Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 12, Serial Number 48, Winter 2023, Pages 253-289 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.12.4.253

Optimizing Truck Scheduling in Cross Docking System under Uncertainty, Using Simulation Technique (Case Study: Central Fruit and Vegetable Warehouse of Tehran Municipality)

Mahziar Taghizadeh[*], Amir Abbas Shojaei[**], Amir Homayoun Sarfaraz[***], Sadiq Raissi[****]

Abstract

Cross docking is a distribution system in which goods are transported to destinations with the aim of preparing trucks at full capacity and reducing inventory costs. The truck scheduling problem has recently been studied by many researchers, but mostly in deterministic cases and situations, while there are many uncertainties in this process. This paper intends to optimize the process related to cross docking operations in a logistics center (Central Fruit and Vegetable Warehouse of Tehran Municipality) with the aim of minimizing operation time, inventory holding, and determining the optimal number of operators under uncertainties in truck arrival time, loading and unloading operations time, handling time and availability of resources and equipment. Due to the computational complexity of precision solving and evaluation of various options, a simulation-based optimization approach has been used, which is a combination of simulation, design of experiment and response surface methodology (RSM). The response surface methodology shows that the best-case scenario includes composition, direct movement between docks, exclusive service mode and "first come-first served" method. Numerical results also confirm that the proposed scenario greatly improves the performance measures in the studied warehouse.

Keywords: Croos-dock; Truck Scheduling; Uncertainty; Simulation and RSM.

Received: Apr. 04, 2022; Accepted: Sep. 19, 2022.

* Ph. D student, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

** Associate Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author).
Email address: a_shojaie@azad.ac.ir

*** Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

**** Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال دوازدهم، شماره ۴۸، زمستان ۱۴۰۱، ص‌ص ۲۵۳ – ۲۸۹ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.12.4.253

بهینه‌سازی زمان‌بندی ماشین‌های حمل در انبار متقاطع تحت شرایط عدم‌قطعیت با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی (مورد مطالعه: انبار مرکزی میوه و تره‌بار شهرداری تهران)

مهزیار تقی‌زاده*، امیرعباس شجاعی، امیرهمایون سرفراز***، صدیق رئیسی******

چکیده

انبارداری متقاطع یک سیستم توزیع است که در آن کالاها با هدف آماده‌سازی در ظرفیت کامل ماشین‌های حمل و کاهش هزینه نگهداری موجودی از تأمین‌کنندگان به مقاصد تقاضا جابه‌جا می‌شوند. مسئله زمان‌بندی ماشین‌های حمل اخیراً توسط بسیاری از پژوهشگران موردمطالعه قرار گرفته، اما عمده این مطالعات در موارد و شرایط قطعی بوده است؛ درحالی‌که بسیاری از عدم‌قطعیت‌ها در این فرآیند وجود دارد. در پژوهش حاضر، فرآیند مرتبط با عملیات انبار متقاطع در یک مرکز لجستیک (میدان مرکزی میوه و تره‌بار شهرداری تهران) با هدف کاهش زمان عملیات و سطح نگهداری موجودی، مشخص‌کردن تعداد بهینه نیروی انسانی و با درنظرگیری عدم‌قطعیت‌ها در زمان ورود ماشین‌ها به انبار، زمان انجام عملیات بارگیری و تخلیه، زمان جابه‌جایی در انبار و دسترسی به منابع و تجهیزات توسعه داده می‌شود. بعلت پیچیدگی محاسباتی مدل‌های حل دقیق و آزمایش و ارزیابی گزینه‌های متنوع عملیات انبار از یک رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی استفاده شده است که تلفیقی از شبیه‌سازی، طراحی آزمایش‌ها و روش سطح پاسخ است. روش سطح پاسخ نشان می‌دهد که بهترین سناریو شامل ترکیب، جابه‌جایی مستقیم کالاها، حالت سرویس انحصاری و روش «اولین ورود ـ اولین سرویس»، است؛ همچنین نتایج عددی تصدیق می‌کنند سناریوی پیشنهادی معیارهای عملکردی در انبار موردمطالعه را بسیار بهبود می‌بخشد.

کلیدواژه‌ها: انبار متقاطع؛ زمان‌بندی ماشین‌ها؛ عدم‌قطعیت؛ شبیه‌سازی و روش سطح پاسخ.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸.

* دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

** دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

Email: a_shojaie@azad.ac.ir

*** استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

**** استاد، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۱ مقدمه

در هر زنجیره تأمین، یک هدف مهم، معمولاً کوتاه‌کردن زمان عملیات است که شامل مجموع زمان‌های تولید، جابه‌جایی و انتظار است که یک جز اصلی برای کاهش هزینه‌های کلی و بهبود خدمت به مشتری است. امروزه شرکت‌ها به‌دنبال جایگزین‌کردن روش‌های توزیعی هستند که کاهش این زمان‌ها و به‌حداقل‌رساندن هزینه‌ها و مخاطرات انبارداری را ممکن می‌سازند. انبار متقاطع نوعی استراتژی است که توجه فزاینده‌ای را در این موضوع به خود جلب کرده است. انبار متقاطع شامل انتقال کالا به‌طور مستقیم از ماشین‌های ورودی به ماشین‌های خروجی با حداقل یا بدون ذخیره‌سازی در بین این فرآیند است. اهداف اصلی، حذف ذخیره‌سازی موجودی و هزینه‌های جابه‌جایی مربوطه بر اساس تثبیت محموله‌ها است. اجرای این نوع استراتژی مستلزم یک سیستم کاری مناسب، نه‌تنها درون انبار متقاطع، بلکه در نحوه جریان اطلاعات است. اگر این اتفاق رخ ندهد، هزینه‌های سیستم بسیار بیشتر از مقدار تخمینی خواهد شد که این با هدف انبار متقاطع در تضاد است. پژوهش حاضر با همکاری انبار مرکزی میدان‌های میوه تره‌بار شهر تهران به‌منظور بهبود عملیات انبار انجام شده است. چالش مطرح‌شده توسط مدیریت، بررسی عملیات انبار متقاطع در انبار مرکزی و یافتن روش‌های جایگزین برای بهینه‌سازی زمان انجام عملیات و دستیابی به تعداد بهینه نیروی انسانی موردنیاز است.

اهمیت و ضرورت پژوهش. در دنیای رقابتی امروز، شرکت‌ها به‌طور مستمر سعی در کاهش هزینه‌های لجستیک و شبکه توزیع خود دارند. این هدف شامل یافتن مکان بهینه تسهیلات، کاهش موجودی، کنترل کارآمد جریان فیزیکی کالاها و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل است. در یک سیستم زنجیره تأمین رقابتی، سرعت پاسخگویی به سفارش‌های سطح کیفیت محصول و خدمت را نشان می‌دهد. یافتن بهترین توالی ورود و خروج ماشین‌ها موجب کاهش زمان عملیات و هزینه‌های سیستم می‌شود. پرواضح است که این مسئله تأثیر بسزایی بر فرآیند جابه‌جایی سریع دارد.

کاربردهای عملی زمان‌بندی ماشین‌ها بسیار وسیع و متنوع است و در زمینه‌های مختلفی نظیر توسعه نرم‌افزارها، برنامه‌ریزی در سازمان‌های معظم حمل‌ونقل، شرکت‌های هواپیمایی، پست، فروشگاه‌های زنجیره‌ای و بسیاری زمینه‌های دیگر کاربرد دارد. در سال‌های اخیر، تلاش و علاقه پژوهشگران در زمینه زمان‌بندی ماشین‌ها در انبار متقاطع افزایش بسیاری یافته است و مفاهیم جدید مدل‌سازی و الگوریتم‌های بسیار زیادی در این زمینه طراحی و اجرا شده‌اند؛ اما بر

اساس نظر پژوهشگران خبره (بویسن و فلیندر، ۲۰۱۰)[1]، هنوز کمبودهای بسیار زیادی در این زمینه وجود دارد که این کمبودها از دو جنبه مطرح هستند [۸]:

ـ توسعه مدل‌هایی نزدیک‌تر به مسائل واقعی؛

ـ بهبود روش‌های حل مسئله در جهت بهبود کیفیت جواب و بهبود زمان حل مسئله زمان‌بندی ماشین‌ها.

عملیات انبار متقاطع و زمان‌بندی ماشین‌ها در دنیای واقعی با عدم‌قطعیت‌های فراوانی روبه‌رو است که از آن جمله می‌توان به عدم‌قطعیت در زمان‌های ورود و خروج ماشین‌ها، زمان عملیات و دردسترس‌بودن منابع اشاره کرد که در مبانی نظری مسئله کمتر موردتوجه قرار گرفته است؛ درحالی‌که پیاده‌سازی بهینه و موفقیت‌آمیز فرآیند زمان‌بندی ماشین‌ها تحت شرایط قابل‌اطمینان مستلزم چگونگی مدیریت و مواجهه با این عدم‌قطعیت‌ها است. از سوی دیگر طبق مطالعات اخیر لدیر و آلپان[2] (۲۰۱۵)، صورت‌گرفته اهداف کاربردی مانند نرخ بهره‌برداری از سکوها، تعداد بهینه نیروی انسانی موردنیاز و کاهش سطح موجودی داخل انبار در مبانی نظری مسئله کمتر بررسی شده است [۲۰]. حال‌آنکه دستیابی به این اهداف برای مدیریت کارآمد عملیات انبار متقاطع از اهمیت بالایی برخوردار است؛ بنابراین تلاش در جهت رفع این کمبودها و نزدیک‌کردن مسئله به شرایط واقعی انجام این پژوهش را ضروری می‌کند.

پرسش‌های پژوهش. بر اساس اینکه چه نوع استراتژی در خصوص تسهیلات انبار و شرایط عملیات اتخاذ شود، این امکان به‌وجود می‌آید که مدل‌های مختلفی از انبار متقاطع تعریف شود. تصمیم‌گیری در خصوص کمّیت و کیفیت عوامل زیر ترکیب‌های متفاوتی از مدل‌ها را تولید می‌کند:

ـ تعداد دردسترس سکوهای دریافت؛

ـ نحوه سرویس‌دهی سکوها؛

ـ الگوی ورود و خروج ماشین‌های حمل به سکوها؛

ـ وجود یا عدم‌وجود محل ذخیره موقت.

در این پژوهش سعی می‌شود به پرسش‌های زیر در در خصوص عملیات انبار متقاطع پاسخ داده شود:

ـ تغییر نحوه خدمت‌دهی سکوها چه تأثیری بر زمان عملیات دارد؟

ـ الگوی تخصیص ماشین‌ها به سکوها چگونه بر زمان عملیات تأثیر می‌گذارد؟

ـ سیاست‌های متفاوت در خصوص مکان ذخیره موقت چه تفاوت‌هایی را ایجاد می‌کند؟

1. Boysen & Fliedner
2. Ladier & Alpan

– در صورت غیرقطعی‌بودن زمان‌های ورود ماشین‌ها به انبار و زمان عملیات (زمان تخلیه و بارگیری) چگونه به بهینه‌سازی زمان‌بندی عملیات بپردازیم؟
ـ برنامه‌ریزی بهینه نیروی انسانی در انبار به چه صورت خواهد بود؟ به‌بیان‌دیگر تعداد نفر/ ساعت بهینه برای انجام عملیات داخل انبار چقدر خواهد بود؟

روش پژوهش. پژوهش حاضر از نظر ماهیت و اهداف جزو پژوهش‌های کاربردی محسوب می‌شود. این پژوهش دو گونه از اطلاعات را دربرمی‌گیرد: اطلاعات و داده‌های مربوط به بخش‌های مقدماتی و پیشینه پژوهش از طریق مطالعات کتابخانه‌ای گردآوری‌شده و اطلاعات مربوط به انبار موردبررسی که از نوع میدانی است و از طریق مشاهده (آمارگیری)، مصاحبه با مدیران انبار و استفاده از آمار، ثبت و جمع‌آوری شده است. این پژوهش از نظر ماهیت و روش توصیفی ـ تحلیلی است؛ زیرا وضعیت انجام فرآیندهای انبار موردنظر از طریق مشاهده مستقیم مشخص شده است؛ از طرفی دیگر جمع‌آوری داده‌های لازم مربوط به فرآیندهای در حال انجام در سیستم فعلی پایه و اساس شبیه‌سازی سیستم قرار گرفته است. یادآوری می‌شود که انجام شبیه‌سازی و به‌دست‌آوردن نتایج صحیح و منطبق بر واقعیت به صحت و دقت این اطلاعات بستگی دارد. در ادامه برای هر دسته از داده‌های یادشده با استفاده از نرم‌افزار مینی تب[1] تابع توزیع مناسب استخراج شده و مبنای مدل‌کردن این فرآیندها در نرم‌افزار شبیه‌سازی[2] قرار گرفته است. داده‌های موردنیاز جمع‌آوری‌شده از انبار موردبررسی به شرح زیر است:

زمان ورود ماشین‌ها به انبار؛ زمان انجام عملیات بارگیری و تخلیه ماشین‌ها در سکوها؛ زمان جابه‌جایی ماشین‌ها در سکوها و زمان جابه‌جایی کالاها توسط کارکنان با استفاده از تجهیزات دستی یا لیفتراک در داخل انبار. برمبنای جزییات مشاهدات ۲۰ روز عملیات انبار موردمطالعه و داده‌های به‌دست‌آمده و تابع توزیع‌های برآوردشده، فرآیندهای انبار در مدل شبیه‌سازی طراحی شده است؛ سپس مدل شبیه‌سازی اعتبار سنجی و برای ارزیابی تغییر شرایط (متغیرهای قابل‌کنترل) سناریوهای مختلف ارزیابی شده و درنهایت به پردازش داده‌های حاصل از شبیه‌سازی پرداخته شده و در گام بعد با استفاده از تجزیه‌وتحلیل نتایج و ارزیابی عملکرد معیارها، نتیجه‌گیری نهایی به‌دست آمده است.

