

## توسعه یک روش جدید برای بهینه سازی چیدمان انبار در کاهش زمان حمل و نقل محصولات توسط تکنیک شبیه سازی (مطالعه موردی: انبار محصولات پودر شوینده شرکت پاک نام)

محسن سلیمی

مدیریت مجموعه شرکت تولیدی پاک نام، قزوین، ایران  
Salimi.m@paknamco.com

میثم فیضی

گروه مهندسی صنایع و برنامه ریزی تولید شرکت تولیدی پاک نام، قزوین، ایران  
Feizi.m@paknamco.com

رامتین روئین فر

گروه مهندسی صنایع و برنامه ریزی تولید شرکت تولیدی پاک نام، قزوین، ایران  
Roeinfar.r@paknamco.com

### چکیده

طراحی چیدمان بهینه همواره یکی از موارد مهم در هریک از سیستم های تولیدی و خدماتی بوده است. تاثیر انتخاب طرح چیدمان بهینه می تواند هزمان باعث کاهش زمان حمل و نقل مواد و ملزومات و جریان بهینه تولید محصولات و افزایش کارایی سیستم شود. در این تحقیق اثر طراحی چیدمان بهینه انبار محصولات پودر شوینده در شرکت پاک نام مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. سیستم چیدمان شرکت در طرح اولیه بدون طرح چیدمان بهینه بوده و محصولات داخل انبار بدون مبنای طرح چیدمان در داخل انبار شرکت قرار گرفته و آماده حمل برای مشتریان می شدند. به منظور دستیابی به هدف فوق از تکنیک شبیه سازی برای طرح سناریوهای مختلف چیدمان محصولات پودر شوینده و انتخاب طرح بهینه استفاده شده است. هم چنین برای تحلیل و مقایسه نتایج طرح چیدمان بهینه انتخابی، نتایج بدست آمده از زمان حمل و نقل محصولات و راندمان تعداد ماشین های بارگیری شده و ارسال شده به مشتریان در یک دوره زمانی یکساله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از خروجی طرح چیدمان بهینه انبار محصولات پودر شوینده حاکی از آن است که در نظر گرفتن طرح چیدمان بهینه باعث کاهش زمان های حمل و نقل محصولات و به تبع آن افزایش تعداد ماشین های بارگیری خواهد شد.

**واژگان کلیدی:** طرح چیدمان بهینه، زمان حمل و نقل محصولات، راندمان بارگیری، تکنیک شبیه سازی.

## ۱- مقدمه

انبار به محلی اطلاق می شود که کالا، اجناس، مواد اولیه و یا محصول در آن قرار داده می شود. این محل ممکن است سرپوشیده، محوطه سرباز، زیر زمین و نظیر آن باشد. گاهی انبارها داخل یک شرکت و یا کارخانه و گاهی در یک محیط خارج از آن قرار دارند. اغلب شرکت ها سعی می کنند انبار خود را در داخل شرکت جای دهند تا بتوانند کالاها و قطعات مورد نیاز خود را به سرعت و سهولت از آن خارج سازند و در تامین مواد اولیه مورد نیاز خود دچار وقفه و مشکل نشوند. انبار به عنوان حلقه ارتباطی بین تولید، توزیع و مصرف و هم چنین ارتباط بین زنجیره خرید و فروش مواد و کالا و خدمات محسوب می شود. در یک زنجیره تولید محصولات، فرآورده ها از قبیل مواد اولیه، مواد در حال پردازش و محصولات نهایی نیازمندند که بصورت فیزیکی از یک مکان به مکان دیگر حرکت کنند. در طول این فرآیند ها ممکن است مواد در یک مکان مشخص و برای یک دوره زمانی معین ذخیره و یا انبارش شوند. بسیاری از این فرآیندها در انبار انجام می گیرند که در میان آنها برداشتن قطعه (انتخاب قطعه) از مکان های انبارش به منظور برآورده ساختن نیاز مشتری حائز اهمیت است. سیستم های حمل و نقل در انبار شامل فرآیندهای دسته بندی و برنامه ریزی سفارشات مشتریان، حمل مواد اولیه به انبار مواد اولیه، حمل مواد اولیه به سالن های تولیدی جهت پردازش و حمل محصولات نهایی به انبار جهت ارسال به مشتریان خود می باشد. یکی از موارد مهمی که در مورد حمل و نقل مواد و محصولات در انبار اهمیت بالایی دارد انتخاب طرح چیدمان<sup>۱</sup> مناسب فرآورده ها (مواد اولیه، ملزومات و محصولات نهایی) در انبار می باشد. انتخاب طرح چیدمان بهینه در انبار می تواند باعث کاهش زمان های حمل و نقل فرآورده ها شده و همزمان باعث افزایش راندمان بارگیری محصولات می شود. در تحقیق حاضر با مطالعه بر روی انبار محصولات پودر شوینده شرکت پاک نام، انتخاب طرح چیدمان بهینه بر روی کاهش زمان حمل و نقل محصولات برای مشتریان و افزایش تعداد ماشین های بارگیری شده در یک دوره زمانی یکساله مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. برای این منظور به کمک روش شبیه سازی<sup>۲</sup> ابتدا انواع مختلف طرح چیدمان محصولات پودر شوینده در نرم افزار شبیه سازی به عنوان سناریوها<sup>۳</sup> و طرح های مختلف داده می شود. سپس، هریک از این سناریوها در نرم افزار شبیه سازی اجرا شده و نتایج خروجی از نرم افزار برای انتخاب طرح چیدمان بهینه محصولات در شاخص های تعداد ماشین های بارگیری شده و زمان بارگیری هر ماشین مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و بهترین طرح چیدمان انبار برای محصولات پودر شوینده انتخاب می گردد. ترتیب سایر بخش های تحقیق بصورت ذیل می باشد: در بخش دوم مرور ادبیات مساله بیان می شود. مطالعه موردی تحقیق که انبار محصولات پودر شوینده داخلی شرکت پاک نام می باشد به همراه کلیه اطلاعات و توضیحات مربوط به آن در بخش سوم شرح می گردد. در بخش چهارم توضیحات کامل در خصوص نرم افزارهای شبیه سازی استفاده شده و پارامترها و تنظیمات مربوط به آن ارائه می شود. در بخش پنجم نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی و انتخاب طرح چیدمان بهینه در مقایسه با طرح بدون چیدمان برای محصولات پودر شوینده در یک دوره زمانی یکساله مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت و در نهایت در بخش ششم، نتیجه گیری و پیشنهادات برای مطالعات آتی بحث می گردد.

