

شبیه‌سازی سیستم مدیریت پالت با رویکرد تقسیم مخاطره (مورد مطالعه: زنجیره تأمین گروه خودروسازی سایپا)

محمدرضا صادقی مقدم^{۱*}، علی محقر^۲، آفاق شیخ کبیر^۳

- ۱- استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۲- دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۳- کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش: ۹۵/۰۳/۱۰

دریافت: ۹۴/۰۷/۲۷

چکیده

مدیریت پالت‌ها در صنایعی که زنجیره تأمین آنها وابستگی زیادی به پالت دارد، به عنوان یکی از بخش‌های لجستیک مطرح می‌شود. سیستم مدیریت پالت‌ها سیستمی است که به منظور تحویل پالت‌های مورد نیاز تأمین‌کنندگان در زمان و مکان مناسب در صنایع پالت محور طراحی می‌شود. اندازه جریان سیستم مدیریت پالت، میزان پاسخگویی سیستم، زمان سیکل چرخه هر پالت به عنوان شاخص‌های مهم در اندازه‌گیری عملکرد این سیستم‌ها مطرح هستند. هدف این تحقیق طراحی مدلی برای مدیریت پالت‌ها با رویکرد تقسیم مخاطره در گروه خودروسازی سایپا است. در این تحقیق پس از مشخص نمودن اجزا سیستم مدیریت پالت و مشخص کردن رابطه میان اجزا از طریق مطالعه ادبیات تحقیق، اثر استراتژی تقسیم مخاطره بر اجزا سیستم مدیریت پالت‌ها بررسی شده و مدلی برای تشریح وضعیت پس از اجرای استراتژی در زنجیره تأمین گروه خودروسازی سایپا با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی و با بهره‌گیری از نرم‌افزار متلب ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی، به منظور اجرایی‌سازی رویکرد تقسیم مخاطره در سیستم مورد بررسی، به انباری با ظرفیت

۱۰۳۸ عدد پالت نیاز است. روش جمع‌آوری داده‌ها، بررسی اسناد و همچنین مصاحبه با خبرگان و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها شبیه‌سازی گسسته پیشامد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت (RTI)، تقسیم مخاطره، شبکه لجستیک.

۱- مقدمه

افزایش رقابت در دنیای امروز ایجاب می‌کند که هر سازمانی برای داشتن توان رقابتی در بازار، به دنبال بهبود مستمر در فرایندهای خود باشد. یکی از حوزه‌هایی که در سال‌های اخیر موضوع مطالعات بهبود محور بسیاری قرار گرفته است، حوزه فرایندهای لجستیکی است. مدیریت پالت‌ها به عنوان بخشی از فرایندهای لجستیک بنگاه‌ها نیازمند بازنگری و بهبود است. مدیریت پالت بیشتر به وسیله صنایع پالت‌محور یا صناعی که پالت نقش مهمی در زنجیره تأمین آنها ایفا می‌کند، پیگیری می‌شود و حمل‌ونقل و انبارش مواد در زنجیره تأمین در نهاد مفهومی به نام تجهیز جابه‌جایی قابل بازگشت^۱ و یا ظرف لجستیکی^۲ اتفاق می‌افتد. تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت تجهیزاتی هستند که حمل‌ونقل مواد و محصولات را در وسایل حمل‌ونقل ممکن و امن می‌کنند. انواع مختلفی از تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت را می‌توان در صنایع مختلف ذکر کرد؛ برای مثال بطری‌های نوشابه، بشکه‌ها، کانتینرهای فلزی، جعبه‌های چوبی و پالت‌های فلزی از جمله تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشتی هستند که در صنایع مختلف به کار گرفته می‌شوند. بیشترین استفاده از تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت در کارخانه‌های خودروسازی است. در صنعت خودرو جریان قطعات از قطعه‌سازان (تأمین‌کنندگان) به انبارهای شرکت خودروساز و از انبارها به خطوط تولید به وسیله پالت‌های فلزی میسر می‌شود.

در چنین شرایطی مسائل زیادی چون زمان‌بندی برنامه‌ریزی تولید، زمان‌بندی حمل‌ونقل، بالانس خط تولید و تعیین سطح بهینه نیروی کار و سطح موجودی و ... مطرح می‌شود تا از ایجاد سردرگمی و انباشت پالت‌ها در محل یک تأمین‌کننده و توقف خط تولید خودروساز به علت عدم ارسال قطعه از سوی تأمین‌کننده دیگری که دسترسی به پالت‌های مذکور ندارد، جلوگیری شود [۱]. به دلیل وجود بیش از یک تأمین‌کننده برای هر یک از قطعات مورد استفاده در خودرو، بازپرسازی^۳ انبار قطعات شرکت مورد مطالعه برای هر

قطعه به‌وسیله بیش از یک تأمین‌کننده صورت می‌گیرد. سهم تأمین هر تأمین‌کننده از هر قطعه بر اساس فاکتورهایی مانند توانایی تأمین‌کننده در تولید و ارسال به موقع قطعه در ابتدای دوره برنامه‌ریزی تولید، تعیین شده و تعداد پالت مورد نیاز وی براساس همین برنامه، برآورد شده و به وی تخصیص داده می‌شود. با این حال در طول دوره برنامه‌ریزی شده، سهم تأمین هر تأمین‌کننده به دلایل مختلفی همچون مسائل داخلی شرکت‌های تأمین‌کننده دستخوش تغییر می‌شود. با کاهش سهم تأمین یک تأمین‌کننده، درصد تأمین شرکت (یا شرکت‌های) مکمل آن افزایش پیدا می‌کند. در این حالت شرکتی که با کاهش درصد تأمین رو به رو شده است دچار انباشت پالت و شرکت دیگر دچار کمبود پالت در دسترس می‌شود؛ به عبارت دیگر انبارهای پالت که نزد تأمین‌کنندگان قرار دارند، دچار مازاد/ کمبود پالت شده و به‌واسطه احتمالی بودن تقاضای هر انبار، به منظور حفظ سطح سرویس ۱۰۰ درصدی (در دسترس بودن پالت مورد نیاز تأمین‌کننده) موجودی بیشتری از حالت نگهداری و تخصیص همه پالت‌ها در یک انبار مورد نیاز است.

به منظور نشان دادن وضعیت سیستم در زمانی که تمام پالت‌ها از یک انبار تخصیص داده شوند، شبیه‌سازی سیستم مدیریت پالت در زنجیره تأمین گروه خودروسازی سایپا با رویکرد تقسیم مخاطره در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. شبیه‌سازی به واسطه ایجاد امکان بررسی رفتار سیستم در حالت‌های متفاوت به یکی از ابزارهای بسیار مورد استفاده در تجزیه و تحلیل رفتار سیستم تبدیل شده است [2]. این شبیه‌سازی در مورد پالت‌های GP2 مورد استفاده در زنجیره تأمین مورد مطالعه، با استفاده از داده‌های ۶ ماهه ابتدای سال ۹۳ انجام شده است. بخش‌بندی تحقیق به شرح زیر است: در بخش دوم خلاصه‌ای از ادبیات تحقیق در مورد اقلام قابل بازگشت در زنجیره تأمین و به‌خصوص تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت، سیستم‌های مدیریت این تجهیزات و مطالعات انجام شده بر شبیه‌سازی این سیستم‌ها ارائه می‌شود، در بخش‌های بعد از آن روش‌شناسی تحقیق و تشریح مدل شبیه‌سازی سازی شده با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی متلب^۴ ارائه شده و در بخش آخر نتیجه‌گیری تحقیق ارائه می‌شود.

۲- مرور ادبیات تحقیق

با مرور ادبیات تحقیق از منظر واژه‌شناسی در این زمینه می‌توان گفت که پالت‌های فلزی و سایر تجهیزات قابل بازگشت که برای حمل کالا استفاده می‌شوند در مقالات

علمی با عناوین مختلفی همچون بسته بندی قابل بازگشت^۵، بسته‌بندی چند بار مصرف^۶، کالای قابل بازگشت^۷، کانتینر قابل بازگشت^۸، ظرف لجستیکی و تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت^۹ مطرح می‌شوند.

۲-۱- معرفی اقلام قابل بازگشت

پالتهای فلزی در جرگه مفهومی با نام کالای قابل بازگشت جای می‌گیرند. عبارت کالای قابل بازگشت (RA)^{۱۰} برای اشاره به محصولات با دوام که چندین بار از سوی کاربران مختلف در مکان‌های مختلف از یک زنجیره تأمین مورد استفاده قرار گیرد، استفاده می‌شود. RA در یک سیستم حلقه بسته گردش پیدا می‌کند. پالتهای، به عنوان یکی از مثال‌های RA مطرح می‌شوند، ولی تنها طبقه‌ای که می‌تواند تحت این عبارت قرار بگیرد، نیستند؛ موارد دیگر که خصوصیات یکسانی دارند، نیز در همین دسته مطرح می‌شوند که این دسته‌ها به شرح ذیل است:

- تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت
- مواد بسته‌بندی قابل بازگشت^{۱۱}
- محصولات قابل استفاده مجدد^{۱۲} [۳]

مخفف RTI^{۱۳}، توسط یوهانسون وهالستروم^{۱۴} ابداع شده است، این عبارت در مقاله مذکور برای توضیح بسته‌بندی ثانویه و لجستیکی کالاهایی مثل قطعات موتوژنی و قطعاتی که باید حمل شوند به کار برده شده است، نکته مهم این عبارت، قابل استفاده مجدد بودن این بسته‌بندی‌ها در چرخه‌های مختلف در زنجیره تأمین است. RTI برخلاف بسته‌بندی اولیه در تماس مستقیم با محصول مورد استفاده توسط مشتری نهایی نمی‌باشند. مخفف RPM (که توسط ون دلن و همکاران^{۱۵} ابداع شده است) برای توضیح بسته‌بندی اولیه استفاده می‌شود که برای حفاظت مستقیم از محصول مورد استفاده مشتری نهایی طراحی شده‌اند. در نهایت از واژه محصولات قابل استفاده مجدد (RP) برای دسته سوم که در آن خود محصول چندین بار مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده می‌شود [۳].

۲-۲- ویژگی‌های اقلام قابل استفاده مجدد

کالاهای قابل بازگشت، از منظر ویژگی‌ها در زنجیره تأمین شباهت‌های زیادی با شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته دارند، اما به منظور متمایز کردن این دو مفهوم لازم است، ویژگی‌های متمایزکننده زنجیره تأمین اقلام قابل بازگشت از انواع دیگر زنجیره تأمین حلقه بسته عنوان شود. این ویژگی‌ها به شرح زیر است:

- جداسازی و دمونتاز سبک و جزئی: همان طور که به وسیله تیری و همکاران^{۱۶} اشاره شده است، استفاده مجدد فقط نیاز به عملیات نگهداری سبک، مانند بازرسی، آزمون، تمیز کردن، تعمیرات جزئی دارد. بسیاری از انواع RA را می‌توان به طور مستقیم بلافاصله بعد از یک استفاده مورد استفاده مجدد قرار داد؛
- جایگزین کامل بودن کالای نو و استفاده شده: با استفاده مطالعه از گیر و همکاران^{۱۷} می‌توان گفت، کالای جدید و مورد استفاده مجدد قرار گرفته در این حوزه جایگزین کامل یکدیگر هستند؛
- دارایی‌های به اشتراک گذاشته شده و قابل حرکت: اقلام قابل بازگشت در واقع دارایی‌هایی هستند که توسط کاربران مختلف در مکان‌های مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند[۳]؛
- تعدد در ناوگان: تعداد آیتم‌هایی که در سیستم می‌چرخد و مورد استفاده قرار می‌گیرد بسیار قابل توجه است؛
- تعادل بخشی به عرضه و تقاضا: با وجود حجم بازگشت بالا، اطمینان از تعادل بین تقاضا و نرخ بازگشت، به عنوان یکی از چالش‌های سیستم مطرح است.