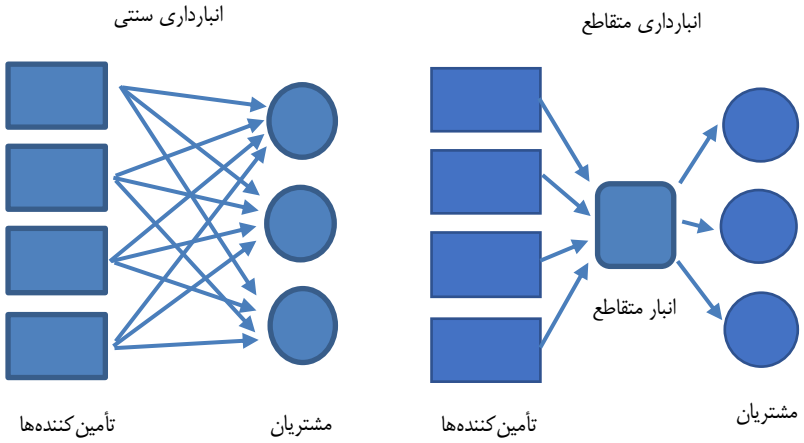
۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

هدف از بخش حاضر تجزیه‌وتحلیل مبانی نظی موجود به‌منظور درک مشکلات مشخص‌شده در انبار موردمطالعه و تلاش برای یافتن رویکردهای پیشنهادی مربوطه است. انبار متقاطع اساساً

1. MiniTab
2. Enterprise Dynamic (ED)

امکانات حمل‌ونقلی هستند که کامیون‌ها با کالاهای طبقه‌بندی شده، با کالاهـای دیگـر تلفیـق شده و در کامیون‌های خروجی بارگیری می‌شود (شکل ۱). محصول نهایی عملیات انبار متقـاطع، کانتینرهای بارگیری‌شده‌ای است که به مقصد واسطه‌ای یا پایانه خود متصل شده‌اند [۲۴].

پیشینه‌ای در مورد مدل‌های برنامه‌ریزی انبار متقاطع در آگوستینا و همکاران[1] (۲۰۱۰)، ارائه شده که پس از طبقه‌بندی هر مسئله انبار متقاطع به سطوح عملیاتی، تاکتیکی یا اسـتراتژیک بـا توجه به سطح تصمیم‌گیری مرتبط، حدود پنجاه مقاله مربـوط بـه مـدل‌های ریاضـی کـه بـرای برنامه‌ریزی انبار متقاطع جمع‌آوری شده است، بررسی می‌شود [۵] .



شکل ۱ روش سنتی انبارداری در مقابل انبار متقاطع

طبق نظر لدیر و آلپان (۲۰۱۵) ویژگی‌های یک انبار متقاطع به سه سطح تقسـیم می‌شـوند : استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی، متناظر با تصمیمات بلندمدت و کوتاه‌مدت که بایـد در مـورد آن اتخاذ شود[۲۰].

ـ *ویژگی‌های سطح استراتژیک:* براساس بله و همکـاران[2]، (۲۰۱۳) سـطح اسـتراتژیک آن‌هـایی هستند که برای اهداف برنامه‌ریزی عملیاتی ثابت هستند؛ به این معنا که تصمیمات قبل از شروع عملیات اتخاذ شده‌اند و از آن‌ها به‌عنوان «ویژگی‌های فیزیکی» یاد می‌شود. بـرای مثـال شـکل انبار، تعداد سکوها و سیستم حمل‌ونقل داخل انبار در مبانی نظری مسـئله، شـکل انبـار معمـولاً بسته به اینکه درب‌های ورود و خروج در کدام اطراف انبار قرار می‌گیرنـد به‌صـورت یـک حـرف انگلیسی تعریف می‌شود (مانند I،L ،U ،T ،H ،E ،X) [۷].

1. Augustina, Lee, Piplani
2. Belle, et al

ـ *ویژگی‌های سطح تاکتیکی:* مطابق پژوهش بله و همکاران (۲۰۱۲) ویژگی‌های سطح تاکتیکی مربوط به تصمیمات میان‌مدت در مورد چگونگی کارکرد انبار متقاطع است و به‌عنوان «ویژگی‌های عملیاتی» از آن‌ها یاد می‌شود که این موارد عبارت‌اند از: نحوه خدمت‌دهی سکوها؛ الگوی تخلیه و بارگیری؛ مکان ذخیره موقت و ظرفیت منابع داخلی [۶]. حالت خدمت‌دهی سکوها می‌تواند اختصاصی، مختلط یا ترکیبی از هر دو باشد. حالت اختصاصی زمانی است که درها (سکوها) به‌صورت ازپیش‌تعیین‌شده به ماشین‌های ورودی یا خروجی و در حالت ترکیبی هر ماشینی به هر دری تخصیص داده شده باشد. لدیر و آلپان (۲۰۱۵) و بویسن و فلیندر[1] (۲۰۱۰) یک حالت سرویس‌دهی دیگر را در نظر گرفتند که در آن هر مقصدی به هر دری اختصاص می‌یابد) [۸، ۲۰].

ـ *ویژگی‌های عملیاتی انبار:* همان‌طور که توسط بله و همکاران (۲۰۱۲) مطرح شد، ویژگی‌های جریان ممکن است توسط مدیر قابل‌کنترل نباشد؛ چون ممکن است توسط سهامداران، مشتریان خاص و یا تأمین‌کنندگان خدمات حمل و جابه‌جایی تحمیل شوند. از جمله ویژگی‌های جریان می‌توان به زمان ورود یا خروج ماشین‌های حمل، زمان جابه‌جایی کالاها داخل انبار و زمان تخلیه و بارگیری اشاره کرد [۶].

وضعیت دیگری از تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های انبار متقاطع توسط بله و همکاران[2] (۲۰۱۲)، ارائه شده است. پژوهشگران هر مسئله را طبق هفت دسته مختلف مشخص‌شده در پیشینه طبقه‌بندی کردند و مقالات مختلفی را در رابطه با هر یک ارائه دادند[۶]. مقاله والها و همکاران[3] (۲۰۱۴) بر اساس طبقه‌بندی مسئله با توجه به نوع عدم‌اطمینان (عدم‌اطمینان بیرونی و درونی) مرتبط با هر مسئله، بررسی پیشینه را انجام داده اند. در مطالعه ذکرشده زمان ورود ماشین‌ها، تعداد ماشین‌ها و محتوای هر ماشین به‌عنوان عدم‌قطعیت‌های خارج از انبار و زمان ارسال ماشین‌ها، زمان پردازش، دردسترس‌بودن تجهیزات و منابع انسانی در دسترس به‌عنوان عدم‌قطعیت‌های داخل انبار در نظر گرفته شده است[۴۲]. (بوجیس، ویز و کارلو، ۲۰۱۴)[4] پژوهش‌های انبار متقاطع موجود را بر اساس یک چارچوب پیشنهادی طبقه‌بندی کردند که شامل وابستگی متقابل بین مشکلات مختلف انبار متقاطع است. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیشتر پژوهش‌ها به مشکلات جداگانه انبار متقاطع می‌پردازند و چارچوبی را برای حمایت از پژوهش‌های آینده در زمینه همگام‌سازی انبار متقاطع بین عملیات انبار متقاطع محلی و شبکه‌ای ارائه می‌دهند [۱۱].

1. Boysen & Fliedner
2. Belle, et al.
3. Walha, et al.
4. Buijs,Vis & Carlo

طراحی چیدمان، زمان‌بندی کامیون و ویژگی‌های عملیاتی انبار متقاطع موضوع‌هایی هستند که در مبانی نظری مسئله موردتوجه قرار گرفته‌اند. سایر مربوط به موضوع‌هایی است که در محدوده این پژوهش نیستند؛ مانند برنامه‌ریزی و طراحی شبکه و مسیریابی خودرو.

گودیسو و همکاران[1] (۲۰۲۰)، یک الگوریتم اکتشافی لاگرانژی را برای مسئله انبار متقاطع توصیف کردند که در آن مقادیر معینی از محصولات باید به‌طور مستقیم از یک مجموعه معین از کامیون‌های ورودی به یک مجموعه معین از کامیون‌های خروجی منتقل شوند. هدف زمان‌بندی فعالیت‌ها و طراحی برنامه حمل‌ونقل بود؛ درحالی‌که زمان اتمام کل فرآیند را به حداقل ممکن می‌رساند. سهم اصلی این پژوهش، روش تجزیه لاگرانژی برای مدل خطی عدد صحیح ساختاریافته مسئله بود [۱۵]. مطالعه نگویرا و همکاران[2] (۲۰۲۰)، مسئله زمان‌بندی کامیون چندنقطه‌ای را در یک مرکز انبار متقاطع با هدف به‌حداقل‌رساندن زمان موردمطالعه قرار دادند. آن‌ها سناریوی ماشین موازی را به‌جای تنظیم جریان کارگاهی سنتی معرفی کردند و یک روش ابتکاری ماشین موازی چندجمله‌ای را پیشنهاد دادند که از فرمول‌بندی ریاضی شاخص زمانی و شیوه‌های اکتشافی سطح بالا برای نمونه‌های کوچک، متوسط و بزرگ بهتر عمل می‌کند[۳۱]. در مقاله شاهمردان و سجادیه (۲۰۱۹) یک برنامه عدد صحیح مختلط برای یافتن وظایف بهینه سکوهای مبدأ و مقصد و همچنین برنامه‌ریزی کامیون‌ها برای به‌حداقل‌رساندن زمان با درنظرگرفتن عملیات بارگیری و تخلیه جزئی توسط آن‌ها ارائه شده است [۳۶].

در میان پژوهش‌های اخیر، می‌توان به پژوهش امینی و توکلی مقدم (۲۰۱۶)، اشاره کرد. آن‌ها فرض کردند که کامیون‌های باری در طول عملیاتشان شکست می‌خورند و تعداد خرابی‌های کامیون در یک دوره معین از توزیع پواسون پیروی می‌کند. آن‌ها همچنین برای هر کامیون ضرب‌العجل تعیین کردند و از سه الگوریتم ابتکاری برای حل مدل دو هدفه خود با هدف کاهش تعداد کامیون‌های تأخیری و تکمیل آن‌ها و درنهایت مقایسه نتایج سه الگوریتم بهره گرفتند [۲]. در پژوهش گلاره و همکاران (۲۰۱۸)، هشت مدل برنامه‌ریزی ریاضی اعداد صحیح مختلط برای مدل‌سازی مسئله تخصیص درب (سکو) به مقاصد در محیط‌های انبار متقاطع معرفی شده است. آن‌ها بهترین و کارآمدترین مدل‌ها را بر اساس نمونه‌های استاندارد موجود در مبانی نظری مسئله مقایسه و معرفی کردند[۱۶]. در پژوهش نصیف و همکاران[3] (۲۰۱۸)، دو مدل ریاضی عدد صحیح پیچیده را به‌منظور مدل‌سازی مسئله درهای تخصیص (سکوها/ باراندازها) برای کاهش هزینه‌های جابه‌جایی ارائه شده و با استفاده از الگوریتم تولید ستون‌ها مدل‌ها حل شده است [۳۰].

1. Gaudioso, et al.
2. Nogueira, et al
3. Nassief, et al.

نحوه رسیدن کامیون‌های منتظر به سکو یکی از مسائل مهم موردمطالعه بود که توسط [۳۵] ارائه شده و با استفاده از مدل تئوری صف M / M / 1، مدل شده و زمان باقی‌مانده برای کامیون‌ها نیز یک مدل دوهدفه با اهداف کاهش هزینه ذخیره کالا و کاهش مصرف انرژی در حمل‌ونقل انبار ارائه و توسط دو الگوریتم رقیب، یعنی الگوریتم مارگریت و گری ولف، حل شد. در پژوهش (خلیلی دامغانی و سایر نویسندگان، ۲۰۱۷) یک مدل چنددوره‌ای انبار متقاطع با درنظرگرفتن ظرفیت متغیر حمل‌ونقل و زمان تحویل متنوع برای کامیون‌های حمل‌ونقل با یک برنامه‌ریزی عدد صحیح پیچیده معرفی شده و مدل با استفاده از یک رویکرد محاسباتی تکاملی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک حل کرد که نتایج آن با الگوریتم شاخه و مورد به‌منظور ارزیابی کارایی این روش مقایسه شد [۱۹].

جدول ۱، مشخصات مقالات با موضوع زمان‌بندی کامیون‌ها را بر اساس مفروضات تأثیرگذار در عملیات انبار نشان می‌دهد. روش‌های انبارداری متقاطع فعلی توسط لدیر و آلپان (۲۰۱۵)، با پیشینه موضوع مقایسه شد که یکی از جنبه‌های بررسی‌شده در مقاله آن‌ها، معیارهای عملکرد سیستم بود [۲۰]. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین معیارها در مبانی نظری، فاصله زمانی و مسافت طی‌شده است؛ درحالی‌که مدیران اجرایی انبار مهم‌ترین معیار را تعداد ساعات کار نیروی انسانی می‌دانند. جدول ۲، نتیجه این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. تجزیه‌وتحلیل پیشینه پژوهش

روش حل	معیارهای عملکردی	حالت سرویس‌دهی سکوها	ظرفیت مکان ذخیره موقت	تعداد سکوها	زمان‌بندی ماشین‌های خروجی	زمان‌بندی ماشین‌های ورودی	مقاله
الگوریتم‌های فراابتکاری	تأخیر زمان و تعجیل	اختصاصی	نامحدود	۲	بله	بله	[۴]
الگوریتم‌های فراابتکاری	زمان عملیات و تأخیر کل ماشین‌های ارسال	اختصاصی	نامحدود	۲	بله	بله	[۳]
برنامه‌ریزی پویا	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	۲	بله	بله	[۹]
الگوریتم استعمارگر	سطح موجودی	اختصاصی	نامحدود	۲	بله	بله	[۱۳]
الگوریتم ابتکاری	هزینه جابه‌جایی و جایگزینی	اختصاصی	نامحدود	۲	بله	بله	[۲۱]

