*پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی*
*دوره 3، شماره 4، زمستان 1392*

# طراحی مدلی پویا برای انتخاب سناریوی مناسب سطح ذخیره احتیاطی در سیستم MRP: شرکت تولیدی مشهد پانل بارثاوا

**علیرضا پویا[1*]، احمد توکلی[2]، نادیه فخلعی[3]**

1- استادیار گروه مدیریت، گروه مدیریت، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
2- استادیار گروه مدیریت، گروه مدیریت، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
3- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

دریافت: 1391/12/16 پذیرش: 1393/7/14

## چکیده

سیستم‌های تولیدی با نظام‌های کنترلی فشاری در تولید از برنامه‌ریزی احتیاجات مواد برای برنامه‌ریزی خرید و ساخت منابع فیزیکی خود استفاده می‌کنند. بنابراین یک سیستم برنامه‌ریزی مواد، پایه‌ای برای زمان‌بندی تولید و خرید مواد ایجاد می‌کند. با توجه به اینکه عدم اطمینان‌های محیطی از قبیل نوسانات در تقاضا و تأمین مواد اولیه اجتناب‌ناپذیر است،واحدهای تولیدی به دنبال راهی برای مواجهه با این نوسان‌ها و عدم اطمینان‌ها هستند.یکی از راهکارهای پیش رو استفاده از ذخیره احتیاطی است که مقدار مشخصی از اقلام است که به صورت موجودی برای مقابله با عدم اطمینان‌ها نگه داشته می‌شود. با وجود اهمیت ذخیره احتیاطی چارچوبی جامع برای تصمیم‌گیری در خصوص آن وجود ندارد.

هدف این مقاله ارائه مدلی داینامیک برای سیستم MRP است که با استفاده از این مدل بتوان به سیاست مناسب ذخیره احتیاطی و در نتیجه مقدار مناسب آن در راستای کاهش هزینه‌های کل موجودی دست پیدا کرد. برای شبیه‌سازی سیستم از رویکرد پویای‌شناسی سیستم استفاده شده است و برای نزدیک شدن به شرایط واقعی، تقاضا و زمان پیشبرد احتمالی در نظر گرفته شده است. پس از طراحی

*نویسنده مسئول مقاله: E-mail: Alirezapooya@um.ac.ir

مدل، سناریوهای مختلفی برای ذخیره احتیاطی پیشنهاد شده است. معیار انتخاب سناریوی مناسب، هزینه‌های کل موجودی می‌باشد و درنهایت سناریو با کمترین مقدار هزینه کل موجودی به عنوان سناریوی برتر انتخاب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: MRP، ذخیره احتیاطی، پویایی‌شناسی سیستم، هزینه موجودی.

## 1- مقدمه

برنامه‌ریزی احتیاجات مواد[1] در اوایل دهه 1960 به عنوان رویکرد کامپیوتری به برنامه‌ریزی تدارک و تولید مواد در آمریکا شکل گرفت و از اوایل دهه 1970 تاکنون بیشترین کاربرد را در میان سیستم‌های مدیریت تولید مراکز بزرگ تولیدی داشته است[ 1،ج1].MRP یک سیستم کنترل جریان است که تنها قطعات مورد نیاز برای حفظ و تدوام جریان مواد در کارخانه را سفارش می‌دهد. این سفارش‌ها می‌توانند هم برای قطعات خریدنی و هم برای قطعات ساختنی انجام پذیرند.

یکی از مشکلات عمده‌ای که معمولاً سیستم‌های مختلف برنامه‌ریزی در عمل با آن مواجه می‌شوند، دریافت یک مجموعه اطلاعات و داده‌های نامطمئن به عنوان ورودی اطلاعاتی است. یکی از راهکارهای کاربردی در MRP، استفاده از ذخیره احتیاطی است[2]که برای جلوگیری از کمبود به دلیل نوسان‌های پیش‌بینی نشده در مجموعه عوامل تقاضا، سفارش‌دهی، تولید و یا تأمین از طریق خریداستفاده می‌شود. ارلیکی نیز در مواجه با تأمین‌کننده غیرقابل اعتماد بکارگیری ذخیره احتیاطی یا زمان پیشبرد احتیاطی را پیشنهاد می‌دهد. همچنین دیب‌بات و وان واسنهاو(1983) برای حفظ سطح بالای خدمت به مشتری، همواره نگهداری ذخیره احتیاطی برای محصول نهایی را ضروری می‌دانندکه نشان‌دهنده اهمیت ذخیره احتیاطی در سیستم‌های تولیدی می‌باشد[1،ج1].

یکی از چالش‌ها در بحث MRP تعیین مقدار اقتصادی ذخیره احتیاطی است، به طوری که موازنه‌ای میان هزینه‌های نگهداری[3] کالا و مواجهه با کمبود[4] به وجود آید.سؤالی که در

1.Materials Requirement Planning
2. Safety Stock
3. Holding Cost
4. Shortage Cost

خصوص استفاده از ذخیره احتیاطی مطرح است، این است که مقدار بهینه ذخیره احتیاطی چه مقدار است؟[2، صص51-64].

بیشتر کارهای انجام شده در زمینه سیستم MRP و ذخیره احتیاطی شامل روش‌های تحلیلی و ابتکاری می‌باشند. همچنین در برخی نمونه کارها به ارائه الگوریتم‌های جدیدی برای محاسبه مقدار مناسب ذخیره احتیاطی پرداخته شده است. اما استفاده از روش‌های تحلیلی و ابتکاری، بسیار پیچیده و زمان‌بر می‌باشد و نیاز به فرضیه‌های ساده‌کننده برای حل مسئله وجود دارد. همچنین با پیچیده‌تر شدن سیستم تولیدی کاربرد این روش‌ها به صورت عملی در دنیای واقعی کمتر امکان‌پذیر است. از مزایای پژوهش حاضر استفاده از روش شبیه‌سازی است. چرا که شبیه‌سازی به علت خاصیت تکراری بودن محاسبات در آن می‌تواند به وسیله رایانه با سرعت بالا و دقت بیشتر جواب‌های بهتری ارائه دهد. تکنیک شبیه‌سازی، فرآیندی است که به سازمان‌ها کمک می‌کند تا نتایج عملکرد و فرآیند تصمیم‌گیری خود را پیش‌بینی، مقایسه و بهینه‌سازی کنند بدون اینکه هزینه و خطرپذیری تغییر فرآیندهای جاری و اجرای جدید رامتحمل شوند. همچنین استفاده از مدل طراحی شده در این پژوهش کاربردی بوده و هر واحد تولیدی با توجه به شرایط خود و جرح و تعدیل مدل می‌تواند از آن استفاده کند.