۲-۳- مدل‌های مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت

ون هاگن^{۱۸} سه طبقه کلی برای چرخه تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت را معرفی کرده و توضیح داده است که هر سیستم تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت را می‌توان در یکی از دسته‌های زیر طبقه‌بندی کرد: حلقه بسته^{۱۹}، حلقه باز^{۲۰} و مدل مخزن^{۲۱}. در مدل حلقه بسته، تجهیزات بین دو طرف که هر دو عضو یک سازمان هستند مبادله می‌شود، برای مثال تجهیزات مورد استفاده برای حمل از انبار به خط تولید در این دسته قرار می‌گیرند. در مدل حلقه باز، تجهیزات برای دو یا چند شرکت که به عنوان شرکای تجاری با یکدیگر کار می‌کنند، به کار برده می‌شود؛ برای مثال تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشتی که سایت تولید به مراکز توزیع می‌فرستد و از آنجا به خرده‌فروشان توزیع می‌شود. در مدل مخزن، اپراتور مخزن، مالک تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشتی است که بین شرکت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اپراتور کمیت را با نیاز هر شرکت هماهنگ می‌کند [۴]. از منظری دیگر کروون و ویرجین^{۲۲} سه نوع استراتژی کلی را برای کنترل تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت معرفی کرده‌اند:

(۱) سیستم تعویض در مخزن^{۲۳}

۲) سیستم انتقال^{۲۴}

۳) سیستم انبار یا دیپو^{۲۵}

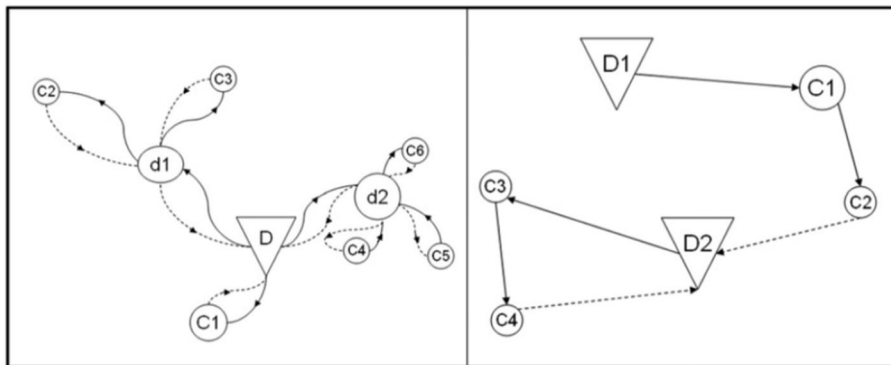
در سیستم اول به هر یک از اعضای شبکه، تعداد مشخصی تجهیز اختصاص داده می‌شود که آن عضو موظف به نگهداری از آنها است. تعویض‌ها در هر جابه‌جایی تجهیز بین اجزا اتفاق می‌افتد. در سیستم انتقال، تمامی مسئولیت تجهیزات جابه‌جایی از جمله ردیابی، امور اداری، نگهداری و تعمیرات و انبارش به عهده فرستنده است، در حالی که در سیستم انبار تمامی ظروف در یک آژانس مرکزی نگهداری و انبار می‌شوند. فرستنده تجهیزات جابه‌جایی از محل ظروف موجود در انبار تغذیه شده و پس از ارسال تجهیز به گیرنده، تجهیزات خالی مجدد جمع‌آوری شده و به انبار بازگردانده می‌شوند [۵]. سیستم‌های مورد نظر کروون و ویرین را می‌توان در جدول ۱ به صورت خلاصه نشان داد.

جدول ۱ مدل‌های مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت [۵]

سیستم‌های استفاده شده	مسئولیت‌ها	اعضا	توضیح سیستم	نوع سیستم
تعویض مستقیم	هر عضو مسئول تمامی مسائل مربوط به سهم خود است.	دریافت‌کننده و ارسال‌کننده	هر عضوی در سیستم دارای سهمی از تجهیزات است	سیستم مخزن
مبادله در هر تعویض اتفاق می‌افتد.		دریافت‌کننده، ارسال‌کننده و حمل‌کننده		
سیستم ترانسفر	آژانس	آژانس، ارسال‌کننده، دریافت‌کننده و حمل‌کننده	لجستیک معکوس به وسیله آژانس مرکزی انجام می‌شود.	سیستم دارای لجستیک معکوس
سیستم دیپو(انبارش) به همراه اجاره				
سیستم دیپو(انبارش) به همراه سپرده				
اجاره تجهیزات	فرستنده برای لجستیک معکوس نیز مسئول است	آژانس، فرستنده	اجاره تجهیزات	سیستم بدون لجستیک معکوس

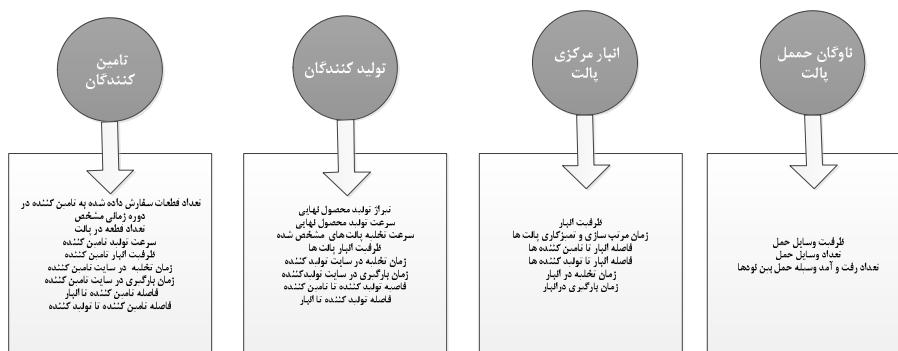
روث کاراسکو و همکاران^{۲۶} شبکه‌های لجستیک تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت را از منظری دیگر به دو دسته تقسیم کرده‌اند: شبکه‌های ستاره‌ای^{۲۷} و شبکه‌های چند انبار^{۲۸}. در سیستم ستاره، تجهیز به کارخانه و یا همان انبار مبدأ خود باز می‌گردد. در سیستم چند انبار، بازگشت به انبار مشخص اجباری نیست. در سیستم ستاره‌ای،

شرکت مرکزی می‌تواند به‌طور مستقیم مشتری نهایی را تأمین کرده و یا از توزیع‌کنندگان که به مشتری در نواحی مشخصی خدمت ارائه می‌دهند، استفاده کند. شکل ۱ شبکه‌های ستاره‌ای و چند انباره را نشان می‌دهد [۳].



شکل ۱ شبکه‌های ستاره‌ای و چند انباره [۳]

براساس نظر کرون و ویرین هر سیستم مدیریت پالت، ۴ عضو اصلی دارد: دریافت‌کننده پالت، ارسال‌کننده پالت، شرکت مالک پالت‌ها و حمل‌کننده. شکل ۲ شمایی از اجزای ذکر شده در ادبیات تحقیق در خصوص مورد اجزای سیستم مدیریت پالت را نشان می‌دهد.



شکل ۲ اجزای سیستم مدیریت پالت

۲-۴- مدلسازی سیستم‌های مدیریت پالت

مدلسازی سیستم‌های مدیریت پالت، به دلیل ماهیت این سیستم‌ها دچار نارسایی‌ها و محدودیت‌هایی است که براکز و جانسن^{۲۹} آنها را به صورت زیر بیان کرده‌اند [۶]:

- پارامترهای احتمالی: مسئله عمده در مدلسازی جابه‌جایی ظرف خالی عدم قطعیت است. تعداد زیادی از منابع عدم قطعیت در سیستم مدیریت پالت وجود دارد [۶].
 - افق برنامه‌ریزی: بیشتر مدل‌های پویا تنها دوره متناهی از زمان را در دوره‌های زمانی مختلف شامل می‌شوند. یکی از معایب استفاده از دوره زمانی متناهی، ایجاد موجودی‌های غیر واقعی در پایان دوره زمانی مورد نظر است.
 - نیاز به مقادیر صحیح: یکی دیگر از مشکلات در مسائل جابه‌جایی ظروف خالی نیاز به متغیرهای تصمیم صحیح در مسئله است. این نیاز به مدلسازی پیچیده را افزایش می‌دهد و موجب افزایش زمان محاسبه می‌شود [۶].
- همان‌گونه که عنوان شد، قطعیت نداشتن در پارامترها و متغیرهای اصلی مسئله یکی از دلایل پیچیدگی و دشواری‌های مدلسازی سیستم مدیریت پالت است. قطعیت نداشتن در پایان‌نامه جین ماری لِفبُور و دامنگ یو^{۳۰} در دانشگاه ام آی تی^{۳۱} در سیستمی که شامل چندین ترمینال و چندین بندر و چندین مصرف‌کننده است، به صورت زیر تشریح شده است:
- در برخی موارد، ظروف خالی ارسال شده به مقصد نهایی خود نمی‌رسند و یا از چرخه خارج می‌شوند (عدم بازگشت ظروف)؛
 - تغییر در تقاضای مصرف‌کننده، باعث تغییر در تعداد ظروف دریافتی ترمینال می‌شود (عدم قطعیت در تقاضا)؛
 - همه ترمینال‌ها با سرعت یکسان کار نمی‌کنند، برخی از آنها به خدمات هفتگی و برخی دیگر به خدمات ماهانه احتیاج دارند، بنابراین سرعت کمتر در تقاضا ممکن است باعث افزایش زمانی که ظرف در ترمینال منتظر می‌ماند شود؛
 - زمان بازگشایی و آماده‌سازی ظرف برای بارگیری بعدی قطعی نیست؛
 - میزان جابه‌جایی به در دسترس بودن فضا در جریان وابسته است. زمانی که یک جریان پر شده است، ظروف خالی باید برای جابه‌جایی بعدی صبر کنند [۷].

۲-۵- قطعیت نداشتن در تقاضا و رویکرد تقسیم مخاطره

در بسیاری از صنایع و زنجیره‌های تأمین، موجودی یکی از هزینه‌های اصلی است. برای بسیاری از مدیران، مدیریت مؤثر زنجیره تأمین، هم معنی با کاهش سطح موجودی در زنجیره تأمین است. راهبرد، رویکرد و یا مجموعه تکنیک‌های مورد استفاده در مدیریت موجودی یک شرکت به عنوان سیاست موجودی شرکت شناخته می‌شوند [۸]. براساس نظر سیمچیلوی^{۳۲}، پنج عامل بر سیاست شرکت در مدیریت موجودی تأثیرگذار است: ویژگی‌های تقاضا، تعداد و تنوع محصولات، زمان تحویل، هدف و ساختار هزینه. منظور از ویژگی‌های تقاضا، توزیع احتمالی تقاضا، نوسانات احتمالی تقاضا، سفارشی بودن و یا یکسان بودن تقاضا است. عدم قطعیت در تقاضا، ویژگی‌هایی را در سیستم ایجاد می‌کند که سیستم کنترل موجودی را متأثر می‌کند. یکی از قدرتمندترین ابزارها که عدم قطعیت و تغییرپذیری را در زنجیره تأمین مخاطب قرار داده است، مفهوم تقسیم مخاطره^{۳۳} است. تقسیم مخاطره تشریح می‌کند که تغییر در تقاضا زمانی که یک تقاضای واحد ادغام شده در تمامی مکان‌ها اتفاق بیفتد، کاهش پیدا می‌کند. زمانی که تقاضا در مکان‌های مختلف ادغام می‌شود، احتمال اینکه تقاضای زیاد از یک مشتری، توسط تقاضای پایین از یک مشتری دیگر پوشش داده شود زیاد می‌شود. [۸] نکته اساسی حول محور تقسیم مخاطره به شرح زیر قابل ذکر است: متمرکز کردن موجودی، باعث کاهش سطح ذخیره اطمینان و کاهش متوسط موجودی در سیستم می‌شود. در یک سیستم توزیع متمرکز زمانی که تقاضا از یک ناحیه بازار از متوسط تقاضا بالاتر است و تقاضا در نقطه دیگر بازار از متوسط تقاضا پایین تر است، اقلامی در انبار که به یکی از نواحی بازار تخصیص داده شده بودند می‌توانند به ناحیه دیگری تخصیص داده شوند. فرایند باز تخصیص موجودی‌ها در سیستم توزیع غیر متمرکز، زمانی که چندین انبار در سیستم وجود دارد ممکن نیست [۸].

مبحث عدم قطعیت در تقاضای مصرف‌کننده در سیستم مدیریت پالت، به عنوان محور اصلی تحقیق پیش‌رو در نظر گرفته شده است. عدم قطعیت در تقاضای تأمین‌کنندگان قطعات، به دلایلی که در بیان مسأله ذکر شد، باعث تغییر در تعداد

پالت مورد نیاز هر تأمین‌کننده در دوره‌های زمانی برنامه‌ریزی شده می‌شود. در این مقاله رویکرد تقسیم مخاطره، به‌منظور تعدیل اثر عدم قطعیت در تقاضای مصرف‌کننده (از طریق ایجاد انبار مرکزی پالت) به صورتی که در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهد شد، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۶- شاخص‌های عملکرد در سیستم‌های مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت

گالکو در مقاله خود با عنوان "مدل‌های مدیریتی برای مدیریت زنجیره تأمین اقلام قابل بازگشت" سه شاخص اساسی برای اندازه‌گیری عملکرد سیستم مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت را معرفی کرده است. این شاخص‌ها عبارتند از نرخ بازگشت^{۳۴}، زمان چرخه^{۳۵}، موجودی در دست در هر مکان^{۳۶} در زنجیره تأمینی که مورد بررسی قرار می‌گیرد [۳].

