چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۶ ـ تابستان ۱۳۹۱
ص‌ص ۱۲۸ -۱۰۹

انبارش و جانمایی اقلام انبار بااستفاده از فناوری گروهی و به‌کارگیری الگوریتم ابتکاری

علیرضا پویا*، یونس کرمانشاهیان**

چکیده

سیاست‌های متفاوتی در جهت چیدمان و انبارش اقلام در انبار وجود دارد. این مقاله، سیاست انبارش بر اساس گروه‌بندی اقلام را با درنظر گرفتن کلیهٔ عوامل مؤثر در ذخیره‌سازی محصولات در انباری با محصولات حجیم و متنوع بررسی کرده است. هدف تحقیق، استفادهٔ مؤثرتر از فضای انبار بوده و اطلاعات مربوط به ارتباطات میان محصولات، سفارشات و انبار و عوامل گروه‌بندی محصولات را شامل می‌شوند. تحقیق دارای دو مرحلهٔ اساسی مشتمل بر مسئله گروه‌بندی اقلام و مسئله جای‌گذاری گروه محصولات در محل‌های انبارش. برای این منظور از تکنیک تحلیل خوشه‌ای غیرسلسله مراتبی K-mean برای حل مسئله گروه‌بندی و یک الگوریتم ابتکاری برای حل مسئله تخصیص به محل‌های انبارش استفاده شده است. درنتیجه در مرحله‌ی اول، تعداد ده گروه کالا استخراج و نام‌گذاری شدند. سپس فضای انبار به محل‌های انبارش تقسیم‌بندی شد و الگوریتم ابتکاری گروه‌های محصولات را به محل‌های انبارش تخصیص می‌دهد. نتایج، بهبود ۳۰ درصدی در مساحت اشغال شدهٔ انبار مورد بررسی را نشان داده‌اند.

کلیدواژه‌ها: انبارش؛ فناوری گروهی؛ خوشه‌بندی به روش K-mean؛ عوامل مؤثر در چیدمان؛ استفادهٔ مؤثر از فضای انبار.

تاریخ دریافت مقاله:۹۱/۰۴/۱۴، تاریخ پذیرش مقاله:۹۱/۰۹/۳۰.

* استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول).

E-mail: alirezapooya@gmail.com

** دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسهٔ مهرالبرز تهران.

۱. مقدمه

انبار به‌عنوان یک حلقهٔ اصلی در هر سازمان بزرگ و پیچیده، برقرارکنندهٔ ارتباط مستقیم میان بخش‌های مختلف سازمان و زنجیرهٔ تأمین می‌باشد. موضوع مدیریت انبار به سه بخش: موقعیت انبار، طراحی انبار و عملیات انبار تقسیم می‌شود. عملیات انبار خود به چهار دستهٔ اصلی شامل: دریافت[1]، ذخیره‌سازی یا انبارش[2]، آماده‌سازی سفارش[3] و حمل‌ونقل[4]، طبقه‌بندی می‌شود [۵:۱۰، ۶:۴۴، ۱۴،۱۶، ۲۰].

عملیات انبارش، شناسایی مناسب‌ترین مکان در انبار و ذخیره‌سازی کالاها در مکان‌های شناسایی شده برای برداشت‌های آینده را شامل می‌شود. مهم‌ترین مسئله در انبارش، بهره‌برداری بیشتر از فضا و بهینه کردن هزینه‌های آماده‌سازی سفارش می‌باشد؛ زیرا که پرهزینه‌ترین جزء عملیات انبارداری، بازیابی و آماده‌سازی سفارش می‌باشد [۱:۲۳۹،۱۰، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲].

انواع الگوهای انبارش و ذخیره‌سازی به‌منظور تخصیص اقلام به محل‌های انبارش توسعه یافته‌اند که از جدیدترین آن‌ها، الگوی انبارش بر اساس گروه‌بندی اقلام[5] می‌باشد [۱۰، ۲۰]. انبارش بر اساس گروه‌بندی محصولات شامل دو گروه می‌باشد:

- مسئله گروه‌بندی[6] (تعیین گروه‌های محصولات)
- مسئله تخصیص به محل‌های انبارش[7] (تخصیص گروه‌های محصولات به محل انبارش) [۱۶، ۲۳].

موضوع اصلی این الگو، قراردادن محصولات مشابه با یکدیگر در یک ناحیه از محل ذخیره‌سازی، می‌باشد. برای یافتن شباهت میان محصولات، عواملی شامل: ویژگی‌های محصولات، اطلاعات سفارشات و وضعیت انبار، در نظر گرفته می‌شوند [۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲]. با مروری بر تحقیقات قبلی مشخص می‌شود که این عوامل و معیارها به‌صورت جامع درنظر گرفته نشده‌اند؛ به‌طوری‌که هرقدر انبار مورد بررسی بزرگتر، پیچیده‌تر و حجم عملیات بیشتر باشد، عوامل بیشتری مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۱۳، ۱۸، ۲۰، ۲۲]. این پژوهش که نمونه‌ی مشابهی در ایران ندارد، ضمن شناسایی تمامی عوامل مؤثر در انبارش محصولات از طریق تحلیل محتوا، اقدام به گروه‌بندی اقلام انباری بزرگ با محصولات حجیم و متنوع، بر اساس عوامل و معیارهای شناسایی شده، بااستفاده از تکنیک تحلیل خوشه‌ای K-mean، می‌نماید؛ سپس گروه‌ها، به محل‌های انبارش، طبق یک الگوریتم ابتکاری، تخصیص می‌یابند. مسئله این پژوهش مطابق با

1. recieve
2. Storing
3. Order picking
4. shipping
5. Correlated Storage Assignment policy
6. Clustering problem
7. Location assignment problem

تقسیم‌بندی گویتچالکس و دیگران[1] [۱۴]، مسئله پویای تخصیص اقلام به محل‌های انبارش (DSLAP)[2] و الگو و الگوریتم به‌کاررفته در گروه الگوهای SLAP تخصیص‌یافته[3] می‌باشد. برای بررسی صحت مدل پیشنهادی، آن را در انبار مورد مطالعه، پیاده‌سازی کرده و میزان بهبود ایجاد شده در استفاده از فضای انبار، نسبت به وضع موجود محاسبه می‌شود.

۲. مبانی و چاچوب نظری تحقیق

پیشینه‌ی تحقیق. شاه (۱۹۸۸) مسئله تخصیص پالت[4] و گروه‌بندی اقلام کالا بررسی و با درنظرگرفتن میزان سفارشات هر محصول و حجم محصولات به‌عنوان عوامل تحقیق، سه راه ابتکاری برای حل این مسئله ارائه شده است [۲۶]. فرازل (۱۹۹۰) در تحقیق خود مسئله تخصیص اقلام به محل‌های انبارش را با هدف نزدیک هم قرار گرفتن کالاهایی که بودن آن‌ها در یک سفارش محتمل‌تر است، فرموله کرده است. همبستگی میان کالاها بر اساس سفارشات آن‌ها مدنظر قرارگرفته است. درنهایت گروه‌ها با بیشترین سطح تقاضا، به‌ترتیب در نزدیک‌ترین نقطه به درب انبار قرار داده شده‌اند [۹]. صدیق (۱۹۹۳) تخصیص محصولات با تقاضای مرتبط، به مکان‌های متفاوت را با هدف حداقل‌سازی هزینه و زمان بازیابی محصول و هزینهٔ انبارداری دوباره[5]، بررسی و از یک الگوریتم گروه‌بندی پیوندی[6] برای گروه بندی اقلام استفاده کرده است. است. پیش‌بینی تقاضای محصول استفاده شده و سابقهٔ سفارشات به‌عنوان عوامل مورد بررسی می‌باشند [۲۵]. روزنوین (۱۹۹۴) گروه‌بندی اقلام کالا را به‌عنوان یک مسئله گروه‌بندی p-median فرموله کرده و یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک مدل برای گروه‌بندی اقلام کالا در انبار ارائه کرده و تعداد دفعات سفارش دو محصول با یکدیگر را به‌عنوان متغیر تحقیق درنظر گرفته است [۲۳]. امیرحسینی و شارپ (۱۹۹۶) چندین روش برای اندازه‌گیری میزان همبستگی اقلام گروه‌بندی شده ارائه کرده‌اند؛ در میان این روش‌ها، روش اندازه‌گیری همبستگی تأمین سفارش[7] تلاش می‌نماید احتمال این‌که دو کالا تقاضای یک سفارش را تأمین نمایند، اندازه‌گیری کند [۷]. لیو (۱۹۹۹) مسئله تخصیص اقلام به محل انبارش و مسئله بازیابی و آماده‌سازی سفارش را در یک مرکز پخش[8] مورد بررسی قرار داده و از تکنیک گروه‌بندی برای تخصیص، مرتب کردن و بازیابی اقلام بر اساس سفارشات مشتریان استفاده کرده است؛ وی