## ۲- مرور ادبیات مساله

بطور کلی تحقیق ها و مطالعات گسترده ای بر روی انتخاب طرح چیدمان بهینه انبارها در بهینه سازی پارامترهای مختلف در سال های گذشته مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که نشان می دهد با انتخاب طرح چیدمان بهینه انبارها می توان عملکرد سیستم ها را بهبود بخشید. در اینجا مختصراً به مطالعات و تحقیق های صورت گرفته بر روی آنها می پردازیم. (Caron et al, 2000) یک انبار دو راهرویی را تحت شاخص هزینه های کیفیت مبنی بر تخصیص انبارش مورد ارزیابی قرار دادند. (Charles and Gerald, 2004) به مقایسه برداشت، انبارش و سیاست های مسیریابی در انتخاب دستی قطعات پرداخت و اثر سه فرآیند تصمیم گیری (برداشت، انبارش و مسیریابی) در مسافت انتخابگر قطعه که یک جز عمده از هزینه تکمیل سفارش

<sup>1</sup> Layout Design

<sup>2</sup> Simulation

<sup>3</sup> Scenarios

است مورد بررسی قرار دادند. آنها از یک مدل شبیه سازی بر این اساس که عملیات انتخاب در مرکز توزیع است و انتخاب سفارش در یک زمان و انبارش محصولات در یک حالت اتفاقی و تصادفی است را با استفاده از یک روش ساده جهت مسیریابی انتخابگرها استفاده کردند. آنان عملیات برداشت، انبارش و سیاست های مسیریابی جهت مشخص کردن فرآیند تصمیم گیری که بیشترین درصد صرفه جویی نسبت به سیاست های پایه کنونی را فراهم می کند مورد ارزیابی قرار دادند. هم چنین آنها اثر مقدار سفارش، شکل انبار، محل انتخاب نقطه افت و توزیع تقاضا بر عملکرد را بررسی نمودند. نتایج بدست آمده از تحلیل نتایج نشان داد که دسته بندی کردن سفارشات بیشترین صرفه جویی را بخصوص زمانی که اندازه سفارشات کوچک است را حاصل می کند. (Chih-Ming Hsu et al, 2005) با دسته بندی کردن سفارشات در انبار جهت حداقل کردن مسافت حرکت انتخابگر قطعه پرداختند که با استفاده از این روش قدرت سیستم انبارداری در پاسخگویی سریع به مطالبات مشتریان افزایش می یابد. آنها در تحقیق خود نشان دادند که قبل از انتخاب سفارشات مشتری، جمع سفارشات مشتری بصورت موثر به دسته های مشخص می تواند بطور قابل توجهی سرعت جمع آوری سفارشات در انبار را افزایش دهد. آنان هم چنین نشان دادند که جابجایی های قابل توجهی از محصول در انبار وجود دارد که هزینه های انبارداری را می توان با درصد کوچکی از کاهش در فاصله کمینه نمود. (Ying Chin Ho et al, 2008) بر روی توسعه روش های دسته بندی سفارش برای انتخاب قطعه از یک انبار با دو راهروی عبوری و یک نقطه ورود و خروج در یک گوشه از آن را مورد مطالعه قرار دادند. آنان از روش بر مبنای قاعده سفارش دانه ای<sup>۴</sup> که الگوریتم کامپیوتری جهت پردازش سفارش در سیستم انبارهای خودکار است، استفاده کردند. روش مورد استفاده آنان، ۱۱ قاعده انتخاب سفارش دانه ای و ۱۴ قاعده همراه با سفارش بود و نشان دادند که با اجرای درست قواعد آنان فاصله حرکتی انتخابگر سفارش به حداقل می رسد. آنها در تحقیق خود بیان کردند که بر خلاف مطالعات قبلی که تنها بر روی توسعه راهرو و یا قوانین بر اساس مکان قرار گیری قطعات تمرکز کرده اند، مطالعه آنها بر اساس قوانین منطقه نیز توسعه یافته است. به علاوه دو روش برنامه ریزی مسیر و دو روش توزیع انتخاب با عبور از هر راهرو را مدنظر قرار داده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که برخی از قوانینی که به تازگی پیشنهاد شده است بهتر از سایر مطالعات است. آنها هم چنین نشان دادند که قاعده انتخاب سفارش دانه ای و انتخاب همراه با سفارش بطور معناداری بر روی عملکرد یکدیگر تاثیر می گذارد. (Zhang and Bingwu, 2009) در مورد طرح نمودار ساختار داده ایی انبارش یک انبار نامنظم را مورد مطالعه قرار دادند و انبار مورد مطالعه خود را به چهار زیر قسمت نقطه ذخیره سازی، عبور، گره و ترتیب بلوک تقسیم بندی کردند و یک الگوریتم ژنتیک<sup>۵</sup> جدید با این فرض که یک عملیات انتخاب یا برداشت قطعه همیشه هر انقدر که وسیله نقلیه می تواند با کالاها تطبیق پیدا کند، به کالاها دسترسی دارد را پیشنهاد دادند. توالی نقطه انبارش در سفارش به عنوان یک کروموزوم تعداد عملیات برداشت قطعه و کل فاصله آنها را مشخص می کرد. نتایج بدست آمده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی آنان در مقایسه با دیگر الگوریتم ها پیشنهادی نشان داد که روش حل آنان توانسته است به نتایج با کیفیت بهتری دست پیدا کند. (Christophe et al, 2010) به مطالعه بر روی مسائل توالی و مسیریابی انتخابگر سفارش در سیستم های انبار با راهروهای موازی پرداختند. الگوریتم های دقیق آن تنها برای یک انبار با حداکثر سه راهروی عبوری وجود دارد، در حالیکه برای انواع دیگر انبارها یک الگوریتم ابتکاری مجزایی ارائه شده است. آنان به ارزیابی جهت فرموله کردن و حل مساله در مقایسه با روش ابتکاری موجود پرداختند. نتایج بدست آمده از حل مساله با روش پیشنهادی آنها نشان داد که میانگین صرفه جویی در فاصله مسیر زمانی که از الگوریتم ابتکاری LKH<sup>۶</sup> استفاده شده است دارای کیفیت نتایج بهتری می باشد. (Sebastian and Schmid, 2013) در تحقیق خود بر روی سفارش گذاری بسته ایی تمرکز کردند که یکی از مهم ترین برآمدهای برنامه ریزی در سیستم های انتخاب سفارش است. سفارش بسته ایی به عنوان یک محور اساسی برای اثربخشی عملیات انتخاب سفارش می باشد. با توجه به اطلاعات در دسترس درباره سفارشات مشتری، سفارش بسته ایی می تواند به دسته بندی ایستا و دسته بندی پویا تقسیم بندی شوند. (Seval and Ozturk, 2011) در مطالعه خود به دنبال طراحی سیستم انتخاب سفارش و تخصیص مکان انبارش با استفاده از مدل ریاضی توسعه یافته و رویکرد

<sup>4</sup> Seed Order

<sup>5</sup> Genetic Algorithm

<sup>6</sup> Lin-Kernighan Heuristic

بهینه سازی تکاملی تصادفی در صنعت خودرو بودند. مطالعه آنان در دو مرحله انجام شد که مرحله اول شامل مساله تخصیص انبارش با سیاست انبارش مبنی بر دسته بندی با هدف حداقل کردن انتقال با استفاده از برنامه ریزی عدد صحیح بود. در مرحله دوم، مسائل مسیریابی و دسته بندی کردن با یکدیگر برای حداقل کردن هزینه مسافت در عملیات های انبار مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیق آنان یک انبار در صنعت خودرو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای رسیدن به نتیجه مطلوب از یک روش بر مبنای برنامه ریزی عدد صحیح<sup>۷</sup> با الگوریتم ژنتیک توسط آنان پیشنهاد شد. نتایج بدست آمده نشان داد که روش پیشنهادی آنان می تواند برای هر نوع چیدمان انبار در صنعت خودرو اعمال شده و به جواب های مطلوبی دست یابد. (Pan et al, 2014)

یک مدل ارزیابی زمان سفر برای یک سیستم انبار را ارائه نمودند. در مطالعه آنان هر دو سیستم برداشت و مسافت طی شده عمودی و افقی در انبار در نظر گرفته شد و در مدل پیشنهادی آنان اثر سیاست های انبارش و مسیریابی در زمان های طی شده مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج بدست آمده عملکرد بالای روش پیشنهادی آنان را اثبات نمود. (Matusiak et al, 2014)

به ارائه یک الگوریتم شبیه سازی تبرید<sup>۸</sup> به منظور اولویت بندی سفارشات در نظر گرفته شده مشتریان در انبار به کمک یک روش مسیریابی سفارشات و برداشت اقلام پرداختند. (Cheng et al, 2015)