نرخ بازگشت در سیستم‌های مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت به نسبت تعداد اقلام بازگردانده شده به مبدأ به کل تعداد اقلام ارسال شده اشاره دارد. زمان چرخه، نشان‌دهنده طول زمان بین خروج تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت از مبدأ یا انبار تا بازگشت همان ظرف به انبار مبدأ است. هر چه این عدد بزرگ‌تر باشد، ظروف زمان بیشتری را در انبارهای مشتری، محل تولید مشتری و یا در وسایل حمل‌ونقل سپری می‌کنند. موجودی در دست در هر مکان و یا به‌طور کلی اندازه جریان، نشان‌دهنده تعداد کل ظروف در سیستم مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت است. از آن جایی که اندازه جریان به‌طور مستقیم بر تعداد ظروف سیستم دلالت می‌کند، توانایی محاسبه اندازه جریان بهینه، تأثیر زیادی بر سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه سرمایه و همچنین بر توانایی پاسخگویی کارآمد به تقاضا دارد [۷].

سیستم مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت اعم از پالت‌ها و کانتینرها بارها مورد شبیه‌سازی به‌وسیله محققان مختلف قرار گرفته‌اند. برای مثال گنونی و رولو^{۳۷} مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد برای ارزیابی سناریوهای مختلف برگشت پالت‌ها را با استفاده از شبیه‌سازی فعالیت‌هایی نظیر جریان ورودی پالت از خرید پالت‌های جدید،

جریان ورودی پالت‌های پر، بازگشت پالت‌های خالی به مرکز، نگهداری پالت‌های خالی، عملیات داخلی مرکز توزیع، جریان ورودی ناشی از لجستیک معکوس پالت‌های خالی، تعمیرات پالت‌ها و بازکاری ارائه داده و این سناریوها را با شاخص‌های زمان تخلیه کالا، زمان توقف پالت در طول فرایند بارگیری، تعداد پالت‌های جدید خریداری شده، تعداد اسناد دریافتی از شرکت اجاره‌دهنده، تعداد اسناد دریافتی از مشتری، متوسط تعداد پالت‌های خالی در انبار ارزیابی کرده‌اند [۹]. در مقاله‌ای دیگر، کامارتی و گوپتا^{۳۸}، راهبردهای توزیع این تجهیزات را با استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی ARENA مورد مطالعه قرار داده‌اند [۱۰]. چنگ و یانگ^{۳۹} در سال ۲۰۱۰ سیستم لجستیک معکوس پالت‌های مورد استفاده در زنجیره تأمین شرکت خودروسازی تویوتا را با استفاده از نرم‌افزار ARENA مورد شبیه‌سازی قرار دادند. هدف آنها از این شبیه‌سازی، مقایسه هزینه‌های سیستم بسته‌بندی قابل بازگشت در مقابل سیستم بسته‌بندی یکبار مصرف بوده است. آنها در این تحقیق عنوان کرده‌اند که با در نظر گرفتن هزینه‌های نیروی انسانی، ظرف‌های بسته‌بندی، هزینه تعمیرات و هزینه حمل‌ونقل، استفاده از سیستم بسته‌بندی چندبار مصرف به صرفه‌تر از سیستم بسته‌بندی یکبار مصرف است [۱۱]. کلاگ^{۴۰} نیز در سال ۲۰۱۱ تعداد پالت مورد نیاز هر تأمین‌کننده را با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، برآورد کرده است. شبیه‌سازی مونت کارلو با استفاده از متغیرهای زمان تولید وابسته به (زمان چرخه، اندازه دسته تولید، در دسترس بودن مواد تولید، سازماندهی فعالیت‌ها، برنامه تولید جامع، موجودی) زمان حمل‌ونقل وابسته به (فاصله حمل‌ونقل، در دسترس بودن وسیله حمل‌ونقل، فرایند تخلیه و بارگیری، زمان انتظار، شیوه و نحوه حمل‌ونقل) زمان انبارش (میزان فضا و کارکنان در دسترس، انحراف از تولید، برنامه تولید جامع، موجودی انبار، ظرفیت انبار) زمان جابه‌جایی (در دسترس بودن فضا و نفرات، اثرگذاری کل، زمان مرتب‌سازی، زمان جابه‌جایی، زمان انتظار) انجام شده است [۱۲]. در جدول ۲ خلاصه‌ای از ادبیات تحقیق مرتبط با مدل‌های مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت ارائه شده است.

مطالعات انجام شده در حوزه تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت به سه بخش اصلی ۱- سیستم‌های ردیابی؛ ۲- واژه‌شناسی و تعریف موضوع؛ ۳- مدلسازی و طراحی شبکه تقسیم می‌شوند. بیشترین تحقیقات انجام شده در مورد تجهیزات

جابه‌جایی قابل بازگشت مربوط به استفاده از سیستم RFID در مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت بوده است. دومین حوزه مورد مطالعه قرار گرفته از نظر فراوانی تحقیقات با موضوع تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت، در مورد مدیریت کانتیمرهای حمل در میان بنادر بوده است. مطالعات انجام شده در این حوزه طیف وسیعی از ابزارها مانند شبیه‌سازی، مدلسازی ریاضی (انواع پویا، غیرخطی، عدد صحیح، احتمالی و ...) و رویکردها مورد بررسی قرار داده شده است. در بخش توزیع محصول نهایی، سیستم‌های توزیع نوشیدنی (با بسته‌بندی‌های قابل بازگشت) چندین بار مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالعه سیستم مدیریت تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت در بخش‌های بالادستی زنجیره تأمین مانند ارتباط تولیدکننده و تأمین‌کنندگان در صنایع خودروسازی و پتروشیمی مورد مطالعه قرار گرفته است. در صنعت خودروسازی همان‌گونه که در متن فصل دو بحث شد، مطالعاتی مبنی بر محاسبه تعداد پالت مورد نیاز هر تأمین‌کننده، مقایسه هزینه‌های سیستم بسته‌بندی یکبار مصرف و بسته‌بندی چندبار مصرف (تجهیز جابه‌جایی قابل بازگشت) انجام شده است. همچنین دو تحقیق با محوریت موضوع سیستم مدیریت پالت در صنعت خودروسازی در قالب دو پایان‌نامه در داخل کشور انجام شده‌اند که در یکی محقق به بررسی سیستم ردیابی پالت‌ها براساس RFID پرداخته است [۱۳] و در دیگری محقق به شبیه‌سازی سیستم توزیع پالت‌ها و کامیون‌ها با رویکرد شبکه پتری دریک سیستم چند تأمین‌کننده و یک تولیدکننده (چند فروشنده، یک خریدار) پرداخته است [۱۴]. اما موضوع چند تأمین‌کننده و چند تولیدکننده را مورد بررسی قرار نداده است. کلاگ در تحقیق خود با موضوع شبیه‌سازی تعداد پالت مورد نیاز در زنجیره تأمین خودرو، سیستم را به صورت استاتیک مورد بررسی قرار داده است و راهبردهای تخصیص و کنترل موجودی را مدنظر قرار نداده است.

تا آنجا که در در حیطه مطالعات این تحقیق قرار می‌گیرد، هیچ مطالعه‌ای با موضوع شبیه‌سازی سیستم مدیریت پالت در زنجیره تأمین یک شرکت خودروسازی با رویکردی مرتبط با کنترل و مدیریت موجودی انجام نشده است. همچنین در هیچ یک از تحقیقات، شبکه‌ای با چند خریدار و چند فروشنده (در حوزه تأمین) مورد بررسی قرار نگرفته است.

جدول ۲ خلاصه ادبیات تحقیق

نام محقق	M.G. Groni, G. Letera, A.Rollo (9)	Florent Kluge(12)
عنوان تحقیق	تحلیل مقایسه‌ای اوریجینی ستایروهای مدیریت پالت با استفاده از شبیه‌سازی	برنامه ریزی تقاضا طرف لجستیکی در زنجیره تأمین خودرو با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو
سال	2011	2011
جامعه آماری و نمونه	پالت‌های شرکت EPAL	یک کارخانه خودروسازی آلمانی
روش تجزیه و تحلیل داده‌ها	در شبیه‌سازی گسسته چهار ستایرو به منظور مقایسه عملکرد زمان خدمت تأمین‌کننده، عملیات داخلی و هزینه عملکردی کل تحلیل شده‌اند.	شبیه‌سازی مونت کارلو
شناخت‌ها	زمان تخلیه کالا، زمان توقف پالت در طول فرایند بارگیری، تعداد پالت‌های جدید خریداری شده، متوسط تعداد پالت‌های خالی در انبار	-
مدل و مفروضات اصلی	جریان ورودی پالت از خرید پالت‌های جدید، جریان ورودی پالت‌های پر، بازگشت پالت‌های خالی به مرکز، نگهداری پالت‌های خالی، عملیات داخلی مرکز توزیع، جریان ورودی ناشی از لجستیکی معکوس پالت‌های خالی، تعمیرات پالت‌ها و بازسازی	زمان تولید وابسته به (زمان چرخه اندازه بسته تولید، در دسترس بودن مواد تولید، زمان سازماندهی فعالیت‌ها، برنامه تولید جامع) زمان حمل و نقل وابسته به (فاصله حمل و نقل، در دسترس بودن وسیله حمل و نقل، فرایند تخلیه و بارگیری، زمان انتظار شیوه و نحوه حمل و نقل) زمان انبارش (میزان فضا و پرسنل در دسترس، انحراف از تولید برنامه تولید جامع، موجودی انبار، ظرفیت انبار) زمان جابه‌جایی (در دسترس بودن فضا و نفرات، اولگرایی کل، زمان مرتبط‌سازی، زمان جابه‌جایی، زمان انتظار)
یافته‌های تحقیق	هماهنگی بیشتر بازرگان باعث بهبود شاخص‌های عملکردی تعریف شده می‌شود.	هر چه واباش زمان تأمین پالت‌ها بیشتر باشد، عملکرد مالی ضعیف‌تر خواهد بود. کاهش در متوسط تقاضای پالت در بهبود عملکرد مالی بی‌تأثیر است.

نام محقق	Villemann, Clarisse : Rime Fouad[7]	Jing-Xin Dong, Dong-feng Song [18]	Zhou Peng-fei and QIU Zhi-qian and SONG Xiang-qun [19]	Alan L. Berg, Jung C. Morales, Martin Sanchez[20]
عنوان تحقیق	مدیریت بازاریابی‌های به اشتراک‌گذاری شده در زنجیره تأمین	اندازه‌گیری جریان و تعدیل موجودی بات‌های خالی در یک سیستم ارسال و توزیع	مطالعه عملکرد تر میثال‌ها با استفاده از شبیه‌سازی	مدیریت ظروف در صنعت شیمی در سطح جهانی
سال	2011	2009	2006	2005
جامعه آماری و نمونه	بسته‌بندی سبیلرگان	-	-	بنادر سنگاپور
روش تجزیه و تحلیل داده‌ها	ارائه یک مدل ریاضی و مدل شبیه‌سازی برای تحلیل جریان تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت در زنجیره تأمین	ایزازی بیهوش‌سازی بر اساس شبیه‌سازی	شبیه‌سازی	مدل ریاضی تخصیص
شاخص‌ها	-	-	-	-
مدل و متغیرهای اصلی	تغییر در زمان تحویل، تغییر در هزینه تحویل	مدلی با هدف حداقل‌سازی هزینه کل از طریق مشخص کردن اندازه جریان، روش‌های جابه‌جایی ظروف در مسیرهای مختلف در شبکه، چند ایثار و چند بندر در فضای دارای عدم اطمینان در تقاضا طراحی شده است.	مژول‌های اصلی در شبیه‌سازی: افق ستاریو (ماهانه، روزانه، هفتگی)، زمان میانگین خالی شدن انگارگاه، زمان میانگین انتظار برای جابه‌جایی زمانی که نیاز به آن داریم و متغیرهای دیگری مثل نرخ اشغال انگارگاه، زمان کاری	با افق زمانی ۶ ماهه مدل را برای تخصیص و جابه‌جایی ظروف حمل شیمیایی در شبکه سه‌مرحله‌ای خود شامل ایثار، با اندازه مشتری به منظور کمینه‌سازی هزینه‌ها ارائه می‌دهد.
یافته‌های تحقیق	مدل ریاضی به ما امکان مقایسه سناریوهای مختلف روش‌های تحویل تجهیزات جابه‌جایی قابل بازگشت و همچنین تحلیل هزینه هر سناریو را می‌دهد.	هرچه هزینه نگهداری موجودی بیشتر، هزینه جابه‌جایی کمتر و هزینه جریمه عدم برآورده‌سازی تقاضا بیشتر باشد، استفاده از جابه‌جایی ظرف خالی کاهش هزینه بیشتر می‌گردد. روش کاملن هزینه در صورت استفاده از سیستم‌های دارای ایثار جابه‌جایی ظروف خالی نسبت به سیستم‌های که دارای ایثار ایثار نیستند ۲۶ تا ۶۴ درصد است.	این تحقیق بر مسئله مدیریت دارایی‌های ناشی از عملیات کانتینر‌ها تمرکز کرده است و مسئله مدیریت کانتینر را به عنوان یک مسئله با ابعاد بزرگ و چند محصور فرمول کرده است.	