بنابراین در این مقاله سیستم MRP با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم، شبیه‌سازی شده است و هدف پیدا کردن سیاست مناسب ذخیره احتیاطی است، به طوری که هزینه‌های کل موجودی حداقل شود. برای نزدیک‌تر شدن به شرایط واقعی، تقاضا و زمان پیشبرد[1] احتمالی در نظر گرفته شده است. پس از شبیه‌سازی، مدل براساس سناریوهای مختلف ذخیره احتیاطی اجرا می‌شود و در هر بار هزینه‌های کل سیستم که شامل هزینه‌های نگهداری کالا و هزینه مواجهه با کمبود است، به‌وسیله مدل محاسبه می‌شود. این روش شبیه‌سازی امکان مشاهده رفتار سیستم را به صورت بصری و با رسم نمودارهای مختلف می‌دهد[3،ج1، ص19]، بنابراین رفتار سیستم به راحتی قابل تحلیل است و با تغییر سیاست ذخیره احتیاطی و مشاهده تغییرات در هزینه‌ها می‌توان به سیاست مناسب ذخیره احتیاطی دست یافت.

1. Lead Time

## 2- پیشینه پژوهش

کارل ایندرفول[1] رویه‌ای برای تعیین اندازه ذخیره احتیاطی در فرآیند تولیدتوزیع‌های متفاوت، از طریق سیاست کنترل مبتنی بر ذخیره ارائه داده است. در این رویه الگوریتم برنامه‌ریزی پویای قوی برای حل مسائل بهینه‌سازی ذخیره احتیاطی توسعه یافته و تأثیر تغییر پارامترهای مسئله روی مسئله بهینه بررسی شده است[4، صص103-113]. لولی و دالگوی[2] در مقاله‌ای به بررسی مدل کنترل موجودی با اجزای چندگانه و یک سطحی گسسته برای سیستم مونتاژ با زمان پیشبرد تصادفی پرداخته‌اند. اهداف کارحداقل کردن میانگین هزینه نگهداری اجزا است، در حالی که سطح خدمت مناسب برای محصول نهایی حفظ شود. برای این کار از الگوریتم شاخه و حد استفاده شده است[5، صص 723-731]. الرفای، تاهات و جالهام[3] پژوهشی در زمینه هزینه‌های موجودی انجام داده‌اند. هدف از این پژوهش دستیابی به مقدار مناسب موجودی در دست برای کاهش هزینه‌های موجودی و جلوگیری از کمبود در سیستم می‌باشد و از ابزار سیستم داینامیک برای مدل‌سازی شرایط واقعی استفاده شده است. در این مقاله موجودی در دست که پوشش موجودی نامیده می‌شود، متغیر تصمیم است[6].

مولا، پولر و گارسیا[4] مدل برنامه‌ریزی خطی جدیدی برای برنامه‌ریزی تولید میان‌مدت در یک ظرفیت محدود MRP، با چندین محصول و چندین سطح و چند دوره ساخت ارائه داده‌اند. هدف اصلی این پژوهش تعیین برنامه اصلی تولید MRP برای هر جزء از مواد خام در هر دوره، سطح ذخیره احتیاطی، تأخیر در تقاضا و سطوح ظرفیت مصرف داده شده در افق زمانی در مواجه با هر نوع عدم اطمینان است[7، صص 74-97].

پرسونا، باتینیا، مانزنیب و پارسچیب[5] بیان می‌کنند که پیش‌بینی تقاضا یک فرآیند تصمیم‌گیری مهم است و دو استراتژی طراحی مدولار محصول و ابر درخت محصول[6] را برای توسعه فرآیند پیش‌بینی تقاضا معتبر می‌دانند. نتیجه کار آن‌ها، احتمال کمبود در موجودی در زمینه‌های مختلف تولیدی را کاهش می‌دهند[8، صص147-159].

---

1. Inderfurth
2. Louly, Dolgui
3. Al-Refaie, Tahat, Jalham
4. Mula, Poler, Garcia
5. Personaa, Battinia, Manzinib, Pareschib
6. Super Bill of Materials

لطفی، رضایی و معمایی مدلی برای سیستم کنترل موجودی مواد اولیه انجام داده‌اند که این پژوهش در صنایع چوب و کاغذ مازندران انجام یافته است.

دوهدف عمده این پژوهش عبارتند از به حداقل رساندن هزینه‌های ناشی از نگهداری، سفارش و موجودی مواد اولیه مصرفی و دیگری بالابردن ضریب اطمینان سیستم کنترل موجودی مواد اولیه مصرفی از جنبه مواجه نشدن جریان تولید باحالت کمبود. این روش فقط برای سیستم‌های EOQ کاربرد دارد[9]. ماکویی و طباطبایی در مقاله‌ای به ارائه روشی برای تخصیص مقادیر ذخیره احتیاطی در یک زنجیره تأمین پرداخته‌اند. مسئله مورد نظر دارای دو هدف کم کردن بهترین زمان در دسترسی و هزینه موجودی است و میزان هزینه و زمان به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری انتخاب شده‌اند. از الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی برای حل روش پیشنهادی استفاده شده است[10].

ربانی ضمن بیان اهمیت MRP، در یک پژوهش روشی جدید با استفاده از یک سیستم خبره فازی در تخمین پارامترهای فازی مسئله برای مسئله تعیین اندازه انباشته چند سطحی، چند قلمی با ظرفیت محدود، برنامه‌ریزی تولید میان‌مدت با محدودیت ظرفیتی، محیط‌های ساخت چند محصولی، چند سطحی و چند دوره‌ای ارائه داده است[11].

واگلگسانگ و ایندرفول[1] به بررسی مسائل موجودی- تولیدی تحت شرایط احتمالی پرداخته‌اند. در این مقاله روشی برای تعیین ذخیره احتیاطی ارائه شده است، به طوری که همزمان عدم اطمینان در تقاضای محصول و بازده تولیدی وجود دارد [12، صص293-300]،بیوتل و مینرن[2] چارچوبی برای سطح ذخیره احتیاطی برای زمانی که تقاضا وابسته به چندین متغیر برونزا است، ارائه داده‌اند[13،صص637-645]،همچنین شیر محمدی برای حالت احتمالی فرمول $SS = Z_\alpha \delta_{DL}$را ارائه داده است[14،ج1،ص170]،با وجود تحقیقات زیاد در زمینه برنامه‌ریزی تولید، بیشتر رویکردها در بیان وابستگی غیر خطی میان استفاده منابع، زمان پیشبرد و ذخیره احتیاطی دچار مشکل‌اند، اورکان، یوزساری و کمپ[3]در مقاله‌ای فرمول برنامه‌ریزی غیر خطی برای زمان‌بندی با در نظر گرفتن سطح خدمت خاص و در مواجه با تقاضای تصادفی ارائه داده‌اند. این مدل به صراحت وابستگی میان حجم کاری، زمان پیشبرد و ذخیره احتیاطی را نشان

1.Vogelgesang, Inderfurth
2.Beutel, Minnern
3.Orcun, Uzsoy, Kempf

می‌دهد و یک رویه ابتکاری تکراری برای حل آن ارائه شده است[15، صص2159-2163].پیتر و کینگ[1] در مقاله‌ای به ارائه فرمول ریاضی برای ذخیره احتیاطی در چهار حالت، تغییرپذیری زیاد در تقاضا، تغییرپذیری زیاد در زمان پیشبرد، تغییرپذیری زیاد در هر دو، در شرایط وابستگی و عدم وابستگی تقاضا و زمان پیشبرد ارائه داده‌اند[16، صص33-36].