1. Goetschalckx, et al.
2. Dynamic Storage location assignment problem
3. Dedicated SLAP policies
4. Pallet assignment problem (PAP)
5. Rewarehousing cost
6. Hybrid Clustering algorithm(HYCLUS)
7. Order Satisfying Correlation Measure (OSCM)
8. Distribution Center

همچنین یک الگوریتم ابتکاری برای تخصیص بهینهٔ اقلام به قفسه‌ها ارائه کرده است [۱۹]. در مورد مطالعه هوآ (۲۰۰۱) هر سفارش شامل چندین محصول متفاوت می‌باشد و از گروه‌بندی و تعیین همبستگی برای تعیین درصد سفارشاتی که هر دو محصول را باهم شامل می‌شوند، استفاده و یک الگوریتم ژنتیک برای تعیین گروه‌ها ارائه کرده است؛ سپس گروه‌ها به محل‌های انبارش بر طبق شاخص حجم به سفارش[1] هر گروه، اختصاص یافته‌اند [۱۲].

نیک (۲۰۰۴) از تکنیک گروه‌بندی فازی K-mean برای گروه‌بندی اقلام انباری با الگوی انبارش تخصیص‌یافته و با هدف حداقل‌سازی کل مسافت طی شده در انبار، استفاده کرده است. متغیرهای وی برای گروه‌بندی کالاها سطح فعالیت[2] محصولات، سطح ذخیرهٔ[3] مورد نیاز محصولات و حجم آن‌ها بوده است. سپس گروه‌ها به‌صورت نزولی رتبه‌بندی شده و بر اساس رتبه، در نزدیک‌ترین محل به درب‌های ورودی و خروجی انبار قرار گرفته‌اند [۲۱]. جین و لی (۲۰۰۵) در پژوهش خود، انباری ناحیه‌بندی شده با سیستم آماده‌سازی، هم‌زمان سفارش از ناحیه‌های مختلف انبار را بررسی و از تکنیک گروه‌بندی P-median و یک الگوریتم ابتکاری برای تخصیص گروه‌ها به ناحیه‌ها، با هدف بالانس بار کاری 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 [۱۳]. گرفینکل (۲۰۰۵) انباری ناحیه‌بندی شده با محصولات متنوع و به‌هم وابسته را با هدف حداقل‌سازی تعداد ناحیه‌هایی از انبار که برای تکمیل یک سفارش باید مورد بازدید قرار گیرند، بررسی کرده است. گروه‌بندی محصولات از طریق تکنیک خوشه‌بندی K-mean مورد بررسی قرار گرفته است [۱۰]. کیم (۲۰۰۹) یک روش ابتکاری تکرار شونده برای حل هم‌زمان و سیستماتیک هر دو مسئله تصمیم‌گیری NP-Hard شامل: مسئله تخصیص گروه محصولات به فضای انبارش و مسئله کارتن‌بندی کالاها؛ با هدف کاهش هزینه‌های انبارداری، ارائه کرده است. براین اساس از یک راه‌حل ابتکاری شبیه‌سازی و شاخص COI، برای حل مسئله گروه‌بندی و تخصیص به فضای انبارش و از تکنیک پرکردن جعبه[4] برای تخصیص محصولات به کارتن‌ها استفاده شده است [۱۶]. مانزینی و دیگران (۲۰۱۰) در تحقیق خود با هدف کاهش زمان جابه‌جایی در انبار از گروه‌بندی محصولات بااستفاده از الگوریتم گروه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده کرده‌اند. سطح فعالیت محصول[5] (میزان کل جابه‌جایی محصول به میانگین مقدار موجودی محصول)، سطح تقاضای محصولات[6] و شاخص COI (حجم به سفارش) به‌عنوان عوامل گروه‌بندی بوده و سپس

1. Cube-Per-Order Index (COI)
2. Throughput
3. Stock Level
4. Bin-Packing
5. Turn Over
6. Popularity

سپس گروه محصولات با سطح فعالیت بیشتر در نزدیک‌ترین نقطه به درب انبار قرار می‌گیرند [۲۰]. شیائو و ژنگ (۲۰۱۰) گروه‌بندی اقلام انباری ناحیه‌بندی شده مواد اولیهٔ تولید را با هدف حداقل کردن ناحیه‌های مورد بازبینی برای آماده‌سازی یک سفارش، بررسی کرده‌اند. سطح تقاضای مواد و سطح فعالیت محصول به‌عنوان معیار گروه‌بندی اقلام می‌باشند. یک مدل ریاضی، دو الگوریتم ابتکاری و دو الگوریتم ژنتیک ترکیبی[1] با مکانیزم‌های متقاطع مختلف[2] برای گروه‌بندی و حل مسئله تحقیق ارائه شده است. نتایج نشان از عملکرد بهتر الگوریتم ژنتیک طراحی شده با دو نقطهٔ متقاطع، می‌باشند [۲۷].

یی‌فی و دیگران (۲۰۱۲)، در مطالعهٔ خود، مدلی برای گروه‌بندی و تخصیص اقلام با مقدار سفارش اندک و تعداد دفعات سفارش زیاد، به فضای انبار، با هدف کاهش مسافت بازیابی سفارشات، ارائه نموده است. ابتدا از طریق مدل‌سازی ریاضی و در نظرگرفتن میزان سفارشات، کالاها گروه‌بندی شده سپس به‌منظور حل مسئله تخصیص اقلام به محل‌های انبارش، انواع روش‌های تخصیص آزمایش شده‌اند. با اجرای مدل ارائه شده در یک مطالعهٔ موردی، بهبود ۴۵ درصدی در فواصل طی شده برای بازیابی و آماده‌سازی سفارشات، مشاهده شده است [۲۸].

گویتچالکس و دیگران (۲۰۰۷) به بررسی پیشینهٔ 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 [۱۴].

تحقیقات دیگر به بررسی سایر الگوهای چیدمان و انتخاب مناسب‌ترین آن‌ها پرداخته‌اند. لارسون و دیگران [۱۸] طراحی چیدمان انباری را با استفاده از الگوی کلاس‌بندی شده، مطالعه کرده و سطح فعالیت محصولات شامل تعداد دفعات دریافت و تعداد دفعات ارسال آن‌ها و همچنین حداکثر احتیاجات انبار برای هر محصول را به‌عنوان عوامل مؤثر در چیدمان محصولات درنظر گرفته‌اند. دانشور کاخکی و دیگران (۱۳۸۵) در مطالعهٔ خود محصولاتی که در یک زمان و به یک مقصد ارسال می‌شوند را در مجاورت یکدیگر قرار داده‌اند؛ که منجر به بهبود در مسافت طی شده در انبار مورد بررسی شده است [۳]. حسن‌نایبی و دیگران (۱۳۸۷) به انتخاب بهترین الگوی چیدمان، بااستفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی پرداخته‌اند، بدین‌منظور طیف وسیعی از عوامل مؤثر در چیدمان بیان شده‌اند که از این میان، احتمال اشتباه در عملیات انبارداری، استفاده مؤثر از تجهیزات، شرایط ایمنی کارکنان و حامل مشترک را می‌توان بیان کرد [۲].

1. Hybrid genetic algorithms
2. Different crossover mechanisms

فراهانی و دیگران (۲۰۱۰) با بررسی پیشینه‌ی مکان‌یابی چندمعیارهٔ تسهیلات[1]، مهم‌ترین عوامل مؤثر در مکان‌یابی و جای‌گذاری تسهیلات را بیان کرده‌اند که از این میان عواملی نظیر استفادهٔ مؤثر از تجهیزات و شرایط ایمنی کارکنان را می‌توان ذکر کرد [۸].