روش حل	معیارهای عملکردی	حالت سرویس‌دهی سکوها	ظرفیت مکان ذخیره موقت	تعداد سکوها	زمان‌بندی ماشین‌های خروجی	زمان‌بندی ماشین‌های ورودی	مقاله
الگوریتم‌های فراابتکاری	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	۲	بله	بله	[۲۲]
الگوریتم‌های فراابتکاری	زمان تأخیر	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	خیر	بله	[۲۳]
الگوریتم‌های فراابتکاری	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	۲	بله	بله	[۲۴]
روش ابتکاری	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	۲	بله	بله	[۲۵]
روش ابتکاری	هزینه جابه‌جایی	اختصاصی	نامحدود /محدود	نامشخص	بله	خیر	[۱]
مدل ریاضی	تعداد محموله‌های تأخیری	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	خیر	بله	[۸]
روش ابتکاری	بیشینه سود	اختصاصی	ندارد	نامشخص	خیر	بله	[۱۰]
جست‌وجوی محلی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید	زمان عملیات	اختصاصی	ندارد	نامشخص	خیر	بله	[۲۵]
شبیه‌سازی با الگوریتم ژنتیک	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	خیر	بله	[۲۶]
سیپلکس و الگوریتم فراابتکاری	زمان عملیات و تقاضاهای پاسخ داده نشده	ترکیبی	محدود	نامشخص	بله	بله	[۲۷]
الگوریتم جست‌وجوی ممنوع	زمان تأخیر	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۷]
الگوریتم ابتکاری دومرحله‌ای	زمان عملیات	ترکیبی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۳۸]
الگوریتم‌های ابتکاری	زمان تأخیر	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۲]
مدل ریاضی عدد صحیح مختلط	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۱۹]
شبیه‌سازی	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۳۹]
شبیه‌سازی	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۳۳]

روش حل	معیارهای عملکردی	حالت سرویس‌دهی سکوها	ظرفیت مکان ذخیره موقت	تعداد سکوها	زمان‌بندی ماشین‌های خروجی	زمان‌بندی ماشین‌های ورودی	مقاله
الگوریتم ابتکاری	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۳۰]
مدل ریاضی عدد صحیح مختلط	هزینه کل	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۱۶]
M/M/1 نظریه صف	زمان انتظار	ترکیبی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۳۷]
روش ابتکاری هیبریدی و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید	زمان عملیات و تخصیص سکوها	ترکیبی	نامحدود	۱-۱	بله	بله	[۳۶]
مدل ریاضی عدد صحیح مختلط و الگوریتم ابتکاری	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۳۱]
الگوریتم‌های فراابتکاری	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۱۵]
سیپلکس و روش ابتکاری	زمان عملیات	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۳۵]
الگوریتم‌های فراابتکاری	هزینه کل	اختصاصی	نامحدود	نامشخص	بله	بله	[۴۰]

شکاف پژوهشی. بررسی و تحلیل مبانی نظری موضوع نشان می‌دهد که بیشتر مدل‌ها بیش‌ازحد ساده شده‌اند. برای مثال، تعداد محدودی مطالعه در مورد برنامه‌ریزی کامیون‌های ورودی و خروجی با درهای چندگانه در حالت سرویس مختلط وجود دارد؛ همچنین معیارهای عملکردی همچون فشردگی، نرخ بهره‌برداری از سکوها، سطح نگهداری موجودی و تعداد بهینه نیروی انسانی که در صنعت (موارد واقعی) دارای اهمیت هستند، بسیار کم موردتوجه قرار گرفته‌اند. در بیشتر مطالعات از روش‌های اکتشافی و فراابتکاری برای به‌حداقل‌رساندن طول افق برنامه‌ریزی استفاده شده است و با اینکه بررسی عدم‌قطعیت‌ها و ارزیابی تغییر شرایط و ویژگی‌های عملیاتی انبار جزو موضوع‌های مهم مطرح‌شده در مباین نظری بوده، اما رویکرد شبیه‌سازی نیز کمتر مورداستفاده قرار گرفته است.

در دنیای واقعی مسئله زمان‌بندی ماشین‌ها با عدم‌قطعیت‌های بسیاری در شرایط و فرآیند انجام عملیات مواجه است که کنترل و بررسی دقیق و مناسب آن‌ها تأثیر زیادی در داشتن یک محیط قابل‌اطمینان برای انجام عملیات دارد؛ درنتیجه در این پژوهش سعی می‌شود با

درنظرگرفتن عدم‌قطعیت در زمان ورود ماشین‌ها، زمان انجام عملیات بارگیری و تخلیه، زمان جابه‌جایی ماشین در سکوها و دردسترس‌بودن منابع، به بهینه‌سازی زمان‌بندی ماشین‌ها با درنظرگیری اهدافی همچون کاهش زمان انجام عملیات، کاهش سطح نگهداری موجودی، بهینه‌سازی نرخ استفاده از سکوها و دستیابی به تعداد بهینه نیروی انسانی پرداخته شود که برای مدیران انبار موردمطالعه کاربردی باشد.

بیان مسئله. انبار متقاطع یک استراتژی انبارداری خلاق و نوآورانه برای کنترل هم‌زمان جریان مواد، هزینه‌های لجستیک، توزیع و تنظیم سطح خدمت به مشتری است که هدف اصلی آن تثبیت محموله‌ها با اندازه‌های متفاوت و مقاصد یکسان در اندازه ظرفیت کامل ماشین حمل به‌منظور کاهش موجودی و ایجاد صرفه اقتصادی در هزینه حمل است. در انبار متقاطع کالاها توسط ماشین‌های دریافت از طریق سکوهای ورودی به انبار وارد می‌شوند و در مدت‌زمان بسیار کوتاهی بر اساس تقاضای مشتریان دسته‌بندی و مسیریابی شده و بر روی ماشین‌های ارسال بارگیری و از طریق سکوهای خروجی ارسال می‌شوند. اجرای این عملیات نیازمند برنامه‌ریزی و زمان‌بندی دقیق ماشین‌های ورودی و خروجی به انبار با توجه به مشخصه‌های عملیاتی است. اگر لازم باشد که کالایی ذخیره شود، این عمل برای مدت بسیار کوتاهی و حداکثر برای ۲۴ ساعت امکان‌پذیر خواهد بود. بدین طریق مدت‌زمان برآورده‌شدن تقاضای مشتری، هزینه نگهداری موجودی و فضای موردنیاز برای انبارداری کاهش می‌یابد. زمان‌بندی ماشین‌های ورودی و خروجی به انبار متقاطع، به‌منظور یافتن توالی بهینه ماشین‌ها، مسئله زمان‌بندی ماشین‌ها شهرت دارد. بر این اساس، هر ماشین ورودی یا خروجی که وارد محوطه انبار می‌شود به یک سکوی مشخص برای پردازش محموله (بارگیری یا تخلیه)، تخصیص می‌یابد. یافتن بهترین توالی ورود و خروج ماشین‌ها موجب کاهش زمان عملیات و هزینه‌های سیستم می‌شود. پرواضح است که این مسئله ابتدایی به‌صورت پیوسته در عملیات روزانه انبار متقاطع به‌وجود می‌آید و تأثیر بسزایی در فرآیند جابه‌جایی سریع دارد. حل مسئله زمان‌بندی ماشین‌ها در انبار متقاطع به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل موجود در سیستم انبار متقاطع، موضوع این پژوهش است.

جدول ۲. معیارهای عملکردی مطابق (لدیر و آلپان، ۲۰۱۵)

معیارهای عملکردی	درصد به‌کاررفته در مبانی نظری	درصد به‌کاررفته در صنعت
سطح موجودی	۱۲	۱۳
ساعات کاری	۲	۷۵
مسافت طی‌شده	۲۶	۰
فشردگی	۳	۳۸
کل زمان توقف محصولات	۵	۰
تعداد تماس‌ها	۲	۲۵
انحراف معیار زمان عملیات ماشین‌ها	۱۷	۱۳
زمان بارگیری	۶	۰
زمان تخلیه	۷	۱۳
نرخ بهره‌برداری از سکوها	۴	۲۵
تعداد کالاهای بارگیری نشده	۵	۱۳
زمان عملیات	۴۵	۲۵
هزینه جابه‌جایی	۶	۰

فرایند عملیات انبار با ورود کامیون‌ها برای تخلیه شروع می‌شود. ازآنجاکه سکوها در حالت سرویس انحصاری کار می‌کنند، مدیر انبار مجبور است هر کامیون را که وارد می‌شود به یک سکو اختصاص دهد و معمولاً معیار «اولین ورود ـ اولین سرویس» را در نظر می‌گیرد. در صورت تأخیر، او محتوای کامیون را تجزیه‌وتحلیل می‌کند و تصمیمات لازم را می‌گیرد. برای مثال، او می‌تواند منتظر تحویل دیررس نباشد، کامیونی را بدون این محصولات بفرستد و بعداً برای آن محصولات تحویل ویژه بفرستد. علی‌رغم کارایی روش فعلی، سایر سیاست‌ها برای تعیین نحوه سرویس‌دهی یا انتخاب سکوی مناسب می‌تواند این عملیات را بهبود بخشد، مانند حالت سرویس مختلط یا سکوهای اختصاصی. همچنین قوانین برای تعیین توالی کامیون باید به‌منظور کاهش قضاوت و تصمیمات ضعیف اجرا شود. پس از ورود ماشین به انبار، سرپرست گروه، کارگران را به تخلیه کامیون اختصاص می‌دهد و سکو مربوطه را مشخص می‌نماید. محصولات در فضاهای بین درها و مقابل سازه‌ها قرار می‌گیرند. اگر محصولات انبار متقاطع از قبل یک کامیون مشخص برای بارگیری داشته باشند، آن‌ها به منطقه آماده‌سازی مربوطه منتقل می‌شوند. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در این عملیات، چیدمان طرح است؛ زیرا زمان انجام عملیات به آن بستگی دارد. طرح فعلی برای بیشتر محصولات ثابت نیست. بیشتر محصولات تخلیه‌شده به‌طور موقت در منطقه (مکان ذخیره موقت) مناسب برای کارگر ذخیره می‌شوند که ممکن است کارآمدترین مکان نباشد. ذخیره‌سازی موقت در فضای بین درهای اسکله و مقابل قفسه‌ها انجام می‌شود.گاهی اوقات، هنگامی‌که این مناطق اشغال می‌شود، محصولات در قفسه‌ها، در سطح

زمین ذخیره می‌شوند. مکان قرارگیری فضای ذخیره موقت و ظرفیت آن ازجمله متغیرهای تصمیم‌گیری در مدل است.

از ویژگی‌های تاکتیکی و عملیاتی که در انبار متقاطع تأثیرگذارند، می‌توان به زمان ورود کامیون‌ها به انبار اشاره کرد؛ زیرا تعیین فواصل کمتری برای ورود و خروج کامیون‌ها اهمیت دارد. دوم اختصاص کامیون‌ها به سکو، یعنی تجزیه‌وتحلیل اثر انواع حالت‌های سرویس‌دهی سکوها است. نسبت به ورود کامیون‌ها، ایجاد قوانینی برای تعیین توالی کامیون نیز مهم است تا به تصمیمات مدیر اجرایی انبار وابسته نباشد و بنابراین از قضاوت انسانی جلوگیری شود. به‌منظور کاهش زمان جابه‌جایی و زمان سفر در داخل انبار، طرح‌های جدید نیز باید تجزیه‌وتحلیل شود. برای مثال، مناطق اختصاص‌داده‌شده به‌طور خاص به مقصد یا مشتری. آخرین متغیر مشخص‌شده در این تحلیل مقدماتی تخصیص کارگران است، برای یافتن تعداد بهینه کارگران برای هر شیفت و تقسیم بهینه شیفت‌ها در طول روز بسیار مهم است. سیستم‌های مدیریت انبار نیز به‌دلیل تأثیر عمده‌ای که در عملکرد انبار دارند، می‌توانند بیشتر موردمطالعه قرار گیرند؛ اما این موضوع، در این پژوهش بررسی نخواهد شد.

مسئله زمان‌بندی ماشین‌ها به‌شدت به مسئله برنامه‌ریزی منابع وابسته است؛ به این دلیل که زمان تأخیر واقعی بین اتمام فعالیت‌های هر ماشین ورودی و خروجی نتیجه حل این مسئله است. به‌دست‌آوردن زمان تأخیر واقعی نیازمند زمان‌بندی فعالیت تک‌تک کارگرها است که این امر مستلزم دردست‌بودن اطلاعات جزئی و کاهش انعطاف‌پذیری نیروی انسانی است. این مسئله علی‌رغم اینکه تأثیر بسزایی بر زمان‌بندی بهینه عملیات دارد، به‌ندرت در مبانی نظری مسئله در نظر گرفته شده است؛ ازاین‌رو در نظرگیری عدم‌قطعیت در مدت‌زمان انجام عملیات تخلیه و بارگیری به سبب شرایط متفاوت دردسترسی به منابع انجام عملیات مانند تجهیزات و نیروی انسانی، به‌عنوان یک جنبه نوآوری در این پژوهش در نظر گرفته شده است؛ همچنین زمان دقیق ورود و خروج هر یک از ماشین‌های حمل به انبار متقاطع می‌تواند بر نحوه زمان‌بندی و توالی ماشین‌ها تأثیرگذار باشد. تخمین دقیق زمان‌های ورود و خروج ماشین‌ها یکی دیگر از چالش‌های پیش روی مسئله زمان‌بندی ماشین‌ها است؛ چراکه در دنیای واقعی ماشین‌های حمل می‌توانند به دلایل مختلف نظیر ترافیک، شرایط آب‌وهوایی، خطای انسانی و یا اشکال در وسیله حمل دچار تأخیر و یا شکست (خرابی) شوند که در این پژوهش بررسی این مورد نیز مدنظر قرار گرفته است.

معیارهای زیر به‌عنوان معیار عملکرد سیستم انبار متقاطع در نظر گرفته شده‌اند:

ـ نرخ بهره‌برداری از سکوها؛

ـ میانگین تعداد ساعات فعالیت نیروی انسانی؛

ـ میانگین سطح موجودی نگهداری‌شده در مکان ذخیره موقت در طول افق برنامه‌ریزی؛

ـ کل زمان صرف‌شده برای انتقال مواد از سکوهای ورودی به سکوهای خروجی؛
ـ کل زمان لازم برای اجرای عملیات انبار متقاطع.

