ها بر اساس موقعیت مکانی مشتری، کالای سفارش‌داده‌شده، قیمت کالا، حجم کالا و تعداد کالا انتخاب و اجرا می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۴. نماینده خوشه‌ها به‌عنوان نقاط تقاضای جدید، انتخاب و مدل ریاضی تخصیص با روش حل دقیق بر اساس نماینده خوشه‌ها و نه تک‌تک داده‌های تراکنش اجرا می‌شود.
۵. جزئیات موجود در هر خوشه که شامل تراکنش‌ها (موقعیت مکانی مشتری، کالای سفارش‌داده شده، قیمت کالا و حجم کالا) و تخصیص کالاها به انبار و انبار به مشتریان است، خوشه‌زدایی[۱] می‌شوند. در این حالت است که تخصیص کالاها به انبارها و خدمت‌دهی انبارها به مشتریان بر اساس تک‌تک داده‌های تراکنش مشخص می‌شود.
۶. فهرستی از تخصیص کالاها با انبارها و برنامه‌ریزی اینکه هر انبار به چه مشتریانی باید خدمت ارائه دهد، تولید می‌شود.

درواقع این مدل به‌جای مواجه‌شدن با تعداد بالای تراکنش‌ها و مشتریان زیاد، نماینده‌ای برای سفارش‌های مشابه (مشابهت می‌تواند شامل مواردی که در خوشه‌بندی لحاظ شده، اعم از موقعیت مکانی مشتری، کالای سفارش‌داده‌شده، قیمت کالا، حجم کالا یا هر موردی بر اساس شرایط مسئله باشد) قرار می‌دهد و نماینده هر خوشه، به‌جای تمام اعضای درون خوشه یکبار، تمام کالاهای درون آن خوشه را با حجم و ابعاد و قیمت آن‌ها در موقعیت مکانی خود، سفارش می‌دهد. در شکل ۶، نمودار نحوه اجرای مدل نمایش داده شده است.



شکل ۶. شمای مراحل الگوریتم ترکیبی پیشنهادی

۴.تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج اجرای الگوریتم و ملاحظات. ملاحظات اجرای مدل به شرح زیر است:
ـ برای خوشه‌بندی، نیاز است الگوریتمی انتخاب شود که در خروجی آن، علاوه بر خوشه‌ها، نماینده دسته نیز مشخص باشد؛

۱. Declustering: یعنی داده‌ها (اعم از موقعیت مکانی مشتریان، کالاهایی که در هر تراکنش و سفارش موجود است، قیمت کالاها و غیره) که در مرحله ۲ درون یک خوشه قرار گرفتند و به‌جای آن‌ها نماینده خوشه در مرحله ۳ در مدل ریاضی تخصیص، شرکت کردند، از خوشه‌ها خارج شده و دوباره به عنوان یک تراکنش، به همان انباری که نماینده خوشه به آن تخصیص داده شده است، تخصیص داده شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

ـ تعداد خوشه‌ها باید هم متناسب با تعداد تراکنش‌ها و هم متناسب با تنوع داده‌هایی باشد که در تراکنش‌ها، موجود است؛

ـ در حالت کلی اگر تعداد خوشه‌ها برابر با تعداد کل تراکنش‌ها (یعنی هر تراکنش خودش به‌تنهایی یک خوشه تشکیل دهد) باشد، جواب بهینه الگوریتم، برابر با جواب بهینه حاصل از حل دقیق مدل ریاضی تخصیص بدون استفاده از الگوریتم پیشنهادی خواهد بود؛

ـ زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی از یک جایی به بعد تنها متناسب با تعداد خوشه‌ها و زمان حل مدل خوشه‌بندی است و تناسبی با حل مدل ریاضی ندارد.

مسئله پژوهش روی برخی از داده‌های تراکنش‌های خرید شرکت دیجی‌کالا است که شامل ۱۵۱،۶۳۴ مشتری، ۹۵،۲۳۲ نوع کالا، ۹۰۶ شهر کشور ایران است. در مجموع ۲۰۰،۰۰۰ تراکنش که از ۹ انبار غیرمتمرکز خدمات دریافت می‌کنند، در الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است. همه تراکنش‌ها و داده‌های در ابتدای امر توسط شرکت دیجی‌کالا، بی‌نام‌سازی شده بودند.
برخی از داده‌های ورودی در جدول ۲، ارائه شده است است.