وانگ و تانگ در مقاله‌ای به بررسی سیاست‌های ذخیره سیستم موجودی با ترکیب دو حالت فروش از دست رفته و سفارش‌های معوقه پرداخته‌اند. در این مقاله سیاست ذخیره پویا بررسی شده است و از تصمیم مارکو برای رسیدن به سطوح ذخیره پویا برای رده‌های متفاوت تقاضا توسعه یافته است. برای کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی، سطح ذخیره در همه رده‌های تقاضا به صفر کاهش پیدا کرده است[17، صص56-67].

اسپسکار در مقاله‌ای اهمیت سیستم‌های پویا را در برنامه‌ریزی ظرفیت نشان می‌دهد و به بررسی نمودارهای انباشت و جریان در حوزه برنامه‌ریزی ظرفیت پرداخته است[18، صص1350-1355].

وانگ و همکارانش در پژوهشی به تحلیل نوسان‌های طبیعی در سیستم موجودی غیرخطی برای حالتی که موجودی اضافی به تأمین‌کننده برگشت داده نمی‌شود، پرداخته‌اند. انواع رفتارهای پویا از جمله همگرایی، تناوب، آشفتگی و ... و همچنین حد بالا و پایین سفارش و نوسان موجودی بررسی شده است. درنهایت از الگوریتم شاخه و حد برای حل مشکل استفاده کرده‌اند[19، صص 3-12].

آلبرت به تعیین ذخیره‌های نزدیک به بهینه در سیستم‌های موجودی با دو سطح کلی پرداخته است. در این مقاله سیستم کلی به سیستم‌های مونتاژ برای هر محصول نهایی تجزیه شده است و برای هر سیستم مونتاژ، سطوح ذخیره پایه به طور جداگانه محاسبه شده است. در پایان، این مقاله سطوح ذخیره پایه را از طریق روش‌های ابتکاری بهینه کرده است و به پیشرفت‌های مهمی در مقایسه با روش‌های ابتکاری رایج رسیده است[20، صص 342-349].

با توجه به مطالب ذکر شده، کارهای انجام شده در زمینه MRP و ذخیره احتیاطی اغلب شامل توسعه و بهبود الگوریتم‌های ارائه شده و استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی می‌باشد که با

1. Peter, King

توجه به محدودیت‌های در نظر گرفته شده توسط نویسندگان، در هر سیستمی قابل اجرا نخواهد بود و اغلب به نوسانات در تقاضا توجه شده است و نوسانات در زمان پیشبرد نقش کمرنگی داشته است. همچنین آثار جانبی تصمیم‌ها در مورد ذخیره احتیاطی در نظر گرفته نشده است.

در این مقاله به ارائه مدلی پویا برای سیستم MRP پرداخته شده است که ضمن پیدا کردن سیاست مناسب برای ذخیره احتیاطی، آثار جانبی هر سیاست روی هزینه‌های کل موجودی و سیستم MRP قابل بررسی خواهد بود. همچنین از مزایای پژوهش حاضر بررسی همزمان نوسان‌های تقاضا و زمان پیشبرد می‌باشد که برای این منظور تقاضا و زمان پیشبرد به صورت احتمالی وارد مدل شده است.

## 3- روش‌شناسی پژوهش

با توجه به اینکه ساختار سیستم MRP تا حدی دارای ساختار علت و معلولی است و علاوه بر عوامل برونزا تحت تأثیر عوامل و ارتباطات درونزا است و با توجه به عدم وجود درک کافی درباره متغیرهای مدل و چگونگی رفتار آن‌ها تحت سناریوهای مختلف، رویکرد سیستم داینامیک ابزار مناسبی برای مدل‌سازی سیستم MRP خواهد بود، زیرا می‌توان سیاست‌های مختلف را با تغییر علت‌ها طراحی و نتایج حاصل از هر سیاست را ارزیابی نمود.

برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار ونسیم استفاده شده است که ابزاری قدرتمند برای مدل‌سازی، شبیه‌سازی، آزمون مدل و تحلیل حساسیت سیستم‌های پیچیده پویا یا دینامیکی است. پس از نوشتن مدل، اعتبارسنجی مدل بررسی شده است، در این حالت مدل تحت شرایط حدی آزمون شده است.

کارخانه تولیدی شرکت مشهد پانل بارثاوا به عنوان مورد مطالعه انتخاب شده است. محصول 3دی پانل با توجه به فرآیند ساخت و اجزای تشکیل‌دهنده آن برای اجرای مدل شبیه‌سازی MRP در نظر گرفته شده است.

برای طراحی مدل شبیه‌سازی و اعتبارسنجی آن، از داده‌های 6 ماه سال 91 (از ابتدای تیر ماه تا پایان آذر ماه)مربوط به محصول3 دی پانل استفاده شده است. اطلاعات دریافتی از شرکت مورد نظر که به عنوان ورودی مدل پویا استفاده می‌شوند، اطلاعات مربوط به تقاضای محصول

ذکر شده، زمان‌های پیشبرد مواد اولیه، هزینه‌های مربوط به نگهداری و کمبود و سایر اطلاعات تولیدی می‌باشد. برای جمع‌آوری بخشی از داده‌های پژوهش، از پرونده‌ها و اسناد موجود در شرکت از جمله درخت محصول[1]، نمودار جریان کار[2]،نمودار فرآیند جریان[3]، نقشه مونتاژ وگزارش‌های موجودی و نقل و انتقالات موجودی استفاده شده است.

هزینه‌های کل[4] سیستم در نظر گرفته شده در این مقاله، شامل هزینه‌های نگهداری[5]، هزینه‌های کمبود[6]می‌باشد و سایر متغیرهای مدل با توجه به حلقه‌های علت و معلولی شکل گرفته‌اند و توسط خود مدل، از طریق فرمول‌نویسی در نرم‌افزار ونسیم، محاسبه می‌شوند.