نام محقق	عنوان تحقیق	سال	جامعه آماری و نمونه	روش تجزیه و تحلیل داده‌ها	شاخص‌ها	محل و متغیرهای اصلی	یافته‌های تحقیق
Sagan V, Kamathil 10 Sivarama M, Gupta Januphan L, eproong	مطالعه استراتژی‌های توزیع و مسائل حمل‌ونقل قابل بازگشت با استفاده از شبیه‌سازی	2003	-	شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار ARENA	زمان تأخیر، درصد سفارشاتی که با تأخیر ارسال می‌شوند، زمان انتظار بسته‌بندی‌ها برای ارسال، زمان کل پروژه	مغزهای مسکه: دوره گسسته زمانی، اندازه سفارش شامل تعداد پالت‌های مورد نیاز هر مشتری، ظرفیت وسیله حمل‌ونقل، سطح موجودی تعریف شده در انبار، سفارش‌های بسته‌بندی، تعداد کل ظروف، تعداد پالت‌های در دسترس در انبار، زمان حمل‌ونقل از مبدأ تا مقصد	نرخ ورود تقاطع، تعداد وسیله‌ها، تعداد تقریبی استفاده‌کنندگان از بسته‌بندی‌ها در هر مورد آمپل‌زدنی شده است و سناریوها بر این اساس طرح می‌شوند.

۳- تشریح مسئله و مورد مطالعه

گروه خودروسازی سایپا به‌عنوان دومین خودروساز ایرانی، زنجیره تأمین گسترده‌ای را در بر گرفته است. به منظور مدیریت جریان فیزیکی قطعات از تأمین‌کنندگان به کارخانه، تعداد زیادی پالت فلزی در زنجیره تأمین این شرکت به کار گرفته شده و بین اجزا زنجیره به اشتراک گذاشته شده است. با توجه به هزینه‌های بالای تأمین این پالت‌ها و همچنین وابستگی زیاد خط تولید به این تجهیزات، مدیریت این تجهیزات به‌گونه‌ای که تعداد آنها در حالت بهینه قرار گیرد، یکی از مسائل اصلی لجستیکی در این سازمان می‌باشد. به دلیل وجود بیش از یک تأمین‌کننده برای هر یک از قطعات مورد استفاده در خودرو، بازپرسازی انبار قطعات کارخانه خودروسازی، در مورد هر قطعه، به‌وسیله بیش از یک تأمین‌کننده صورت می‌گیرد. سهم تأمین هر تأمین‌کننده از هر قطعه براساس عواملی مانند توانایی آن تأمین‌کننده در تولید و ارسال به موقع قطعه، در ابتدای دوره برنامه‌ریزی تولید، تعیین شده و تعداد پالت مورد نیاز وی براساس همین برنامه، برآورد شده و به وی

تخصیص داده می‌شود. با این حال در طول دوره برنامه‌ریزی شده، سهم تأمین هر تأمین‌کننده به دلایل مختلفی همچون مسائل داخلی شرکت‌های تأمین‌کننده دستخوش تغییر می‌شود. با کاهش سهم تأمین یک تأمین‌کننده، درصد تأمین شرکت (یا شرکت‌های) مکمل آن افزایش پیدا می‌کند. در این حالت شرکتی که با کاهش درصد تأمین روبه رو شده است، دچار انباشت پالت و شرکت دیگر دچار کمبود پالت در دسترس می‌شود، به عبارت دیگر انبارهای پالت که نزد تأمین‌کنندگان قرار دارند، دچار مازاد و کاهش شده و به واسطه احتمالی بودن تقاضای هر انبار، به منظور حفظ سطح سرویس ۱۰۰ درصدی (در دسترس بودن پالت مورد نیاز تأمین‌کننده) موجودی بیشتری از حالت نگهداری همه پالت‌ها در یک انبار مورد نیاز است. به منظور نشان دادن وضعیت سیستم در زمانی که تمام پالت‌ها از یک انبار تخصیص داده شوند، شبیه‌سازی سیستم مدیریت پالت در زنجیره تأمین گروه خودروسازی سایپا با رویکرد تقسیم مخاطره در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است.

۴- روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق از لحاظ هدف تحقیقی کاربردی، و از لحاظ روش جمع‌آوری داده‌ها از آنجا که محقق به دنبال شناسایی روابط میان چند پدیده می‌باشد، تحقیقی تحلیلی-توصیفی است. همچنین جان واکر در سال ۱۹۹۸ در مقاله‌ای با عنوان تعریف تئوری: روش‌های تحقیق برای انواع مختلف تحقیقات در مدیریت تولید^{۴۱} به بررسی انواع روش‌های تحقیق و طبقه‌بندی آنها بر مبنای طبقه‌بندی علوم پرداخته است، براساس این طبقه‌بندی روش تحقیق این مطالعه از نوع روش‌های تحقیق تحلیلی ریاضی^{۴۲} می‌باشد [۱۵].

روش مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در این مسئله، شبیه‌سازی گسسته پیشامد در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد با کامپیوتر و یا به‌طور خلاصه شبیه‌سازی کامپیوتری، خصوصیتی دارد که آن را از دید تحلیلگران به ابزار جالبی تبدیل کرده است. با شبیه‌سازی کامپیوتری می‌توان زمان را فشرده کرد، به نحوی که فعالیت‌های چند سال در ظرف چند دقیقه و گاهی در ظرف چند ثانیه شبیه‌سازی شود. با استفاده از این امتیاز، تحلیلگر می‌تواند طرح‌های متنوعی را با صرف زمان ناچیزی در مورد مسئله واقعی به اجرا گذارد و ارزیابی‌هایی از آنها به دست آورد [۱].

همچنین با توجه به تعدد کاربرد شبیه‌سازی در تحقیقات با موضوع مشابه توسط محققان قبلی، تناسب ابزار و موضوع قابل توجیه می‌باشد. همچنین شانون^{۴۳} در کتاب خود نتایج حاصل از بررسی نمونه‌ای را که به وسیله شانون و بیلز از اعضای دائمی غیر دانشگاهی انجمن پژوهش عملیاتی آمریکا به دست آمده است، ذکر می‌کند. حاصل این تحقیق در جدول ۳ نشان داده شده است [۱۶].

جدول ۳ مطلوبیت فنون پژوهش عملیاتی برای افراد دست‌اندرکار (گزارش شانون) [16]

درصد استفاده	فنون پژوهش عملیاتی
۰,۱۸۰	نظریه احتمال (و استنباط آماری)
۰,۱۵۰	تحلیل اقتصادی (کارایی هزینه)
۰,۱۴۳	شبیه‌سازی
۰,۱۲۰	برنامه‌ریزی خطی
۰,۰۹۷	کنترل موجودی‌ها
۰,۰۸۵	خط انتظار (صف‌بندی)
۰,۰۷۲	تحلیل شبکه‌ای (ترتیب‌دهی)
۰,۰۴۲	تحلیل جایگذاری
۰,۰۴۰	نظریه بازی‌ها
۰,۰۳۱	برنامه‌ریزی پویا
۰,۰۲۰	فنون جستجو
۰,۰۱۸	برنامه‌ریزی غیر خطی
۱,۰۰۰	جمع:

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، برای محققان تنها احتمال و روش کارایی هزینه است که از لحاظ مطلوبیت در مرتبه بالاتری از شبیه‌سازی قرار می‌گیرند. از دیگر مطالعات و بررسی‌هایی که در زمینه کاربرد فنون مختلف تحقیق در عملیات انجام شده است، گزارش تورین^{۴۴} است. این مطالعه در مورد ابزارهای مورد استفاده در ۵۰۰ شرکت که تبه‌وسیله مجله فورچون^{۴۵} به عنوان بزرگ‌ترین شرکت‌های جهان معرفی شده بود، صورت گرفت. نتیجه این مطالعات در جدول ۴ آمده است [۱۶].

جدول ۴ نتایج تحقیق کاربرد فنون مختلف تحقیق در عملیات (گزارش تورین) [۱۶]

نام فن	تعداد طرح‌ها	درصد استفاده
تحلیل آماری*	۱۳	۲۹
شبیه‌سازی	۵۴	۲۵
برنامه‌ریزی خطی	۴۱	۱۹
نظریه موجودی‌ها	۱۳	۶
نظریه شبکه‌ها	۱۳	۶
برنامه‌ریزی پویا	۹	۴
برنامه‌ریزی غیر خطی	۷	۳
نظریه صف	۲	۱
برنامه‌ریزی ابتکاری	۲	۱
گوناگون	۱۳	۶

۵- تشریح سیستم مورد شبیه‌سازی

سیستم واقعی دارای ۲ تولیدکننده و ۱۷ تأمین‌کننده است که از نظر لجستیکی و از طریق پالت با یکدیگر در ارتباط هستند. سیستم مورد شبیه‌سازی ۲ تولیدکننده و ۱۷ تأمین‌کننده و یک انبار مرکزی دارد که آنها نیز از نظر فیزیکی و لجستیکی از طریق پالت با یکدیگر در ارتباط هستند. انبار مرکزی در سیستم مورد بررسی به منظور ایجاد امکان بررسی رویکرد تقسیم مخاطره به سیستم واقعی اضافه شده است. هر یک از تولیدکنندگان نیاز ماهانه خود را در هر قطعه خاص به تأمین‌کنندگان مورد نظر خود اعلام می‌کنند، تأمین‌کنندگان موظفند، قطعات مورد نیاز تولیدکنندگان را در دوره زمانی مشخص شده تولید کرده و در پالت‌های مخصوص قطعه قرار داده و برای تولیدکننده‌ها ارسال کنند. تمامی پالت‌های سیستم دارای ابعاد یکسان هستند. پالت‌ها به وسیله کامیون‌هایی که گنجایش ۱۲ عدد پالت دارند، بین اجزا سیستم جابه‌جا می‌شوند. پالت‌های خالی در انبار مرکزی و یا در سایت‌های تولیدی نگهداری می‌شوند و نیاز تأمین‌کنندگان به پالت‌های خالی از این مکان‌ها ارضا می‌شود. بنابراین حرکت پالت‌های خالی از انبار مرکزی و سایت‌های تولیدی به سمت تأمین‌کنندگان می‌باشد. فاصله میان هر یک از تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان برحسب

واحد زمان و با در نظر گرفتن یک واحد زمانی برای تخلیه و یک واحد زمانی برای بارگیری محاسبه شده‌اند.

۵-۱- معرفی متغیرها، اندیس‌ها و پارامترها

مجموعه تأمین‌کنندگان $S : \{1, 2, \dots, s\}$

مجموعه تولیدکنندگان $P : \{1, 2, \dots, p\}$

مجموعه انبارهای پالت، $D : \{1, 2, \dots, d\}$

مجموعه وسایل حمل‌ونقل تخصیص یافته به هر تأمین‌کننده $V_{(i)} : \{V_{(1,1)}, V_{(2,1)}, \dots, V_{(i,s)}\}$

ظرفیت وسیله حمل زام تأمین‌کننده i : $CV_{(i)}$

ظرفیت انبار تأمین‌کننده i : C_S

تعداد پالت‌های خالی مورد نیاز هر تأمین‌کننده در زمان t : NcS_t

زمان حمل‌ونقل مختلف که از مبدأ A به مقصد B می‌رود که می‌تواند انبار، تأمین‌کننده یا تولیدکننده باشد. این زمان شامل زمان بارگیری و تخلیه به‌علاوه زمان فاصله میان دو رأس می‌باشد: μ_{AB}