جدول ۲. برخی از داده‌های تراکنش‌های تاریخی

شناسه سفارش	شناسه مشتری	شناسه کالا	تعداد کالای سفارش‌داده‌شده	نام شهر	قیمت	اندازهٔ کالای سفارش‌داده‌شده
۲۷۱۴۰۵۴	۴۶۹۶۲۲	۲۱۳۸۶	۱	محمودآباد	۱۵۰۰۰۰	۱
۲۲۲۲۵۶۲۴	۶۸۸۸۵۶۲	۷۰۲۰۸	۱	قم	۴۵۰۰۰۰	۱
			...			
۶۳۱۵۹۹۵	۲۵۴۱۴۱۸	۲۶۴۰۲۱	۱	همدان	۲۳۹۸۵۵	۳
۷۵۸۴۱۲۷	۱۳۴۲۵۸۵	۸۹۴۲۷	۱	بندر انزلی	۳۶۶۲۵	۲

نام هر شهر به موقعیت مکانی جغرافیایی آن تبدیل شده است و cX_i و cY_i به‌دست آمده است. داده‌ها پس از تغییر و قبل از فرایند بی‌بعدسازی در جدول ۲، مشاهده می‌شود.

جدول ۳. جدول تبدیل نام شهر به موقعیت جغرافیایی و پارامترهای موردنیاز الگوریتم

شناسه سفارش	شناسه کالا	q_i	cx_i	cY_i	P_i	s_i
۲۷۱۴۰۵۴	۲۱۳۸۶	۱	۵۹/۵۷۶	۳۶/۳۱۰	۱۵۰۰۰۰	۱
۲۲۲۲۵۶۲۴	۷۰۲۰۸	۱	۵۱/۳۵۰	۳۵/۷۰۳	۴۵۰۰۰۰	۱
			...			
۶۳۱۵۹۹۵	۲۶۴۰۲۱	۱	۴۸/۵۲۶	۳۴/۷۹۲	۲۳۹۸۵۵	۳
۷۵۸۴۱۲۷	۸۹۴۲۷	۱	۴۹/۴۶۳	۳۷/۴۶۷	۳۶۶۲۵	۲

www.SID.ir

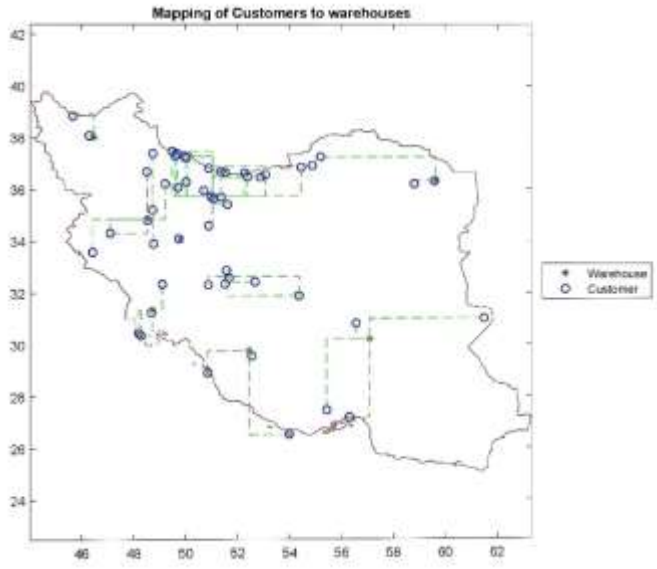
Archive of SID

مشخصات انبارها نیز به شرح جدول ۴، است.