## 4- مدل‌سازی پویای MRP

مراحل کلی فرآیند مدل‌سازی پویا به اختصار عبارتند از:

- ✓ بیان مسئله
- ✓ تدوین فرضیه پویا
- ✓ تدوین یک مدل شبیه‌سازی (فرموله کردن مدل)
- ✓ آزمودن مدل

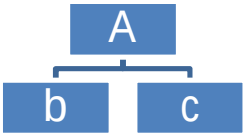
همان‌طور که پیشتر بیان شد، مسئله اصلی رسیدن به سطح مناسب ذخیره احتیاطی در هر یک از سطوح درخت محصول است، به طوری که هزینه‌های کل سیستم حداقل شود.فرضیه پویا به بیان علت رفتار مشکل‌زا می‌پردازد و یک تئوری کارآ در مورد چگونگی بروز مسئله است. در این پژوهش فرضیه پویا، نوسانات تقاضا و زمان‌های پیشبرد است که در نظر گرفتن ذخیره احتیاطی را در سیستم‌های تولیدی اجتناب‌ناپذیر می‌کند و از طرفی عدم آگاهی از سطح مناسب ذخیره‌های احتیاطی است که موجب افزایش هزینه‌های کل سیستم می‌شود.

---

1. BOM
2. OPC
3. FPC
4. Total Cost
5. Holding Cost
6.Shotage Cost

## 4-1-مفروضات مدل طراحی شده

1. مدل ارائه شده به طور کلی برای محصولی با دو جزء یا ماده اولیه است که دارای درخت محصول دو سطحی به شکل زیر باشد:




2. سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر است. با توجه به این فرض هزینه‌های سفارش‌دهی نامربوط شناخته شده و برای محاسبه هزینه کل موجودی، از مجموع هزینه نگهداری و کمبود استفاده می‌شود.

3. کمبود مجاز است و کل کمبود در هر دوره به فروش از دست رفته تبدیل می‌شود.

4. سطح خدمت در تمام سناریوها ثابت و برابر 0/95 در نظر گرفته شده است.

5. هزینه‌های نگهداری متناسب با متوسط سطح موجودی است.

6. مدل دریافت آنی و مصرف تدریجی در نظر گرفته شده است.

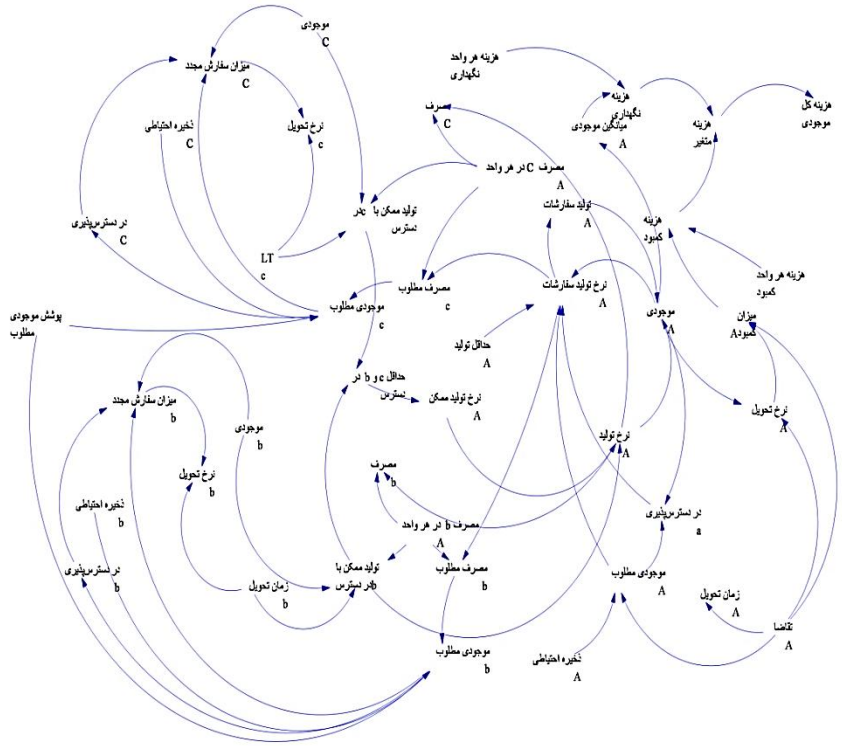
7. تقاضا و زمان پیشبرد احتمالی است.

8. دوره‌های زمانی برنامه‌ریزی روزانه و افق زمانی برنامه‌ریزی هفتگی در نظر گرفته شده است( هر هفته شامل 7 روز کاری است).

## 4-2- توسعه فرضیه پویا و نمودار علی- حلقوی

در سیستم MRP، تقاضای محصول نهایی و مقدار ذخیره احتیاطی آن، هر دو بر موجودی محصول نهایی تأثیر می‌گذارد و با افزایش هر یک از این دو متغیر، موجودی محصول نهایی افزایش پیدا می‌کند. از طرفی موجودی مطلوب بر نرخ تولید محصول اثر می‌گذارد. پوشش موجودی به همراه متغیر مصرف مطلوب مواد اولیه و ذخیره احتیاطی برای مواد اولیه بر موجودی مطلوب مواد اولیه اثر می‌گذارد، با افزایش هر یک از سه متغیر ذکر شده، موجودی مطلوب مواد اولیه افزایش می‌یابد که خود بر متغیر مقدار سفارش مجدد اثر می‌گذارد. همچنین از مقایسه موجودی محصول نهایی با تقاضای محصول نهایی، میزان کمبود محصول نهایی به

دست می‌آید، میزان کمبود محصول نهایی و هزینه هر واحد کمبود بر متغیر هزینه کمبود اثر می‌گذارد و با افزایش هر یک از این دو متغیر، هزینه کمبود افزایش پیدا می‌کند. درنهایت از جمع هزینه‌های نگهداری و کمبود، هزینه کل به دست می‌آید، در صورتی که هر یک از متغیرهای هزینه نگهداری و یا هزینه کمبود افزایش یابد، هزینه کل نیز افزایش خواهد یافت. حال سؤال این است که کدام سیاست برای ذخیره احتیاطی می‌تواند منجر به عملکرد بهتر سیستم MRP از نظر هزینه‌های موجودی شود. نمودار علی حلقوی سیستم MRP با لحاظ ذخیره احتیاطی به شرح شکل 1 است:




**شکل 1 نمودار علی حلقوی MRP**

## 4-3- معرفی متغیرها و زیر سیستم‌های مدل داینامیک پژوهش

متغیرهای مدل MRP در سطح صفر درخت محصول عبارتند از:

تقاضای محصول نهایی[1]: رفتار تقاضا از داده‌های مربوط به تقاضا در دوره‌های گذشته با شناسایی توزیع احتمال آن به دست می‌آید.

ذخیره احتیاطی محصول نهایی[2]: ذخیره احتیاطی متغیر تصمیم در این مقاله است و سیاست‌های مختلف موجود برای محاسبه ذخیره احتیاطی، سناریوهای مختلف این مدل داینامیک هستند. مدل با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف اجرا می‌شود. معیار مقایسه سناریوهای مختلف، هزینه‌های کل موجودی است.