ککدنیز و دیگران (۲۰۱۲) بااستفاده از تکنیک خوشه‌بندی c-means فازی و برنامه‌ریزی محدب[2] به حل مسئله مکان‌یابی چند تسهیلات[3] پرداخته‌اند. هر گروه نشان‌دهندهٔ تسهیلاتی است که ظرفیت آن‌ها باتوجه به تقاضای مراکز توزیع تکمیل شده است. سپس هر گروه به‌عنوان یک مسئله مکان‌یابی تک ابزاری[4] حل شده و هر مسئله مکان‌یابی تک ابزاری بااستفاده از برنامه‌ریزی محدب و به هدف بهینه‌سازی هزینهٔ حمل‌ونقل، حل می‌شود. نتایج در یک مورد مطالعه نشان از بهتر بودن روش یکپارچه‌سازی گروه‌بندی c-means فازی و روش جاذبه، نسبت به مدل اصلی گروه‌بندی در پیشینه، می‌باشد [۱۷].

تحقیقاتی نیز به بررسی مسئله چیدمان محصولات در کانتینر، جعبه و یا پالت پرداخته‌اند و عوامل مؤثر در چیدمان را بیان داشته‌اند؛ رفیع‌زاده [۴:۵]، پیسینگر [۲۲] و جورایتیس و دیگران [۱۵] در مطالعات خود مسئله بارگیری کانتینر را مورد بررسی قرار داده‌اند که از جمله عوامل مؤثر اشاره شده در بارگذاری اقلام در کانتینر، حجم کالا، زمان دریافت و ذخیره‌سازی و زمان بازیابی و ارسال محصولات می‌باشند.

جدول ۱ خلاصه‌ای از مطالعات فوق را با تأکید بر عوامل درنظر گرفته شده و تکنیک‌های به‌کار رفته، به‌ترتیب برای حل مسئله گروه‌بندی و حل مسئله تخصیص گروه‌ها به انبار، نشان می‌دهد.

1. Multiple criteria facility location problem
2. convex programming
3. Multi-facility location problem
4. Single facility location problem

جدول ۱. تحلیل محتوای تحقیقات انجام شده

ردیف	منبع	عوامل گروه‌بندی	تکنیک حل مسئله گروه‌بندی	تکنیک حل مسئله تخصیص گروه‌ها به فضای انبار
۱	[۱۲]	سطح تقاضا، تعداد دفعات بازیابی، حجم کالا	۳ الگوریتم ابتکاری	
۲	[۲۵]	سطح تقاضا، میانگین میزان مراجعه به کالا، حجم کالا	الگوریتم ابتکاری برای تعیین همبستگی میان هردو کالا	قرار گرفتن گروه‌ها با بیشترین تقاضا درنزدیک‌ترین نقطه به درب انبار
۳	[۲۶]	سطح تقاضا، میانگین میزان مراجعه به کالا	الگوریتم خوشه‌بندی پیوندی (HYCLUS)	الگوریتم ابتکاری
۴	[۲۳]	تشابه در سفارش، حجم کالا	مدل گروه‌بندی p-median مدل برنامه‌ریزی صفر و یک	بررسی نشده است
۵	[۱۹]	تشابه در سفارش، سطح فعالیت محصول، حجم کالا	مدل برنامه‌ریزی صفر و یک	الگوریتم ابتکاری
۶	[۷]	سطح فعالیت محصول، حجم کالا	الگوریتم ژنتیک	شاخص COI
۷	[۲۱]	تشابه در سفارش، زمان دریافت و ذخیره‌سازی، زمان بازیابی و ارسال، سطح فعالیت محصول، حجم کالا	گروه‌بندی فازی k-mean	رتبه‌بندی گروه‌ها و چیدمان به‌ترتیب رتبه
۸	[۱۳]	تعداد دفعات بازیابی، حجم کالا	مدل گروه‌بندی p-median	الگوریتم ابتکاری
۹	[۱۰]	میانگین میزان مراجعه به کالا، زمان دریافت و ذخیره سازی، تعداد دفعات ذخیره‌سازی و انبارش، تعداد دفعات بازیابی، حجم کالا	مدل‌سازی ریاضی و گروه‌بندی k-mean	الگوریتم ابتکاری
۱۰	[۱۶]	سطح فعالیت محصول، حجم کالا	الگوریتمی ابتکاری تکرارشونده برای حل هم‌زمان دو مسئله	
۱۱	[۲۰]	سطح تقاضا، سطح فعالیت محصول	گروه‌بندی سلسله‌مراتبی	ارائه ۹ حالت مختلف
۱۲	[۲۷]	سطح تقاضا، سطح فعالیت محصول	مدل ریاضی الگوریتم ابتکاری الگوریتم ژنتیک برای حل هم‌زمان دو مسئله	
۱۳	[۲۸]	تعداد دفعات سفارش، مقدار سفارش	مدل ریاضی	آزمایش چندین روش تخصیص

۳. روش‌شناسی تحقیق

طراحی پرسشنامه. به مانند پژوهش‌های [۱۰، ۱۶، ۲۰، ۲۸]، از طریق تحلیل محتوای پیشینهٔ تحقیق، تمامی عوامل مؤثر در انبارداری، شامل ویژگی‌های محصولات، اطلاعات سفارشات آن‌ها و همچنین وضعیت انبار و عملیات‌های آن، شناسایی و در جدول شماره ۲ بیان شده‌اند. مقادیر هر یک از این عوامل، برای هریک از کالاهای موجود در انبار، به مانند تحقیق نیک [۲۰]، دارای طیف پنج‌گزینه‌ای لیکرت از ۱ به‌معنای خیلی کم تا ۵ به‌معنای خیلی‌زیاد می‌باشند. این مقادیر وضعیت عوامل را دربارهٔ هریک از کالاهای انبار، تعیین می‌کنند. متغیرهای "حداکثر احتیاجات انبار" و "حجم" دارای طیف عددی می‌باشند، همچنین متغیرهای "احتمال اشتباه در عملیات انبارداری" و "شرایط ایمنی کارکنان" دارای جهت معکوس می‌باشند.

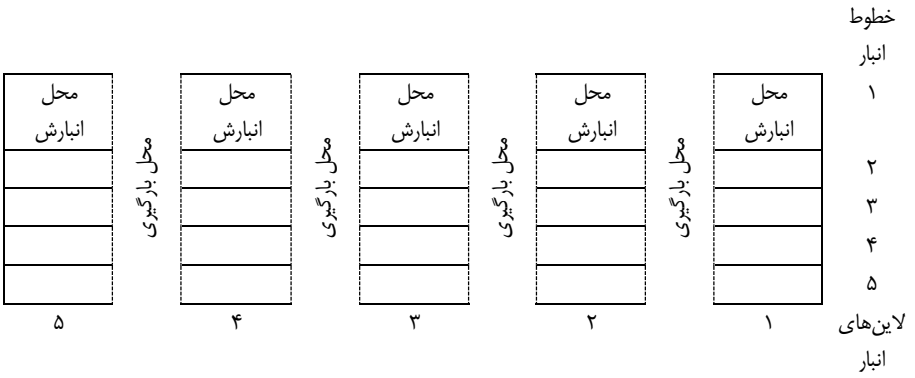
جدول ۲. تحلیل محتوای عوامل مؤثر بر انبارش اقلام