جدول ۴. مشخصات انبارها

J	wX_j	wY_j	CF_j
۱	۵۱/۰۱۷	۳۵/۷۳۳	۰/۲
۲	۵۱/۵۵۹	۳۲/۶۴۵	۰/۲۲
۳	۵۹/۶۰۷	۳۶/۳۴۲	۰/۲۶
۴	۵۲/۴۲۵	۲۹/۷۷۱	۰/۳
۵	۴۶/۴۶۰	۳۸/۰۲۶	۰/۱۸
۶	۴۸/۷۲۲	۳۱/۳۴۸	۰/۳
۷	۴۸/۵۳۳	۳۴/۸۶۰	۰/۲
۸	۵۷/۰۷۶	۳۰/۲۲۰	۰/۱۹
۹	۴۹/۷۸۴	۳۴/۰۶۹	۰/۴۵

به‌دلیل سادگی و نوع داده‌های پژوهش و سرعت خوب الگوریتم‌های K-Means و K-Medoids، این دو الگوریتم برای بخش داده‌کاوی به‌کار رفت و برای تعداد بهینه خوشه‌ها نیز از نمودار آرنج[۱] بهره‌گیری شد. کدها روی نرم‌افزار متلب اجرا شدند. خروجی الگوریتم تخصیص انبار به مشتریان برای ۲۰۰ داده در شکل ۷، آمده است.



شکل ۷. خروجی الگوریتم برای ۲۰۰ داده

۱. Elbows

www.SID.ir

Archive of SID

برای مقایسه‌ی عملکرد جواب بهینه الگوریتم پیشنهادی، شاخص زیر استفاده شد:

رابطه (۶) $$\text{درصد اختلاف از تابع هدف} = \frac{\text{اختلاف مقدار بهینه تابع هدف حاصل از مدل‌سازی دقیق و تابع هدف حاصل از الگوریتم پیشنهادی}}{\text{مقدار تابع هدف حاصل از مدل‌سازی دقیق ریاضی}}$$

جدول‌ها و نمودارهای زیر، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم در ۳ وضعیت زیر را نشان می‌دهند:

ـ اجرای الگوریتم پیشنهادی در حالتی که از الگوریتم خوشه‌بندی K-Means استفاده شده است؛

ـ اجرای الگوریتم پیشنهادی در حالتی که از الگوریتم خوشه‌بندی K-Medoids استفاده شده است؛

ـ اجرای الگوریتم حل دقیق مدل ریاضی تخصیص.

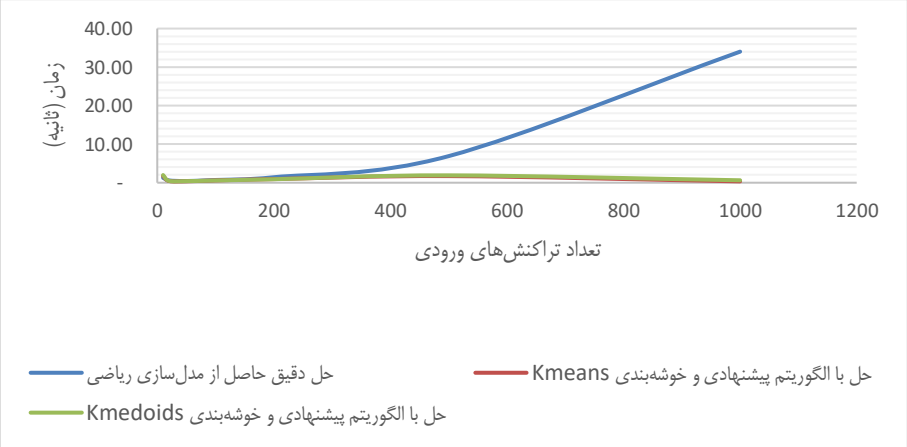
جدول ۵. زمان (ثانیه) حل مدل در سه وضعیت ذکرشده با تعداد مختلف تراکنش‌ها

تعداد تراکنش	حل دقیق حاصل از مدل‌سازی ریاضی	حل با الگوریتم پیشنهادی و خوشه‌بندی Kmeans	حل با الگوریتم پیشنهادی و خوشه‌بندی Kmedoids
۱۰	۱/۲۷	۱/۷۴	۱/۹۹
۲۰	۰/۵۹	۰/۴۶	۰/۴۸
۵۰	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۴۱
۱۰۰	۰/۷۱	۰/۵۹	۰/۵۸
۲۰۰	۱/۴۲	۰/۹۴	۰/۹
۵۰۰	۶/۹	۱/۷۲	۱/۹۱
۱۰۰۰	۳۴/۰۲	۰/۳۴	۰/۶۳
۲۰۰۰	۲۱۰/۵۲	۰/۳۹	۰/۷۴
۵۰۰۰	*[1]	۰/۳۶	۰/۶۶
۱۰۰۰۰	*	۰/۴۱	۰/۷۳