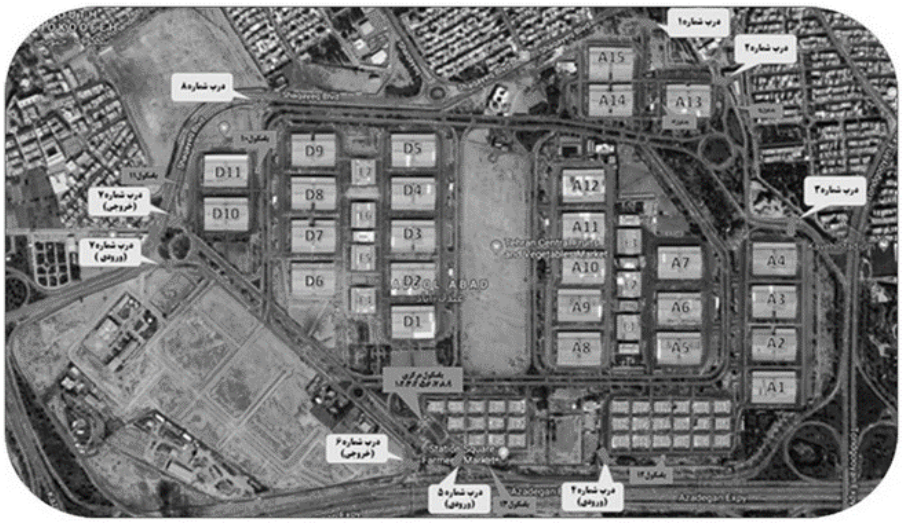
با توجه به پیچیدگی محاسباتی مسئله زمان‌بندی ماشین‌ها و همچنین اهداف چندگانه درنظرگرفته‌شده برای مدل حاضر، دستیابی به جواب‌های بهینه سراسری بسیار مشکل خواهد بود؛ از سوی دیگر با توجه به پیچیدگی مسئله، عدم‌قطعیت در فرآیند، تداخل و اثرگذاری عوامل بر یکدیگر و محدودیت‌های فراوان پیش رو، استفاده از مزایا و ظرفیت‌های علم شبیه‌سازی و تکنیک شبیه‌سازی گسسته پیشامد به‌عنوان ابزاری برای بهینه‌سازی مسئله، مناسب به نظر می‌رسد.

معرفی انبار موردمطالعه. در این بخش، انبار میدان مرکزی میوه و تره‌بار شهر تهران و مشخصات آن توصیف و تشریح خواهد شد:

بر اساس مصوبه «شورای انقلاب» در بهمن‌ماه سال ۱۳۵۸ سازمان «میادین میوه و تره‌بار و فرآورده‌های کشاورزی» زیر نظر شهرداری تهران تشکیل شد. هدف از تشکیل این سازمان تهیه و توزیع میوه و تره‌بار و فرآورده‌های کشاورزی مورداستفاده مردم و همچنین کوتاه‌کردن دست واسطه‌ها از طریق ایجاد ارتباط مستقیم بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان بود. میدان مرکزی میوه و تره‌بار تهران در فضایی بالغ بر ۶۰۰.۰۰۰ مترمربع شامل ۶۳ سالن سرپوشیده در ۵ تیپ متفاوت ساخته شد که درمجموع ۲۶۶.۰۰۰ مترمربع فضای سرپوشیده دارد. میدان مرکزی میوه و تره‌بار از جنوب به بزرگراه آزادگان، از شمال به بلوار شقایق، از غرب بزرگراه شهید کاظمی و از شرق به بزرگراه شهید تندگویان محدود شده است. این مجموعه دارای ۹ درب ورود و خروج برای وسایل حمل است که از این تعداد ۴ درب ورودی و ۴ درب خروجی بوده و یک در منحصراً جهت رفت‌وآمد کارکنان در نظر گرفته شده است (درب شماره ۸). با نظر مدیریت مجموعه پروژه مطالعاتی این پژوهش به‌صورت پایلوت بر روی عملیات سالن D1 صورت گرفته است. عملیات اجرایی سایر سالن‌ها، به‌جز سالن‌های تیپ B وE، مشابه هم است و قابلیت تعمیم نتایج برای آن‌ها وجود دارد. سالن D1 دارای۷۰ متر طول و ۴۰ متر عرض است و مسیر ورود و خروج ماشین‌های حمل به این سالن از درب ورودی ۵ و خروجی ۶ است. سالن D1 دارای ۷ سکو تخلیه و بارگیری است که در وضع موجود ۴ سکوی دریافت (تخلیه) و ۳ سکوی ارسال (بارگیری) برای این سالن در نظر گرفته شده است. هر ماشین حمل در حالت عادی ظرفیت حمل ۳۰ پالت را دارد که هر پالت عموماً ۲۰ محصول را فارغ از اینکه چه نوعی است، در خود جای می‌دهد.

ویژگی‌ها و مفروضات انبار موردمطالعه. انبار مرکزی موردمطالعه I شکل است درب ورود در یک طرف و درب خروج در یک طرف دیگر قرار دارد. مساحت داخل انبار بالغ بر۲۸۰۰ مترمربع

است. مواد توسط فورک لیفت، لیفتراک و پنجه‌های هیدرولیک کـه بـرای جابـه‌جـایی کارتن‌هـا استفاده می‌شوند، حمل می‌شود.



شکل ۲. نقشه هوایی از انبار مرکزی میدان میوه و تره‌بار شهر تهران

در انبار موردمطالعه، ۳ سکوی دریافت و ۴ سکوی ارسـال وجـود دارد. حالـت سـرویس‌دهی سکوها به‌صورت اختصاصی است. الگوی تخلیه و بارگیری در انبـار متقـاطع می‌توانـد به‌صـورت ثابت (ماشین‌ها تا کامل‌شدن عملیات تخلیه یا بـارگیری در سـکو بـاقی می‌ماننـد) یـا به‌صـورت نیمه‌تمام (ماشین‌ها می‌توانند بخشی از عملیات بارگیری و تخلیه را انجام و از سکو خارج شوند و مجدد به سکو برگردند) باشد که در این انبار به‌صورت ثابت است. محصولات در انبار متقـاطع در نواحی بین درها و در جلوی قفسه‌ها در سطح زمین ذخیره می‌شوند. ظرفیت ذخیره‌سـازی موقـت به‌طور دقیق تعریف نشده است؛ درنتیجه نمی‌تواند به‌درستی اندازه‌گیری شود؛ اما بـه‌طورکلی بـه غیر از فضاهایی که برای رفت‌وآمد کارگران و فضاهای پارک ماشین‌های حمل داخلی وجود دارد، سایر فضاها برای ذخیره‌سـازی موقـت کالاهـا مورداسـتفاده قـرار می‌گیرنـد. زمـان دقیـق ورود ماشین‌ها به انبار مشخص نیست و غیرقطعی است؛ اما کلیه ماشین‌هایی که تا قبل از سـاعت ۲۴ به انبار می‌رسند باید در همان نوبت کاری سرویس‌دهی شوند. در حال حاضر ۲۲ کارگر دائم و ۸ کارگر موقت دارند که در سه نوبت مختلـف فعالیـت می‌کننـد کـه ۲۴ سـاعت در روز را پوشـش می‌دهند. ۱۲ تا ۱۵ اپراتور به‌طور انحصاری بـرای عملیـات داخـل انبـار متقـاطع تخصـیص داده می‌شوند که در دو نوبت متفاوت کار می‌کنند. یک نوبـت از سـاعت ۱۶ تـا ۲۴ و نوبـت دیگـر از ساعت ۲۴ بامداد تا ۸ صبح است. در مورد تجهیزات، یک لیفتراک خودکار وجـود دارد کـه بـرای

یک کارگر دردسترس است. درمجموع تجهیزات در انبار شامل یک لیفتراک خودکار، ۵ فورک‌لیفت، سه پنجه هیدرولیک و ۷۰ پالت ۲*۲ است. با توجه به غیرقطعی‌بودن (موقتی بودن) زمان کاری برخی از اپراتورها و همچنین صحت عملکرد و نرخ خرابی تجهیزات، زمان انجام عملیات بارگیری و تخلیه کالاها و زمان جابه‌جایی کالاها در انبار غیرقطعی در نظر گرفته شده است؛ همچنین با توجه به فشردگی در محوطه انبار و ملاحظات مربوط به نیروی انسانی، زمان جابه‌جایی ماشین‌ها در سکوها نیز غیرقطعی است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، با تجزیه‌وتحلیل آماری مشاهدات ۲۰ روز عملیات انبار در نوبت کاری ۱۶ تا ۲۴، تابع توزیع احتمال زمان‌های ورود ماشین‌ها، زمان جابه‌جایی ماشین‌ها در سکوها، زمان جابه‌جایی کالاها در انبار و زمان عملیات بارگیری و تخلیه برآوردشده و مبنای طراحی مدل شبیه‌سازی قرار گرفته است.

شبیه‌سازی. گئو و همکاران[1] (۲۰۱۰) شبیه‌سازی یک تکنیک عمومی است که به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی عملکرد انبار در مبانی نظری دانشگاهی و همچنین در عمل استفاده می‌شود [۱۷]. دلیل اصلی این واقعیت است که انجام سایر رویکردهای مدل‌سازی دیگر بسیار هزینه‌بر بوده و یا به‌دلیل محدودیت‌های واقعی غیرقابل‌اجرا است [۳۴]. برخی از پژوهش‌های ذکرشده برای مقابله با مشکلات مربوطه از شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند. ازآنجاکه شبیه‌سازی انبار متقاطع موضوعی است که زیاد موردمطالعه قرار نگرفته است، رویکرد شبیه‌سازی انبار، به‌ویژه شبیه‌سازی عملیات انبار گسترش یافت.

فاریا[2] (۲۰۱۵)، گاگلیاردی و همکاران[3] (۲۰۰۷) و پترسن و آسه[4] (۲۰۰۴) برای بهبود کارایی عملیات برداشتن کالا از شبیه‌سازی رویداد گسسته بهره گرفته‌اند. علی‌رغم اینکه این نوع عملیات در محدوده مطالعه حاضر گنجانده نشده است (ازآنجاکه یکی از اهداف انبار متقاطع ازبین‌بردن محل ذخیره‌سازی و عملیات برداشت است)، همه این مطالعات راهنمایی‌های مفیدی در مورد چگونگی توسعه مدل شبیه‌سازی انبار ارائه می‌دهند [۱۲، ۱۴، ۳۲]. فاریا، (۲۰۱۵) عملکرد چندین سناریو را تغییر می‌دهد که سیاست‌های مختلف ذخیره‌سازی و روش‌های مسیریابی را برای دسترسی و بازسازی تکلیف ذخیره‌سازی در منطقه برداشت و روند برداشت سفارش ارزیابی می‌کند. میرزاباقی و جولای (۲۰۱۷)، یک سیستم صف $G/G/1/\infty$ را که برای سرویس‌دهی به هر مشتری یک موجودی نیاز بود را موردبررسی قرار دادند و به‌دلیل پیچیدگی‌های مدل‌های حل دقیق از یک مدل شبیه‌سازی تلفیقی با طراحی آزمایش‌ها و روش سطح پاسخ استفاده کردند [۲۸]. زندی و همکاران (۲۰۲۱)، نشان دادند که برای افزایش کارایی

1. Gu, et al
2. Faria
3. Gagliardi, et al.
4. Petersen & Aase

و بهبود عملکرد سیستم می‌توان از مدل شبیه‌سازی استفاده کرد. آن‌ها با ارائه یک الگوی مدل‌سازی صف یک سیستم خدماتی را با استفاده از نرم‌افزار ای‌دی شبیه‌سازی و سناریویی با کمترین هزینه را برای بهبود پیشنهاد کردند[۴۴]. (موسوی و سایر نویسندگان، ۲۰۲۱) با استفاده از یک رویکرد تلفیقی مدل ریاضی و شبیه‌سازی، شبکه یک مرکز لجستیکی درمانی را در شرایط بحران، بهبود دادند[۲۹].

چرا شبیه‌سازی. فاریا (۲۰۱۵)، هنگام انجام یک کار پژوهشی برای بهینه‌سازی سیستم دنیای واقعی، پژوهشگران نظریه‌هایی را ایجاد می‌کنند که باید موردآزمایش قرار گیرند تا درست و معتبر شناخته شوند [۱۲]. برای آزمایش این نظریه‌ها تغییر در سیستم دنیای واقعی تقریباً هرگز به نفع ذی‌نفعان نیست. حتی ممکن است غیرممکن بوده یا هزینه‌های زیادی را به همراه داشته باشد. این بدان معنا است که آزمایش تغییرات بدون ایجاد واقعی آن‌ها ضروری بوده و یکی از روش‌های انجام این کار شبیه‌سازی است. عملیات انبار متقاطع در انبار مورد مطالعه یکی از مواردی است که آزمایش‌های دنیای واقعی قابل‌قبول نیستند. نه‌تنها به‌دلیل ضررهایی که ممکن است برای شرکت به همراه داشته باشد، بلکه به‌دلیل اینکه هرگونه تغییر در عملکرد فعلی باید قبلاً توسط همه مشتریان تأیید شود، بنابراین تصمیم به توسعه یک مدل شبیه‌سازی گرفته شد، زیرا اجازه می‌دهد جزئی از جزئیات را داشته باشید که مدل‌های تحلیلی از آن استفاده نمی‌کنند. این ابزار همچنین ابزاری بهتر برای مقابله با عوامل تصادفی است و تصمیم‌گیری را تسهیل می‌کند، زیرا به تعریف رسمی محدودیت‌ها و عملکرد هدف نیاز ندارد که اغلب به‌عنوان مانعی برای فرمول‌بندی خوب مسئله عمل می‌کنند.

شبیه‌سازی رویداد گسسته. با یادآوری هدف پژوهش، ارزیابی و بازسازی عملیات انبار متقاطع در انبار موردمطالعه، نیاز به روشی وجود دارد که امکان آزمایش سناریوهای مختلف، ارزیابی شاخص‌های عملکرد انتخاب‌شده برای هر یک را فراهم کند. برای این منظور، رویکردی که مناسب‌تر در نظر گرفته شد، شبیه‌سازی رویداد گسسته بود. شبیه‌سازی رویداد گسسته شامل مدل‌سازی فرآیندهای مداوم دنیای واقعی با وقایع گسسته، تقسیم هر فعالیت و یا فرآیند به قطعات گسسته برای ساده‌سازی تجزیه‌وتحلیل است. یک مدل اساسی شبیه‌سازی رویداد گسسته شامل منبعی است که ورود موجودیت‌های موقت به سیستم را نشان می‌دهد، یک عملیات که شامل یک صف متناظر می‌باشد که عملکرد دنیای واقعی را شبیه‌سازی می‌کند و یک کانال که نمایانگر موجودیت‌هایی است که پس از پردازش از سیستم خارج می‌شوند. جهت شروع عملیات، منابع موردنیاز هستند، و هنگامی‌که عملیات پایان می‌یابد منابع آزاد می‌شود. ازآنجاکه عملیات انبار متقاطع در انبار موردمطالعه به‌راحتی به‌عنوان دنباله‌ای از فرآیندهای گسسته توصیف

می‌شود، (فاریا، ۲۰۱۵)[1]شبیه‌سازی رویداد گسسته امکان ارزیابی عملکرد آن را در سناریوهای مختلف از طریق ارزیابی شاخص‌های عملکرد انتخاب‌شده فراهم می‌کند و درنتیجه بهترین و طبیعی‌ترین انتخاب را برای این کار پژوهشی فراهم می‌کند [۱۲].