ردیف	نام عامل	نویسندگان	ردیف	نام عامل	نویسندگان
۱	نیاز به دسترسی سریع	[۱، ۲، ۱۴]	۹	حداکثر احتیاجات انبار	[۱، ۱۴، ۱۸]
۲	سطح تقاضا	[۲، ۲۰، ۲۵، ۲۶، ۲۷]	۱۰	تعداد دفعات ذخیره‌سازی و انبارش	[۱۰، ۱۱]
۳	میانگین میزان مراجعه به کالا	[۱، ۱۰، ۲۵، ۲۶]	۱۱	تعداد دفعات بازیابی	[۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]
۴	تشابه در سفارش	[۱۹، ۲۱، ۲۳]	۱۲	حجم کالا	[۱، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۲۱]
۵	زمان دریافت و ذخیره‌سازی	[۲، ۴، ۱۰، ۱۱، ۲۲]	۱۳	میانگین مدت ذخیره برای بازیابی	[۱۱، ۱۴]
۶	زمان بازیابی و ارسال	[۳، ۴، ۵، ۱۰، ۱۱، ۲۲]	۱۴	استفاده مؤثر از تجهیزات	[۲، ۸]
۷	حامل مشترک	[۲، ۳]	۱۵	احتمال اشتباه در عملیات انبارداری	[۲]
۸	سطح فعالیت محصول	[۱، ۷، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۷]	۱۶	شرایط ایمنی کارکنان	[۱، ۲، ۸]

از طریق پرسشنامه‌های نیمه بسته و همچنین گزارش‌های موجودی انبار و گزارش سفارشات کالاها طی سالیان گذشته، مقادیر عوامل استخراج شدند. مصاحبه‌ها و تکمیل پرسشنامه به‌مانند تحقیق نیک [۲۰] طی جلساتی مشترک با حضور مدیران انبار، مدیر کنترل کیفیت، مدیر تولید و

مدیرعامل کارخانه، صورت گرفته است. داده‌های مرتبط با هر عامل، توسط محقق در قالب پرسش‌ها بیان شده و سپس مدیران باتوجه به خبرگی و تجربیات خود، از میان گزینه‌های مربوطه بروی یک گزینه به توافق رسیده و مقادیر عوامل برای هر کالا را ذکر فرمودند. باتوجه به حضور محقق و حداقل دو تن از مدیران در هر جلسه، ابهامات در سؤالات و گزینه‌ها با توضیح محقق، رفع و برداشت‌ها یکسان شده و درنتیجه پاسخ‌ها مناسب‌تر ارائه شده‌اند. پس از استخراج کلیه داده‌ها، از آن‌ها برای گروه‌بندی محصولات استفاده می‌شود.

معرفی انبار مورد مطالعه. انبار فرآورده‌های مورد بررسی، محل نگهداری بیش از ۴۰۰ نوع محصول تولیدی قطعات پیش‌ساخته بتنی به‌مقدار بیش از ده هزار عدد است. این انبار دارای ۵ خط می‌باشد که هرخط به ۵ لاین تقسیم شده است. هرخط انبار مجهز به یک جرثقیل سقفی که کل خط را برای بارگیری و حمل محصولات پوشش می‌دهد و تجهیزات دیگر برای دپوکردن، بارگیری و حمل قطعات برای ارسال به نقاط مورد نظر می‌باشند. طول انبار ۲۵۶/۵۱ متر، عرض آن ۸۹/۶۶ متر و ارتفاع آن ۷/۴ متر می‌باشد. همچنین انبار دارای ۴ محل ورودی/خروجی دوطرفه است، که از داخل خط تولید کارخانه در عرض انبار قرار دارند. شکل ۱ شمائی از انبار مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق تقسیم‌بندی هیراگو و دیگران [۱۱] فواصل میان ابتدا و انتهای ورودی و خروجی انبار، به‌عنوان "محل بارگیری" تعیین می‌شوند و فضای لاین‌های انبار، "محل انبارش" محصولات می‌باشند.



شکل ۱. انبار مورد مطالعه

طبقه‌بندی ABC کالاهای انبار. باتوجه به حجم بزرگ فضای انبار مورد مطالعه و همچنین تعداد و تنوع زیاد محصولات انبار شده، انبار مورد مطالعه تکمیل می‌باشد و محصولات در مکان‌های دیگر کارخانه دپو شده‌اند. با نظر متخصصان تصمیم بر آن شد تا از طریق تحلیل

ABC، ابتدا کالاها را تفکیک کرده و سپس فقط طبقه A محصولات مورد بررسی قرار گیرند. مطابق با گزارش موجودی، ۴۷۷ قلم کالای متنوع به تعداد ۱۵۱۴۶ عدد موجودی محصولات می‌باشد. مطابق با مشاهدات و بررسی‌های صورت گرفته، از تعداد ۴۷۷ قلم کالای موجودی، ۲۸۲ قلم آن تعداد کمتر از ۱۰ عدد موجودی دارند، که به دلایلی نظیر سفارشی بودن و یا اسقاط بودن، جزء کالاهای مورد بررسی در این تحقیق قرار نگرفته و در طبقه B محصولات جای می‌گیرند. از میان کالاهایی که در قلمرو بررسی تحقیق قرار گرفته‌اند (موجودی بیشتر از ۱۰ عدد) مقادیری از آن‌ها در خارج از محل انبارش اصلی نگهداری می‌شوند. این کالاها که ۴۱ قلم کالای متنوع را شامل می‌شوند نیز از کالاهای مورد بررسی حذف و در طبقه C محصولات قرار می‌گیرند. در نتیجه تعداد کالاهای باقی‌مانده که در محل انبارش اصلی کارخانه قرار دارند، در طبقه A قرار گرفته و مسئله گروه‌بندی و تخصیص برای آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطابق تحلیل بیان شده، ملاحظه می‌شود که کالاها به‌مانند اصل پاره‌تو فضای انبار را اشغال کرده‌اند و تقریبا ۸۰ ٪ فضا توسط ۲۰ ٪ اقلام، اشغال شده است و گروه A شامل محصولاتی است که ۸۰٪ محل انبارش را اشغال کرده‌اند. این تعداد کالا در بازه زمانی انجام تحقیق، ۱۵۴ قلم کالای متفاوت با مقادیر متفاوت، جمعاً به‌مقدار ۹۸۰۱ عدد را شامل می‌شوند. بنابراین در این پژوهش فقط طبقه A محصولات مورد بررسی قرار گرفته و داده‌ها برای آن‌ها استخراج شده‌اند.

روش تجزیه‌وتحلیل. این تحقیق از نوع کاربردی است، زیرا یافته‌های آن برای عرصهٔ عمل و در سایر موارد مشابه می‌تواند به‌کار رود. باتوجه به پیشینهٔ مورد بررسی، برای حل مسئله چیدمان محصولات، از الگوی گروه‌بندی اقلام کالا استفاده می‌شود. بدین‌منظور به‌مانند تحقیقات [۱۰، ۱۳، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۸] از تکنیک تحلیل خوشه‌ای استفاده می‌شود. در میان شیوه‌های گروه‌بندی غیرسلسله مراتبی، روش K-mean و متغیرهای آن بیشترین کاربرد را در تحقیقات انبارداری دارد [۲۱، ۲۸]. در این تحقیق به‌مانند نیک (۲۰۰۴) و یی‌فی و دیگران (۲۰۱۲) از روش تحلیل خوشه‌ای غیرسلسله‌مراتبی K-mean باکمک نرم‌افزار SPSS 14 استفاده می‌شود.

برای حل مسئله تخصیص گروه‌ها به فضای انبار نیز، به‌مانند تحقیق نیک (۲۰۰۵) گروه‌ها به‌صورت نزولی رتبه‌بندی می‌شوند [۲۱] و سپس به‌مانند تحقیقات لیو (۱۹۹۹)، گرفینکل (۲۰۰۵) و جین و لی (۲۰۰۵)، از یک الگوریتم ابتکاری برای جای‌گذاری گروه‌ها در مناسب‌ترین محل‌های انبارش، استفاده می‌شود [۱۰، ۱۳، ۱۹].

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

حل مسئله گروه‌بندی. به‌منظور تعیین مناسب‌ترین تعداد گروه‌های کالا، تحقیقات گذشته مطلبی ارائه نکرده‌اند، لیو (۱۹۹۹) نتایج تحقیق خود را برای تعداد گروه‌های مختلف، مورد بررسی قرارداده است [۱۸]. نیک (۲۰۰۵) تعداد گروه‌ها را باتوجه به تقسیم‌بندی محل انبارش و نظر محقق، از دو تا تعداد کل کالاها، متغیر می‌داند [۲۱]. در این پژوهش باتوجه به تقسیم‌بندی انبار و نظر محققین و خبرگان، کالاها در ۱۰ گروه، گروه‌بندی شدند. خروجی گروه‌بندی کالاها باتوجه به داده‌های ۱۶ عامل معرفی شده، برای ۱۵۴ قلم کالا، به‌شرح جدول شماره ۳ می‌باشند.