* با توجه به حجم داده‌ها و تنوع کالاها، مدل ریاضی با استفاده از سیستم‌های ما در زمان مناسب قابل حل نبود.

www.SID.ir

Archive of SID



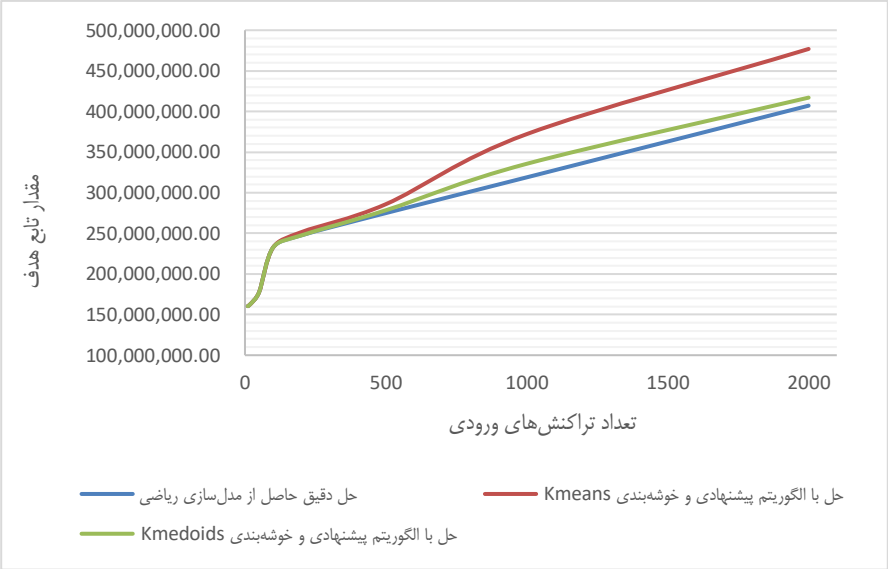
شکل ۸. نمودار مقایسه زمان اجرای مدل در ۳ وضعیت ذکرشده

جدول ۶. مقادیر تابع هدف حل مدل در سه وضعیت ذکرشده با تعداد مختلف تراکنش‌ها

تعداد تراکنش	حل دقیق حاصل از مدل‌سازی ریاضی	حل با الگوریتم پیشنهادی و خوشه‌بندی Kmeans	حل با الگوریتم پیشنهادی و خوشه‌بندی Kmedoids
۱۰	۱۶۰۳۹۶۶۲۷/۱۶	۱۶۰۴۴۴۵۶۶/۶۳	۱۶۰۳۹۶۶۲۷/۱۶
۲۰	۱۶۳۱۲۴۳۰۸/۰۵	۱۶۳۱۷۲۲۴۷/۵۲	۱۶۳۱۲۴۳۰۸/۰۵
۵۰	۱۷۷۴۰۲۴۹۲/۹۳	۱۷۷۴۴۴۷۹۲/۴۰	۱۷۷۴۰۲۴۹۲/۹۳
۱۰۰	۲۳۲۶۴۳۵۳۲/۳۷	۲۳۲۶۹۳۹۳۱/۸۴	۲۳۲۶۴۳۵۳۲/۳۷
۲۰۰	۲۴۷۴۸۵۱۷۵/۹۱	۲۵۱۴۶۵۳۹۸/۱۰	۲۴۷۴۸۵۱۷۵/۹۱
۵۰۰	۲۷۴۹۲۹۱۰۱/۳۵	۲۸۵۹۲۲۱۴۱/۶۹	۲۷۸۴۲۴۲۱۸/۷۹
۱۰۰۰	۳۱۸۹۵۸۸۹۵/۹۴	۳۷۲۱۷۶۱۸۰/۷۹	۳۳۵۶۲۱۴۸۱/۷۴
۲۰۰۰	۴۰۷۱۴۷۰۱۹/۷۶	۴۷۶۹۵۹۵۸۹/۱۳	۴۱۷۰۴۶۰۴۰/۴۸
۵۰۰۰	*	۸۰۰۰۸۲۰۵۲/۸۴	۷۳۰۸۸۳۶۴۰/۲۰
۱۰۰۰۰	*	۱۳۳۳۷۴۲۰۱۶/۵۱	۱۱۸۰۲۰۱۶۹۲/۴۲

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. نمودار مقایسه مقادیر تابع هدف در ۳ وضعیت ذکرشده

همان‌طور که در شکل‌های بالا دیده می‌شود، مقادیر تابع هدف با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در هر دو وضعیت استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی K-Means و استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی K-Medoids نزدیک به مقدار تابع هدف حل دقیق بود؛ ولی در زمان بسیار کمتری، به‌خصوص در تعداد تراکنش‌های بالا، به جواب بهینه می‌رسد.