موجودی مطلوب محصول نهایی: مجموع تقاضای هر دوره و ذخیره احتیاطی در نظر گرفته شده، موجودی مطلوب در آن دوره خواهد بود که براساس فرمول 1 پیوست می‌باشد.

موجودی محصول نهایی: متغیر حالتی که از اختلاف نرخ تولید و نرخ تحویل براساس فرمول 2 محاسبه می‌شود.

A موجودی A + = نرخ تولیدA - نرخ تحویل (2)

در فرمول بالا برای محاسبه نرخ تولید از متغیرهای کمکی زیر استفاده می‌شود:

در دسترس‌پذیری محصول نهایی: با توجه به فرمول 3 پیوست در دسترس‌پذیری محصول نهایی از راه مقایسه موجودی محصول نهایی و موجودی مطلوب به صورت زیر محاسبه می‌شود.

Aدردسترس‌پذیری =IF THEN ELSE(A موجودی > Aموجودی مطلوب , 1, 0) (3)

نرخ سفارش تولید دریافتی برای محصول نهایی: براساس فرمول 4 در صورتی که به قدر کافی موجودی محصول نهایی وجود نداشته باشد، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

---

1.Demand A.
2.Safety Stock A.

نرخ سفارشات تولید دریافتی A=IF THEN ELSE (موجودی A = MAX(( حداقل تولید A ,( موجودی مطلوب A - موجودی A ),0) (4)

در فرمول بالا، حداقل میزان تولید[1] در هر دوره حد پایینی برای تولید است که با توجه به شرایط سیستم تولیدی معین می‌شود.

سفارش‌های دریافتی تولید محصول نهایی: با توجه به فرمول 5 پیوست، از اختلاف نرخ سفارش تولید محصول نهایی و نرخ تولید محصول نهایی به دست می‌آید.

نرخ ممکن تولید محصول نهایی: این مقدار بستگی به دو متغیر دارد:

1- حداقل تولید ممکن با دو مواد اولیه دردسترس

2- نرخ سفارش تولید دریافتی برای محصول نهایی که مینیمم این دو متغیر به عنوان نرخ تولید ممکن شناخته می‌شود و در فرمول6 آمده است.

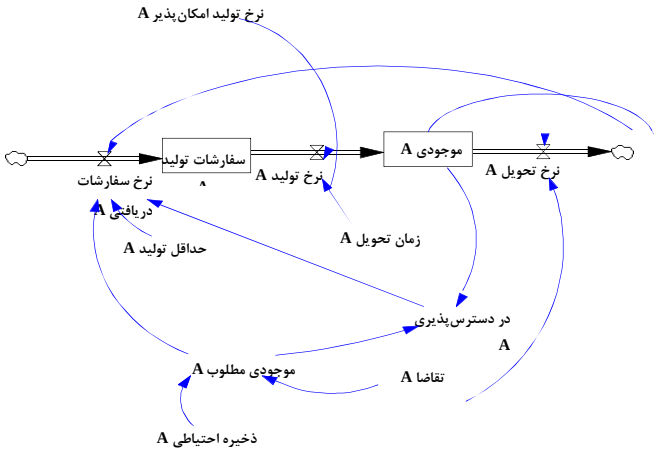
نرخ ممکن تولید A =MIN("Min دردسترس c,b ", A نرخ سفارشات تولید دریافتی) (6)

نرخ تولید محصول نهایی: با توجه به فرمول 7 پیوست نرخ تولید ممکن برای محصول نهایی با تأخیری به اندازه زمان پیشبرد تولید محصول نهایی تولید می‌شود.

نرخ تحویل محصول نهایی به مشتری: برای تحویل محصول نهایی، مدل، موجودی محصول نهایی را با تقاضای محصول نهایی مقایسه می‌کند. در صورت بیشتر بودن موجودی به اندازه تقاضا ارسال می‌شود، در غیر این صورت به اندازه موجودی ارسال شده و مقدار کمبود به فروش از دست رفته تبدیل می‌شود. این متغیر براساس فرمول 8 پیوست محاسبه می‌شود.

زمان پیشبرد تولید محصول نهایی[2]: زمانی که برای تولید یک واحد محصول نهایی نیاز است و با توجه به فرمول 9 پیوست از تقسیم تقاضای روزانه بر ظرفیت تولید روزانه به دست می‌آید. متغیرها و روابط بین آن‌ها در سطح صفر براساس زیر مدل پویای شکل 2 است:

1.Min Production A
2.LT A




**شکل 2 زیر مدل سطح صفردرخت محصول**

متغیرهای مدل برای یکی از اقلام سطح یک عبارتند از:

زمان پیشبرد مواد اولیه: فاصله زمانی بین سفارش مواد اولیه و دریافت مواد اولیه است؛

پوشش موجودی مطلوب[1]: اشاره به تعداد مطلوب تولید روزانه دارد که باید از راه مواد اولیه موجود در انبار پوشش داده شود[6]؛

نرخ مصرف مواد اولیه در هر واحد محصول نهایی[2]: مقدار اولیه مورد نیاز در هر واحد محصول نهایی است؛

موجودی ماده اولیهc: که به دو عامل نرخ تحویل و نرخ مصرف بستگی دارد و براساس فرمول 10 پیوست از اختلاف نرخ تحویل و مصرف c به دست می‌آید.

نرخ تحویل c: با توجه به فرمول 11، پیوست مقدار سفارش داده شده با تأخیری به میزان زمان پیشبرد، تحویل داده می‌شود[6].

مصرف c: از نرخ مصرف مواد اولیه در هر واحد محصول نهایی و ضرب آن در نرخ تولید محصول نهایی به دست می‌آید که در فرمول 12 پیوست نشان داده شده است.

1. Desired Coverage Inventory
2. C Usage per Order A

تولید ممکن با c در دست: این متغیر براساس فرمول 13 پیوستبه موجودی c و نرخ مصرف c در محصول نهایی و فاصله زمانی تحویل c بستگی دارد [17، صص 56-67].

مصرف مطلوب c: به میزان دریافت سفارش تولید برای محصول نهایی و نرخ مصرف مواد اولیه در محصول نهایی بستگی دارد و از ضرب این دو براساس فرمول 14 پیوست به دست می‌آید.