جدول ۳. مراکز گروه‌های نهایی، مقادیر هر گروه و تحلیل واریانس

عوامل	گروه‌ها										تحلیل واریانس		
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	F	Sig
حجم کالا	۱/۹۴	۱/۳۲	۳/۷۹	۲/۰۰	۱/۵۷	۱/۳۲	۳/۳۶	۲/۳۳	۳/۷۱	۱/۶۴	۲۱/۵۹	۰/۰۰
نیاز به دسترسی سریع	۱/۷۵	۲/۴۵	۱/۵۴	۱/۲۷	۱/۷۱	۲/۰۹	۲/۸۲	۲/۰۰	۲/۵۷	۳/۴۵	۲۳/۷۹	۰/۰۰
سطح تقاضا	۲/۴۴	۲/۰۳	۲/۵۴	۲/۲۷	۱/۷۱	۲/۲۷	۲/۹۱	۲/۰۰	۲/۸۶	۳/۷۳	۲۰/۲۷	۰/۰۰
میانگین میزان مراجعه به کالا	۲/۴۴	۲/۸۱	۲/۰۸	۲/۲۷	۱/۵۷	۱/۸۶	۲/۳۶	۱/۶۷	۲/۴۳	۳/۰۵	۴/۴۳	۰/۰۰
تشابه در سفارش	۲/۵۷	۱/۷۷	۳/۵۸	۴/۰۰	۱/۲۹	۳/۹۱	۳/۰۰	۳/۳۳	۱/۲۹	۴/۰۰	۸۶/۰۳	۰/۰۰
زمان دریافت و ذخیره‌سازی	۴/۰۶	۱/۲۶	۴/۲۹	۲/۵۵	۱/۲۹	۲/۰۰	۲/۰۰	۳/۰۰	۳/۲۹	۲/۹۵	۹۳/۴۱	۰/۰۰
زمان بازیابی و ارسال	۴/۰۰	۱/۰۳	۴/۱۷	۳/۰۹	۱/۲۹	۳/۷۷	۲/۳۶	۱/۳۳	۲/۸۶	۲/۵۵	۹۲/۲۱	۰/۰۰
حامل مشترک	۱/۱۳	۲/۹۰	۲/۱۷	۳/۷۳	۲/۲۹	۲/۵۵	۴/۰۰	۴/۰۰	۱/۸۶	۲/۹۱	۱۴/۷۸	۰/۰۰
سطح فعالیت محصول	۲/۵۰	۳/۱۹	۱/۵۰	۱/۹۱	۱/۷۱	۲/۷۷	۳/۸۲	۲/۶۷	۲/۸۶	۴/۰۵	۲۲/۶۷	۰/۰۰
حداکثر احتیاجات انبار	۴/۰۶	۲/۷۴	۴/۵۸	۵/۰۰	۴/۵۷	۳/۴۵	۲/۷۳	۳/۶۷	۳/۸۶	۴/۰۹	۱۷/۲۲	۰/۰۰
تعداد دفعات ذخیره‌سازی و انبارش	۳/۵۶	۲/۶۸	۳/۷۱	۲/۳۶	۱/۵۷	۲/۸۲	۲/۴۵	۳/۶۷	۱/۷۳	۲/۵۹	۱۰/۷۳	۰/۰۰
تعداد دفعات بازیابی	۳/۳۱	۲/۳۲	۳/۶۳	۲/۵۵	۱/۷۱	۲/۶۸	۲/۰۰	۴/۳۳	۳/۳۴	۲/۷۳	۱۴/۴۷	۰/۰۰
میانگین مدت ذخیره برای بازیابی	۳/۹۴	۲/۹۷	۳/۰۸	۳/۵۵	۳/۱۴	۲/۴۵	۳/۰۹	۳/۶۷	۲/۰۰	۲/۵۹	۱۰/۰۷	۰/۰۰
استفادهٔ مؤثر از تجهیزات	۲/۰۶	۳/۶۱	۲/۵۰	۲/۲۷	۳/۱۴	۳/۷۷	۱/۰۰	۳/۰۰	۳/۵۷	۳/۱۸	۳۸/۵۷	۰/۰۰
احتمال اشتباه در عملیات انبارداری	۱/۵۶	۲/۲۹	۰/۷۵	۱/۲۷	۱/۱۴	۱/۷۷	۱/۶۴	۱/۰۰	۱/۱۴	۱/۳۶	۹/۰۲	۰/۰۰
شرایط ایمنی کارکنان	۳/۱۳	۳/۵۸	۳/۰۰	۳/۴۵	۳/۸۶	۳/۳۲	۳/۰۰	۳/۳۳	۳/۵۷	۳/۴۱	۶/۱۰	۰/۰۰
میانگین هر گروه	۲/۷۹	۲/۴۳	۲/۹۹	۲/۷۲	۲/۱۰	۲/۶۷	۲/۶۶	۲/۸۱	۲/۸۱	۳/۰۲		
(رتبه*)	(۵)	(۹)	(۲)	(۶)	(۱۰)	(۷)	(۸)	(۳)	(۴)	(۱)		
تعداد نوع کالا در هر گروه	۱۶	۳۱	۲۴	۱۱	۷	۲۲	۱۱	۳	۷	۲۲	جمع:	۱۵۴

*رتبهٔ هر گروه، نشان‌دهندهٔ اولویت آن برای جای‌گذاری در محل‌های انبارش می‌باشد.

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

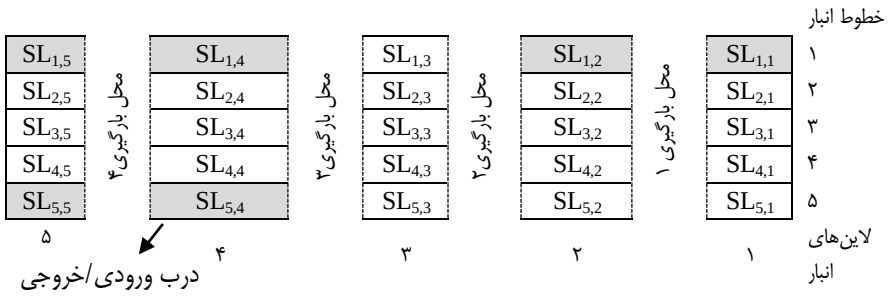
همچنین فواصل میان مراکز گروه‌ها، که کمترین و بیشترین فاصله میان گروه‌ها را نشان می‌دهد، محاسبه شد. براین اساس گروه یک و سه کم‌ترین فاصله را با یکدیگر دارا هستند که در واقعیت نیز کالاهای این دو گروه، دو نوع دیوار می‌باشند که گروه یک "دیوارهای حصار و نرده‌ای" و گروه سه انواع "دیوارهای خارجی" را شامل می‌شوند. گروه دو با گروه پنج کم‌ترین

فاصله را دارا می‌باشد. گروه چهار کم‌ترین فاصله را با گروه شش دارد که این دو گروه ازنظر سطح تقاضا هم‌رتبه می‌باشند. گروه هشت نیز کم‌ترین فاصله را با گروه چهار دارد که مشترک بودن کالای "دیوار تیغه" در این دو گروه از علل این نزدیکی است. درنهایت گروه نهم با گروه سه و گروه دهم با گروه شش کم‌ترین فاصله را دارا می‌باشند.

فرایند گروه‌بندی ازطریق تحلیل خوشه‌ای شامل تحلیل داده‌ها و سپس نام‌گذاری مناسب آن‌ها می‌باشد، برای نام‌گذاری گروه‌های کالا، از نمره‌های عوامل مؤثر در چیدمان در میان گروه‌ها و رتبهٔ هر عامل در مجموع عوامل هر گروه، برطبق جدول ۳ استفاده شد. درنتیجه ۱۰ گروه کالا به‌شرح زیر نام‌گذاری شدند.