جدول ۷. درصد اختلاف از تابع هدف برای الگوریتم پیشنهادی با خوشه‌بندی K-Means

تعداد تراکنش	حل دقیق حاصل از مدل‌سازی ریاضی	حل با الگوریتم پیشنهادی و خوشه‌بندی K-Means	اختلاف تابع هدف	درصد اختلاف از تابع هدف
۱۰	۱۶۰۳۹۶۶۲۷/۱۶	۱۶۰۴۴۴۵۶۶/۶۳	۴۷۹۳۹/۴۷	٪ ۰/۰۳
۲۰	۱۶۳۱۲۴۳۰۸/۰۵	۱۶۳۱۷۲۲۴۷/۵۲	۴۷۹۳۹/۴۷	٪ ۰/۰۳
۵۰	۱۷۷۴۰۲۴۹۲/۹۳	۱۷۷۴۴۴۷۹۲/۴۰	۴۲۲۹۹/۴۷	٪ ۰/۰۲
۱۰۰	۲۳۲۶۴۳۵۳۲/۳۷	۲۳۲۶۹۳۹۳۱/۸۴	۵۰۳۹۹/۴۷	٪ ۰/۰۲
۲۰۰	۲۴۷۴۸۵۱۷۵/۹۱	۲۵۱۴۶۵۳۹۸/۱۰	۳۹۸۰۲۲۲/۱۹	٪ ۱/۶۱
۵۰۰	۲۷۴۹۲۹۱۰۱/۳۵	۲۸۵۹۲۲۱۴۱/۶۹	۱۰۹۹۳۰۴۰/۳۴	٪ ۴/۰۰
۱۰۰۰	۳۱۸۹۵۸۸۹۵/۹۴	۳۷۲۱۷۶۱۸۰/۷۹	۵۳۲۱۷۲۸۴/۸۵	٪ ۱۶/۶۸
۲۰۰۰	۴۰۷۱۴۷۰۱۹/۷۶	۴۷۶۹۵۹۵۸۹/۱۳	۶۹۸۱۲۵۶۹/۳۷	٪ ۱۷/۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸. درصد اختلاف از تابع هدف برای الگوریتم پیشنهادی با خوشه‌بندی K-Medoids

تعداد تراکنش	حل دقیق حاصل از مدل‌سازی ریاضی	حل با الگوریتم پیشنهادی و خوشه‌بندی K-Medoids	اختلاف تابع هدف	درصد اختلاف از تابع هدف
۱۰	۱۶۰۳۹۶۶۲۷/۱۶	۱۶۰۳۹۶۶۲۷/۱۶	–	٪ ۰/۰۰
۲۰	۱۶۳۱۲۴۳۰۸/۰۵	۱۶۳۱۲۴۳۰۸/۰۵	–	٪ ۰/۰۰
۵۰	۱۷۷۴۰۲۴۹۲/۹۳	۱۷۷۴۰۲۴۹۲/۹۳	–	٪ ۰/۰۰
۱۰۰	۲۳۲۶۴۳۵۳۲/۳۷	۲۳۲۶۴۳۵۳۲/۳۷	–	٪ ۰/۰۰
۲۰۰	۲۴۷۴۸۵۱۷۵/۹۱	۲۴۷۴۸۵۱۷۵/۹۱	–	٪ ۰/۰۰
۵۰۰	۲۷۴۹۲۹۱۰۱/۳۵	۲۸۵۹۲۲۱۴۱/۶۹	۳۴۹۵۱۱۷/۴۳	٪ ۱/۲۷
۱۰۰۰	۳۱۸۹۵۸۸۹۵/۹۴	۳۷۲۱۷۶۱۸۰/۷۹	۱۶۶۶۲۵۸۵/۷۹	٪ ۵/۲۲
۲۰۰۰	۴۰۷۱۴۷۰۱۹/۷۶	۴۷۶۹۵۹۵۸۹/۱۳	۹۸۹۹۰۲۰/۷۲	٪ ۲/۴۳