یک روش ترکیبی از الگوریتم های بهینه سازی اجتماع ذرات<sup>۹</sup> و الگوریتم مورچگان<sup>۱۰</sup> جهت حل یک مساله مسیریابی برداشت انباشته به منظور تعیین اندازه انباشته تخصیص سفارشات و مسافت طی شده را مورد مطالعه قرار دادند. (Horta et al, 2016)

یک مدل طرح چیدمان برای یک انبار تولید به هنگام<sup>۱۱</sup> در یک مورد مطالعه واقعی را مورد بررسی قرار دادند. آنها از روش برنامه ریزی ریاضی برمبنای فرمولاسیون کمینه-بیشینه<sup>۱۲</sup> استفاده کردند. مطالعه موردی آنان بر روی یک انبار فروشگاه بود که برای بیش از ۲۰۰ شعبه انواع مختلف محصولات را ارسال می کردند. آنها با بررسی موقعیت فروشگاه ها نشان دادند که طرح چیدمان ارائه شده برای فروشگاه ها می تواند باعث کاهش مسافت ها و هزینه های حمل و نقل ارسال محصولات شود. (Zhang et al, 2017)

یک روش برنامه ریزی عدد صحیح مختلط خطی<sup>۱۳</sup> را در یک مساله چیدمان تولید- توزیع برای کمینه کردن کل هزینه های تولید و فروش محصولات ارائه دادند و با حل مساله واقعی خود کارایی روش خود را اثبات نمودند. (Bo et al, 2018)

به بررسی چیدمان انبار یک شرکت در زمینه تولید محصولات شیمیایی پر خطر پرداختند. آنان برای رسیدن به طرح چیدمان بهینه انبار یک الگوریتم ژنتیک اصلاح شده را پیشنهاد دادند و کارایی روش پیشنهادی خود را بر طبق نتایج بدست آمده از طرح چیدمان خود نشان دادند. (Mahroof, 2019)

در تحقیق خود به بررسی اثر طرح چیدمان انبار در یک مساله زنجیره تامین پرداخت و به کمک الگوریتم هوش مصنوعی<sup>۱۴</sup> سعی در برداشتن موانع و مشکلات انبارهای شرکت های خرده فروش را داشت. (Derhami et al, 2020)

از روش بهینه سازی بر مبنای شبیه سازی برای انتخاب طرح چیدمان انبار، تعداد بهینه راهروها، مکان های راهروها، عرض راهروها و نوع راهروها را در مورد مطالعه خود در یک شرکت تولید آبمیوه مورد تحلیل و بررسی قرار دادند.

### ۳- مطالعه موردی

مطالعه موردی در این تحقیق انبار محصولات پودر شوینده تولید داخلی شرکت تولیدی مواد و محصولات شوینده پاک نام واقع در استان قزوین می باشد. این شرکت در زمینه تولید محصولات شوینده از قبیل انواع پودرهای شوینده دستی و ماشینی، مایعات ظرفشویی، مایعات دستشویی، سفید کننده، نرم کننده، مایعات البسه، شیشه شور، صابون و کفشور فعالیت دارد. برای ذخیره سازی محصولات تولیدی، شرکت دارای ۵ انبار برای انواع محصولات با ابعاد مختلف می باشد. ۲ انبار برای ذخیره سازی انواع محصولات پودری صادراتی، یک انبار برای ذخیره سازی انواع محصولات شوینده مایعات شامل مایع ظرفشویی، مایع دستشویی،

<sup>7</sup> Integer Programming

<sup>8</sup> Simulated Annealing Algorithm

<sup>9</sup> Particle Swarm Optimization

<sup>10</sup> Ant Colony Algorithm

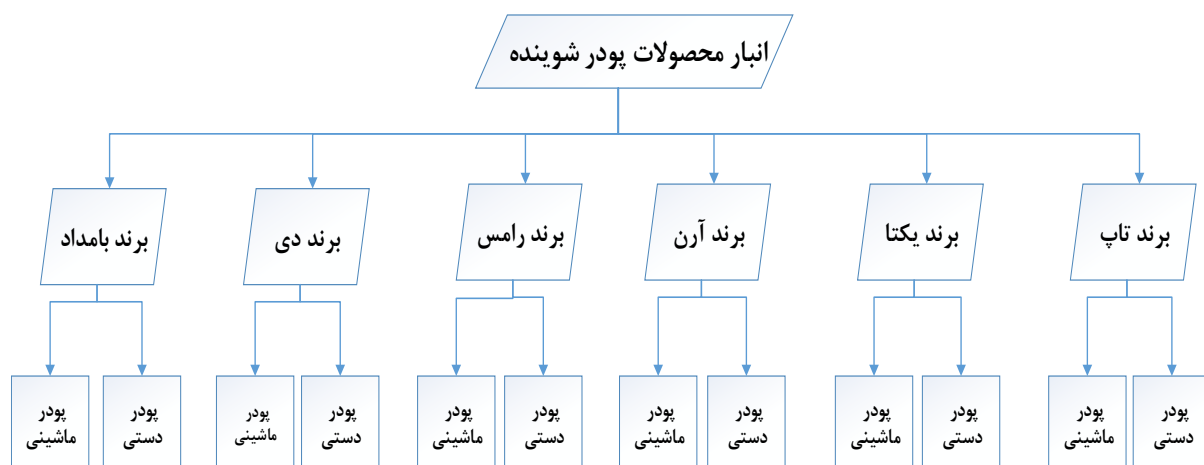
<sup>11</sup> Just in Time

<sup>12</sup> Min-max Formulation

<sup>13</sup> Mixed Integer Linear Programming

<sup>14</sup> Artificial Intelligence

مایعات البسه، سفید کننده و شیشه شور. یک انبار برای ذخیره سازی انواع محصولات صابون و کفشور و یک انبار برای ذخیره سازی انواع محصولات پودر شوینده داخلی. حمل و انتقال محصولات پودر شوینده داخلی به انبار محصولات پودر شوینده توسط یک نوار نقاله مرکزی صورت می گیرد. بدین صورت که محصولات پودری پس از تولید و بسته بندی بر روی خطوط تولیدی، در هر خط توسط یک نوار نقاله به سمت نوار نقاله اصلی هدایت شده و به کمک یک نوار نقاله اصلی به سمت انبار مربوطه حمل شده و بر روی پالت های مخصوص به هر محصول چیده می شوند. پالت های تکمیل شده نیز توسط لیفتراک در انبار چیدمان می گردند. سیستم چیدمان شرکت در طرح اولیه بدون طرح چیدمان بهینه بوده و محصولات پودر شوینده داخل انبار بدون مبنای طرح چیدمان در داخل انبار شرکت قرار گرفته و آماده حمل برای مشتریان می شدند. در شکل (۱)، برند و نوع مختلف محصولات پودری شوینده در انبار مورد مطالعه نمایش داده شده است.