شرح مدل. یک سیستم را به‌طورکلی می‌توان مجموعه‌ای از موجودیت‌ها دانست که با یک هدف خاص تعامل دارند. موجودیت‌ها ممکن است به‌صورت دائمی یا موقت طبقه‌بندی شوند: دائمی درصورتی‌که همیشه در سیستم بمانند یا موقتی در صورت ورود و خروج از سیستم از طریق شبیه‌سازی باشد. در موارد پیشنهادی و با توجه به اینکه هدف ایجاد مدلی بود که تعاملات موجود در انبار موردمطالعه را متمرکز کند، نهادهای زیر تعریف شدند:

پالت: نهادهای موقت هستند؛ زیرا اقامت آن‌ها در سیستم ثابت نیست. پالت‌ها موجودیت اصلی مدل هستند؛ چراکه تمام فعالیت‌های اصلی شامل تخلیه، بارکدخوان دستی، بارکدخوان، سفر به، سفر از و بارگیری را انجام می‌دهند. ورودی‌ها توسط یک پرونده اکسل خارجی حاوی داده‌های واقعی ارائه‌شده توسط شرکت تعریف می‌شوند.

ـ **کامیون برای بارگیری:** نهادهای موقت که درگیر فعالیت بارگیری هستند. ورودی‌ها توسط یک فایل اکسل خارجی حاوی داده‌های واقعی مشاهده‌شده توسط پژوهشگر تعریف می‌شوند.

ـ **کامیون برای تخلیه:** نهادهای موقت که در فعالیت تخلیه شرکت دارند. ورودی‌ها توسط یک فایل اکسل حاوی داده‌های واقعی مشاهده‌شده توسط پژوهشگر تعریف می‌شوند.

ـ **اپراتورها:** موجودیت‌های دائمی هستند؛ چراکه همیشه در سیستم وجود دارند و به‌عنوان منبعی برای استفاده در تخلیه، بارکدخوان دستی، بارکدخوان، سفر به، سفر از و بارگیری تعریف می‌شوند.

ـ **درها:** موجودیت‌ها و منابع دائمی هستند که فقط در فعالیت‌های بارگیری و تخلیه استفاده می‌شوند.

مدت‌زمان فعالیت‌های بارگیری و تخلیه، ورود ماشین‌ها به انبار، جابه‌جایی ماشین‌ها در سکوها و جابه‌جایی داخل انبار و بارگیری بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط پژوهشگر و برآورد تابع توزیع احتمالی آن‌ها مطابق زیر تعریف شده است.

برآورد تابع توزیع. یکی از آزمون‌های آماری برازش توزیع، «آزمون اندرسون–دارلینگ»[2] است. این آزمون بررسی می‌کند که آیا داده‌ها از توزیع مشخص‌شده پیروی می‌کنند یا خیر؟ با توجه به این موضوع می‌توان این آزمون را جزو گروه روش‌های آمار ناپارامتری در نظر گرفت. در فرم

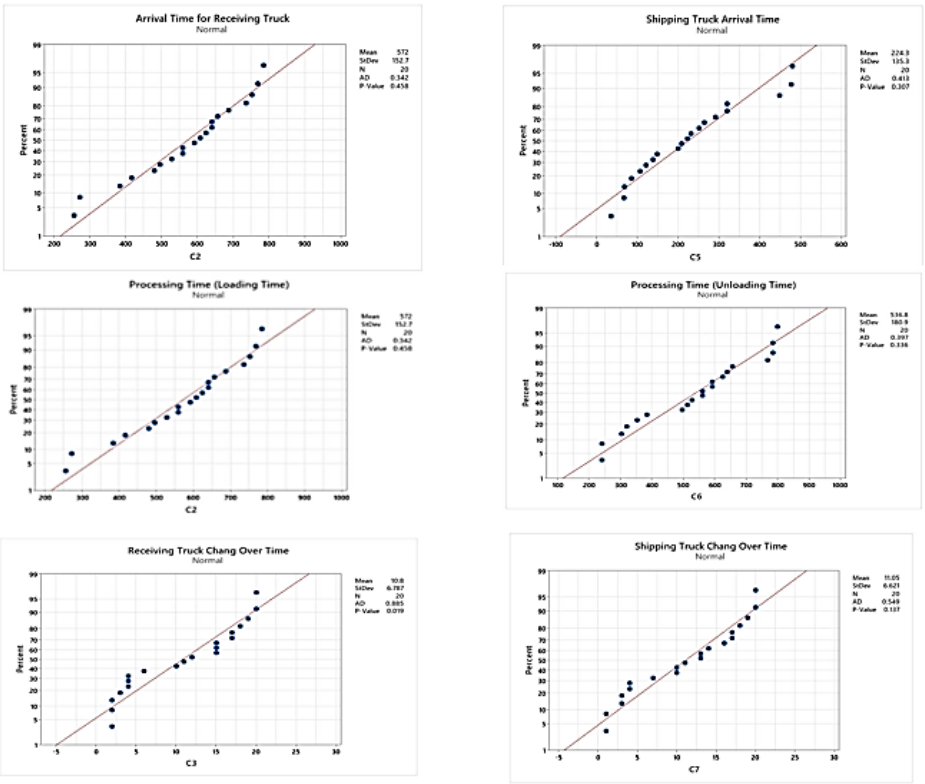
1. Faria
2. Anderson-Darling Test

اصلی این آزمون، روشی برای برآورد پارامتر توزیع در نظر گرفته نمی‌شود. در این صورت آماره آزمون و ناحیه بحرانی به‌صورت ناپارامتری تعیین می‌شوند؛ ولی در عمل هنگام استفاده از این آزمون، گروه یا خانواده‌ای از توزیع‌ها در نظر گرفته می‌شود و توسط این روش احتیاج است که برآوردی برای پارامترهای توزیع در نظر گرفته شود. آزمون بررسی نرمال‌بودن توابع توزیع زمان تخلیه، زمان ورود ماشین‌ها به انبار، زمان جابه‌جایی در سکوها و زمان جابه‌جایی داخل انبار با استفاده از آزمون اندرسون ـ دارلینگ (شکل ۳) بر اساس مشاهدات و نمونه‌های آماری، صورت گرفته است؛ همچنین شکل ۴، به‌عنوان نمونه، برازش منحنی مربوط به تابع چگالی احتمال را برای داده‌های زمان تخلیه نشان می‌دهد.

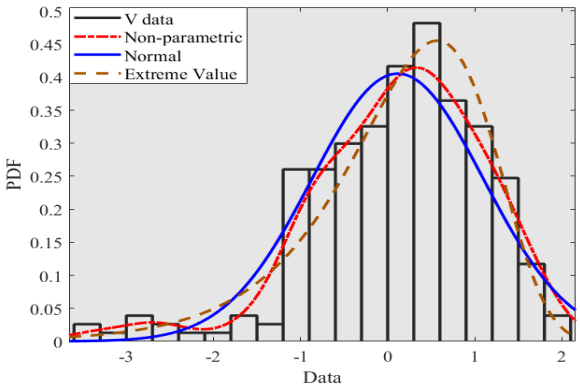
شماتیک و تنظیمات مدل. در این بخش مدل طراحی‌شده و تنظیمات موجودیت‌ها تشریح شده است.

شکل ۵، گرافیک عمومی انبار طراحی‌شده در نرم‌افزار ED[1] را برای یکی از سناریوها نشان می‌دهد. با توجه به ویژگی‌های هر سناریو طراحی، خصوصیات و تنظیمات هر موجودیت متفاوت است. برای مثال، در سناریوی بالا نحوه ورود ماشین‌ها بر اساس توزیع برآوردشده در بخش‌های قبل، تابع نمایی منفی در نظر گرفته شده و نحوه سرویس‌دهی سکوها بر اساس سیاست اولین ورود ـ اولین سرویس تنظیم شده است.

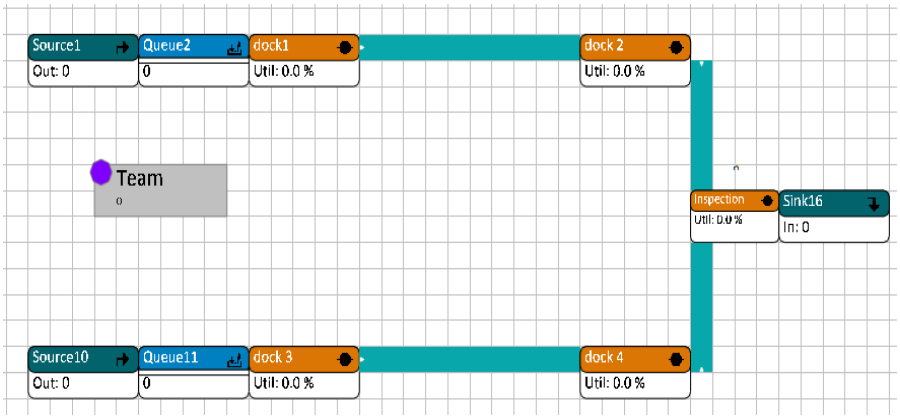
1. Enterprise Dynamic



شکل ۳. آزمون نرمال‌بودن تابع احتمال (اندرسون ـ دارلینگ) برای داده‌های جمع‌آوری‌شده (زمان ورود، زمان بارگیری و تخلیه و زمان جابجایی ماشین در سکوها)



شکل ۴. برازش منحنی مربوط به تابع چگالی احتمال برای اطلاعات زمانی تخلیه



شکل ۵. گرافیک مدل طراحی‌شده در ED

تأیید و اعتبارسنجی مدل. روش اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی بر اساس روش بیان‌شده در پژوهش فاریا (۲۰۱۵) و بر اساس چهار بخش زیر انجام شده است:

۱. اعتبارسنجی الزامات: مدل باید پاسخگوی نیازها و سؤال‌های روشن در مورد دنیای واقعی باشد.

این مدل باید عملیات انبار متقاطع را در انبار موردمطالعه شبیه‌سازی کند تا به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی سناریوهای مختلف عمل کند.

۲. اعتبارسنجی داده‌ها: داده‌های موجود در مدل باید معتبر باشند.

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، داده‌ها یا توسط شرکت فراهم شده یا توسط پژوهشگر جمع‌آوری‌شده است.

۳. اعتبارسنجی صورت: پارامترهای مدل باید معتبر باشند. این پارامترها نیز بر اساس مشاهدات میدانی یا با مدیران اجرایی انبار صحبت شده است.

۴. اعتبارسنجی فرآیند: مراحل در مدل باید واضح، معنادار و مطابق با روند دنیای واقعی باشد.

همان‌طور که در ابتدای مقاله تشریح شد، این مدل عملیات‌های دنیای واقعی را توصیف می‌کند و بنابراین خصوصیات هر شیء نیز واقعیت را بازتولید می‌کند [۱۲].

سناریوها. در این بخش، روش‌های انتخاب‌شده برای هر متغیر کنترل (و تغییرات ایجادشده به‌منظور مدل‌سازی هر یک از آن‌ها) و همچنین استراتژی مورداستفاده برای یافتن سناریوهای آزمایشی موردارزیابی، شرح داده شده است. متغیرهای قابل‌کنترل در مدل شبیه‌سازی انبار متقاطع شامل مکان ذخیره موقت، نحوه سرویس‌دهی سکوها و الگوی ورود ماشین‌ها به سکوها می‌شود.

۱. مکان ذخیره موقت

ـ مکان ذخیره موقت نزدیک به سکوهای ورودی؛

ـ مکان ذخیره موقت نزدیک به سکوهای خروج؛

ـ انتقال مستقیم از کامیون‌های ورودی به کامیون‌های خروجی (مکان ذخیره موقت با ظرفیت صفر).

۲. نحوه سرویس‌دهی سکوها

ـ انحصاری: سیاست با حالت سرویس انحصاری که در آن ۴ سکوی اول فقط برای دریافت و ۳ سکوی دیگر برای بارگیری استفاده می‌شود؛

ـ مختلط: هر کامیون بر اساس زمان ورود در هر سکوی خالی می‌تواند عملیات بارگیری یا تخلیه را انجام دهد؛

ـ اختصاصی: هر کامیون سکوی خاصی برای سرویس‌دهی دارد.

۳. الگوی ورود ماشین‌ها به سکوها

ـ اولین ورود، اولین سرویس؛

ـ بر اساس کمینه‌سازی کل زمان جابه‌جایی ماشین تا سکو.

کلیه سناریوهایی که بر اساس سیاست‌های مختلفی که برای مکان ذخیره موقت، نحوه سرویس‌دهی سکوها و زمان‌بندی ماشین‌ها (الگوی ورود و خروج ماشین‌ها) می‌توان در نظر گرفت در جدول ۳، نشان داده شده است. در مطالعه حاضر، داشتن سه متغیر مختلف و به‌ترتیب سه، سه و دو مقدار، برای هر یک از آن‌ها، درمجموع ۱۸ سناریو را ارائه می‌دهد که با توجه به مفروضات سیستم و شرایط و ویژگی‌های انبار سناریوهای ۱۵ تا ۱۸ عملاً موجه و قابل‌اجرا نیستند؛ درنتیجه سناریوهای ۱ تا ۱۴ برای تحلیل و ارزیابی موردبررسی قرار گرفته‌اند.