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتیجه‌گیری. با توجه به گسترش سطح دسترسی به اینترنت و افزایش مشتریان و تنوع خرید کالا در سبد مشتریان، مدل‌سازی‌های ریاضی با حل دقیق به‌تنهایی نمی‌توانند در زمان مناسب به پاسخ بهینه برسند؛ ازاین‌رو پژوهشگران برای حل مدل‌ها مجبور به استفاده از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری یا روش‌های شبیه‌سازی شده‌اند. از مشکلات مربوط به برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری می‌توان به اینکه لزوماً به جواب بهینه منجر نمی‌شوند، فرایند استفاده از الگوریتم با اضافه یا کم شدن داده‌ها نیاز به اجرای مجدد کل الگوریتم دارد و در برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری امکان افزایش سطح دقت و تنظیم میزان نزدیک‌شدن به جواب بهینه وجود ندارد، اشاره کرد. روش به‌کاررفته در این پژوهش به‌صورت ترکیبی هم از سرعت الگوریتم‌های داده‌کاوی استفاده می‌کند و هم شامل دقت مدل‌سازی‌های ریاضی با حل دقیق می‌شود. الگوریتم به‌جای استفاده از حجم تقاضا و کالاهای مشتریان، برای شروع کار از خود تراکنش‌ها استفاده می‌کند و خوشه‌بندی اطلاعات تاریخی خرید محصولات را در ابتدای کار انجام می‌دهد؛ سپس با استفاده از نماینده هر خوشه، مدل‌سازی ریاضی مسئله تخصیص را با روش حل دقیق انجام می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی با توجه به نگاشت‌های خطی که در هر دو مرحله خوشه‌بندی و حل دقیق استفاده شده است، لزوماً به جواب بهینه میل می‌کند. با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، امکان تنظیم پارامتر تعداد خوشه برای شدت میزان نزدیک‌شدن به جواب بهینه وجود دارد؛ همچنین در صورت اضافه‌شدن مشتری جدید، تنها نیاز به بررسی این موضوع است که مشتری در چه خوشه‌ای قرار می‌گیرد و نیازی به اجرای کل مدل نیست. الگوریتم و روش پیشنهادی، مسئله تخصیص کالا به انبار و انبار به مشتریان را هم‌زمان با تحلیل و خوشه‌بندی مشتریان و کالاها و موقعیت کالاها در انبارهای غیرمتمرکز حل می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

یکپارچه‌سازی این مسائل با هم سبب ارائه دید بهتر به مدیران و تصمیم‌گیران در خصوص رفتارهای منطقه‌ای مشتریان و همچنین ارائه بهتر خدمات زنجیره تأمین و برآورده‌کردن تقاضا می‌شود. استفاده از روش و الگوریتم پیشنهادی، مسئله مواجه‌شدن با داده‌های کلان برای حل مدل‌سازی‌های ریاضی را رفع می‌کند و پژوهشگران نیازی به تجهیزات پیشرفته یا استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مدل‌سازی‌ها نخواهند داشت.

محدودیت‌های پژوهش و پیشنهادهای آتی. نخستین مسئله در این پژوهش، تبدیل خواسته‌ها و ورودی‌های مدل‌سازی ریاضی و برنامه‌ریزی ریاضی به مسائل و خروجی‌های داده‌محور است. برای اینکه بتوان محدودیت‌های متنوع بخش تولید، برنامه‌ریزی، تخصیص، انبارداری با حالت‌هایی که محدودیت در قفسه‌بندی و فضای انبار وجود دارد را به‌صورت گسترده وارد الگوریتم و روش حل کرد، نیاز است که این محدودیت‌ها به مسائل مبتنی بر داده‌های فروش تبدیل شوند. برای پژوهش‌های آتی می‌توان مسائل مربوط به برنامه‌ریزی تولید و تأمین کالا از طرف تأمین‌کنندگان را به مسائل داده‌محور تبدیل کرده و با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، این مسائل را برای تنوع بالای کالاها و تعداد زیاد مشتریان حل کرد.