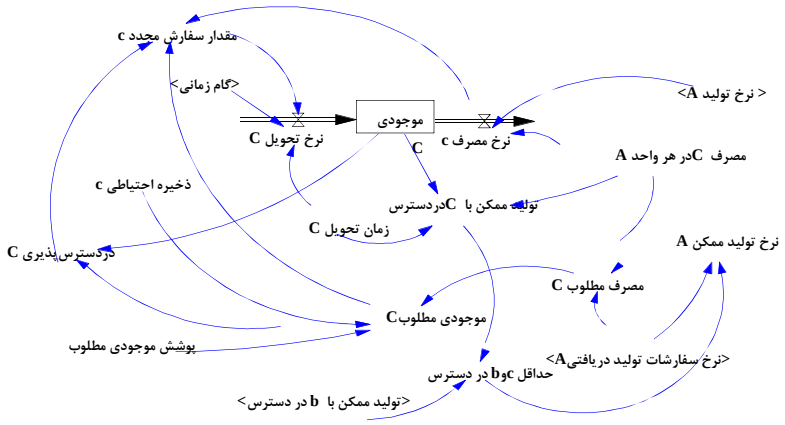
موجودی مطلوب c: به مصرف مطلوب روزانه ماده اولیه و پوشش موجودی روزانه در نظر گرفته شده و ذخیره احتیاطی ماده اولیه بستگی داردکه براساس فرمول 15 پیوست محاسبه می‌شود [6؛17، صص 56-67].

در دسترس‌پذیری c: متغیری صفر و یک است که با توجه به فرمول 16 پیوست، در صورت مقدار صفر گرفتن، سفارش برای ماده اولیه داده می‌شود.

سفارش مجدد برای c: در صورتی که در دسترس‌پذیری ماده c، صفر باشد، با توجه به فرمول 17 پیوست، سفارش مجدد انجام می‌پذیرد.

برای سایر اقلام سطح یک نیز متغیرها به همین صورت خواهند بود.

زیرمدل طراحی شده برای جزء c، سطح یک درخت محصول در شکل 3 نشان داده شده است.




**شکل 3 زیر مدل سطح یک درخت محصول**

متغیرهای زیرسیستم هزینه‌ها که برای محاسبه هزینه کل موجودی به مدل اضافه شده‌اند، عبارتند از:

هزینه نگهداری و کمبود هر واحد محصول نهایی: که به عنوان متغیر ثابت و برونزا در مدل در نظر گرفته می‌شود.

هزینه‌های متغیر: مجموع هزینه نگهداری و کمبود در هر دوره است که در فرمول 18 پیوست نشان داده شده است.

هزینه نگهداری در هر دوره: با توجه به فرمول 19 پیوست، از ضرب هزینه هر واحد نگهداری در متوسط موجودی انبار به دست می‌آید.

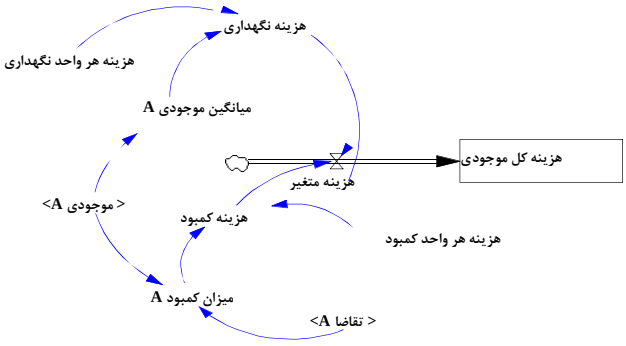
میانگین موجودی محصول نهایی: براساس فرمول 20 پیوست محاسبه می‌شود.

هزینه کمبود در هر دوره: براساس فرمول 21 پیوست، از ضرب هزینه هر واحد کمبود در میزان کمبود به دست می‌آید.

مقدار کمبود در هر دوره: با استفاده از فرمول 22 پیوست، از مقایسه موجودی محصول نهایی و تقاضای محصول نهایی، این مقدار محاسبه می‌شود.

هزینه‌های کل موجودی: متغیر انباشت هزینه‌های موجودی در طول دوره‌های شبیه‌سازی، براساس فرمول 23 پیوست است.

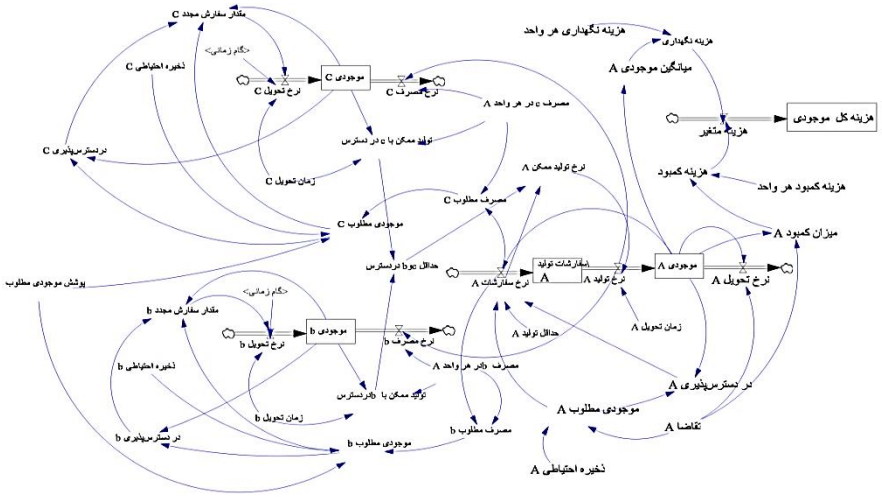
زیر مدل مربوط به هزینه‌های سیستم در شکل 4 نشان داده شده است.




**شکل 4 زیر مدل هزینه‌های موجودی**

## 4-4- طراحی مدل یکپارچه MRP

همان‌طور که گفته شد، طراحی مدل MRP برای محصولی با درخت محصول دو سطحی، با دو ماده اولیه صورت گرفته است. طراحی زیرسیستم‌های مربوط به سطح صفر، سطح یک درخت محصول و زیرسیستم هزینه‌هادر بخش قبل توضیح داده شد و در شکل‌های 3،2 و 4 نشان داده شد. با استفاده از زیر سیستم‌های معرفی شده در بخش قبل، مدل یکپارچه MRP حاصل می‌شود که براساس شکل 5 می‌باشد.




**شکل5 طراحی مدل یکپارچه MRP**

## 5-4- آزمون‌های اعتبارسنجی مدل

برای آزمودن مدل در شرایط حدی، واکنش مدل در شرایطی که تقاضا صفر شود، بررسی شده است و تأثیر آن بر نرخ دستور سفارش محصول نهایی، نرخ تولید محصول نهایی و هزینه‌های سیستم و همچنین بر زیرسیستم‌های سطح یک درخت محصول منطقی و واقع‌بینانه شناسایی شده است. همچنین از مقایسه دائمی مدل با داده‌ها و نظر متخصصان و به چالش کشیدن

توانایی مدل در تکرارهای متعدد برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده و معایب مدل شناسایی و رفع شده است.