شکل (۱) نمودار تفکیک محصولات از نظر نوع و برند در انبار پودر شوینده

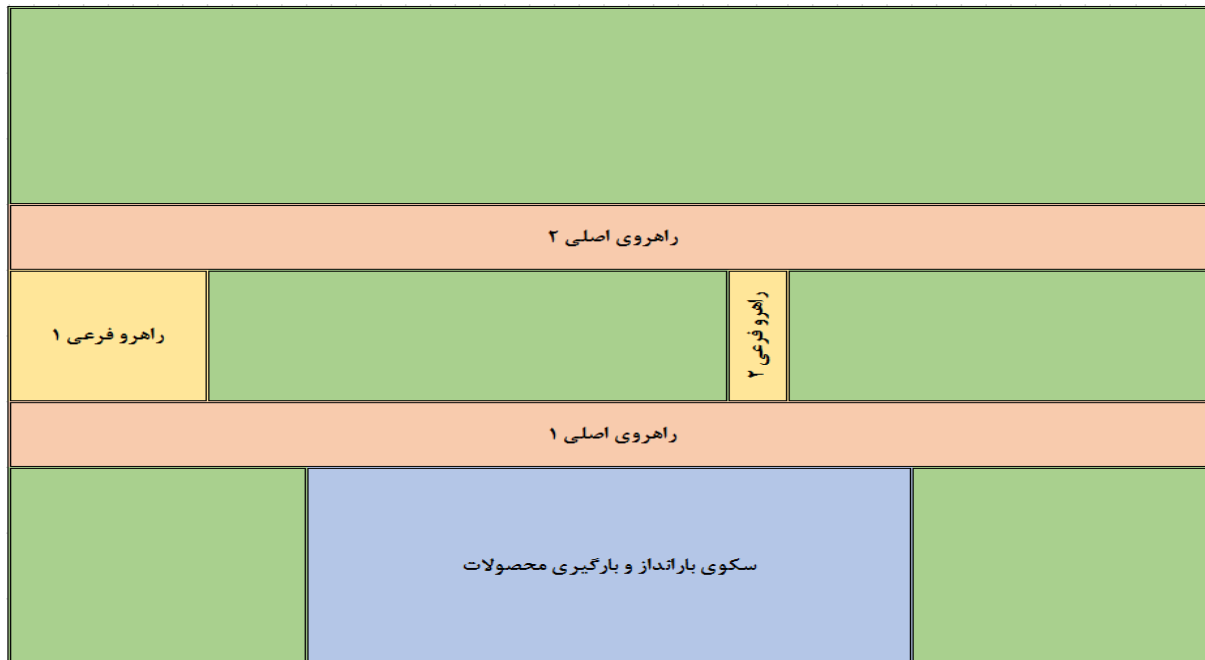
هم چنین وزن هر کارتن محصولات پودری شامل انواع برندهای تاپ، یکتا، آرن، رامس، دی و بامداد به مقدار ۱۲ کیلوگرم می باشد که محتوی ۲۴ عدد جعبه پودر ۵۰۰ گرمی می باشد. ابعاد طولی و عرضی انبار محصولات پودر شوینده شامل ۷۲ در ۵۴ متر که در مجموع به مساحت ۳۴۵۶ متر مربع می باشد. انبار دارای ۲ راهرو اصلی<sup>۱۵</sup> در ابعاد ۷۲ در ۵ متر در مجموع به مساحت ۷۲۰ متر مربع است. هم چنین، ۲ راهرو فرعی<sup>۱۶</sup> به نام های راهرو فرعی ۱ و راهرو فرعی ۲ در انبار به ترتیب در ابعاد ۱۲ در ۱۰ متر و ۱۲ در ۲/۵ متر در مجموع به مساحت ۱۵۰ مترمربع وجود دارد. تعداد کارتن محصولات پودری که در هر پالت می تواند قرار گیرد به تعداد ۶۰ کارتن در هر پالت می باشد. حداکثر تعداد پالت از محصولات پودر شوینده که می تواند بر روی یکدیگر در انبار چیده شود به تعداد ۲ پالت است. نمای شماتیک انبار محصولات پودر شوینده در شکل (۲) آورده شده است. در این شکل، رنگ سبز نشان دهنده فضای موجود انبار برای نگهداری محصولات پودری، رنگ نارنجی نشان دهنده راهروهای اصلی انبار و رنگ زرد نشان دهنده راهروهای فرعی انبار می باشد. سکوی بارانداز و بارگیری محصولات نیز با رنگ آبی در شکل متمایز شده است. لازم به ذکر است در قسمت راهرو فرعی ۱ که با رنگ نارنجی به نمایش درآمده است، کارتن های پودر تولیدی که از سمت سالن بسته بندی پودر توسط نوار نقاله مرکزی به سمت انبار محصولات پودر شوینده حمل می گردند و در این قسمت توسط پرسنل انبار محصول، روی پالت های مربوط به خود چیده شده و توسط لیفتراک<sup>۱۷</sup> برای ذخیره سازی در سطح انبار محصولات پودر شوینده حمل می شوند. به دلیل نیاز به فضا جهت چیدمان روی پالت ها و چرخش لیفتراک نیاز به فضای بیشتری می باشد که در مقایسه با راهرو فرعی ۲، فضای بیشتری از انبار محصولات پودر شوینده را به خود اختصاص داده است. هم چنین

<sup>15</sup> Main Aisle

<sup>16</sup> Minor Aisle

<sup>17</sup> Lift Truck

فضای مورد استفاده انبار محصولات پودر شوینده، بدون در نظر گرفته شدن سکوی بارانداز و بارگیری محصولات می باشد و این فضا در انبار محصولات پودر شوینده مسقف نبوده و تنها عمل بارگیری محصولات به داخل ماشین ها در آن انجام می گیرد.



شکل (۲) نمای شماتیک انبار محصولات پودر شوینده

#### ۴- تکنیک شبیه سازی

نرم افزار شبیه سازی<sup>۱۸</sup> استفاده شده در این تحقیق، نرم افزار شبیه سازی Enterprise Dynamics (ED) نسخه ۸,۲ می باشد. دلیل استفاده از این نرم افزار قابلیت بالای آن در حل مسائل پیچیده و واقعی خصوصا در دنیای واقعی می باشد. مدل انتخاب چیدمان بهینه در این تحقیق شامل زمان های حمل و نقل محصولات و تعداد ماشین های بارگیری شده می باشد و نرم افزار شبیه سازی ED یک روش حل جامع و قوی برای حل آن می باشد. روش های بهینه سازی به کمک شبیه سازی، یک رویکرد جدیدی است که کمتر مورد استفاده نویسندگان و محققان در مسائل انتخاب طرح چیدمان بهینه قرار گرفته است. تکنیک شبیه سازی این کمک را به ما می کند که جواب های موجه زیادی را در طول یک زمان بسیار اندک بدست آورده و با در نظر گرفتن سناریوهای و حالت های مختلف و مشاهده نتایج سیستم را مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار داده و بهترین حالت و سناریو را انتخاب نمود. همچنین این تکنیک این کمک را به محققان کرده تا با مشاهده تصاویر مختلف دو بعدی یا سه بعدی از مساله مورد نظر خود و تغییر هریک از ورودی های مساله نتایج آن را به کمک تصویر برای تجزیه و تحلیل بالای آن مورد بررسی و تحلیل قرار دهند و نسبت به انجام بهبودهای بالقوه در آن اهتمام ورزند. تنظیمات مربوط به مدل شبیه سازی ED نیز در قسمت ذیل توضیح داده شده است.

#### ۴-۱- طول دوره شبیه سازی

بطور کلی طول دوره شبیه سازی<sup>۱۹</sup> به مدل شبیه سازی و عوامل مختلف تاثیر گذار بر روی مدل، میزان درجه احتمالی بودن مدل بستگی دارد و می تواند بصورت های زیر در نظر گرفته شود:

<sup>18</sup> Simulation Software

<sup>19</sup> Simulation Run Period

- طول دوره شبیه سازی بر حسب مدل زمان اجرای مدل
- طول دوره شبیه سازی بر حسب تعداد اجراهای مدل

در این تحقیق از روش دوم استفاده شده است، بگونه ای که هر جواب از میانگین ۱۰۰ اجرای متوالی در نرم افزار شبیه سازی بدست آمده است.