تعداد پالت‌های پر در وسیله حمل z ، خارج شده از از تأمین‌کننده s در زمان t که در

$$t + \mu_{AB} \text{ به تولیدکننده } p \text{ می‌رسد } \lambda B p_{spt}$$

تعداد پالت‌های خالی در وسیله حمل z ، خارج شده از از تولیدکننده p در زمان t که

$$t + \mu_{AB} \text{ به تأمین‌کننده } s \text{ می‌رسد: } \lambda_{pst}$$

تعداد پالت‌های خالی در وسیله حمل z ، خارج شده از از انبار d در زمان t که در

$$t + \mu_{AB} \text{ به تأمین‌کننده } s \text{ می‌رسد } \lambda_{dst}$$

تعداد پالت‌های خالی در وسیله حمل z ، خارج شده از از تولیدکننده p در زمان t که

$$t + \mu_{AB} \text{ به انبار } d \text{ می‌رسد: } \lambda_{pdt}$$

تعداد پالت‌های خالی موجود در انبار پالت‌ها d در زمان t : Nd_t

تعداد پالت‌های خالی موجود در سایت تولیدکننده P در زمان t : Np_t

تعداد پالت‌های پر موجود در محل تولیدکننده P در زمان t : NBp_t

تعداد پالت‌های خالی موجود در محل تأمین‌کننده S در زمان t : Ns_t

تعداد پالت‌های پر موجود در محل تأمین‌کننده S در زمان t : NBs_t

تعداد پالت‌هایی که در زمان t تولیدکننده P تخلیه می‌شوند: E_{PT}

تعداد پالت‌هایی که در زمان t تأمین‌کننده s پر می‌شوند: F_{ST}

موجودی پالت خالی در اول دوره در تأمین‌کننده s : ρs

موجودی پالت خالی در اول دوره در تولیدکننده p : ρp

موجودی پالت خالی در اول دوره در انبار d : ρd

۲-۵- فروض شبیه‌سازی

- تجهیزات سیستم همگن هستند. در این فرض بیان شده است که تمامی پالت‌های از نوع پالت‌های GP2 هستند.
- وسایل حمل‌ونقل همگن هستند. تمامی پالت‌های پر و خالی به وسیله کامیون‌های حمل با ابعاد یکسان جابه‌جا می‌شوند.
- ظرفیت وسایل حل محدود و یکسان است.
- پالت‌ها در سیستم گم نمی‌شوند.
- نرخ خرابی و ضایعات پالت‌ها در دوره ۶ ماهه مورد بررسی صفر در نظر گرفته شده است.
- زمان فعالیت‌های مرتب‌سازی و تمیزکاری صفر در نظر گرفته شده است.
- زمان پرسازی پالت برابر با سرعت تولید تأمین‌کننده می‌باشد.
- سرعت تولید تأمین‌کننده در هر ماه با سرعت تولید مورد نیاز برای تولید MRP ارسال شده به وی در یک ماه برابر است.
- زمان تخلیه پالت‌ها برابر با سرعت مصرف قطعات در سایت تولیدکننده است.
- بارگیری کامیون‌ها محدود است. زمان بارگیری هر کامیون در سایت تأمین‌کنندگان توزیع یکنواخت با پارامتر یک واحد زمانی دارد.
- فاصله میان تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و سایت‌ها تولیدی برحسب زمان و با در نظر گرفتن سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت برای وسیله حمل به اضافه زمان بارگیری و تخلیه در هر سایت مبدأ و مقصد محاسبه شده است.

۳-۵- محدودیت‌های مدل شبیه‌سازی

$$Ns_t + NBS_t = \sum_{t=1}^t N_{dst} + \sum_{t=1}^t N_{pst} - \sum_{t=1}^t NB_{spt} + \rho s : \forall d \in D, \forall p \in P, \forall s \in S \quad (۱)$$

$$Nd_t = \sum N_{pdt} - \sum N_{dst} + \rho d : \forall d \in D, \forall p \in P, \forall s \in S \quad (۲)$$

$$NBp_t + Np_t = \sum_{t=1}^t \lambda Bp_{spt} - \sum_{t=1}^t \lambda p_{pst} - \sum_{t=1}^t \lambda dp_{pdt} + \rho Bp_k + \rho p : \forall d \in D, \forall p \in P, \forall s \in S \quad (۳)$$

$$Ncs_t \leq NBS_t : \forall s \in S, \forall t \in T \quad (۴)$$

$$\lambda Bp_{spt} \leq CV_{(j,i)} : \forall s \in S, \forall p \in P \quad (۵)$$

$$\lambda_{pst} \leq CV_{(j,i)} : \forall s \in S, \forall p \in P \quad (۶)$$

$$\lambda_{dst} \leq CV_{(j,i)} : \forall s \in S, \forall d \in D \quad (۷)$$

$$\lambda_{pdt} \leq CV_{(j,i)} : \forall d \in D, \forall p \in P \quad (۸)$$

$$NBS_t + Ns_t \leq C_s : \forall s \in S \quad (۹)$$

$$Nd_t = \sum_{t-\mu_{AB}}^t Nd_{t-\mu_{AB}} + \lambda_{pd} - \sum_{t-\mu_{AB}}^t \lambda_{dst} : \forall d \in D, \forall p \in P \quad (۱۰)$$

$$Ns_t = \sum_{t-\mu_{AB}} Ns_{t-\mu_{AB}} + \lambda_{ps} + \lambda_{dst-\mu_{AB}} - \sum_{t-\mu_{AB}}^t F_{St} : \forall d \in D, \forall p \in P, \forall s \in S \quad (۱۱)$$

محدودیت‌های ۱ تا ۳، به منظور نشان دادن این نکته که تعداد پالت‌ها در سیستم در دوره زمانی مورد نظر تغییر نمی‌کند، یا به بیان دیگر پالت‌ها در سیستم گم یا اسقاط نمی‌شوند و همچنین نرخ خرابی پالت‌ها در دوره زمانی بررسی شده صفر در نظر گرفته شده است. محدودیت شماره ۴ سطح سرویس سیستم را نشان می‌دهد، این محدودیت مشخص می‌کند که تمامی تقاضای پالتی که از سمت تأمین‌کننده مطرح می‌شود، باید به وسیله سیستم پاسخ داده شود. محدودیت‌های ۵ تا ۸ لزوم رعایت محدودیت ظرفیت هر وسیله حمل را در هر بار حمل نشان می‌دهد. این وسایل می‌تواند در هر یک از مسیرهای تأمین‌کننده به تولیدکننده، تولیدکننده به تأمین‌کننده، تولیدکننده به انبار و انبار به تأمین‌کننده مورد استفاده قرار گیرند. محدودیت ۹ لزوم رعایت محدودیت ظرفیت انبار هر تأمین‌کننده را نشان می‌دهد. ظرفیت انبار هر تأمین‌کننده، مجموع پالت‌های پر و خالی را که در انبار قابل نگهداری هستند، نشان می‌دهد. محدودیت ۱۰ نشان‌دهنده این است که هر وسیله حمل باید پالت‌های درون خود را در دوره زمانی که به عنوان فاصله مبدأ و مقصد تعریف شده است، به مقصد برساند. محدودیت ۱۱، بخشی از این محدودیت مانند محدودیت شماره ۱۰ به دنبال ایجاد محدودیت برای وسیله حمل در ارسال محموله به مقصد پس از گذشت زمان μ_{AB} از حرکت از مبدأ A است، همچنین این محدودیت نشان می‌دهد که پس از گذشت مدت زمان مشخص، تعداد مشخصی پالت خالی باید تبدیل به پالت پر شوند. این محدودیت به طور عینی در بخش تولیدکننده‌ها نیز تعریف می‌شود.

۴-۵- تشریح الگوریتم شبیه‌سازی مدل پیشنهادی

در لحظه شروع شبیه‌سازی، تمامی تأمین‌کنندگان به اندازه ظرفیت انبار خود دارای C_S پالت خالی نزد خود می‌باشند، از آن جایی که در لحظه شروع، هیچ‌یک از تأمین‌کننده‌ها، فرایند تولید خود را آغاز نکرده‌اند، تمامی پالت‌های نزد تأمین‌کننده‌ها خالی بوده و تعداد پالت پر نزد تأمین‌کننده صفر می‌باشد. در لحظه دوم، هر تأمین‌کننده با توجه به MRP دریافت شده از طرف خودروساز، فرایند

تولید خود را آغاز می‌کند، خروجی فرایند تولید تأمین‌کننده‌ها تبدیل پالت‌های خالی به پالت‌های پر است که در سیستم مورد نظر شبیه‌سازی می‌شود. پالت‌های پر شده به وسیله تأمین‌کنندگان تحت شرایط زیر به وسیله وسایل حمل‌ونقل آن تأمین‌کننده به تولیدکننده‌ها ارسال می‌شوند:

۱- تعداد پالت‌های پر شده در تکرار t ام (NBS_t) برابر با ظرفیت حمل یک وسیله حمل $CV_{(j,i)}$ باشد؛

۲- تعداد پالت‌های پر شده در تکرار t ام (NBS_t) برابر با کل MRP درخواستی تولیدکننده در آن دوره زمانی باشد؛

۳- تعداد پالت‌های پر شده در تکرار t ام (NBS_t) برابر با ظرفیت انبار تأمین‌کننده (C_S) باشد.

شرایطی که در بالا ذکر شد برای تصمیم‌گیری سیستم نسبت به ارسال بار از تأمین‌کننده به تولیدکننده، کافی هستند؛ به این معنا که رویداد هر یک از شروط ۱ تا ۳، سیستم را ملزم به ارسال بار (محموله) پالت می‌کند.

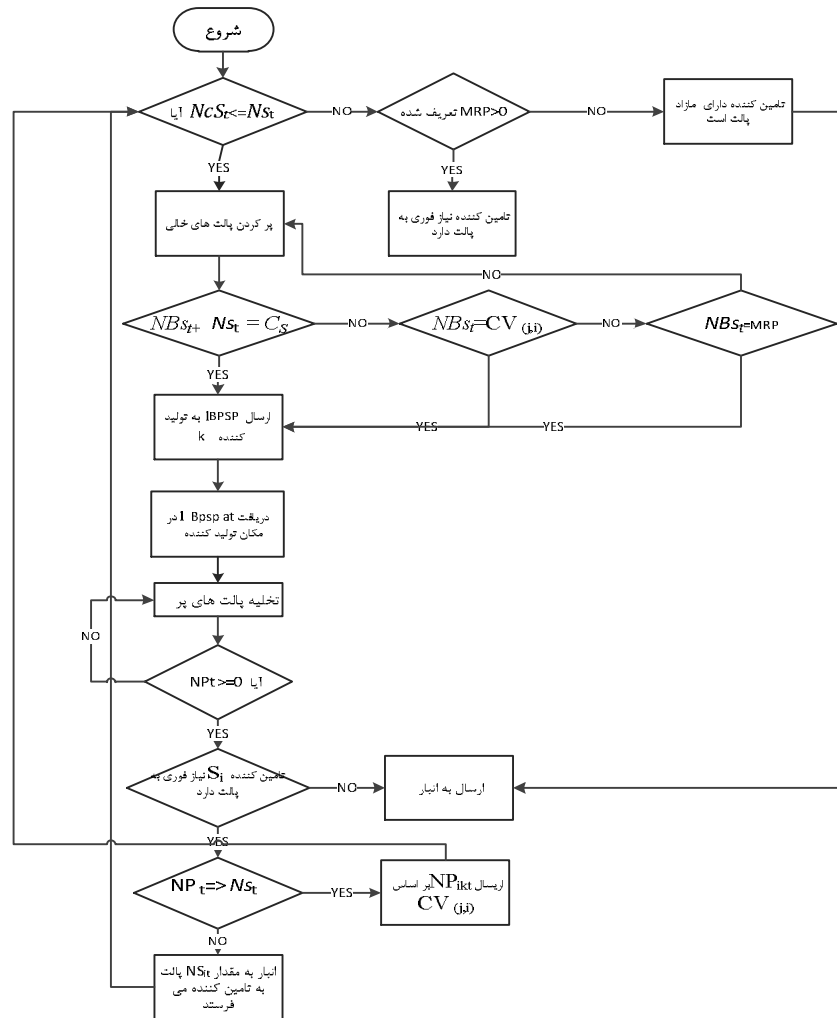
با توجه به ماهیت چند خریدار و چند فروشنده بودن سیستم، اگر شروط ۱ تا ۳ در یک زمان برای هر دو خریدار برقرار شود، فروشنده اولویت ارسال را برای تولیدکننده‌ای در نظر می‌گیرد که تقاضای بیشتری در آن زمان داشته است. با این فرض ادامه شبیه‌سازی به صورت زیر پی گرفته می‌شود:

وسيله حمل V_j دارای حجم پالت پر λBp_{spt} در زمان t از مبدأ تأمین‌کننده S_i به تولیدکننده P می‌رسد. زمان تخلیه هر محموله ارسالی در نزد تولیدکنندگان به اندازه یک تکرار در نظر گرفته شده است. پس از تخلیه λBp_{spt} برابر صفر شده و تعداد پالت‌های پر نزد تولیدکننده NBP_t برابر با λBp_{spt} در زمان $t-1$ می‌شود. پس از تخلیه پالت‌ها در سایت تولیدکننده k ، تصمیم‌گیری در خصوص نحوه برگشت وسیله حمل z آغاز می‌شود، در صورتی که تأمین‌کننده‌ای که مبدأ وسیله حمل است، به صورت فوری نیاز به پالت داشته باشد، وسیله حمل با تعدادی برابر با تعداد پالت موردنیاز تأمین‌کننده NS_t و با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت وسیله حمل به سمت تأمین‌کننده حرکت می‌کند. در این زمان، وسیله حمل پالت را

به سمت تأمین‌کننده انتقال می‌دهد. بدیهی است که این تعداد از Np_i کسر خواهد شد. اگر تعداد پالت خالی موجود در سایت تولیدکننده از میزان نیاز تأمین‌کننده s کمتر باشد، به تعداد پالت‌های موجود در سایت تولیدکننده به تأمین‌کننده پالت ارسال می‌شود.