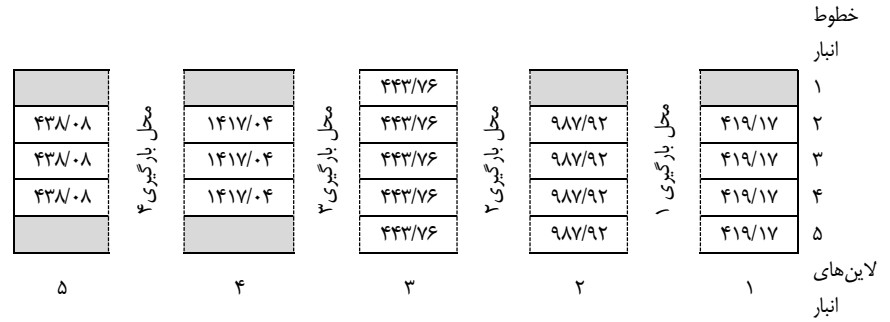
گروه یک، گروه "دیوار حصار"، انواع دیوارهای حصار و نرده‌ای را شامل می‌شوند، این محصولات مدت ماندگاری زیادی دارند و زمان ذخیره و بازیابی نسبتاً طولانی نیز دارند. گروه دوم تحت‌عنوان کالاهای "پرخطا" نام‌گذاری شد. این گروه شامل انواع تیربرق و انواع جدول کم‌ترین حجم را داشته و برحسب سفارش انبوه، تولید و ارائه می‌شوند؛ درنتیجه در هر یک از عملیات‌های دریافت، انبارش و بازیابی و ارسال، احتمال اشتباه افزایش می‌یابد. گروه سوم گروه کالاهای "حجیم"، دیوارهای خارجی و ستون‌های حجیم هستند که زمان ذخیره‌سازی و بازیابی زیادی داشته و در انبار بیشتر از میزان نیاز نگهداری می‌شوند. گروه چهارم انواع دیوارهای تیغه، بالکن و جان‌پناه را شامل می‌شوند، این کالاها نسبت به سایر کالاها بیشتر در یک سفارش باهم قرار می‌گیرند، و تحت‌عنوان گروه "هم سفارش" نام‌گذاری می‌شوند. گروه پنجم تحت‌عنوان "کالاهای پرخطر" نام‌گذاری می‌شود. کالاهای این گروه مانند انواع پله، اشکال نامنظم و حمل‌ونقل دشوارتری دارند و در زمان جابه‌جایی آن‌ها حتماً می‌بایست شرایط ایمنی، بیشتر مدنظر قرار گیرند. گروه ششم، گروه کالاهای "تیرشکل" نام‌گذاری می‌شود، این کالاها شامل انواع تیرحمال و تیر عرضی را شامل می‌شوند. گروه هفتم، گروه "فوتینگ‌ها" نام‌گذاری می‌شود، این گروه کلیه‌ی فوتینگ‌ها در ابعاد مختلف برای دیوارهای مختلف و انواع فوتینگ گوشه را شامل می‌شود. گروه هشتم گروه کالاها با "حامل مشترک"، شامل انواع دیگر از دیوار تیغه و یکی از انواع دال ترافیکی می‌باشد که نسبت به کالاهای سایر گروه‌ها بیشتر با یکدیگر در یک حامل قرار گرفته و ارسال می‌شوند. گروه نهم انواع نیوجرسی و سکوها و حوضچه‌های بتنی را شامل می‌شوند. تعداد دفعات دریافت و ذخیره‌سازی و بازیابی و ارسال محصولات این گروه بیشتر از سایر گروه‌ها می‌باشد؛ به‌همین دلیل تحت‌عنوان محصولات "فعال" نام‌گذاری می‌شوند. گروه دهم بالاترین میزان سطح فعالیت و تقاضا را به‌خود اختصاص داده است، میزان مراجعه به اقلام این گروه بیشترین و این محصولات نیاز به دسترسی سریع دارند. کالاهای این گروه مانند انواع سقف و ستون، تحت‌عنوان گروه محصولات "پرتقاضا" نام‌گذاری می‌شوند.

حل مسئله جای‌گذاری. بعداز مشخص شدن گروه‌ها، می‌بایست آن‌ها را باتوجه به مساحت هر یک و بر حسب اولویت به محل‌های انبارش تخصیص داد. بدین‌منظور ابتدا انبار محصولات، مطابق شکل ۲، تقسیم‌بندی شد. انبردارای ۲۵ محل انبارش با مساحت‌های متفاوت می‌باشد. از این میان مطابق شکل ۲، نقاط تیره طبق تحلیل ABC، محل انبارش کالاهای طبقه B و C و نقاط سفیدرنگ محل انبارش طبقه A کالاها تعیین شدند. همچنین محل‌های انبارش مطابق سیستم SL_{ij} کدگذاری شده‌اند، که SL مخفف محل انبارش[1] می‌باشد. i نشان‌دهندهٔ خطوط انبار و j نشان‌دهندهٔ لاین‌های انبار می‌باشند.



شکل ۲. تقسیم‌بندی انبار

باتوجه به تقسیم‌بندی انبار در شکل شماره ۲، مساحت هر یک از محل‌های انبارش (با کسر فضاهای غیرقابل دسترس) در شکل شماره ۳ و همچنین مساحت هر گروه در جدول شماره ۵، به تفکیک ارائه شده است.



شکل۳. مساحت محل‌های انبارش (مترمربع)

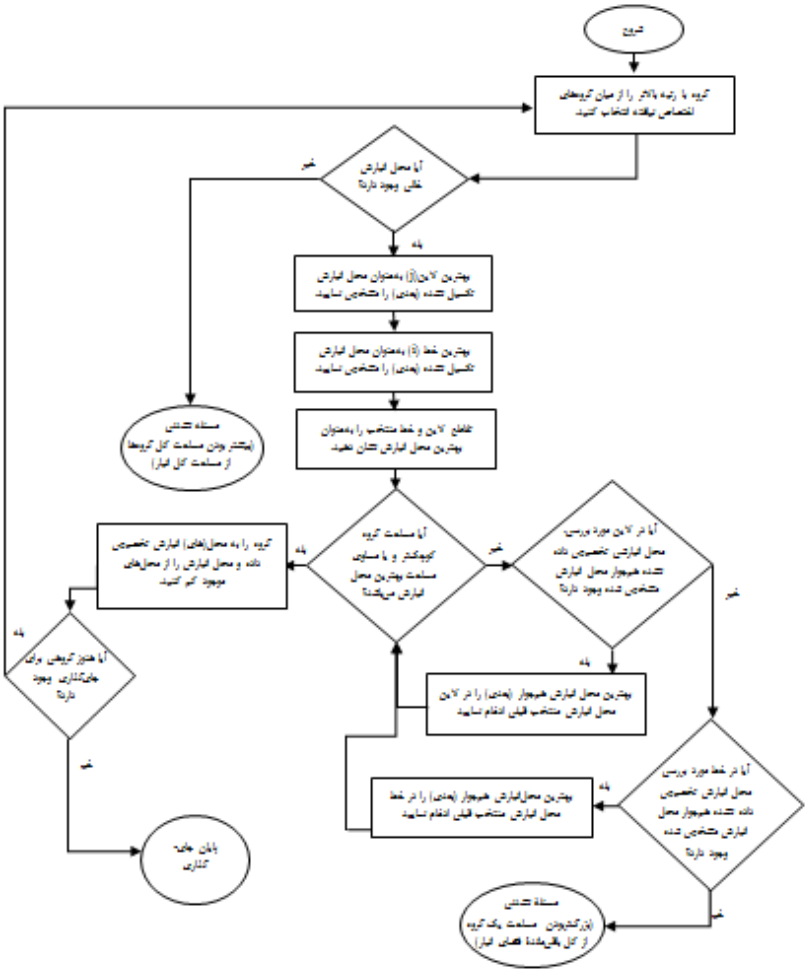
1. Storage location

در محاسبهٔ مساحت گروه‌ها، باتوجه به مشخصات و ویژگی‌های هر کالا، انواع کالاهای ستون، سقف، باکس، درب باکس، حوضچه‌های بتنی، انواع تیرحمال، جداول و قطعات راه‌آهن، با درنظر گرفتن استانداردها و محدودیت آسیب‌ندیدن کالا، ۲ عدد و تیرهای برق ۳ عدد بر روی هم درنظر گرفته شده‌اند. همچنین دیوارها به‌صورت ایستاده به تکیه‌گاه‌های مخصوص، فوتینگ‌ها به‌صورت عمودی و انواع نیوجرسی به کف جای‌گذاری می‌شوند.