#### ۴-۲- طول دوره دست گرمی

در ابتدای اجرای مدل شبیه سازی، تمامی ماشین های بارگیری و هم چنین تمامی فضاهای انبار برای انبارش محصولات پودری در سطح انبار خالی بوده و در دسترس می باشند. در نتیجه، نتایج بدست آمده در شروع اولیه مدل در شرایط ایده آل بوده و نتایج مناسبی برای محاسبه و آنالیز نمی باشند. برای جلوگیری از وقوع این حالت، یک زمان شروع اولیه مشخص شده در ابتدای مدل شبیه سازی را به عنوان دوره دست گرمی<sup>۲۰</sup> در مدل در نظر گرفته و از تجزیه و تحلیل های خود حذف می نماییم. طول دوره دست گرمی به نوع مدل و مساله مورد بررسی و درجه احتمالی بودن مدل بستگی دارد. در این تحقیق، ۱۰٪ از نتایج اولیه مدل به عنوان دوره دست گرمی در نظر گرفته شده و از محاسبات حذف شده است.

#### ۴-۳- اعتبار سنجی مدل شبیه سازی

قبل از نتیجه گیری از نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی و آنالیز و مقایسات نتایج بایستی اعتبار سنجی نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی مورد تحلیل و آزمایش قرار گیرد. اعتبار سنجی مدل شبیه سازی<sup>۲۱</sup> این فرضیه را اثبات می کند که نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی رفتار واقعی سیستم مورد نظر را منعکس می کند و دارای اعتبار و قابل تجزیه و تحلیل می باشد. بر طبق نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی و ارتباط بین هر اتم در نرم افزار شبیه سازی که نشان دهنده محصولات تولیدی، انبار ذخیره و وسایل حمل و نقل محصولات می باشند و هم چنین مشاهده تصاویر دو بعدی و سه بعدی از مدل شبیه سازی ارتباط منطقی بین هریک از محصولات تولیدی چیدمان شده، طرح چیدمان و تعداد ماشین های بارگیری شده به همراه کل زمان های بدست آمده حمل و نقل محصولات نشان از اعتبار مدل و نتایج بدست آمده از آن دارد.

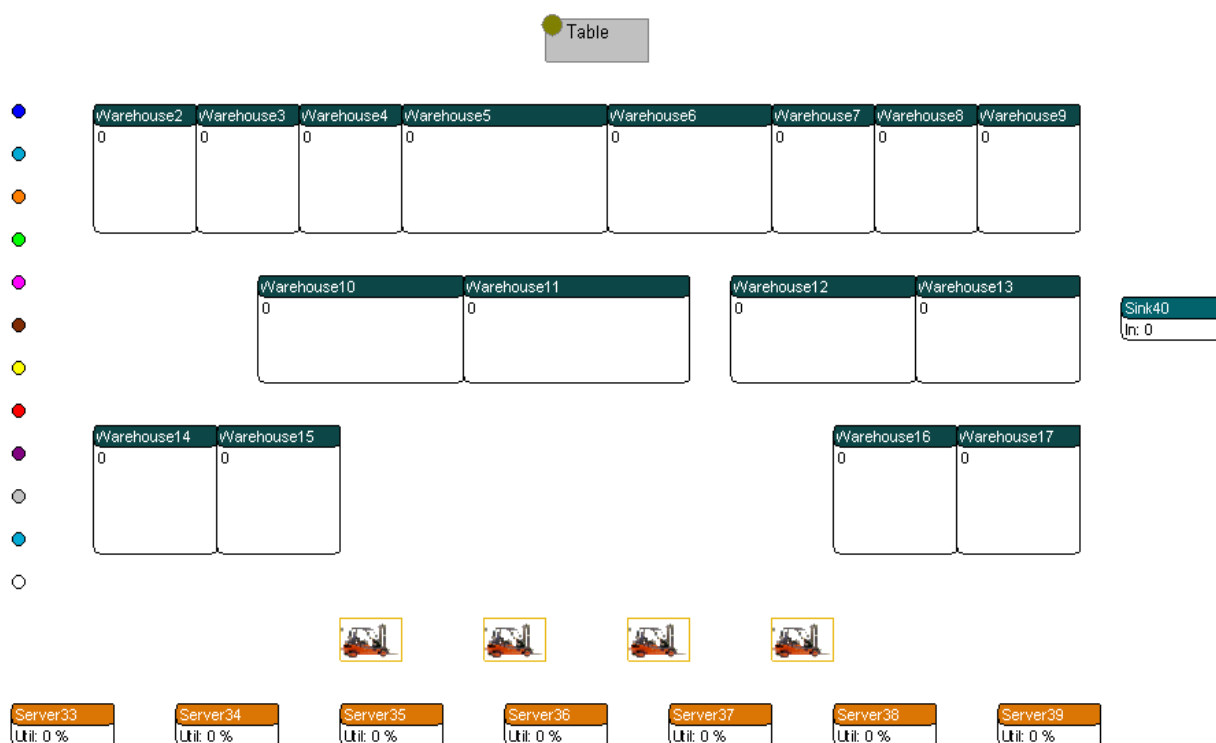
#### ۴-۴- نمایش گرافیکی مدل شبیه سازی

نمایش گرافیکی<sup>۲۲</sup> مدل شبیه سازی انبار محصولات پودر شوینده در طول اجرای مدل در نرم افزار ED در شکل (۳) قابل مشاهده است. برای نمایش انبار و محصولات پودر شوینده تولیدی در نرم افزار ED به ترتیب از اتم های Warehouse و Product استفاده شده است. هم چنین برای نشان دادن نفرات بارگیری ماشین آلات از اتم Server و برای جابجایی و حمل محصولات پودر شوینده از داخل انبار به داخل ماشین های بارگیری اتم Transporter مورد استفاده قرار گرفته است. برای ورود اطلاعات و هم چنین گرفتن نتایج محاسباتی از نرم افزار شبیه سازی از اتم Table استفاده شده است. همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهده می باشد هریک از رنگ های اتم Product نشانگر محصولات پودر شوینده در انبار می باشد و ۴ اتم Transporter نشان دهنده ۴ لیفتراک مورد استفاده جهت حمل و نقل محصولات در انبار و ۷ اتم Server بیانگر ۷ پرسنل بارگیری بر روی ماشین های بارگیری و حمل محصولات می باشد. هم چنین از اتم Sink برای خروج اتم ها از سیستم استفاده شده است که در مدل شبیه سازی شده نشان دهنده تعداد خروجی ماشین های بارگیری محصولات پودر شوینده می باشد.