در حالت دوم در صورتی که تأمین‌کننده‌ای که مبدأ وسیله حمل است، به صورت فوری نیاز به پالت نداشته باشد، وسیله حمل به صورت خالی به تأمین‌کننده باز می‌گردد؛ یعنی λ_{pst} در این حالت برابر صفر است. در این حالت پالت‌های پری که به وسیله و وسیله حمل z به تولیدکننده k ارسال شده است λBp_{spt} ، برحسب تابع توزیع تبدیل پالت پر به خالی (سرعت تبدیل پالت پر به خالی) E_{PT} تخلیه شده و سپس از آنجا به انبار پالت‌های خالی انتقال پیدا می‌کند.

پالت‌های خالی که از تولیدکنندگان به انبار پالت‌های خالی انتقال پیدا می‌کنند، براساس تابع توزیع تبدیل‌های پر به خالی (سرعت تبدیلی پر به خالی) در ورودی انبارها صف ایجاد می‌کنند. پالت‌ها پس از تخلیه با طول زمان ۳۰ دقیقه در انبار پالت‌های خالی مرتب‌سازی می‌شود (زمان مورد نیاز برای مرتب‌سازی و تمیزکاری پالت‌ها با توجه به مورد استفاده آنها صفر در نظر گرفته شده است). در این حالت Nd_t افزایش پیدا می‌کند، از آن جایی که ظرفیت انبار پالت بدون محدودیت فرض شده است، پالت‌های ارسال شده بدون محدودیت فضایی وارد انبار می‌شوند. در مرحله بعد زمانی که تأمین‌کننده s تعداد پالت‌های Ns_t را در دور t درخواست می‌کند، وسیله حمل z را به سمت انبار پالت‌های خالی ارسال می‌کند. این وسیله پس از طی تکرارهای زمانی ناشی از فاصله تأمین‌کننده تا انبار، به انبار رسیده و تعداد λ_{dst} با در نظر گرفتن تعداد پالت مورد نیاز تأمین‌کننده و ظرفیت وسیله حمل به تأمین‌کننده ارسال می‌کند. شکل ۳ الگوریتم شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ دیاگرام مدل شبیه‌سازی شده

۵-۵- داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در شبیه‌سازی

در این بخش به بررسی اطلاعات دریافتی از شرکت مورد مطالعه خواهیم پرداخت. لازم به ذکر است تمامی اطلاعات دریافتی در حیطه قلمرو زمانی و مکانی تحقیق (در ۶ ماهه اول سال ۹۳ و در رابطه با پالت GP2) قرار دارند.

- ۱- اطلاعات MRP ماهیانه به تفکیک قطعه، تأمین‌کننده و سایت تولیدی
- ۲- اطلاعات مربوط به مشخصات فنی قطعات و تعداد هر قطعه در پالت GP2
- ۳- مختصات جغرافیایی تأمین‌کنندگان، سایت‌های تولیدی و انبار پالت
- ۴- تیراژ تولید ماهانه سایت‌های تولیدی

۵-۶- محاسبات انجام شده روی داده‌های خام به منظور استفاده در مدل شبیه‌سازی
 ۵-۶-۱- محاسبه فاصله زمانی میان تأمین‌کنندگان، سایت‌های تولیدی و انبار
 مرکزی پالت‌ها

مختصات دریافت‌شده از تأمین‌کنندگان، با استفاده از نرم‌افزار اتوکد فاصله‌گذاری شده است. نحوه مختصات‌گذاری در نرم‌افزار به صورت مختصات مطلق دکارتی بوده و مبدأ مختصات، سایت تولیدکننده شماره ۱ در نظر گرفته شده است. به منظور ساده‌سازی مسئله نحوه محاسبه فاصله براساس طول پاره خط واصل انجام شده است. واحد محاسبه فاصله به منظور استفاده در نرم‌افزار شبیه‌سازی زمان بوده و زمان بارگیری و تخلیه (هریک دربرگیرنده یک واحد زمانی) نیز به این فواصل اضافه شده است. جدول ۵ نتیجه محاسبات را برای فواصل برحسب واحدهای زمانی نیم‌ساعته ارائه کرده است.

جدول ۵ فواصل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و انبار

SITE	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17
producer 1	5	3	8	9	6	10	5	12	10	17	9	9	2	20	6	7	9
producer 2	7	5	9	8	8	12	4	10	12	20	12	7	4	23	2	9	11
Depot	5	3	8	9	6	10	5	12	10	17	9	9	2	20	6	7	9

۵-۶-۲- محاسبه سرعت پرسازی پالت در تأمین‌کنندگان
 سرعت پرسازی پالت به وسیله تأمین‌کنندگان به منظور محاسبه سرعت نیاز هر تأمین‌کننده به پالت برآورد می‌شود. از آن جایی که یک تأمین‌کننده ممکن است بیش از یک قطعه را تولید کند، لازم است تا قطعات برحسب پالت مورد نیاز آنها نرمال‌سازی شوند. نرمال‌کردن تمامی قطعات تولیدی با استفاده از پارامتر «تعداد در قطعه در پالت» بخش اصلی محاسبه سرعت پرسازی پالت‌ها در سایت تأمین‌کننده

است. از آن جایی که در مدل شبیه‌سازی مورد نظر، پالت‌ها به صورت تک‌تک کدگذاری نشده‌اند، سرعت پرسازی هر پالت مربوط به قطعه خاص در محاسبات مد نظر نمی‌باشد. جدول ۱ پیوست اطلاعات اولیه برای محاسبه سرعت پرسازی پالت در هر ماه را نشان می‌دهد.

۵-۶-۳- محاسبه سرعت تخلیه پالت‌ها در تولیدکنندگان

تخلیه پالت در سایت تولیدکننده به منظور برآورد زمان آزاد شدن هر پالت در هر واحد زمانی محاسبه می‌شود. نرمال کردن تمامی قطعات تولیدی با استفاده از پارامتر «تعداد در قطعه در پالت» بخش اصلی محاسبه سرعت تخلیه شدن پالت‌ها در سایت تولیدکننده است. از آن جایی که در مدل شبیه‌سازی مورد نظری، پالت‌ها به صورت تک‌تک کد گذاری نشده‌اند، سرعت تخلیه هر پالت مربوط به قطعه خاص در محاسبات مد نظر نمی‌باشد. سرعت تخلیه هر پالت ضریب مصرف قطعات داخل پالت، تیراژ تولید سایت تولیدی، تعداد قطعات در هر پالت وابسته است. با در نظر گرفتن تعداد پالت مورد نیاز برای تولید تعداد مشخصی از خودرو و با فرض توزیع نرمال برای سرعت تولید سایت‌های خودروسازی، نتیجه محاسبه سرعت تخلیه پالت به صورت جدول‌های ۲ و ۳ در پیوست خواهد بود.

۵-۷- حالت اولیه سیستم

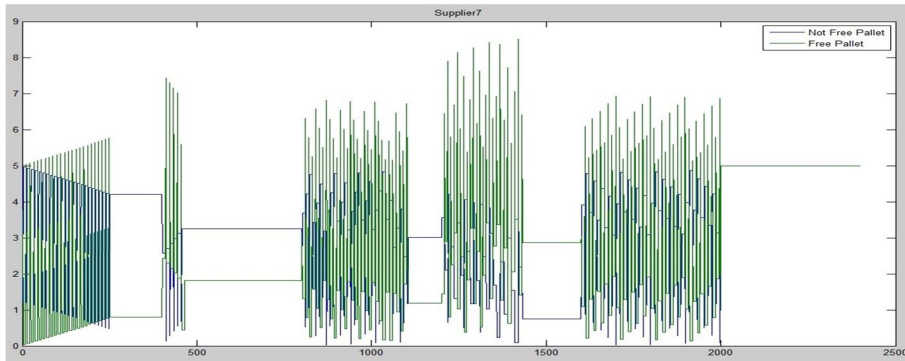
حالت اولیه^{۴۶} در نظر گرفته شده برای مدل شبیه‌سازی، طبق اطلاعات به دست آمده از حالت سیستم و مکان پالت‌ها در واحد اول شبیه‌سازی هر ماه به شرح زیر فرض شده است. حالت اولیه سیستم برای همه تأمین‌کنندگان، تعداد مساوی پالت خالی و پالت پر در نظر گرفته است.

جدول ۶ حالت اولیه سیستم

کد تأمین کننده	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17
تعداد پالت های خالی در زمان صفر	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
تعداد پالت های پر در زمان صفر	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

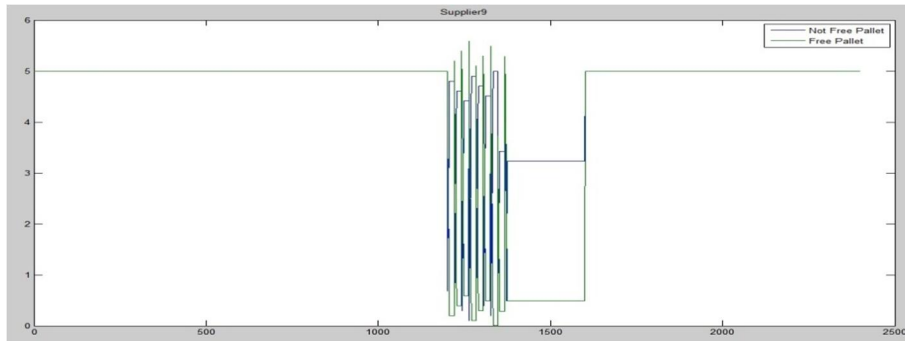
۵-۸- محاسبه و آزمون مدل شبیه‌سازی شده

به منظور راه‌اندازی مدل شبیه‌سازی ارائه شده، از نرم‌افزار متلب ورژن R2013 استفاده شده است. محدودیت‌ها، قیود و الگوریتم پیشنهادی شبیه‌سازی، در این نرم‌افزار کدنویسی شده‌اند. نتیجه مورد انتظار از کدنویسی الگوریتم شبیه‌سازی و محدودیت‌ها محاسبه تعداد پالت‌های پر و تعداد پالت‌های خالی در هر واحد زمانی در هر مکان (شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارهای پالت و وسایل حمل‌ونقل پالت) است. خروجی حاصل از کدنویسی مدل شبیه‌سازی به صورت نمودارهایی که روند ورود و خروج پالت‌های پر و خالی را در هر مکان نشان می‌دهد، نمایش داده می‌شود. با توجه به اینکه تعداد تأمین‌کنندگان سیستم مورد بررسی برای ارائه تک‌تک نتایج کسب شده در حوزه تأمین‌کنندگان زیاد است، تنها تعدادی از تأمین‌کنندگان در بخش خروجی نرم‌افزار مورد بررسی قرار می‌گیرند. در انتخاب تأمین‌کنندگانی که خروجی آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد، تلاش شده است تنوع تیراژ تولید و ظرفیت انبار تأمین‌کننده منتخب رعایت شود. براساس نمودار خروجی نرم‌افزار در مورد تأمین‌کننده شماره ۷، این تأمین‌کننده در لحظه صفر دارای ۵ عدد پالت خالی و ۵ عدد پالت پر بوده است. این تأمین‌کننده با گذشت هر واحد زمانی با نرخ F_{7T} به پرسازی پالت‌های خالی می‌پردازد. این فعالیت تا زمانی که تعداد پالت‌های پر شده برابر با ظرفیت یک وسیله حمل شوند، ادامه پیدا می‌کند. به محض تکمیل ظرفیت وسیله حمل، پالت‌های پر به سمت تولیدکننده بارگیری شده و پس از گذشت ۵ یا ۴ واحد زمانی (۵ برای ارسال به تولیدکننده شماره ۱ و ۴ برای ارسال‌ها به تولیدکننده شماره ۲) پالت‌های پر به تولیدکننده می‌رسد به محض تخلیه پالت‌های پر تولیدکننده تعداد برابر با ظرفیت را در وسیله حمل بارگیری کرده و به سمت تأمین‌کننده ارسال می‌کند. موجودی تأمین‌کننده شماره ۷ پس از دریافت پالت‌های خالی به اندازه یک حمل کامل و یا کمتر از آن افزایش پیدا می‌کند. این عمل تا تکمیل MRP هر ماه ادامه خواهد داشت.