جدول ۴. مساحت گروه‌های محصولات

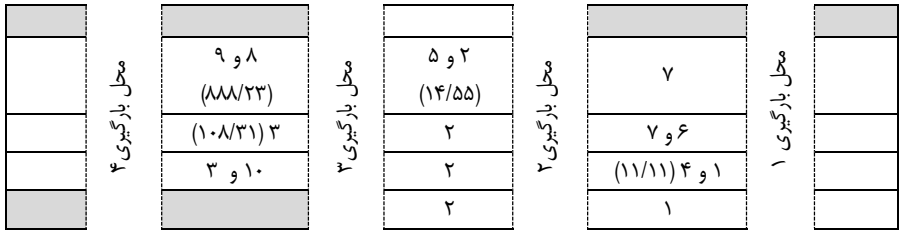
مساحت گروه‌ها (مترمربع)										
گروه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
مساحت	۱۵۲۷/۴۷	۱۴۶۶/۰۸	۱۵۳۹/۰۲	۴۳۷/۲۶	۳۱۴/۴۱	۳۸۳/۷۹	۶۸۷/۳۲	۱۷۸/۱۴	۳۵۰/۶۷	۱۱۸۶/۷۵
جمع کل										۸۰۶۱/۹۱

مطابق شکل ۲، نوزده ناحیه برای انبارش محصولات مشخص شده‌اند. همچنین محل‌های بارگیری به‌ترتیب از راست به چپ شماره‌های ۱ تا ۴ را دارند. طبق نظر خبرگان و مشاهدات محققین، باتوجه به عواملی نظیر سطح دسترسی سریع و آسان تجهیزات و پرسنل انبار به محل‌های انبارش و بزرگی هر محل، به‌ترتیب از چپ به راست، لاین‌های (۵ و ۱، ۳، ۲، ۴) برای جای‌گذاری گروه‌های کالا، در اولویت قرار دارند. در هر لاین نیز خطوط نزدیک به درب ورودی/خروجی در اولویت بالاتری برای جای‌گذاری گروه‌های کالا می‌باشند. بنابراین، گروه کالای رتبه‌ی بالاتر، درصورت تطبیق حجم آن با محل انبارشِ اولویت بالاتر، بدان محل تخصیص می‌یابد. الگوریتم تخصیص گروه‌ها به فضای انبار در شکل شماره ۴ مشخص شده است.



شکل ۴. الگوریتم تخصیص گروه‌ها به فضای انبار

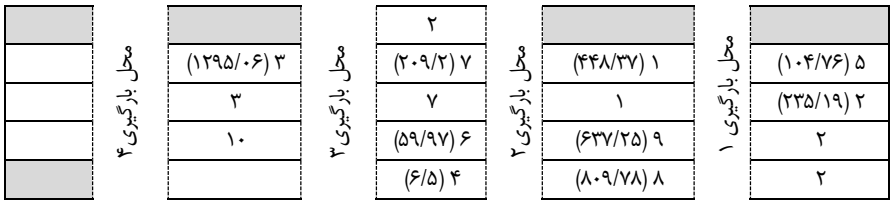
مطابق الگوریتم بیان‌شده در شکل ۴، گروه‌های کالا در انبار، می‌توانند به‌مانند شکل شماره ۵ و یا شکل شماره ۶، جای‌گذاری شوند. در هر محل انبارش شمارهٔ گروه/گروه‌ها و روبه‌روی آن مساحت خالی باقی‌مانده از محل انبارش که گروه با رتبهٔ بعد در آن جای نمی‌گیرد، ذکر شده‌است.



شکل ۵ . جای‌گذاری گروه‌ها با احتساب وجود چند گروه در یک محل انبارش

همان‌طور که ملاحظه می‌شود (شکل شماره ۵)، گروه شماره ۱۰ که رتبهٔ اول را در میان گروه‌ها داشته، در اولویت اول محل‌های انبارش یعنی $SL_{4,4}$ (محل انبارش لاین ۴ و خط ۴) قرار گرفته است، همچنین طبق جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود که مساحت گروه‌های ۱ تا ۳ از مساحت بزرگ‌ترین محل‌های انبارش، بزرگ‌تر می‌باشند. درنتیجه در یک محل انبارش جای نمی‌گیرند. باتوجه به این‌که میان هر دو خط از یک لاین، فقط یک ستون حائل وجود داشته ولی میان لاین‌های مختلف، محل بارگیری می‌باشد. این گروه‌ها فقط به دو محل انبارش مجاور یکدیگر در یک لاین می‌توانند اختصاص یابند و در موارد خاص، به دو لاین جداگانه اختصاص می‌یابند. به‌همین ترتیب گروه‌ها با رتبه‌های بالاتر بعدی به محل‌های انبارش اولویت‌دار اختصاص یافته‌اند، این موارد در الگوریتم ارائه شده مشخص می‌باشند.

در حالت جای‌گذاری کالاها در شکل شماره ۵، در هر محل انبارش، درصورت امکان بیش از یک گروه جای می‌گیرد. همچنین حالت دیگر جای‌گذاری گروه‌ها در محل‌های انبارش (شکل شماره ۶) به‌گونه‌ای است که در هر محل انبارش فقط یک نوع گروه وجود داشته باشد.



شکل ۶ . جای‌گذاری گروه‌ها با احتساب جای‌گذاری یک گروه در هر محل انبارش

مشاهده می‌شود که در هر دو حالت جای‌گذاری، انبار دارای فضای خالی می‌باشد و درنتیجه نسبت به وضعیت قبل، چیدمان بهبود یافته و از فضای انبار استفادهٔ مفیدتری صورت گرفته است. همچنین می‌توان الگوریتم را طوری طراحی کرد که هیچ فضای خالی در محل انبارش مورد قبول قرار نگیرد و با بررسی گروه‌ها، گروهی انتخاب شود که فضای خالی هر محل انبارش را تکمیل کرده و سپس به محل انبارش با اولویت بعد مراجعه شود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این تحقیق یک روش توسعه‌یافته و کارا برای انبارش محصولات، زمانی‌که اطلاعات دقیقی دربارهٔ محصولات متعدد و متنوع یک انبار بزرگ وجود ندارد را نشان داد. در این پژوهش طبق تحلیل محتوای صورت گرفته، کلیهٔ عوامل و متغیرهایی که در زمان ذخیره‌سازی یک کالا در انبار می‌بایست درنظر گرفته شوند، شناسایی و معرفی شده‌اند. به‌منظور حل مسئله گروه‌بندی، وضعیت هر کالا از نظر عوامل و متغیرهای شناسایی شده در انبار مورد مطالعه مشخص شد و بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده، بیش‌از ۹ هزار قلم کالا با ۱۵۰ نوع متفاوت، در ۱۰ خوشه کالا، گروه‌بندی شدند و هر گروه نام‌گذاری گردید. همچنین تعداد گروه‌ها باتوجه به میانگین امتیاز عوامل، رتبه‌بندی شدند. در مرحله بعد به‌منظور حل مسئله تخصیص گروه‌ها به محل‌های انبارش، فضای انبار مورد مطالعه، تقسیم‌بندی و هر ناحیه اولویت‌بندی شد. درنهایت طبق الگوریتم ارائه‌شده گروه کالاها با اولویت بالاتر به محل انبارش با اولویت بالاتر اختصاص یافت.