<sup>20</sup> Warm up Period

<sup>21</sup> Validation of Simulation Model

<sup>22</sup> Graphical View



شکل (۳) نمای مطالعه موردی انبار محصولات پودر شوینده در نرم افزار شبیه سازی ED

## ۵- اجرا و تحلیل مدل شبیه سازی

نتایج محاسباتی مدل شبیه سازی بوسیله یک رایانه با پردازشگر ۲,۴ گیگاهرتز، Core i7 و ۴ گیگابایت حافظه داخلی بدست آمده است. هم چنین همانطور که گفته شد نرم افزار استفاده شده برای مدل سازی و حل مساله، نرم افزار شبیه سازی (ED) Enterprise Dynamics نسخه ۸,۲ می باشد. برای تحلیل مدل شبیه سازی، ۲۰ سناریو با طرح چیدمان های مختلف به عنوان طرح و چیدمان اولیه به عنوان ورودی به نرم افزار شبیه سازی داده شده است. سپس هر طرح و سناریو در نرم افزار شبیه سازی اجرا و بهترین سناریو که دارای کیفیت جواب های بهتری نسبت به دیگر سناریوها در میانگین ۱۰۰ اجرا متوالی پس از حذف نتایج در دوره دست گرمی بوده است به عنوان طرح چیدمان بهینه انتخاب شده است. طرح چیدمان بهینه حاصل از خروجی نرم افزار شبیه سازی نیز در شکل (۴) نمایش داده شده است. برای نمایش نحوه چیدمان محصولات پودر شوینده در انبار از کدینگ محصولات استفاده شده است که نحوه کدبندی محصولات پودر شوینده در جدول (۱) قابل مشاهده می باشد. نتایج محاسباتی بدست آمده در حالت های اجرای چیدمان بهینه انبار و بودن طرح چیدمان انبار در یک دوره زمانی یکساله برای انبار محصولات پودر شوینده شرکت انجام پذیرفته است که نتایج آن در جدول (۲) به نمایش در آمده است. هم چنان که در شکل (۲) گفته شد محصولات پودر شوینده تنها می توانند در محل های سبز رنگ چیده شوند و امکان چیدن محصولات در راهروهای اصلی و فرعی و سکوی بارانداز و بارگیری محصولات وجود ندارد. دوره مورد مطالعه در سال های ۹۷-۹۸ و سال های ۹۸-۹۹ در بین ماه های تیر تا خرداد در یک دوره یکساله می باشد که متوسط تعداد ماشین های بارگیری شده در هر ماه آورده شده است. بازه زمانی بین سال های ۹۷-۹۸ مربوط به بارگیری انبار محصولات پودر شوینده بدون طرح چیدمان و بازه زمانی بین سال های ۹۸-۹۹ مربوط به زمان هایی است که اجرای طرح بهینه چیدمان انبار در انبار محصولات پودر شوینده انجام گرفته است.

|               |    |                                 |              |    |    |    |    |
|---------------|----|---------------------------------|--------------|----|----|----|----|
| F1            | D1 | C1                              | E1           | E2 | C2 | D2 | F2 |
| راهروی اصلی ۲ |    |                                 |              |    |    |    |    |
| راهرو فرعی ۱  | B1 | A1                              | راهرو فرعی ۲ | A2 | B2 |    |    |
| راهروی اصلی ۱ |    |                                 |              |    |    |    |    |
| B1            | A1 | سکوی بارانداز و بارگیری محصولات |              |    | A2 | B2 |    |

شکل (۴) طرح چیدمان بهینه خروجی مدل شبیه سازی از انبار محصولات پودر شوینده

جدول (۱) کد بندی محصولات پودر شوینده در طرح چیدمان انبار

| ردیف | نام محصول                  | کد بندی محصول در طرح چیدمان انبار |
|------|----------------------------|-----------------------------------|
| ۱    | پودر تاپ دستی ۵۰۰ گرمی     | A1                                |
| ۲    | پودر تاپ ماشین ۵۰۰ گرمی    | A2                                |
| ۳    | پودر یکتا دستی ۵۰۰ گرمی    | B1                                |
| ۴    | پودر یکتا ماشین ۵۰۰ گرمی   | B2                                |
| ۵    | پودر آرن دستی ۵۰۰ گرمی     | C1                                |
| ۶    | پودر آرن ماشین ۵۰۰ گرمی    | C2                                |
| ۷    | پودر رامس دستی ۵۰۰ گرمی    | D1                                |
| ۸    | پودر رامس ماشین ۵۰۰ گرمی   | D2                                |
| ۹    | پودر دی دستی ۵۰۰ گرمی      | E1                                |
| ۱۰   | پودر دی ماشین ۵۰۰ گرمی     | E2                                |
| ۱۱   | پودر بامداد دستی ۵۰۰ گرمی  | F1                                |
| ۱۲   | پودر بامداد ماشین ۵۰۰ گرمی | F2                                |

هم چنین برای مقایسه و تحلیل نتایج بدست آمده از شاخص  $Gap$  استفاده شده است که رابطه آن در قسمت ذیل آورده شده است:

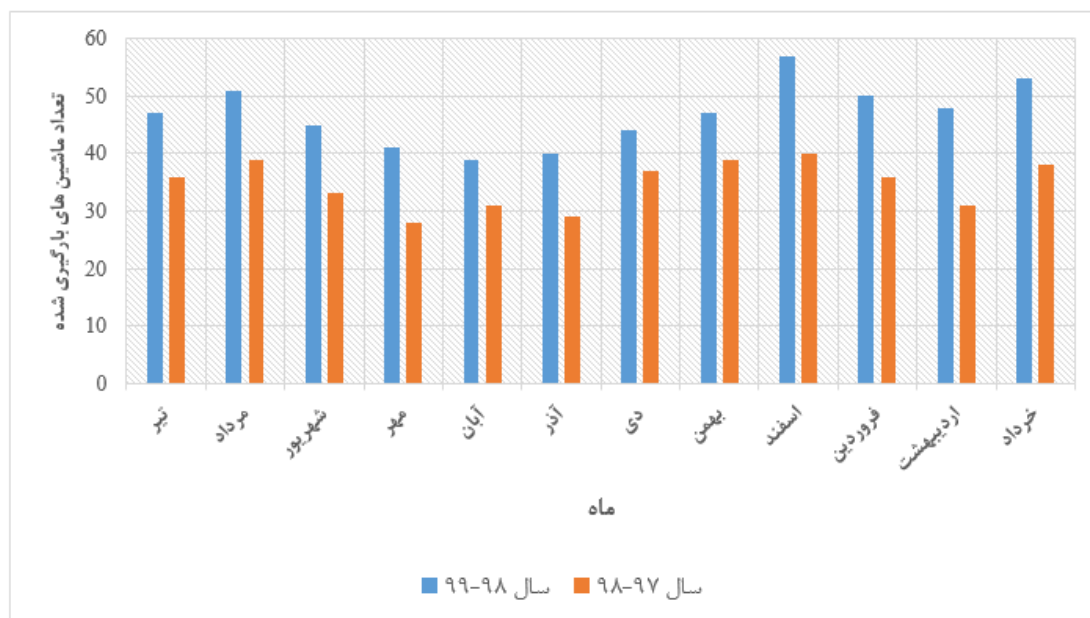
$$Gap = \frac{Z_{Y2} - Z_{Y1}}{Z_{Y1}} * 100 \quad (1)$$

که در رابطه فوق  $Z_{Y2}$  نشانگر نتایج بدست آمده از اجرای چیدمان انبار محصولات پودر شوینده (نتایج سال ۹۸-۹۹) و  $Z_{Y1}$  نشانگر نتایج بدست آمده از ذخیره سازی محصولات پودر شوینده بدون طرح چیدمان (نتایج سال ۹۷-۹۸) می باشد. همانطور که در

جدول (۲) قابل مشاهده است، ذخیره سازی محصولات بر مبنای طرح چیدمان بدست آمده از خروجی نرم افزار شبیه سازی می تواند منجر به افزایش تعداد ماشین های بارگیری و کاهش زمان بارگیری ماشین آلات جهت حمل برای مشتریان گردد که در اکثر ماه های سال می توان میزان بهبود ها را مشاهده نمود.