مسئله مهم دیگر در الگوریتم‌ها و روش‌های حل مبتنی بر داده، وجود داده به‌اندازه کافی و مناسب است، الگوریتم و روش حل پیشنهادی در پژوهش حاضر نیز از این قاعده مستثنا نیست؛ بنابراین در کسب‌وکارهای نوپا که داده‌ها به‌اندازه‌ی کافی وجود ندارند یا ذخیره‌سازی داده‌ها در کسب‌وکارها متناسب با نیازهای مدل‌سازی نیست، نمی‌توان از این روش به‌طور مستقیم استفاده کرد. نیاز است مسائلی مانند پیش‌بینی تقاضا قبل از استفاده از الگوریتم و روش حل پیشنهادی انجام شود تا بتوان از الگوریتم پیشنهادی استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود در خصوص ترکیب الگوریتم پیشنهادی در پژوهش حاضر با الگوریتم‌های پیش‌بینی تقاضا پژوهش‌هایی انجام شود؛ همچنین پیشنهاد می‌شود در خصوص رابطه ریاضی تنظیم پارامترهای مدل (مانند تعداد خوشه‌ها یا واردکردن پارامترها در مدل داده‌کاوی) برای رسیدن به‌سرعت مشخص و دقت خاص، پژوهشی انجام شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Abdulkader, M. M. S., Gajpal, Y., & ElMekkawy, T. Y. (2018). Vehicle routing problem in omni-channel retailing distribution systems. *International Journal of Production Economics, 196*, 43-55.
2. Arnaout, J.-P., ElKhoury, C., & Karayaz, G. (2020). Solving the multiple level warehouse layout problem using ant colony optimization. *Operational Research, 20*(1), 473-490.
3. Ballesteros-Riveros, F. A., Arango-Serna, M. D., Adarme-Jaimes, W., & Zapata-Cortes, J. A. (2019). Storage allocation optimization model in a Colombian company. *Dyna, 86*(209), 255-260.
4. Billal, M. M., & Hossain, M. (2020). Multi-Objective optimization for multi-product multi-period four Echelon supply chain problems under uncertainty. *Journal of Optimization in Industrial Engineering, 13*(1), 1-17.
5. Chen, C., Liu, J., Li, Q., Wang, Y., Xiong, H., & Wu, S. (2017). *Warehouse site selection for online retailers in inter-connected warehouse networks.* Paper presented at the 2017 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM).
6. Egas, C. A. (2012). *Methodology for Data Mining Customer Order History for Storage Assignment.* Ohio University,
7. Fattahi, P., Sarhadi, H., & Pourfathi, A. (2008). *Solving P-Median Problem based on Ant Colony Metaheuristic*. Paper presented at the 6th Internatioan Industrial Engineering Conference.
8. Ghojavand, H., Zandieh, M., & Dorri Nokarani, B. (2011). Application of meta-heuristic algorithms to the logistic integration network distribution model. *Journal of Industrial Management Perspective, 1*(Issue 3, Autumn 2011), 99-119. Retrieved from (In Persian)
9. González-Reséndiz, J., Arredondo-Soto, K. C., Realyvásquez-Vargas, A., Híjar-Rivera, H., & Carrillo-Gutiérrez, T. (2018). Integrating simulation-based optimization for lean logistics: a case study. *Applied sciences, 8*(12), 2448.
10. Guerriero, F., Pisacane, O., & Rende, F. (2015). Comparing heuristics for the product allocation problem in multi-level warehouses under compatibility constraints. *Applied Mathematical Modelling, 39*(23-24), 7375-7389.
11. Hou, Z. (2020). The optimization of automated goods dynamic allocation and warehousing model. *Компьютерная оптика, 44*(5).
12. Hsu, C.-M., Chen, K.-Y., & Chen, M.-C. (2005). Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in industry, 56*(2), 169-178.
13. Izdebski, M., Jacyna-Gołda, I., & Wasiak, M. (2016). The application of genetic algorithm for warehouse location in logistic network. *Journal of KONES, 23*.
14. Jiao, Y.-l., Xing, X.-c., Zhang, P., Xu, L.-c., & Liu, X.-R. (2018). Multi-objective storage location allocation optimization and simulation analysis of automated warehouse based on multi-population genetic algorithm. *Concurrent Engineering, 26*(4), 367-377.
15. Khishtandar, S., Zandieh, M., Dorri Nokarani, B., & Ranaei Siadat, S. O. (2016). Evolutionary Algorithms for Location Allocation Biomethane Supply Chain Problem. *Journal of Industrial Management Perspective, 6*(3, Autumn 2016), 29-54. Retrieved from https://www.magiran.com/paper/1701062 (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