## 5- اجرای شبیه‌سازی و بررسی سناریوهای مختلف ذخیره احتیاطی

با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده، زمان پیشبرد مواد اولیه برای شرکت مورد نظر بین یک تا سه روز است، بنابراین زمان پیشبرد به صورت توزیع یکنواخت[1؛ 3] در نظر گرفته شده است که دارای میانگین 2 و انحراف معیار 0/5 است. همچنین داده‌های گذشته مربوط به تقاضا جمع‌آوری شده است و تخمین توزیع برای داده‌های تقاضا، دارای توزیع نرمال با میانگین 470 و انحراف معیار 298 متراست. هزینه نگهداری هر واحد محصول نهایی 4000 واحد پولی و هزینه کمبود هر واحد محصول نهایی معادل 4500 واحد پولی در هرروز است.

نمادهای بکار رفته در سناریوها عبارتند از:

α= سطح خطا

$Z_\alpha$ = نمره استاندارد شده سطح خطا

LT= زمان پیشبرد

$\mu_{LT}$ = میانگین زمان پیشبرد

$\mu_D$ = میانگین تقاضا

$\delta_{DL}$ = انحراف استاندارد تقاضا طی زمان پیشبرد

با توجه به مرور کارهای انجام شده در زمینه ذخیره احتیاطی، سناریوهای زیر برای اجرای مدل داینامیک در نظر گرفته شده است:

1) ذخیره احتیاطی به عنوان تابعی از سطح خدمت و انحراف معیار تقاضا و زمان پیشبرد[14].

$$SS = Z_\alpha \delta_{DL}$$

2) محاسبه ذخیره احتیاطی به عنوان درصدی از ظرفیت انبار[21].

3) پیشنهاد شرکت، نگهداری ذخیره احتیاطی به اندازه تقاضای یک روز است.

4) ذخیره احتیاطی با تأکید بر تغییرپذیری تقاضا[16]، $SS = Z_\alpha * \sqrt{\mu_{LT}} * \delta_D$، صص 33-36].

5) ذخیره احتیاطی با تأکید بر تغییرپذیری زمان پیشبرد [16]، $SS = Z_\alpha * \delta_{LT} * \mu_D$، صص 33-36].

6) ذخیره احتیاطی با توجه به تغییرپذیری همزمان تقاضا و زمان پیشبرد و وابستگی میان این دو [16، صص 33-36].

$$SS = (Z_\alpha * \sqrt{\mu_{LT}} * \delta_D) + (Z_\alpha * \delta_{LT} * \mu_D)$$

7) ذخیره احتیاطی با توجه به تغییرپذیری همزمان تقاضا و زمان پیشبرد و استقلال میان این دو[22].

$$SS = Z_\alpha * \sqrt{(\mu_{LT} * \delta^2{}_D) + (\delta_{LT} * \mu_D)^2}$$

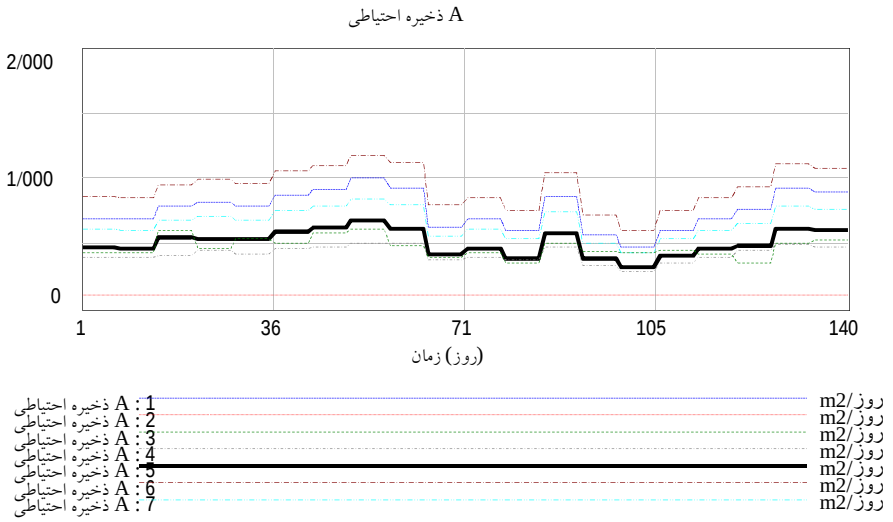
مدل طراحی شده برای140 روز شبیه‌سازی شده است. با توجه به اینکه افق زمانی برنامه‌ریزی هفتگی در نظر گرفته شده است، میانگین و انحراف استاندارد داده‌های تقاضا و زمان پیشبرد برای هر 7 روز (1 هفته کاری) محاسبه شده است.

برای محاسبه هر سناریو، در صورت نیاز از میانگین و انحراف استاندارد هفتگی تقاضا و زمان پیشبرد استفاده شده است. اطلاعات مربوط به خروجی شبیه‌سازی در جدول1آمده است. همچنین نمودارهای مربوط به مقدار ذخیره احتیاطی و هزینه‌های کل موجودی در 140 دوره شبیه‌سازی برای مقایسه سناریوهای مختلف پیشنهادی به ترتیب در شکل‌های 6 و 7 نشان داده شده است.

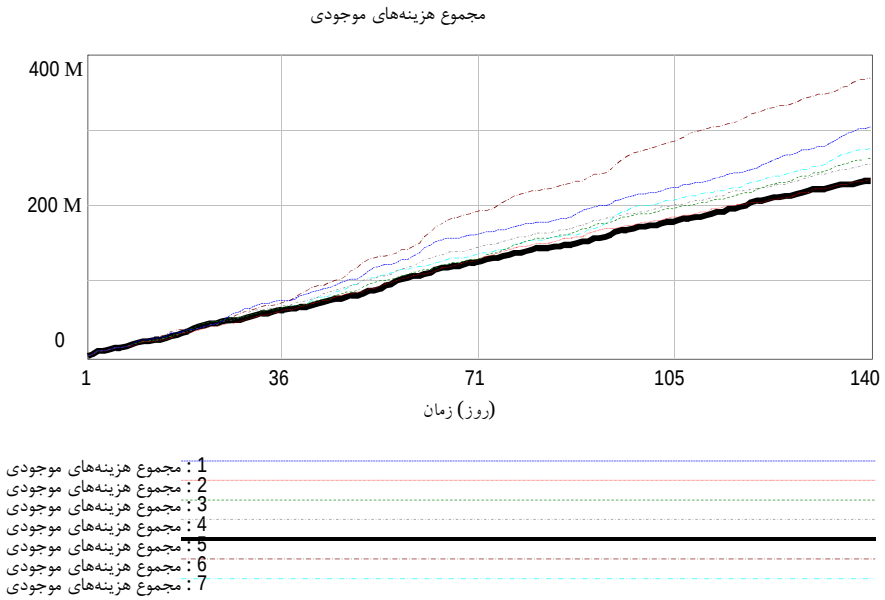
با توجه به اطلاعات جدول 1، هزینه‌های موجودی برای سناریوی شماره 5 در مقایسه با سایر سناریوها، کمترین مقدار را دارد. سناریوی شماره 5 با فرمول $SS = Z_\alpha * \delta_{LT} * \mu_D$، تأکید بیشتری بر تغییرپذیری زمان پیشبرد دارد. همان‌طور که در شکل 7 نیز مشخص است، نمودار هزینه‌های موجودی برای سناریوی 5 در پایین‌ترین وضعیت قرار دارد که نشان‌دهنده کاهش هزینه‌های موجودی در صورت استفاده از این سناریو می‌باشد.