جدول (۲) نتایج بدست آمده از تعداد ماشین های بارگیری شده در قبل و بعد از اجرای بهینه طرح چیدمان انبار

| ماه      | تعداد ماشین های بارگیری<br>شده سال ۹۸-۹۹ (عدد) | تعداد ماشین های بارگیری<br>شده سال ۹۷-۹۸ (عدد) | میزان اختلاف | درصد اختلاف<br>( Gap ) |
|----------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|------------------------|
| تیر      | ۴۷                                             | ۳۶                                             | ۱۱           | ۳۰/۵۶                  |
| مرداد    | ۵۱                                             | ۳۹                                             | ۱۲           | ۳۰/۷۷                  |
| شهریور   | ۴۵                                             | ۳۳                                             | ۱۲           | ۳۶/۳۶                  |
| مهر      | ۴۱                                             | ۲۸                                             | ۱۳           | ۴۶/۴۳                  |
| آبان     | ۳۹                                             | ۳۱                                             | ۸            | ۲۵/۸۱                  |
| آذر      | ۴۰                                             | ۲۹                                             | ۱۱           | ۳۷/۹۳                  |
| دی       | ۴۴                                             | ۳۷                                             | ۷            | ۱۸/۹۲                  |
| بهمن     | ۴۷                                             | ۳۹                                             | ۸            | ۲۰/۵۱                  |
| اسفند    | ۵۷                                             | ۴۰                                             | ۱۷           | ۴۲/۵۰                  |
| فروردین  | ۵۰                                             | ۳۶                                             | ۱۴           | ۳۸/۸۹                  |
| اردیبهشت | ۴۸                                             | ۳۱                                             | ۱۷           | ۵۴/۸۴                  |
| خرداد    | ۵۳                                             | ۳۸                                             | ۱۵           | ۳۹/۴۷                  |
| میانگین  | ۴۷                                             | ۳۴                                             | ۱۳           | ۳۴/۷۷                  |



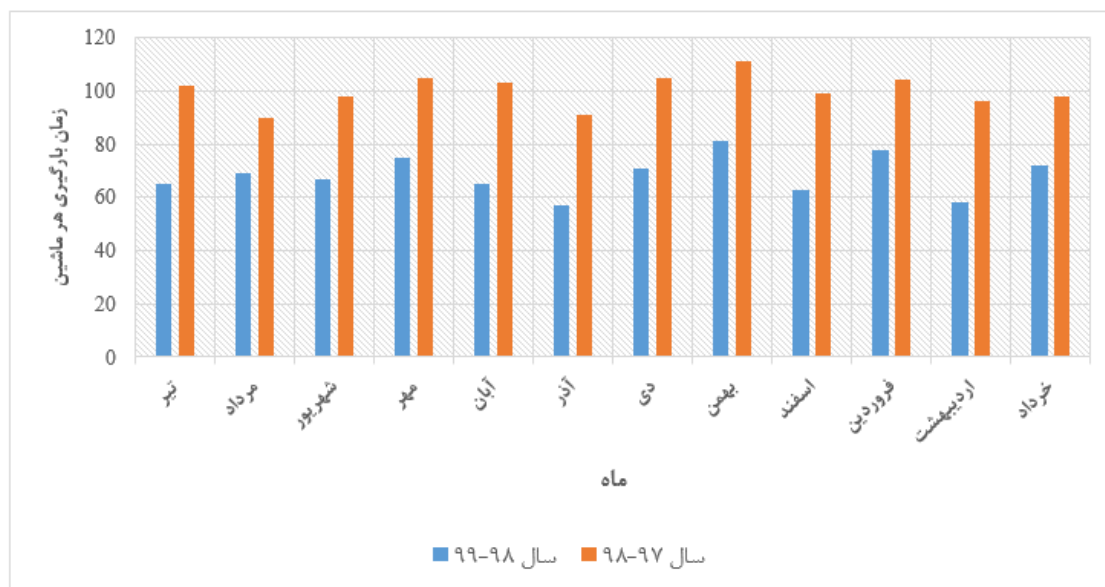
شکل (۵) نمودار میله ای از تعداد ماشین های بارگیری شده در بازه زمانی یکساله مورد مطالعه

هم چنین لازم به ذکر می باشد که برای مقایسه نتایج حاصل از تعداد ماشین های بارگیری شده و زمان بارگیری هر ماشین در دوره یکساله مورد مطالعه تعداد نیروی انسانی بارگیری ثابت و به تعداد ۷ نفر بوده و تعداد لیفتراک های انبار محصولات پودر شوینده نیز به تعداد ۴ لیفتراک برای حمل و نقل و بارگیری ماشین ها بوده است. نتایج بدست آمده در مقایسه سال ۹۸-۹۷ با

سال ۹۸-۹۹ نیز در یک شیفت کاری ۱۲ ساعته در شیفت صبح می باشد. همانطور که در شکل های (۵) و (۶) قابل مشاهده می باشد اجرای طرح چیدمان بهینه در انبار محصولات پودر شوینده می تواند منجر به کاهش زمان بارگیری ماشین ها بطور متوسط به مدت ۲۸ دقیقه و افزایش تعداد ماشین های بارگیری بطور متوسط به تعداد متوسط ۱۳ ماشین در هر ماه شود.

جدول (۳) نتایج بدست آمده از زمان بارگیری هر ماشین در قبل و بعد از اجرای بهینه طرح چیدمان انبار

| ماه      | زمان بارگیری هر ماشین<br>سال ۹۸-۹۹ (دقیقه) | زمان بارگیری هر ماشین<br>سال ۹۷-۹۸ (دقیقه) | میزان اختلاف | درصد اختلاف<br>( Gap ) |
|----------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------|------------------------|
| تیر      | ۶۵                                         | ۱۰۲                                        | -۳۷          | -۴۳/۵۳                 |
| مرداد    | ۶۹                                         | ۹۰                                         | -۲۱          | -۲۳/۶۰                 |
| شهریور   | ۶۷                                         | ۹۸                                         | -۳۱          | -۳۵/۶۳                 |
| مهر      | ۷۵                                         | ۱۰۵                                        | -۳۰          | -۳۱/۵۸                 |
| آبان     | ۶۵                                         | ۱۰۳                                        | -۳۸          | -۴۴/۷۱                 |
| آذر      | ۵۷                                         | ۹۱                                         | -۳۴          | -۴۴/۱۶                 |
| دی       | ۷۱                                         | ۱۰۵                                        | -۲۹          | -۳۱/۸۷                 |
| بهمن     | ۸۱                                         | ۱۱۱                                        | -۳۰          | -۲۹/۷۰                 |
| اسفند    | ۶۳                                         | ۹۹                                         | -۳۶          | -۴۳/۳۷                 |
| فروردین  | ۷۸                                         | ۱۰۴                                        | -۲۶          | -۲۶/۵۳                 |
| اردیبهشت | ۵۸                                         | ۹۶                                         | -۳۸          | -۴۸/۷۲                 |
| خرداد    | ۷۲                                         | ۹۸                                         | -۲۶          | -۲۸/۲۶                 |
| میانگین  | ۶۸                                         | ۱۰۰                                        | -۳۲          | -۳۵/۴۴                 |



شکل (۶) نمودار میله ای از زمان بارگیری هر ماشین در بازه زمانی یکساله مورد مطالعه

با توجه به نتایج جدول های (۲) و (۳) در بازه زمانی یکساله مورد مطالعه می توان دریافت که اجرای طرح چیدمان بهینه در انبار محصولات پودر شوینده می تواند بطور متوسط منجر به افزایش ۳۴/۷۷ درصد در تعداد ماشین های بارگیری و کاهش ۳۵/۴۴ درصد در زمان بارگیری ماشین های حمل محصولات شود.