جدول ۳. سناریوها

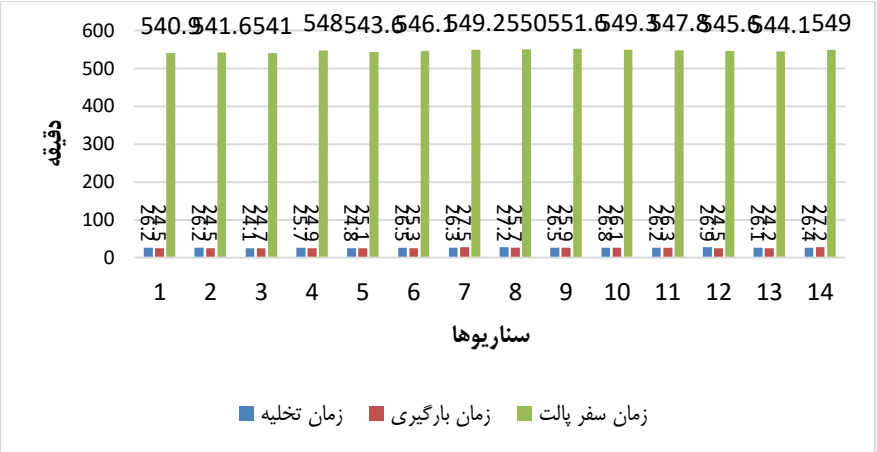
سناریو	سیاست مکان ذخیره موقت	نحوه سرویس‌دهی سکوها	الگوی ورود خروج ماشین‌ها به سکوها	وضعیت سناریو
۱	جابه‌جایی مستقیم	انحصاری	اولین ورود، اولین سرویس	موجه
۲	جابه‌جایی مستقیم	انحصاری	کمینه زمان جابه‌جایی تا سکو	موجه
۳	جابه‌جایی مستقیم	مختلط	اولین ورود، اولین سرویس	موجه
۴	جابه‌جایی مستقیم	مختلط	کمینه زمان جابه‌جایی تا سکو	موجه
۵	جابه‌جایی مستقیم	هر ماشین درب اختصاصی	اولین ورود، اولین سرویس	موجه
۶	جابه‌جایی مستقیم	هر ماشین درب اختصاصی	کمینه زمان جابجایی تا سکو	موجه

سناریو	سیاست مکان ذخیره موقت	نحوه سرویس‌دهی سکوها	الگوی ورود خروج ماشین‌ها به سکوها	وضعیت سناریو
۷	نزدیک سکوهای ورودی	انحصاری	اولین ورود اولین سرویس	موجه
۸	نزدیک سکوهای ورودی	انحصاری	کمینه زمان جابجایی تا سکو	موجه
۹	نزدیک سکوهای ورودی	هر ماشین درب اختصاصی	اولین ورود اولین سرویس	موجه
۱۰	نزدیک سکوهای ورودی	هر ماشین درب اختصاصی	کمینه زمان جابجایی تا سکو	موجه
۱۱	نزدیک سکوهای خروجی	انحصاری	اولین ورود اولین سرویس	موجه
۱۲	نزدیک سکوهای خروجی	انحصاری	کمینه زمان جابجایی تا سکو	موجه
۱۳	نزدیک سکوهای خروجی	هر ماشین درب اختصاصی	اولین ورود، اولین سرویس	موجه
۱۴	نزدیک سکوهای خروجی	هر ماشین درب اختصاصی	کمینه زمان جابجایی تا سکو	موجه
۱۵	نزدیک سکوهای ورودی	مختلط	اولین ورود اولین سرویس	غیرموجه
۱۶	نزدیک سکوهای ورودی	مختلط	کمینه زمان جابجایی تا سکو	غیرموجه
۱۷	نزدیک سکوهای خروجی	مختلط	اولین ورود اولین سرویس	غیرموجه
۱۸	نزدیک سکوهای خروجی	مختلط	کمینه زمان جابجایی تا سکو	غیرموجه

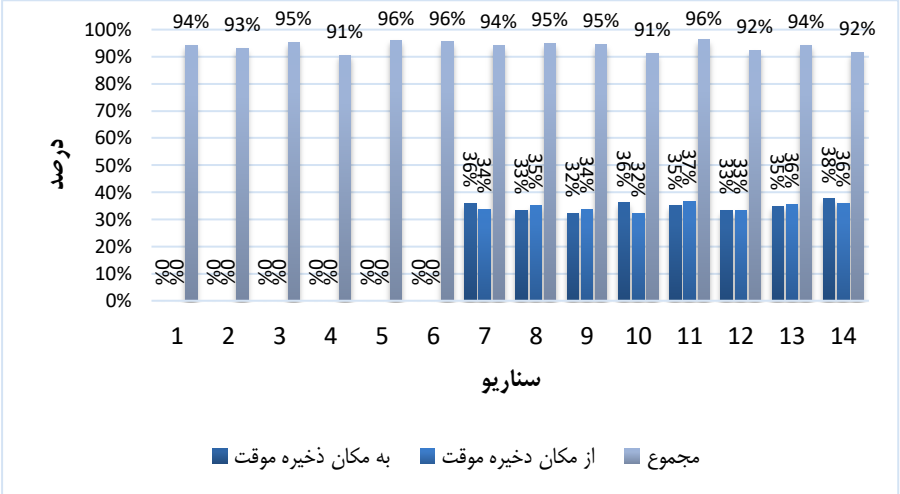
نتایج عددی. در شبیه‌سازی، معمول است که باید تصمیم گرفت که کدام ترکیب از متغیرهای قابل‌کنترل برای آزمایش تست/ شبیه‌سازی شوند. دانستن اینکه کدام‌یک می‌توانند به راه‌حل‌های بهتری منجر شوند. این یکی از بزرگ‌ترین مشکلات روش شبیه‌سازی است: هزینه (از نظر زمان) سناریوهای آزمایش که با درنظرگرفتن دقیق برخی از شاخص‌های عملکرد، آن‌ها را غیرقابل‌اجرا می‌کند. در مورد دامنه شبیه‌سازی، با مشورت مدیر انبار تصمیم گرفته شد که این مدل یک هفته عملیات را شبیه‌سازی کند. آخرین ملاحظه مربوط به تعداد دفعات توصیه‌شده توسط «محاسبه آزمایشی» نرم‌افزار است. برای پیشی‌گرفتن از اثرات تصادفی، هر سناریو ۵۰ بار اجراشده است، تضمین‌کننده خطای کمتر از ۵ درصد، در ۹۰ درصد شاخص‌های کلیدی عملکرد.

مقایسه و تحلیل نتایج سناریوها. ابتدا نتایج به‌دست‌آمده از سناریوها بررسی می‌شود:
زمان تخلیه و بارگیری به نوع خدمت‌دهی سکو و در دسترس بودن نیروی انسانی و وسایل حمل‌ونقل به ازای هر سناریو بستگی دارد؛ همچنین بیشترین زمان متوسط سفر پالت‌ها (سناریو ۹) مساوی ۵۵۵۱/۶ دقیقه معادل ۹ ساعت و ۱۹ دقیقه است که نشان می‌دهد پالت‌هایی که در یک روز به انبار می‌رسند، در همان روز حمل می‌شوند (شکل ۶).

سه سیاست مختلف مکان ذخیره موقت بر اساس درصد متوسط زمان برای سه معیار به مکان ذخیره موقت، از مکان ذخیره موقت و کل زمان سفر برای سناریوهای مختلف در (شکل ۷) مقایسه شده‌اند.



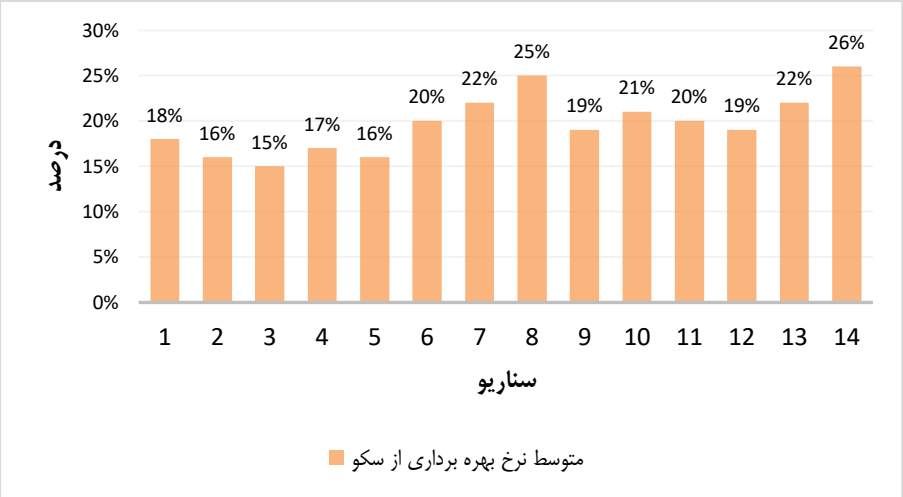
شکل ۶. متوسط زمان تخلیه، بارگیری و سفر پالت‌ها به‌ازای هر سناریو



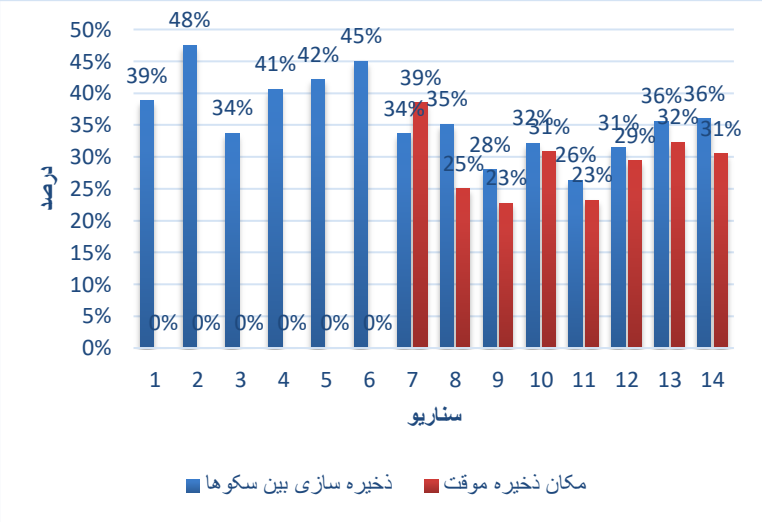
شکل ۷. درصد متوسط زمان سفر

نرخ بهره‌برداری از سکوها به‌ازای هر سناریو در شکل ۸، محاسبه شده است. همان‌طور که ذکر شد، کالاها در انبار موردمطالعه پس از دریافت در صورتی که به‌طور مستقیم بین ماشین ورودی و خروجی جابه‌جا نگردند یا در فضای بین درها ذخیره می‌شوند و یا در صورت وجود مکان ذخیره موقت، در این فضا نگهداری می‌شوند تا زمانی که ماشین خروجی موردنظر برای

حمل در سکو قرار گیرد. شکل ۹، متوسط درصد نرخ اشغال فضای بین درب‌ها و مکان ذخیره موقت را به‌ازای هر سناریو نشان می‌دهد.

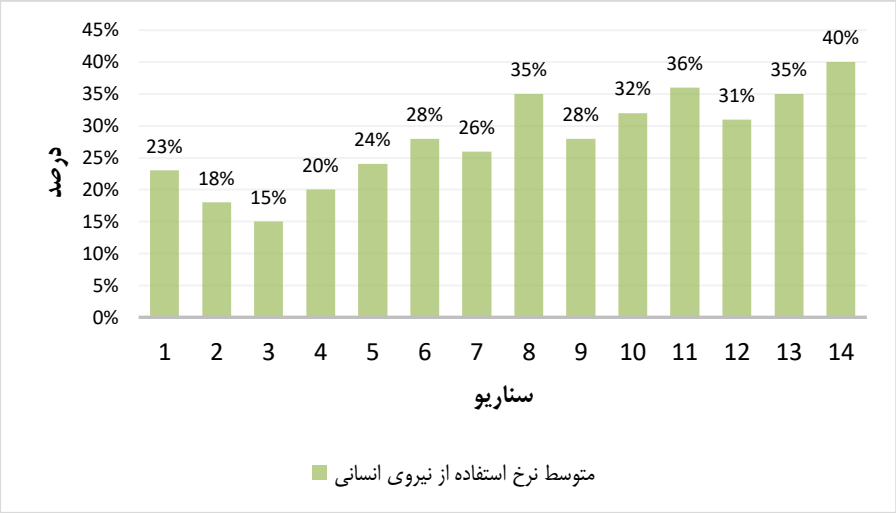


شکل ۸. نرخ بهره‌برداری از سکوها

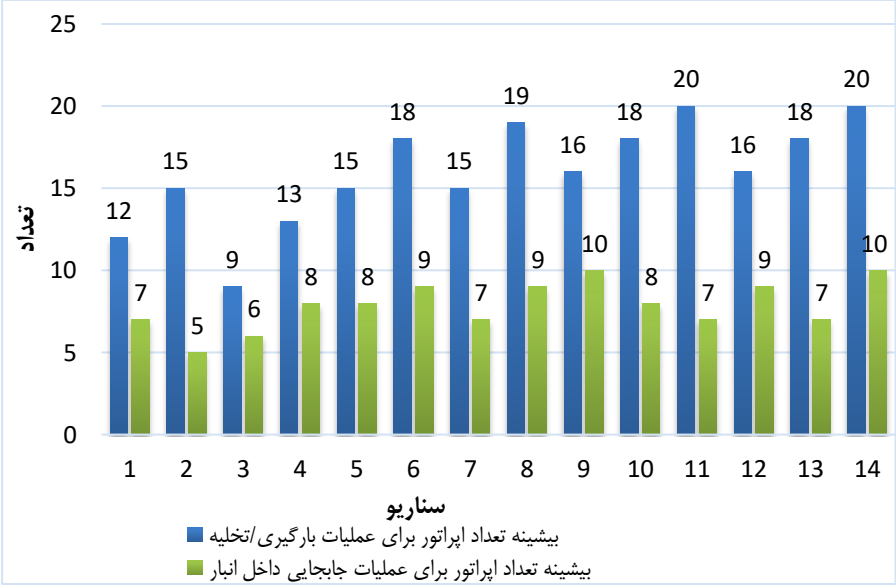


شکل ۹. درصد نرخ اشغال مکان‌های ذخیره‌سازی

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، به‌ترتیب متوسط نرخ استفاده از نیروی انسانی و تعداد نیروی انسانی لازم برای اجرای هر سناریو گزارش شده است. این معیار برای مدیران انبار در هر سناریو اهمیت ویژه‌ای دارد. لذا در انتخاب سناریوی برتر نیز تأثیرگذار خواهد بود.



شکل ۱۰. متوسط نرخ استفاده از نیروی انسانی



شکل ۱۱. بیشینه تعداد نیروی انسانی برای جابه‌جایی داخل انبار و عملیات بارگیری/تخلیه

انتخاب بهترین سناریو. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از اجرای سناریوها انتخاب یک سناریو بهینه کار ساده‌ای به نظر نمی‌رسد؛ بنابراین با توجه به روش‌های مقایسه و انتخاب بهترین

سناریو که در مبانی نظری مسئله وجود داشت، برای انتخاب بهترین سناریو از روش سطح پاسخ (RSM)[1] استفاده شده است.