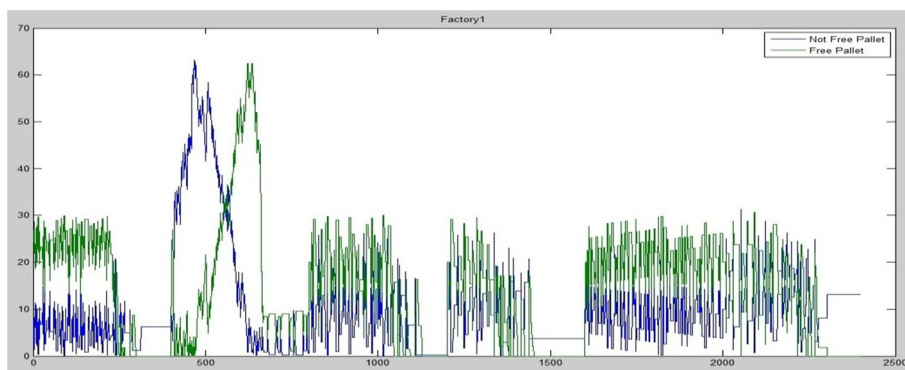
شکل ۴ نمودار پالت‌های پر و خالی در مورد تأمین‌کننده شماره ۷

براساس نمودار خروجی نرم‌افزار در مورد تأمین‌کننده شماره ۹، این تأمین‌کننده، در لحظه صفر دارای ۵ عدد پالت خالی و ۵ عدد پالت پر بوده است با توجه به اینکه MRP این تأمین‌کننده در ماه‌های اول تا سوم برابر صفر بوده است، هیچ‌گونه ارسال پالت پر و یا خالی در مورد این تأمین‌کننده اتفاق نیفتاده است. در ماه چهارم MRP تأمین‌کننده به ۱۸۳ تغییر پیدا کرده است، بنابراین تعداد متناسبی پالت خالی از انبار به این تأمین‌کننده ارسال می‌شود. با گذشت هر واحد زمانی این تأمین‌کننده با نرخ F_{9T} به پرسازی پالت‌های خالی می‌پردازد. این فعالیت تا زمانی که تعداد پالت‌های پر شده برابر با ظرفیت یک وسیله حمل شوند، ادامه پیدا می‌کند. به محض تکمیل ظرفیت وسیله حمل، پالت‌های پر به سمت تولیدکننده بارگیری شده و پس از گذشت ۱۲ یا ۱۰ واحد زمانی (۱۲ برای ارسال به تولیدکننده شماره ۱ و ۱۰ برای ارسال‌ها به تولیدکننده شماره ۲) پالت‌های پر به تولیدکننده می‌رسد به محض تخلیه پالت‌های پر تولیدکننده تعداد برابر با ظرفیت را در وسیله حمل بارگیری کرده و به سمت تأمین‌کننده ارسال می‌کند. موجودی تأمین‌کننده شماره ۹ پس از دریافت پالت‌های خالی به اندازه یک حمل کامل و یا کمتر از آن افزایش پیدا می‌کند. این عمل تا تکمیل MRP هر ماه ادامه خواهد داشت.



شکل ۵ نمودار موجودی پالت‌های خالی و پر در مورد تأمین‌کننده شماره ۹

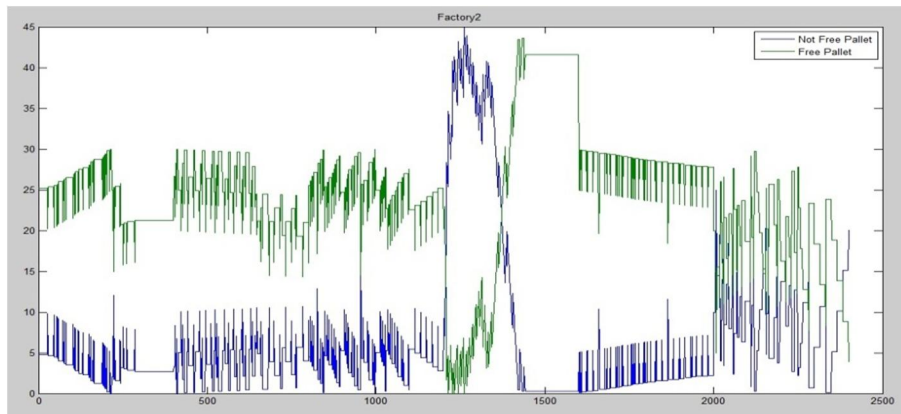
رفتار تولیدکننده شماره ۱ براساس نرخ دریافت پالت از سوی تأمین‌کنندگان (نرخ دریافت پالت‌های پر) و نرخ تبدیل پالت‌های پر به پالت‌های خالی که براساس تعداد تولید تولیدکننده در ماه‌های مختلف، ضریب مصرف قطعات دریافتی و تعداد هر قطعه در پالت محاسبه می‌شود، قابل توجیه است. در نمودار زیر مشاهده می‌شود که سرعت تبدیل پالت‌های پر به خالی در ماه دوم (بین واحدهای زمانی‌های زمانی ۴۰۰ تا ۶۰۰) که تعداد تولید به حداقل خود رسیده است، در کمینه حالت خود قرار دارد.



شکل ۶ نمودار موجودی پالت‌های پر و خالی در تولیدکننده شماره ۱

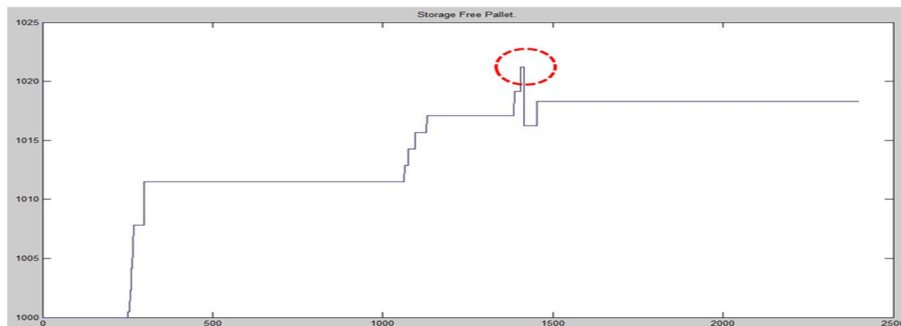
رفتار تولیدکننده شماره ۲ نیز براساس نرخ دریافت پالت از سوی تأمین‌کنندگان (نرخ دریافت پالت‌های پر) و نرخ تبدیل پالت‌های پر به پالت‌های خالی که براساس تعداد تولید تولیدکننده در ماه‌های مختلف، ضریب مصرف

قطعات دریافتی و تعداد هر قطعه در پالت محاسبه می‌شود، قابل توجیه است. در نمودار زیر مشاهده می‌شود که سرعت تبدیل پالت‌های پر به خالی در ماه چهارم (بین واحدهای زمانی ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰) که تعداد تولید به حداقل خود رسیده است، در کمینه حالت خود قرار دارد.



شکل ۷ نمودار موجودی پالت‌های پر و خالی در تولیدکننده شماره ۲

با توجه به اینکه در حالت اولیه سیستم، هیچ‌گونه موجودی اولیه برای انبار در نظر گرفته نشده است، موجودی پالت‌های خالی انبار در لحظه صفر تا واحد زمانی ۳۰۰ برابر با صفر است، این مسئله نشان می‌دهد که در این بازه زمانی، تمامی پالت‌های خالی تأمین‌کنندگان از محل پالت‌های خالی موجود در سایت تولیدکنندگان تأمین می‌شده است. از واحد زمانی ۴۰۰ (شروع ماه دوم) به دلیل کاهش ناگهانی سطح تولید در تولیدکننده شماره ۱، و به تبع آن کاهش MRP مورد نیاز این سایت، تعداد پالت‌های خالی مورد نیاز تأمین‌کنندگان کاهش یافته و بنابراین، پالت‌های خالی از تولیدکننده شماره ۱ به انبار گسیل می‌شوند. افزایش دوم در موجودی انبار ناشی از کاهش تولید در تولیدکننده شماره ۲ در ماه چهارم است که تحلیلی مشابه با آنچه توضیح داده شد، قابل توجیه است.



شکل ۸ نمودار موجودی پالت‌های پر و خالی در انبار پالت‌ها

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج کمی به دست آمده از مدل شبیه‌سازی و با در نظر گرفتن ورودی‌های از جمله تعداد تأمین‌کنندگان، تعداد تولیدکنندگان فاصله تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان و قطعات ارسالی از هر تأمین‌کننده و سرعت تولید هر تولیدکننده، در خصوص ظرفیت مورد نیاز برای انبار، بیشینه پالت خالی موجود در انبار در دوره ۶ ماهه‌ای که شبیه‌سازی در آن انجام شده است، در شکل ۸ با دایره نقطه‌چین نمایش داده شده است که عدد ۱۰۳۸ را نشان می‌دهد. بنابراین در سیستمی که مورد طراحی قرار گرفت، به انباری با حداقل ظرفیت مقدار ۱۰۳۸ پالت نیازمندیم.

در این تحقیق به شبیه‌سازی سیستم مدیریت پالت با رویکرد تقسیم مخاطره پرداخته شده است، سیستم بررسی شده دارای چند تولیدکننده و چند تأمین‌کننده و همچنین یک انبار مرکزی (به منظور تبیین رویکرد تقسیم مخاطره) بوده و روابط بین اجزای سیستم مطابق با فروض شبیه‌سازی تبیین شده است. با توجه به اینکه رویکرد تقسیم مخاطره و همچنین بررسی و شبیه‌سازی سیستم دارای چند خریدار (تولیدکننده) و چند فروشنده (تأمین‌کننده) در مطالعات پیش از این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفته‌اند، این دو وجه به عنوان نوآوری‌های این مطالعه قابل طرح می‌باشند.

با توجه به محدودیت‌های موجود در تحقیق پیشرو پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده مسائل زیر به عنوان فرصت‌های بهبود مد نظر قرار گیرد:

- بهینه‌سازی سیستم شبیه‌سازی شده در این تحقیق از نظر مکانیابی انبارهای توزیع، انتخاب وسایل حمل‌ونقل و نحوه تخصیص پالت با توجه به فاصله هر تأمین‌کننده تا انبار و تولیدکننده‌ها می‌تواند موضوع پژوهش‌های آینده قرار بگیرد.
- در نظر گرفتن روش‌های برآزش آماری به منظور برآزش توابع توزیع در بخش‌های سرعت تبدیل پالت‌های پر به خالی در تولیدکننده و سرعت تبدیل پالت‌های خالی به پر در تأمین‌کننده‌ها نیز می‌تواند به عنوان پیشنهاد تحقیق مطرح شود.
- در نظر گرفتن توابع تولید مختلف با توجه به نوع قطعه تولیدی هر تأمین‌کننده و مشخص کردن نوع توابع تولید تأمین‌کننده‌ها به صورت مجزا برای هر تأمین‌کننده می‌تواند در پژوهش‌های آینده مورد توجه قرار گیرد.
- در این تحقیق فاصله میان تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و انبارها با استفاده از محاسبه طول پاره‌خط واصل ساده‌سازی شده است، در پژوهش‌های بعدی این فاصله می‌تواند به صورت دقیق‌تر و از طریق نقشه‌برداری مسیر انجام شود.
- در این تحقیق ظرفیت سایت‌های تولیدی نامحدود در نظر گرفته شده است، پیشنهاد می‌شود تا محققان در مطالعات آینده خود، ظرفیت سایت‌های تولیدی را نیز در محاسبات خود در نظر بگیرند.
- پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده امکان انتقال پالت‌های خالی از یک تأمین‌کننده به تأمین‌کننده دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرد. در همین راستا پیشنهاد می‌شود سایر سیاست‌های مدیریت موجودی نیز در سیستم مدیریت پالت مورد بررسی قرار گیرند.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. Returnable Transport Item
2. Logistic container
3. Replenishment
4. MATLAB
5. Returnable packaging
6. Reusable packaging
7. Returnable article
8. Returnable container
9. Returnable transport item

10. Returnable article
11. Returnable Packaging Materials (RPM);
12. Reusable Products (RP).
13. Returnable Transport Item
14. Johansson and Hellstro M.
15. Van Dalen et al.
16. Thierry et al.
17. Geyer et al.'s
18. S.H.M. Van Haagen BSc
19. Close loop
20. Open loop
21. Pool model
22. Kroon and Vrijens
23. Swich pool system
24. Transfer system
25. Depot system
26. R. Carrasco-Gallego et al.
27. Star network
28. multi-depot network
29. Braekers, Janssens
30. Lefebvre J.-M. & Yue D.
31. MIT
32. Simchi-levi
33. Risk pooling
34. Return rate
35. Cycle time
36. In hand inventory
37. Gnoni & Rollo
38. Kamarthi and Gupta
39. Yung
40. Klug
41. A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management
42. Analytical mathematical research
43. Shanun
44. Toarin
45. Fortune
46. Initial state
47. MATLAB