## ۶- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق اثر اجرای طرح چیدمان بهینه در انبار محصولات پودر شوینده شرکت پاک نام بر روی کاهش زمان های بارگیری ماشین ها و افزایش تعداد ماشین های ارسال شده به مشتریان مورد بررسی قرار گرفت. در طرح اولیه سیستم چیدمان شرکت بدون طرح چیدمان بهینه بوده و محصولات داخل انبار بدون مبنای طرح چیدمان در داخل انبار شرکت قرار گرفته و آماده حمل برای مشتریان می شدند. در گام بعدی بوسیله تکنیک شبیه سازی سعی در بهینه سازی و انتخاب بهترین چیدمان در انبار محصولات شوینده اقدام گردید و بوسیله طرح سناریوهای مختلف در چیدمان محصولات پودری در انبار، بهترین سناریو که دارای کیفیت جواب های بهتری نسبت به دیگر سناریوها در میانگین ۱۰۰ اجرا متوالی پس از حذف نتایج در دوره دست گرمی بوده است به عنوان طرح چیدمان بهینه انتخاب شد. هم چنین برای مقایسه و تحلیل نتایج حاصل از اجرای طرح چیدمان بهینه در انبار، نتایج حاصل از اجرای طرح چیدمان بهینه با نتایج حاصل از بدون طرح چیدمان در یک دوره یکساله مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. طبق محاسبات بدست آمده از مقایسه در سال های ۹۷-۹۸ و ۹۸-۹۹ نشان داد که اجرای طرح چیدمان بهینه بطور متوسط می تواند منجر به افزایش ۳۴/۷۷ درصدی در تعداد ماشین های بارگیری شده و کاهش ۳۵/۴۴ درصدی در زمان بارگیری ماشین ها گردد. برای پیشنهادها در مطالعات آتی تحقیق، در نظر گرفتن دیگر شاخص ها مانند میزان افزایش در راندمان فضای بهره برداری شده انبار، میزان کاهش در زمان صدور سفارش تا ارسال محصول به مشتری، میزان کاهش در ضایعات انبار و یا میزان افزایش در رضایت مندی مشتریان نیز می تواند به عنوان دیگر پارامترها برای مقایسه نتایج حاصل از اجرای طرح چیدمان بهینه بر روی انبار محصولات پودر شوینده نیز انجام پذیرد. هم چنین مورد مطالعه ای صورت گرفته در این تحقیق انبار محصولات پودر شوینده تولید داخلی شرکت پاک نام بوده است. برای انجام مطالعات آتی در این زمینه می توان نتایج حاصل از اجرای طرح چیدمان بهینه را بر روی دیگر انبارهای شرکت مانند انبار محصولات پودر شوینده تولید صادراتی و یا انبار محصول مایعات را نیز مورد مطالعه و بررسی قرار داد.

## منابع

- [1] Al Jadaan, Omar Rao, C.Raghavendra, and Rajamani, Lakishmi. (2008). Non-dominated ranked genetic algorithm for Multi-Objective optimization problems: NRGGA. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. pp, 60-67.
- [2] Caron, Franco, Marchet, Gino, and Perego, A. (2000). Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems. International Journal of Production Research. Vol. 36. No. 3. 713-732.
- [3] Charles Petersen, and Gerald, Aase. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. European Journal of Operational Research. Vol. 92. No. 1. 11-19
- [4] Cheng, Chen-Yang, Chen, Yin-Yann, Chen, Tzu-Li, and Yoo, John Jun-Woon. (2015). Using a hybrid approach based on the particle swarm optimization to solve joint order batching and picker routing problem. International Journal of Production Economics. No. 3. 805-814.
- [5] Chih-Ming, Hsu, Kia-Ying, Chen, and Mu-Chen, Chen. (2005). Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. 56(2). 169-178.
- [6] Christophe, Theys, Olli, Braysy, Wout, Dullaer, and Birger, Raa. (2010). Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. European Journal of Operational Research. Vol. 200. 755-763.
- [7] Deb, Kalyanmoy, Agrawal, Samir, Pratap, Amrit, and Meyarivan, T. (2000). A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGAII. Proceedings of the parallel problem solving from nature conference. 849-858.
- [8] Dai, Bo, Yanifei, Li, Haisheng, Ren, Xuejun, Liu, and Cuiqing, Li. (2018). Research on optimization for safe layout of hazardous chemicals warehouse based on genetic algorithm. IFAC-Papers Online. Vol. 51. 18. 245-250.
- [9] Derhami, Shahab, Smith, Smith, Jeffrey, S, and Gue, Kevin, R. (2020). A simulation-based optimization approach to design optimal layouts for block stacking warehouses. International Journal of Production Economics. Vol. 223.
- [10] Eydi, Alireza. (2010). Shortest path strategies in dynamic guidance of vehicle based on level of service criteria. A hybrid genetic algorithm approach. International Journal of Industrial Engineering

and Production Management. 21(3). 68-79.

- [11] Horta, Miguel, Coehho, Fabio, and Relvas, Susana. (2016). Layout design modelling for a real world just-in-time warehouse. Computers & Industrial Engineering. Vol. 101. 1-9.
- [12] Mahroof, Kamran. (2019). A human-centric perspective exploring the readiness towards smart warehousing: The case of a large retail distribution warehouse. International Journal of Information Management. Vol. 45. 176-190.
- [13] Matusiak, Marek, Koster, Rene de, Kroon, Leo, and Saarinen, Jari. (2014). A fast simulated annealing method for batching precedence-constrained customer orders in a warehouse. European Journal of Operational Research. No. 3. 968-977.
- [14] Mohtashami, Ali, Tavana, Madjid, Santos-Arteaga, Francisco, and Fallahian-Najafabadi, Ali. (2015). A novel multi-objective metaheuristic model for solving cross-docking scheduling problems. Applied Soft Computing. Vol. 237. 30-47.
- [15] Pan, Jason, Chao-Hsien, Wu, Ming-Hung, and Chang, Wen-Liang. (2014). A travel time estimation model for a high level picker to part system with class-based storage policies. European Journal of Operational Research. No. 3. 1054-1066.
- [16] Sebastian, Henn, and Verena, Schmid. (2013). Metaheuristics for order batching and sequencing in manual order picking system. Computers & Industrial Engineering. Vol. 66. 338-351.
- [17] Sepehri, Mohammad-Mahdi, and Kargari, Mehrdad. (2010). Optimizing the service card in multi-depot, multi-product and multi-level vehicle routing problems with the aim of minimizing the total distribution costs. International Journal of Industrial Engineering and Production Management. Vol. 21. No. 1. 49-61.
- [18] Seval, Ene, and Nursel, Ozturk. (2010). Storage location assignment and order picking optimization in the automotive industry. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 60. 787-797.
- [19] Ying-Chin, Ho, Teng-Sheng, Su, and Zhi-Bin, Shi. (2008). Order-batching methods for an order-picking warehouse with two cross aisles. Computers & Industrial Engineering and Production Management. Vol. 21. No. 2. 63-76.
- [20] Zafari, A, Tashakori, S, and Yousefi, Khoshbakht, M. (2010). A hybrid effective genetic algorithm for solving the vehicle routing problem. International Journal of Industrial Engineering and Production Management. Vol. 21. No. 2. 63-76.
- [21] Zhang, Haijun, and Bingwu, Liu. (2009). A new genetic algorithm for Order-picking of irregular warehouses. Environmental Science and Information Application Technology. 121-124.
- [22] Zhang, Guoqing, Nishi, Tatsushi, Turner, Sarina D.O, Oga, Keisuke, and Li, Xindan. (2017). An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: Modelling and solution approaches. Omega. Vol. 68. 85-94.