روش‌شناسی سطح پاسخ. روش‌شناسی سطح پاسخ، یک مجموعه از تکنیک‌های آماری و ریاضیات کاربردی برای ساخت مدل‌های تجربی است. هدف در این‌گونه طرح‌ها بهینه‌سازی پاسخ (متغیر خروجی) است که متأثر از چندین متغیر مستقل (متغیرهای ورودی) است. یک آزمایش یک سری از آزمون‌ها است که «اجرا» نامیده می‌شود. در هر آزمایش تغییرات در متغیرهای ورودی به‌منظور تعیین علل تغییرات در متغیر پاسخ ایجاد می‌شوند. روش سطح پاسخ، روش ریاضی و آماری گسترده‌ای برای مدل‌سازی و تجزیه‌وتحلیل فرایندی است که در آن پاسخ موردنظر تحت تأثیر متغیرهای مختلفی قرار می‌گیرد و هدف این روش بهینه‌سازی پاسخ است. پارامترهایی را که بر روند تأثیر می‌گذارند، «متغیرهای مستقل» می‌نامند؛ درحالی‌که پاسخ‌ها را «متغیرهای وابسته» می‌نامند. روش سطح پاسخ یک رابطه تقریب مناسب بین متغیرهای ورودی و خروجی را بررسی می‌کند و شرایط عملیاتی بهینه را برای یک سیستم تحت مطالعه یا منطقه‌ای از میدان عامل که نیازهای عملیاتی را برآورده می‌کند، شناسایی می‌کند. طراحی آزمایش‌ها مهم‌ترین جنبه روش سطح پاسخ است. هدف از طراحی آزمایش‌ها انتخاب مناسب‌ترین نقاطی است که پاسخ باید به‌درستی بررسی شود. مزایای ارائه‌شده توسط روش سطح پاسخ را می‌توان در تعیین تعامل بین متغیرهای مستقل، مدل‌سازی ریاضی سیستم و صرفه‌جویی در وقت و هزینه با کاهش تعداد آزمایش‌ها خلاصه کرد. بااین‌حال مهم‌ترین عیب روش سطح پاسخ این است که داده‌ها در سطح دوم به یک مدل چندجمله‌ای برازش داده می‌شوند. شکل ۱۲، اصول روش سطح پاسخ را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲. اصول روش سطح پاسخ

1. Response Surface Methodology

بر اساس تلفیق اصول طراحی آزمایش‌ها و روش سطح پاسخ ابتدا به چهار معیار زمان سفر، نرخ استفاده از سکوها، بیشینه تعداد نیروی انسانی و متوسط سطح نگهداری موجودی بر اساس نظرهای خبرگان و مدیران اجرایی انبار وزن برابر (۰/۲۵) داده شده است و حاصل‌ضرب هر معیار در وزن آن معیار مطابق جدول ۴، برآورد شده است؛ سپس با کمک روش سطح پاسخ بر مبنای روش طراحی مرکب مرکزی[1] و با توجه با اینکه برخی سناریوها در انبار موردمطالعه غیرموجه بوده‌اند، معادله رگرسیونی برای متغیرهای قابل‌کنترل برآورد شده است. جدول‌های ۵ و ۶، به‌ترتیب متغیرهای قابل‌کنترل و محدوده داده‌ها را مطابق روش سطح پاسخ نشان می‌دهند. با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام‌شده (مطابق شکل‌های ۱۳ و ۱۴) و معادل رگرسیونی به‌دست‌آمده (رابطه ۱) می‌توان نتیجه گرفت که سناریوی پنجم، نتایج بهتری را به‌دست می‌دهد.

جدول ۴. سناریوهای موزون

سناریو	زمان سفر	نرخ بهره‌برداری از سکوها	متوسط سطح موجودی	بیشینه نیروی انسانی موردنیاز	سناریو موزون
۱	۵۴۰	۱۸	۳۹	۲۳	۱۵۵
۲	۵۴۱	۱۶	۴۶	۱۸	۱۵۶
۳	۵۴۱	۱۵	۳۴	۱۵	۱۵۱
۴	۵۴۸	۱۷	۴۱	۲۰	۱۵۶
۵	۵۴۳	۱۶	۴۲	۲۴	۱۵۸
۶	۵۴۶	۲۰	۴۵	۲۸	۱۶۰
۷	۵۴۹	۲۲	۷۲	۲۶	۱۶۷
۸	۵۵۰	۲۵	۶۰	۳۵	۱۶۸
۹	۵۵۱	۱۹	۵۱	۲۸	۱۶۲
۱۰	۵۴۹	۲۰	۶۳	۳۲	۱۶۶
۱۱	۵۴۸	۲۰	۵۴	۳۶	۱۶۵
۱۲	۵۴۵	۱۹	۶۱	۳۱	۱۶۴
۱۳	۵۴۴	۲۲	۶۸	۳۵	۱۶۷
۱۴	۵۴۹	۲۶	۶۶	۴۰	۱۷۰

1. Central Composite design

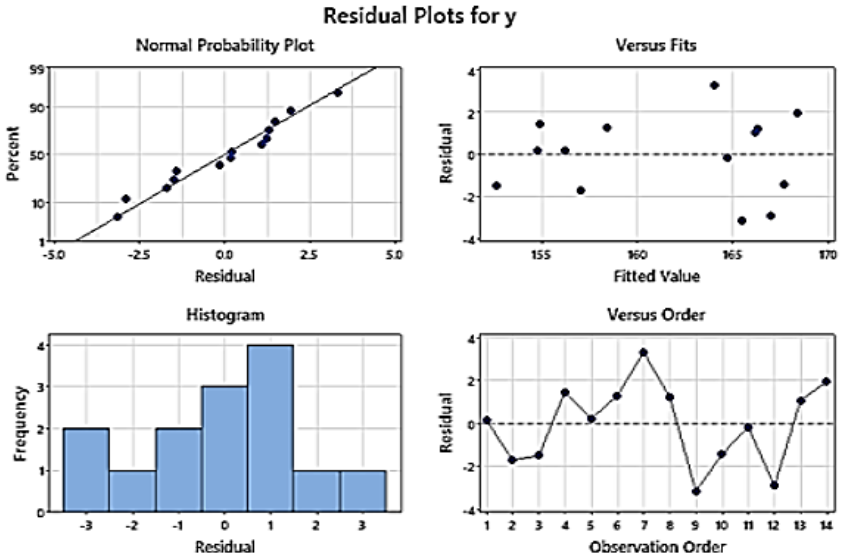
جدول ۵. متغیرهای قابل‌کنترل

X3	X2	X1
الگوی ورود خروج ماشین‌ها به سکوها	نحوه سرویس‌دهی سکوها	سیاست مکان ذخیره موقت

جدول ۶. محدوده متغیرهای قابل‌کنترل

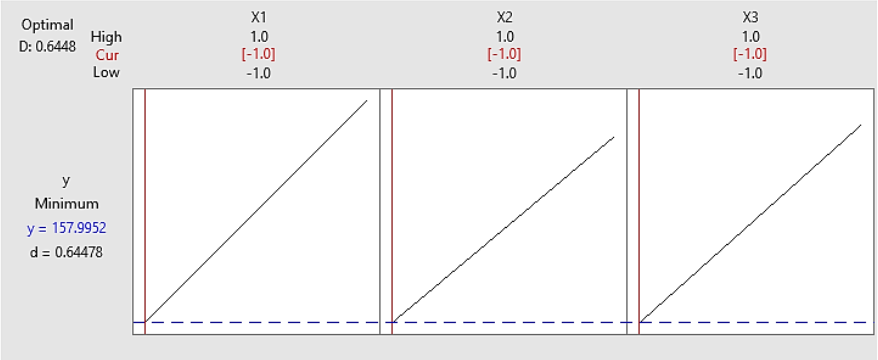
X3	X2	X1	*Y*
۰	۱	−۱	۱۵۵
۰	۱	۱	۱۵۶
۰	۰	−۱	۱۵۱
۰	۰	۱	۱۵۶
۰	−۱	−۱	۱۵۸
۰	−۱	۱	۱۶۰
−۱	۱	−۱	۱۶۷
−۱	۱	۱	۱۶۸
−۱	−۱	−۱	۱۶۲
−۱	−۱	۱	۱۶۶
۱	۱	−۱	۱۶۵
۱	۱	۱	۱۶۴
۱	−۱	−۱	۱۶۷
۱	−۱	۱	۱۷۰

رابطه (۱)
$$Y = 161.70 + 0.35\,X1 - 0.72\,X2 + 1.12\,X3 - 1.90\,X1 * X2 - 0.19\,X1 * X3 - 0.86X2 * X3$$



شکل ۱۳. نمودارهای مرتبط با روش سطح پاسخ

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
y	158.00	6.26	(143.19, 172.80)	(134.76, 181.23)



شکل ۱۴. نتایج روش سطح پاسخ

پاسخ به پرسش‌های پژوهش. با توجه به نتایج می‌توان به پرسش‌های این پژوهش به‌صورت زیر پاسخ داد:

ـ تغییر نحوه خدمت‌دهی سکوها چه تأثیری بر زمان عملیات دارد؟

نحوه خدمت‌دهی سکوها به‌طور مستقیم بر زمان انجام عملیات و زمان بارگیری و تخلیه کالاها اثرگذار است و بسته به اینکه چه روشی انتخاب شود، (سرویس‌دهی انحصاری و مختلط، زمان

انجام عملیات و زمان بارگیری و تخلیه کالاها را کاهش و سیاست هـر درب ماشـین اختصاصـی زمان انجام عملیات و زمان بارگیری و تخلیه کالاها را افزایش خواهد داد) زمان انجام عملیـات و زمان بارگیری و تخلیه کالاها تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

ـ الگوی تخصیص ماشین‌ها به سکوها چگونه بر زمان عملیات تأثیر می‌گذارد؟

با توجه به نتایج، در مورد کیس مورد مطالعه الگوی «اولین ورود - اولین سرویس» نتایج بهتـری را حاصل می‌نماید.

ـ سیاست‌های متفاوت در خصوص مکان ذخیره موقت چه تفاوت‌هایی را ایجاد می‌کند؟

سیاست مکان ذخیره موقت «جابه‌جایی مسـتقیم» از دو سیاسـت دیگـر «مکـان ذخیـره موقـت نزدیک درب‌های ورودی» و «مکان ذخیره موقت نزدیک درب‌های خروجی» بـه علـت کـاهش سطح نگهداری موجودی و کاهش زمان جابه‌جایی داخل انبار، بهتر است.

ـ در صورت غیرقطعی‌بودن زمان‌های ورود ماشین‌ها به انبـار و زمـان عملیـات (زمـان تخلیـه و بارگیری) چگونه به بهینه‌سازی زمان‌بندی عملیات بپردازیم؟

در این خصوص با استفاده از برآورد تابع توزیع زمان ورود ماشین‌ها و زمان تخلیه و بارگیری بر اساس نمونه‌های واقعی اخذشده از سیستم و استفاده از تکنیـک شبیه‌سـازی، بـه بهینه‌سـازی زمان عملیات پرداخته شد.

ـ برنامه‌ریزی بهینه نیروی انسانی در انبار به چه صورت خواهد بود؟ به‌بیان‌دیگر تعداد نفر/ ساعت بهینه برای انجام عملیات داخل انبار چقدر خواهد بود؟

برنامه‌ریزی نیروی انسانی و تعداد بهینه نیروی کار باید به‌گونه‌ای باشد که نه میزان بیکـاری نیروی انسانی چشمگیر باشد و نه کمبود نیروی انسانی و اعمال هزینـه اضـافی بـرای اسـتخدام پاره‌وقت نیروی کار رخ دهد؛ درنتیجه بر اساس مقایسه سناریوها و درنظرگیری سـایر متغیرهـای تصمیم می‌توان گفت تعداد بهینه نیروی انسانی در سناریوهای اول و سوم بهترین مقدار را دارند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر تلاش می‌شود تا پیشنهادهای مؤثری برای چالش‌هایی که از سمت مجموعه و مدیران انبار مرکزی میادین و میوه و تره‌بار شهرداری تهـران عنوان‌شـده، ارائـه شـود کـه ایـن پیشنهادها شامل بهینه‌سازی عملیات انبار مقاطع است که در بیشـتر انبارهـای ایـن مجموعـه در جریان است.

با درنظرداشتن هدف بالا، توصیفی از مجموعه و انبار مرکزی میـوه و تره‌بـار بـا تمرکـز بـر عملیات انبار متقاطع ارائه شده است، بعد از درک بهتر ویژگی‌های مورد تحت مطالعه و با توجه به پیچیدگی‌ها و محدودیت‌های زیاد در دنیای واقعی و بر اساس مطالعات مبانی نظری موضـوع بـا انتخاب تکنیک شبیه‌سازی به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای بهینه‌سازی مسئله، مـدلی بـا هـدف

الگوبرداری دقیق از شرایط در دنیای واقعی ساخته شد. مرحله بعدی تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب استراتژی مناسب جستجوی فضای جواب مسئله بود، که منجر به ایجاد ۱۴ سناریو موجه بر اساس تفاوت سیاست‌ها در سه موضوع مکان ذخیره موقت، تخصیص درب‌ها و زمان‌بندی ماشین‌ها در انبار متقاطع بود. علیرغم عدم ایجاد سناریوهای نسبت به تخصیص کارکنان و مدیریت گروه، این موارد در نتایج و نتیجه‌گیری‌ها در نظر گرفته شده است. سپس، این سناریوها مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج تمامی شاخص‌های عملکردی با هدف یافتن بهترین راه‌حل در راه‌حل‌های پیشنهادی با هم مقایسه شدند.

مراحل بالا برای انتخاب مناسب‌ترین تکنیک در شبیه‌سازی بود؛ سپس ازآنجاکه عملیات انبار متقاطع در انبار مرکزی میوه و تره‌بار به‌راحتی قابل‌تفکیک به دنباله‌ای از فرآیندهای گسسته بود، شبیه‌سازی رویداد گسسته انتخاب شد و نرم‌افزار ED[1] برای ایجاد یک مدل شبیه‌سازی انتخاب شد. پس از طراحی مدل مفهومی، اجرای آن دنبال شد. قابل‌ذکر است داده‌های استفاده‌شده در اجرای مدل توسط پژوهشگر از انبار موردمطالعه جمع‌آوری شده است.