۸- پیوست

جدول ۱ MRP هر تأمین‌کننده

کد تأمین‌کننده	کد تولیدکننده	ماه					
		۱	۲	۳	۴	۵	۶
S1	P1	۱۶/۰۰	۲۶/۰۰	۲۲/۰۰	۲۴/۰۰	۱۵/۰۰	۲۷/۰۰
S2	P2	۱۲/۰۰	۲۱/۰۰	۱۸/۰۰	۱۳/۰۰	۱۰/۰۰	۳۶/۰۰
S2	P1	۷۳۱/۰۰	۱۲۰۳/۰۰	۲۱۶۲/۱۲	۱۲۲۲/۰۰	۷۳۵/۰۰	۱۳۷۲/۰۰
S3	P2	۶۱۹/۰۰	۷۴۸/۰۰	۵۰۱/۰۰	۸۴۳/۰۰	۶۳۳/۰۰	۱۵۴۱/۰۰
S3	P1	۳۰/۰۰	۴۳/۰۰	۴۳/۰۰	۳۰/۰۰	۱۵/۰۰	۳۰/۰۰
S4	P2	۲۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۲/۰۰	۰/۰۰
S4	P1	۱۲۲/۰۰	۲۴۰/۰۰	۱۷۸/۷۱	۱۴۳/۰۰	۶۰/۰۰	۰/۰۰
S5	P2	۱۱۵/۰۰	۲۲۵/۰۰	۱۷۳/۰۰	۱۹۰/۰۰	۴۵/۰۰	۱۲۲/۰۰
S5	P1	۲۳۹/۰۰	۵۰۵/۰۰	۲۶۴/۹۵	۴۰۱/۰۰	۱۵۸/۰۰	۴۹۶/۰۰
S5	P2	۲۰۵/۰۰	۷۱۰/۰۰	۴۶۳/۰۰	۷۳۸/۰۰	۴۱۰/۰۰	۱۴۶۷/۰۰
S6	P1	۱۷۳/۰۰	۲۵۴/۰۰	۲۷۷/۷۹	۱۹۴/۰۰	۲۱۶/۰۰	۳۰۴/۰۰
S6	P2	۱۶۵/۰۰	۰/۰۰	۱۵۵/۰۰	۰/۰۰	۸/۰۰	۲۹/۰۰
S7	P1	۲۰۸/۱۲	۳۸۶/۰۰	۲۴۷/۶۱	۴۳۵/۰۰	۳۵۳/۰۰	۰
S7	P2	۱۲۳/۰۰	۲۹۹/۰۰	۲۴۴/۰۰	۵۱۲/۰۰	۱۶۹/۰۰	۰
S8	P1	۶۶۳/۰۰	۱۰۷۵/۰۰	۹۲۱/۶۲	۱۰۲۴/۰۰	۷۲۳/۰۰	۹۸۵/۰۰
S8	P2	۴۴۶/۰۰	۵۱۵/۰۰	۳۸۰/۰۰	۵۳۳/۰۰	۲۶۸/۰۰	۷۹۶/۰۰
S9	P1	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۸۳/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
S9	P2	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
S10	P1	۱۴/۰۰	۱۱۱/۱۸	۱۲۲/۳۵	۲۲۲/۱۲	۱۵۹/۱۸	۳۵۳/۰۶
S10	P2	۱۰/۰۰	۴/۰۰	۷/۰۰	۴/۰۰	۱۴/۰۰	۳/۰۰
S11	P1	۷۱/۰۰	۲۰۰/۰۰	۳۷۴/۰۰	۱۲۴/۰۰	۱۱۰/۰۰	۱۲۷/۰۰
S11	P2	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
S12	P1	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۰۰	۳۷/۰۰
S12	P2	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹/۰۰	۰/۰۰	۶۳/۰۰
S13	P1	۳۱/۰۰	۶۲/۰۰	۶۰/۰۰	۵۷/۰۰	۳۴/۰۰	۳۴/۰۰
S13	P2	۲۷/۰۰	۸۴/۰۰	۶۴/۰۰	۸۳/۰۰	۴۰/۰۰	۶۸/۰۰
S14	P1	۱۲۲/۰۰	۱۳۰/۰۰	۱۱۵/۰۰	۱۸۷/۰۰	۱۳۰/۰۰	۲۸۱/۰۰
S14	P2	۱۱۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴۹/۰۰	۹۶/۰۰	۱۰۴/۰۰
S15	P1	۳/۰۰	۲۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
S15	P2	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
S16	P1	۳۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
S16	P2	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

جدول ۲ سرعت تخلیه پالت در تولیدکننده شماره ۱

تولیدکننده ۱			ماه						
کد قطعه	ضریب مصرف	تعداد در پالت	ضریب پالت (مقیاس ۱۰۰:)	۱	۲	۳	۴	۵	۶
A	۱	۴۰۰	۰/۲۵	-۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۰۸	-۰/۰۸	-۰/۰۶	-۰/۱۰
B	۱	۴۰۰	۰/۲۵	-۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۰۸	-۰/۰۸	-۰/۰۶	-۰/۱۰
C	۱	۴۰۰	۰/۲۵	-۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۰۸	-۰/۰۸	-۰/۰۶	-۰/۱۰
D	۱	۴۰۰	۰/۲۵	-۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۰۸	-۰/۰۸	-۰/۰۶	-۰/۱۰
E	۱	۱۶	۶/۲۵	-۰/۷۸	-۰/۱۶	۱/۸۸	۱/۹۵	۱/۴۴	۲/۵۰
F	۱	۱۲۰	۰/۸۳	-۰/۱۰	-۰/۰۲	-۰/۲۵	-۰/۲۶	-۰/۱۹	-۰/۳۳
G	۱	۳۶	۲/۷۸	-۰/۳۵	-۰/۰۷	-۰/۸۳	-۰/۸۷	-۰/۶۴	۱/۱۱
H	۱	۳۶	۲/۷۸	-۰/۳۵	-۰/۰۷	-۰/۸۳	-۰/۸۷	-۰/۶۴	۱/۱۱
I	۱	۱۰	۱۰/۰۰	۱/۲۵	-۰/۲۵	۳/۰۰	۳/۱۳	۲/۳۰	۴/۰۰
J	۱	۲۳	۴/۳۵	-۰/۵۴	-۰/۱۱	۱/۳۰	۱/۳۶	۱/۰۰	۱/۷۴
K	۱	۱۶	۶/۲۵	-۰/۷۸	-۰/۱۶	۱/۸۸	۱/۹۵	۱/۴۴	۲/۵۰
L	۱	۵۰	۲/۰۰	-۰/۲۵	-۰/۰۵	-۰/۶۰	-۰/۶۳	-۰/۴۶	-۰/۸۰
M	۱	۵۰	۲/۰۰	-۰/۲۵	-۰/۰۵	-۰/۶۰	-۰/۶۳	-۰/۴۶	-۰/۸۰
N	۱	۱۵	۶/۶۷	-۰/۸۳	-۰/۱۷	۲/۰۰	۲/۰۸	۱/۵۳	۲/۶۷
O	۱	۴۲	۲/۳۸	-۰/۳۰	-۰/۰۶	-۰/۷۱	-۰/۷۴	-۰/۵۵	-۰/۹۵
P	۱	۴۰	۲/۵۰	-۰/۳۱	-۰/۰۶	-۰/۷۵	-۰/۷۸	-۰/۵۸	۱/۰۰
Q	۱	۴۲	۲/۳۸	-۰/۳۰	-۰/۰۶	-۰/۷۱	-۰/۷۴	-۰/۵۵	-۰/۹۵
R	۱	۴۰	۲/۵۰	-۰/۳۱	-۰/۰۶	-۰/۷۵	-۰/۷۸	-۰/۵۸	۱/۰۰
Total				۶/۸۳	۱/۳۷	۱۶/۴۰	۱۷/۰۸	۱۲/۵۷	۲۱/۸۷

جدول ۳ پیوست سرعت تخلیه پالت در تولید کننده شماره

تولیدکننده ۲			ماه						
کد قطعه	ضریب مصرف	تعداد در پالت	ضریب پالت (مقیاس ۱۰۰:)	۱	۲	۳	۴	۵	۶
A	۱	۴۰۰	۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۳
B	۱	۴۰۰	۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۳
F	۱	۱۲۰	۰/۸۳	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۴۴
H	۱	۳۶	۲/۷۸	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۴۷	۱/۴۶
G	۱	۳۶	۲/۷۸	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۴۷	۱/۴۶
E	۱	۱۶	۶/۲۵	۱/۰۹	۱/۴۱	۱/۱۷	۰/۱۶	۱/۰۵	۳/۲۸
N	۱	۱۵	۶/۶۷	۱/۱۷	۱/۵۰	۱/۲۵	۰/۱۷	۱/۱۲	۳/۵۰
O	۱	۴۲	۲/۳۸	۰/۴۲	۰/۵۴	۰/۴۵	۰/۰۶	۰/۴۰	۱/۲۵
P	۱	۴۰	۲/۵۰	۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۴۷	۰/۰۶	۰/۴۲	۱/۳۱
Q	۱	۴۲	۲/۳۸	۰/۴۲	۰/۵۴	۰/۴۵	۰/۰۶	۰/۴۰	۱/۲۵
R	۱	۴۰	۲/۵۰	۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۴۷	۰/۰۶	۰/۴۲	۱/۳۱
total				۵/۱۷	۶/۶۵	۵/۵۴	۰/۷۴	۴/۹۵	۱۵/۵۲

۹- منابع

- [1] Agnetis Alessandro, Nicholas G. Hall, Dario Pacciarelli (2006) "Supply chain scheduling: Sequence coordination", *Discrete Applied Mathematics* 154 (15): 2044-2063.
- [2] Khedri A. (1390) "Improvement of JIT system performance using simulation approach" Master thesis, University of Tehran, Faculty of Managent.
- [3] Carrasco-Gallego Ruth, Eva Ponce-Cueto, Rommert Dekker (2012) "Closed-loop supply chains of reusable articles: A typology grounded on case studies", *International Journal of Production Research* 50 (9): 5582-5596.
- [4] Haagen S. H. M. (2012) "Keep the "Hard Workers" moving! An analysis to solve the Inventory Routing Problem on Returnable Transportation Items in the Supply Chain of Johma".

- [5] Kroon Leo, Gaby Vrijens (1994) "Durable transport boxes: An example of reverse logistics", *Erasmus Universiteit/Rotterdam School of Management, Faculteit Bedrijfskunde*.
- [6] Braekers Kris, Gerrit K. Janssens, An Caris (2011) "Challenges in managing empty container movements at multiple planning levels", *Transport Reviews* 31(6): 681-708.
- [7] Lefebvre Jean-Marie, Dameng Yue (2012) "Tracking and fleet optimization of reusable transport items in the shipping industry ", Ph D. diss., *Massachusetts Institute of Technology*.
- [8] Simchi-Levi David (2005) Designing and managing the supply chain, *Mcgraw-Hill College*.
- [9] Gnoni Maria Grazia, Gianni Lettera, Alessandra Rollo (2011) "A simulationcomparison analysis of effective pallet management scenarios", In *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE International Conference on*, pp. 1228-1232.
- [10] Jarupan Lerpong, Sagar V. Kamarthi, Surendra M. Gupta (2004) "Simulation study on the vehicle dispatching strategies of returnable transport packaging ", *In Photonics Technologies for Robotics, Automation, and Manufacturing*, pp. 161-169.
- [11] Cheng, Yuan-Ting, Taho Yang (2005) "Simulation of design and analysis of a container reverse-logistics system", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 22(3): 189-198.
- [12] Klug Florian (2011) "Automotive supply chain logistics: Container demand planning using Monte Carlo simulation", *International Journal of Automotive Technology and Management*, 11(3) : 254-268.
- [13] Gohari Alireza (1388) "Integrating production schedule and pallet transportation under petri net approach" Madtes thesis, Tarbiat Modares University School of Industrial Engineering.

- [14] Sharifpour Mahdi (1388) "Design of pallet management system using RFID system, case study of an internal automotive manufacturing company", Master Thesis, Tarbiat Modares University, School of Industrial Engineering.
- [15] Wacker John G. (1998) "A definition of theory: Research guidelines for different theory-building research methods in operations management", *Journal of Operations Management* 16(4): 361-385.
- [16] Shannon R. E. (1975) "Systems simulation: The art and science", *Prentice-Hall, Englewood Cliffs*, New Jersey.
- [17] Villamaux C., Riane F. (2011) "Shared resource management in a supply chain study on delivery costs and delay", *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, France.
- [18] Dong, J.-X & ,Song, D.-P.(2009). Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* ,860-877
- [19] Peng-fei, Z., Zi-jian, G & ,Xiang-qun, S.(2006). Simulation Study on Container Terminal Performance *International Conference on Management Science and Engineering*, (177-182)
- [20] Erera, A. L., Morales, J.C & ,Savelsbergh, M(2005). Global intermodal tank container management for the chemical industry. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* ,(551-566)