ازطریق انبارش محصولات به‌کمک روش بیان‌شده، همان‌طور که تحقیقات گذشته نشان داده‌اند، زمان‌های جابه‌جایی محصولات کاهش یافته و از فضای انبار نیز بهتر استفاده می‌شود [۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۸]. همچنان‌که بهبود ۳۰ درصدی در استفاده از فضای انبار مورد مطالعهٔ این تحقیق، نسبت به وضعیت گذشتهٔ آن، مشاهده شد. در روش سنتی، انبار کارخانه تکمیل قلمداد می‌شد، اما در این روش در هر دو حالت بررسی شده، انبار دارای فضای خالی نیز برای ذخیره‌سازی محصولات بیشتر و پاسخ‌گویی بهتر به سفارشات، می‌باشد. در به‌کارگیری این روش در انبارداری، باتوجه به این‌که در مقادیر عوامل برای هر کالا به مرور زمان تغییر رخ خواهد داد، می‌بایست به‌صورت دوره‌ای نسبت به گروه‌بندی دوبارهٔ اقلام انبار اقدام کرده و تغییراتی در جای‌گذاری کالاها انجام داد. در بلندمدت با ثبت چگونگی تغییرات می‌توان به یک نظم در چیدمان انبار کارخانه دست یافت [۲۱]. همچنان‌که یک‌مرتبه اجرای این روش در انبار مورد بررسی این تحقیق، بهبود در استفاده از فضای انبار نسبت به سیستم گذشته چیدمان را منجر شد.

وجه تمایز این تحقیق با تحقیقات گذشته، درنظر گرفتن بیشترین تعداد عواملی که بر انبارش محصولات مؤثر می‌باشند، در فرآیند انبارش است. اکثر تحقیقات گذشته، تکنیک حل مسئله گروه‌بندی را خود فرموله کرده‌اند و حل مسئله جای‌گذاری را به‌طور ساده و با درنظر گرفتن یک عامل انجام داده‌اند [۷، ۲۰ ، ۲۱، ، ۲۵، ۲۸]، روش به‌کار گرفته شده در این پژوهش، سادگی اجرای آن در مقایسه با تحقیقات گذشته، با درنظر گرفتن اطلاعات بیشتر برای جای‌گذاری و درنتیجه، عملیاتی‌بودن آن می‌باشد. همچنین روش به‌کارگرفته شده در این پژوهش برای انباری بزرگ با محصولات حجیم و متنوع با تعداد درب‌های ورودی/خروجی بیشتر اجرا شده است که اجرای مدل را در یک محیط انبار پیچیده‌تر به‌نمایش می‌گذارد.

با این حال در این تحقیق به‌دلیل محدودیت‌هایی نظیر عدم وجود اطلاعات و گزارشات روشن درخصوص عملیات انبارداری، امکان محاسبهٔ هزینه و زمان جابه‌جایی در انبار و مقایسهٔ مقادیر گذشته با مقادیر روش جدید وجود نداشته است. در تحقیقات آتی گروه‌بندی کالاهای انبار بر اساس متغیرهای کمّی و بر اساس داده‌های واقعی می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند.

الگوریتم طراحی شده برای جای‌گذاری گروه محصولات در محل‌های انبارش نیز می‌تواند توسعه‌یافته، فرضیات و حالات بیشتری را در برگیرد، همچنین این الگوریتم می‌تواند مدل‌سازی ریاضی شود. چگونگی چیدمان کالاها در هر گروه نیز می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد تا بدین‌شکل از فضای انبار به‌نحو مؤثرتری استفاده شود. همچنین تعیین تعداد گروه‌ها و تأثیر تغییر در تعداد گروه‌ها بر چیدمان انبار نیز از موضوعاتی است که تحقیقات گذشته و این تحقیق بدان کم‌تر پرداخته‌اند.

منابع

۱. آخوندی، علیرضا؛ فرقانی، علی و خاکزار بفروئی، مرتضی. (۱۳۸۷). *طراحی انبار (استقرار کالا، تجهیزات و حمل‌ونقل)*. نشر جهاد دانشگاهی، تهران، صص ۲۱۳-۲۴۰.

۲. حسن نایبی، عرفان، اخوان ماسوله، سپهر و شریفی، محمدرضا. (۱۳۸۷). *کاربرد روش تحلیل سلسله‌مراتبی در انتخاب الگوی مناسب چیدمان اقلام در انبار: ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع.*

۳. دانشور کاخکی، محمد؛ نصیری خونساری، محمدمهدی؛ مظفری، داریوش و نجاتی، وحید. (۱۳۸۵). *الگوی مناسب چیدمان اقلام در یک انبار کانبان، مطالعهٔ موردی شرکت ایران خودرو: دومین کنفرانس لجستیک و زنجیرهٔ تأمین.*

۴. رفیع‌زاده، ابوالفضل. (۱۳۷۹). *کاربرد مسئله چیدمان اقلام در کانتینر-مورد سایپا*. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع). دانشگاه تربیت مدرس، صص ۲-۵.

۵. شهروز، محمدعلی. (۱۳۸۱). *مطالعه و بررسی سیستم انبارهای موجود شرکت توزیع برق استان اصفهان*. (پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد). موسسهٔ تحقیقات و آموزش مدیریت، صص ۷-۱۱.

۶. نوبخت، شهناز و رضایی، مستانه. (۱۳۸۴). *انبارداری*. ناشر: موسسهٔ فرهنگی هنری دیباگران تهران، صص ۴۴-۴۸.

7. Amirhosseini, M., Sharp, G.P.(1996). Simultaneous analysis of products and orders in storage assignment. *Manufacturing Engineering Division, No. 4*, pp. 803–811.
8. 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.
9. Frazelle, E.H. (1990). *Stock location assignment and order picking productivity*. (Ph.D. Dissertation). Georgia institute of technology.
10. 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.
11. Heragu, sunderesh S, Huang, Jason C.S., Mantel, Ronald J and Schuur, Peter C. (2004). *An Efficient Model for Allocating products and designing a Warehouse: College-industry council on material handling education*, colloquium.
12. Hua, W. (2001). *Cluster based storage policies in kitting area*. (Ph.D. Dissertation). Georgia institute of technology.
13. Jane, Chin-Chia and Laih, Yih-Wenn. (2005). A clustering algorithm for item assignment in a synchronized zone order picking system. *European Journal of Operational Research, No. 166*, pp 489–496.
14. 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.
15. 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.

16. Kim, S. Byung. (2009). *Dynamic Slotting and Cartonization Problem in Zone-based Carton Picking Systems*. (A Dissertation for the PhD degree). Auburn University.
17. Tarık Kucukdeniz, Alp Baray, Kubilay Ecerkale, S_akir Esnaf. (2012). "Integrated use of fuzzy c-means and convex programming for capacitated multi-facility location problem. *Expert Systems with Applications, 39*, 4306–4314.
18. Larson, T. Nick. March, heather. Kusiak, Andrew. (1997). A heuristic approach to warehouse layout with class-based storage. *IIE Transactions, No.29*.
19. Liu, C.M. (1999). Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center. *Computers & operations research, 26*, pp 989-1002.
20. 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.
21. Naik, Vaibhav C. (2004). *Fuzzy C-Means Clustering Approach to Design a Warehouse Layout*. (A thesis for the Master Degree). College of Engineering University of South Florida.
22. Pisinger, David. (1998). A tree search heuristic for the container loading problem. *Ricerca operativa, No: 28*.
23. Rosenwein, M. B. (1994). An application of cluster-analysis to the problem of locating items within a warehouse. *IIE transactions. 26*, pp. 101-103.
24. Ruijter, De. H. (2007). *Improved storage in a book warehouse: Design of an efficient tool for slotting the manual picking area at WoltersNoordhoff*. (Master's thesis). University of twenty, pp. 14-16.
25. Sadiq, M. (1993). *A hybrid clustering algorithm for reconfiguration of dynamic order picking systems*. (PhD Dissertation). University of Arkansas.
26. Shah, P. (1988). *Decision problems in mini-load automatic warehousing systems*. (Ph.D. Dissertation). Purdue University.
27. Xiao, Jian. And Zheng Li. (2010). Correlated storage assignment to minimize zone visits for BOM picking. *International journal of advanced manufacturing technology, No. 57*.
28. Yi-Fei Chuang, Hsu-Tung Lee, Yi-Chuan Lai. (2012). Item-Associated Cluster Assignment Model on Storage Allocation Problems. *Journal of Computers & Industrial Engineering*, Accepted Manuscript.