با وجود داشتن برخی محدودیت‌ها، نتیجه نهایی مدل با مدل مفهومی مطابقت داشت و دنیای واقعی را تقریباً به‌طور دقیق طراحی و توصیف کرد. محدودیت‌های عمده مطالعه به قرار زیر بود:

ـ بسیاری از عوامل و متغیرهای زمانی دارای رفتار تصادفی بودند که تابع توزیع آن‌ها باید برآورد می‌شد؛

ـ تعداد کارگرها و منابع انسانی در دست دقیق و محدود نبود؛ درنتیجه در ساخت سناریوها این معیار به‌کار گرفته نشد؛ درعین‌حال برای اجرای هر سناریو تعداد کارگران محاسبه شد؛

ـ اگر زمانی که کامیون مربوطه می‌رسد، پالت در محل ذخیره‌سازی نباشد، پالت در انبار تا رسیدن کامیون بعدی با همان مقصد می‌ماند که مانع از ارزیابی تأخیر کامیون‌ها در این نوع شرایط می‌شود.

مرحله آخر ارزیابی و آزمایش سناریوهایی بود که ساخته شده‌اند. جهت ارزیابی سناریوها و انتخاب بهترین سناریو از روش سطح پاسخ استفاده شد و درنهایت سناریوهای اول و سوم به‌عنوان سناریوهای برتر انتخاب شدند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده بر اساس روش سطح پاسخ می‌توان گفت:

ـ در سیاست مکان ذخیره موقت «جابه‌جایی مستقیم» از دو سیاست دیگر «مکان ذخیره موقت نزدیک درب‌های ورودی» و «مکان ذخیره موقت نزدیک درب‌های خروجی» بهتر است.

1 Enterprise Dynamic

ـ سیاست اولین ورود ـ اولین سرویس در زمان‌بندی ماشین‌ها (الگوی ورود ماشین‌ها به انبار) به سیاست دیگر که کمینه‌سازی زمان جابه‌جایی تا سکو است، ارجحیت دارد.
ـ در خصوص تخصیص درب‌ها یا همان نحوه سرویس‌دهی سکوها سیاست «هر ماشین درب اختصاصی» بهینه نیست؛ ولی دو سیاست دیگر «سرویس‌دهی انحصاری» و «سرویس‌دهی مختلط» راهکارهای مناسبی هستند و به مدیریت انبار پیشنهاد می‌شوند.
از دیدگاه مدیریتی می‌توان به دو موضوع اشاره کرد:
۱. چالش‌ها و مشکلات دنیای واقعی بعضاً می‌تواند متفاوت از محدودیت‌های مدل‌های نظری باشد؛
۲. تأثیرگذاری عوامل و متغیرهای تصمیم بر یکدیگر می‌تواند برآیند و نتیجه متفاوتی را رقم بزند.

پیشنهادها: با تجزیه‌وتحلیل مطالعه موردی، مرور مبانی نظری و نتیجه‌گیری ارائه‌شده توسط مدل و نتایج آن، پیشنهادهای زیر به‌طور خاص برای انبار مرکزی میوه و تره‌بار شهرداری تهران و به‌طورکلی برای عملیات انبار متقاطع ارائه می‌شود:

برای انبار موردمطالعه پیشنهاد می‌شود، نحوه تخصیص فضای ذخیره‌سازی به‌صورتی که مسافت سفر و به‌تبع آن زمان را کمینه کند، مدنظر قرار گیرد. با توجه به نتایج در مزیت انتقال مستقیم کالاها از ماشین دریافت به ارسال و عدم‌دسترسی همیشگی به اطلاعات دقیق توصیه می‌شود هنگام ذخیره‌سازی موقت کالاها در انبار، موقعیت سکوهای ارسال و دریافت مرتبط توأمان در نظر گرفته شود. همچنین پیشنهاد می‌شود سیاست سکوهای اختصاصی با توجه به اجرای آسان و کم‌هزینه‌تر آن نسبت به سایر سیاست‌ها با اولویت بالاتری اتخاذ شود. اگر بر اساس نتایج الگوی اجرای عملیات داخل انبار موردمطالعه تغییر کند، انتظار می‌رود این تغییر الگو به کاهش زمان و هزینه انجام عملیات منجر شود.

برای عملیات انبار متقاطع به‌صورت عمومی همان توصیه‌های بالا با تأکید بر سیاست (اولین ورود ـ اولین سرویس) برای زمان‌بندی ماشین‌ها پیشنهاد می‌شود؛ همچنین نحوه سرویس‌دهی بهینه سکوها با توجه به ابعاد، طراحی، چیدمان و تعداد سکوهای هر انبار می‌تواند متفاوت باشد.

پژوهش‌های آتی. پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی در خصوص عملیات انبار متقاطع موارد زیر را مدنظر قرار دهند:
ـ در خصوص تخمین رفتار عوامل تصادفی نظیر الگوی ورود ماشین‌ها به انبار و زمان بارگیری و تخلیه، داده‌های بیشتری در دوره زمانی بیشتری جمع‌آوری شود تا برآورد دقیق‌تری از توابع این عوامل به‌دست آید؛

ـ بر اساس تخصیص دقیق تعداد کارگران مدل‌ها و سناریوهای متفاوت شبیه‌سازی ساخته شود تا اثر این عامل دقیق‌تر ارزیابی گردد؛
ـ برای شرایطی که ماشین‌های حمل به انبار رسیده‌اند، ولی پالت یا محصول موردنظر آن‌ها هنوز در انبار دریافت نشده است و درنتیجه دچار تأخیر شده‌اند، مطالعه صورت گیرد.

منابع

1. Alpan, G., Ladier, A.-L., Larbi, R. & Penz, B. **(**2011**)**. Heuristic solutions for transshipment problems in a multiple door cross docking warehouse. *Computers & Industrial Engineering, 61*, 402–408.
2. Amini.A, Tavakkoli-Moghaddam, R. (2016). A bi-objective truck scheduling problem in a cross-docking center with probability of breakdown for trucks. *Computers & Industrial Engineering, Volume 96, June 2016, Pages 180-191*.
3. Arabani, A. B., Zandieh, M. & Ghomi, S. M. T. F. (2012). A cross-docking scheduling problem with sub population multi-objective algorithms. *International of Advanced Manufacturing Technology, 58*, 741–761.
4. Arabani, A. R. B., Ghomi, S. M. T. F. & Zandieh, M. (2010). A multi-criteria cross-docking scheduling with just-in-time approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 49*, 741–756.
5. Augustina, D., Lee, C. & Piplani, R. (2010). A review: mathematical models for cross docking planning. *International Journal of Enginnering Business Management, volume2, janury-december* 2010, 47-54.
6. Belle, J. V., Valckenaers, P. & Cattrysse, D. (2012). Cross-docking: State of the art. *Omega, Volume 40, Issue 6, December 2012, Pages 827-846.*
7. Belle, J. V., Valckenaers, P., Berghe, G. V. & Cattrysse, D. (2013). A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows. *Computers & Industrial Engineering, 66*, 818–826.
8. Boysen, N. & Fliedner, M. **(**2010). Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. *Omega, 38*, 413–422.
9. Boysen, N. (2010). Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals. *Computers & Operations Research, 37*, 32-41.
10. Boysen, N., Briskorn, D. & Tschöke, M. (2013). Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departures. *OR Spectrum, 35*, 479–504.
11. Buijs, P., Vis, I. F. & Carlo, H. J., (2014). Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework. *European Journal of Operational Research***,** *Volume 239, Issue 3, 16 December 2014, Pages 593-60.*
12. Faria, F. T. (2015). Restructuring of Logistics Processes: Case Study of Order Picking at Terminal C2 of Grupo Luís Simões, s.l.: s.n.
13. Forouharfard, S. & Zandieh, M. (2010). An imperialist competitive algorithm to schedule of receiving and shipping trucks in cross-docking systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Tecnhology, 51*, 1179–1193.
14. Gagliardi, J. P., Renaud, J. & Ruiz, A. (2007). A simulation model to improve warehouse operations. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, 2012-2018. 74.
15. Gaudioso, M. Flavia, M. & Sammarra, M. (2020). A Lagrangian heuristics for the truck scheduling problem in multi-door, multi-product Cross-Docking with constant processingtime. *Omega. Volume 101, June 2021, 102255.*
16. Gelareh, F. Glover, O. Guemri, S. Hanafi, P. Nduwayo, R. & Todosijevic, S. (2018). A comparative study of formulations for a Cross-dock Door Assignment Problem. *Omega. Volume 91, March 2020, 102015.*
17. Gu, J., Gotschalckx, M. & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research, 16 June*, 539-549.

18. Gue, K. R. (1999). The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals. *Transportation Science, 33*, 419-428.
19. Khalili-Damghani, K. Tavana, M. Santos-Arteaga, F. & Ghanbarzad-Dashti, M. (2017). A customized genetic algorithm for solving multi-period cross-dock truck scheduling problem. *Measurement, 108*, 101–118.
20. Ladier, A.-L. & Alpan, G. (2015). Cross-docking operations: Current research versus industry practice. *Omega. Volume 62, July 2016, Pages 145-162*.
21. Larbi, R., Alpan, G., Baptiste, P. & Penz, B. (2011). Scheduling cross docking operations under full, partial and no information on inbound arrivals. *Computers & Operations Research, 38*, 889–900.
22. Liao, T., Egbelu, P. & Chang, P. (2012). Two hybrid differential evolution algorithms for optimal inbound and outbound truck sequencing in cross docking operations. *Applied Soft Computing, 12*, 3683–3697.
23. Liao, T., Egbelu, P. & Chang, P. (2013). Simultaneous dock assignment and sequencing of inbound trucks under a fixed outbound truck schedule in multi-door cross docking operations. *International Journal of Production Economics, 141*, 212–229.
24. Luo, G. & Noble, J. S. (2012). An integrated model for crossdock operations including staging. *International Journal of Production Research, 50*, 2451-2464.
25. McWilliams, D. L. (2010). Iterative improvement to solve the parcel hub scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering, 59*, 136–144.
26. McWilliams, D. L., Stanfield, P. M. & Geiger, C. D. (2008). Minimizing the completion time of the transfer operations in a central parcel consolidation terminal with unequal-batch-size inbound trailers. *Computers & Industrial Engineering, 54*, 709–720.
27. Miao, Z., Lim, A. & Ma, H. (2009). Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks. *European Journal of Operational Research, 192*, 105-115.
28. Mirzabaghi, M. & Jolay, F. (2017). Inventory programing in Queuning theory with multiple vendors using simulation and respond surface methodology. *The Journal of Industrial Management Perspective, 27*, 9-26. (In Persian).
29. Mousavi, S. Sajadi, SM. Alemtabriz, A. & Najafi, SE. (2021). Designing a Hierarchical Network of Temporary Urban Medical Centers in a Disaster through a Hybrid Approach of Mathematical Model – Simulation. *The Journal of Industrial Management Perspective, 11(42),* 99-124.
30. Nassief, W. Contreras, I. & Jaumard, B. (2018). A Comparison of Formulations and Relaxations for Cross-dock Door Assignment Problems. *Computers and Operations Research. Volume 94, June 2018, Pages 76-88*
31. Nogueira, T.H., Coutinho, F.P., Ribeiro, R.P., & Ravetti, M.G. (2020). Parallel-machine scheduling methodology for a multi-dock truck sequencing problem in a cross-docking center. *Computers & Industrial Engineering. Volume 143, May 2020, 106391*.
32. Petersen, C. G. & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics, 92*, 11–19.
33. Reddy, R. Kumar, S. Fernandes, K. & Tiwari, K. (2017). A Multi-Agent System based simulation approach for planning procurement operations and scheduling with multiple cross-docks. *Computers & Industrial Engineering, 107*, 289-300.

34. Sandal, S. (2005). Staging approaches to reduce overall cost in a crossdock environment. *Master's Thesis, University of Missouri*.
35. Serranoa, Ch. Delormeb, X. & Dolguic, A. (2021). Cross-dock distribution and operation planning for overseas delivery consolidation: A case study in the automotive industry. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 33*, 71-81
36. Shahmardan, A. & Sajadieh, M.S. (2019). Truck Scheduling in A Multi-Door Cross-docking Center with Partial Unloading – Reinforcement Learning-Based Simulated Annealing Approaches. *Computers & Industrial Engineering. Volume 139, January 2020, 106134*.
37. Shahram fard, S. & Vahdani, B. (2019). Assignment and scheduling trucks in crossdocking system with energy consumption consideration and trucks queuing. *Journal of Cleaner Production. Volume 213, 10 March 2019, Pages 21-41*.
38. Shakeri a, M. Low, M. Y. H. Turner, S. J. & Lee, E. W. (2012). A robust two-phase heuristic algorithm for the truck scheduling problem in a resource-constrained crossdock. *Computers & Operations Research, 39*, 2564–2577.
39. Shi, W. Liu, Z. Shang, j. & Cui, Y. (2013). Multi-criteria robust design of a JIT-based cross-docking distribution center for an auto parts supply chain. *European Journal of Operational Research, 229(3),* 695-706.
40. Theophilus, O. Dulebenetsb, M. Pashaa, J. Lauc, Y. Fathollahi, A. & Mazaherie, A. (2021). Truck scheduling optimization at a cold-chain cross-docking terminal with product perishability considerations. *Computers & Industrial Engineering. 156*, 107240.
41. Vahdani, B. & Zandieh, M. (2010). Scheduling trucks in cross-docking systems: Robust metaheuristics. *Computers & Industrial Engineering, 58*, 12–24.
42. Walha, F., Chaabane, S., Bekrar, A. & Loukil, T. (2014). The Cross docking under uncertainty: state of the art. *Hammamet, Tunísia, IEEE*, 330 – 335.
43. Yu, W. & Egbelu, P. J. (2008). Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. *European Journal of Operational Research, Volume 184, Issue 1, 1 January 2008, Pages 377-396*
44. Zandi, p. Rahmani, & M, Azimi, P. (2021). Proposing a Model for Analyzing and Improving a Service System through Queue Theory and Simulation Approach (Case: Hamedan Power Company). *The Journal of Industrial Management Perspective, 11(42)*, 65-97. (In Persian).