16. Li, L. (2007). *Supply Chain Management: Concepts, Techniques and Practices: Enhancing the Value through Collaboration*: World scientific publishing company.
17. Li, X., Zheng, Y., Zhou, Z., & Zheng, Z. (2019). Demand prediction, predictive shipping, and product allocation for large-scale e-commerce. *Predictive Shipping, and Product Allocation for Large-Scale E-Commerce (March 12, 2019)*.
18. Lorenc, A., Kuźnar, M., & Lerher, T. (2021). Solving product allocation problem (PAP) by using ANN and clustering. *FME Transactions, 49*(1), 206-213.
19. Lorenc, A., & Lerher, T. (2019). Effectiveness of product storage policy according to classification criteria and warehouse size. *FME Transactions, 47*(1), 142-150.
20. Lotfi, R., & Amin Nayeri, M. (2016). Multi-Objective Capacitated Facility Location with Hybrid Fuzzy Simplex and Genetic Algorithm Approach. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, 4*(7), 81-91. (In Persian)
21. Min, H., & Zhou, G. (2002). Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering, 43*(1-2), 231-249.
22. Mohaghar, A., & Ariaee, S. (2017). Locating using Geographical Information System and Weighted Maximal Covering Model. *Journal of Industrial Management Perspective, 7*(2, Summer 2017), 9-32. (In Persian)
23. Mohammed, A. M., & Duffuaa, S. O. (2020). A tabu search based algorithm for the optimal design of multi-objective multi-product supply chain networks. *Expert Systems with Applications, 140*, 112808.
24. Moradi, H., Shetab Bushehri, N., Kourank Beheshti, A., & Poorzahedy, H. (2010). Location of Competitive Service Centers for Reducing City Traffic Case Study: Health Centers of the City of Isfahan. *Journal of Production and Operations Management, 1*(1), 31-52. (In Persian)
25. Olafsson, S., Li, X., & Wu, S. (2008). Operations research and data mining. *European journal of operational research, 187*(3), 1429-1448.
26. 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.
27. Rad, S. Y. B., Rad, M. A. B., Desa, M. I., Behnam, S., & Lessanibahri, S. (2010). *A non-linear model for the classification of stored items in supply chain management.* Paper presented at the 2010 International Symposium on Information Technology.
28. Rosenwein, M. B. (1994). An application of cluster analysis to the problem of locating items within a warehouse. *IIE transactions, 26*(1), 101-103.
29. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E., & Shankar, R. (2008). *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies and case studies*: Tata McGraw-Hill Education.
30. Van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., & de Koster, R. B. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European journal of operational research, 267*(1), 1-15.
31. Wang, W., Gao, J., Gao, T., & Zhao, H. (2017). *Optimization of Automated Warehouse Location Based on Genetic Algorithm.* Paper presented at the

www.SID.ir

Archive of SID

Proceedings of the 2nd International Conference on Control, Automation and Artificial Intelligence (CAAI 2017), Sanya, China.

32. Zapata-Cortes, J. A., Arango-Serna, M. D., Serna-Urán, C. A., & Ortíz-Vasquez, L. F. (2021). Multi-Objective Product Allocation Model in Warehouses. In *Techniques, Tools and Methodologies Applied to Quality Assurance in Manufacturing* (pp. 249-268): Springer.
33. Zhang, Y., Lin, W.-H., Huang, M., & Hu, X. (2021). Multi-warehouse package consolidation for split orders in online retailing. *European journal of operational research, 289*(3), 1040-1055.
34. Zhu, S., Hu, X., Huang, K., & Yuan, Y. (2021). Optimization of product category allocation in multiple warehouses to minimize splitting of online supermarket customer orders. *European journal of operational research, 290*(2), 556-571.

www.SID.ir