**جدول 1 نتایج خروجی شبیه‌سازی**

| سناریو | هزینه کل موجودی تجمعی(میلیون ریال) | ذخیره احتیاطی افق زمانی آخر | هزینه موجودی افق زمانی آخر تجمعی (میلیون ریال) |
|---|---|---|---|
| 1 | 303/54 | 889/64 | 21435769 |
| 2 | 234/72 | 108 | 12918965 |
| 3 | 374/93 | 521/10 | 13060361 |
| 4 | 254/87 | 473/49 | 12121750 |
| 5 | 232/95 | 602/56 | 10302965 |
| 6 | 368/94 | 1076 | 20673276 |
| 7 | 275/79 | 766/34 | 14847314 |




**شکل 6 مقادیر ذخیره احتیاطی در هر سناریو**




**شکل 7 مقدار هزینه کل موجودی در هر سناریو**

## 6- نتیجه‌گیری

تعیین میزان مناسب ذخیره احتیاطی سیستم MRP همواره یکی ازچالش‌های پیش روی مدیران در واحدهای تولیدی بوده است، چراکه وجود ذخیره احتیاطی باعث تحمیل هزینه‌های نگهداری به سیستم می‌شود و از طرف دیگر مانع از ایجاد هزینه‌هایی همچون هزینه فرصت ازدست رفته یا هزینه توقف خط تولید می‌شود. باتوجه به مطالب بالا، مدیران همواره سعی در یافتن روش‌هایی برای تعیین سطح مناسب ذخیره احتیاطی داشته‌اند.

همان‌طورکه گفته شد، دراین مقاله هدف ارائه یک مدل داینامیک سیستم MRP برای تعیین سیاست مناسب ذخیره احتیاطی بوده است، به طوری که هزینه‌های کل موجودی به حداقل برسد. معیار انتخاب سناریوی مناسب، هزینه‌های کل موجودی می‌باشد. بنابراین

سناریوهای پیشنهادی پس از اجرا از نظر هزینه کل موجودی در طول 140 دوره شبیه‌سازی مقایسه شده‌اند. همان‌طور که جدول 1 نشان می‌دهد، سناریوی 5 (که تأکید بیشتری بر تغییرپذیری زمان پیشبرد دارد) هزینه کل موجودی کمتری دارد و به عنوان سناریوی مناسب جهت تعیین مقدار ذخیره احتیاطی انتخاب می‌شود.

همان‌طور که در مرور کارهای گذشته بیان شد، کارهای زیادی در خصوص ارائه فرمول و برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین ذخیره احتیاطی انجام شده است ولی با این وجود امکان مشاهده آثار آن‌ها بر هزینه‌های سیستم به طور کامل وجود ندارد. همچنین کارهای انجام شده در زمینه کاهش هزینه‌های سیستم موجودی [9]، تأکید خاص بر ذخیره احتیاطی ندارد و تنها به دنبال بهینه کردن هزینه‌های سیستم است. همچنین کارهای انجام شده در این زمینه با استفاده از سیستم داینامیک [6]، به ارائه سناریو برای ذخیره احتیاطی نپرداخته است و به دنبال بهینه کردن زمان احتیاطی است، در حالی که هدف این پژوهش رسیدن به سطح مناسب ذخیره احتیاطی است. در این مقاله با استفاده از قابلیت سیستم‌های پویا سعی شده است که شبیه‌سازی سیستم به شرایط واقعی نزدیک‌تر شود و در نتیجه ضعف عمده موجود در کارهای گذشته بر طرف گردد. از این رو با استفاده از مدل ارائه شده در این مقاله می‌توان قبل از اتخاذ تصمیم در خصوص ذخیره احتیاطی آن را به‌وسیله مدل طراحی شده اعمال کرد و نتایج و آثار آن را روی هزینه‌های سیستم، سایر زیرسیستم‌ها و بخش‌های مختلف سیستم مشاهده کرد و سپس تصمیم نهایی گرفت.

ایندرفول[4، صص 103-113] با استفاده از روش‌های تحلیلی، الگوریتم‌های جدیدی برای محاسبه مقدار مناسب ذخیره احتیاطی معرفی کرده است. همچنین در کار ارائه شده توسط ماکوئی و طباطبایی[10] از شبیه‌سازی تبریدی برای حل مشکل ذخیره احتیاطی استفاده شده استولی پژوهش حاضر از شبیه‌سازی سیستم داینامیک برای حل این مشکل در واحدهای تولیدی استفاده کرده است.

در کار انجام شده توسط لولی و دالگوی[ 5، صص 723-731] نیز به بررسی MRP احتمالی پرداخته شده است، اما در این پژوهش تقاضا ثابت در نظر گرفته شده است وتنها عدم اطمینان‌های زمان پیشبرد لحاظ شده است، در حالی که کار ارائه شده در این پژوهش به بررسی همزمان عدم اطمینان‌های تقاضا و زمان پیشبرد می‌پردازد.

در مقاله‌های وانگ و تانگ [17، صص 56-67]و آلبرت[20، صص 342-349] نیز از روش‌های ابتکاری برای حل مشکلات موجودی استفاده شده است. همچنین در مقاله اسپیچار[18، صص 1350-1355] از سیستم داینامیک در برنامه‌ریزی ظرفیت استفاده شده است، در حالی که در مقاله حاضر از روش سیستم داینامیک برای شبیه‌سازی سیستم MRP با در نظر گرفتن حالت احتمالی برای تقاضا و زمان پیشبرد به طور همزمان برای رسیدن به سطوح مناسب ذخیره احتیاطی استفاده شده است.

همان‌طور که گفته شد، مدل طراحی شده مربوط به درخت محصول دو سطحی است و برای سیستم با سیاست سفارش‌دهی بهر به بهر با در نظر گرفتن کمبود به عنوان فروش از دست رفته کاربرد دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که این مدل برای سایر سیاست‌های سفارش‌دهی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان با ایجاد تغییراتی این مدل را برای حالت سفارش‌های معوقه به جای فروش از دست رفته استفاده کرد. درنهایت این مدل در یک شرکت تولیدی اجرا شده است و پیشنهاد می‌شود که این مدل در چندین شرکت دیگر آزمون و بررسی شود.

## 7- منابع

[1] براونج، هارنج، شیونانج؛ سیستم‌های مدیریت تولید (با نگرشی یکپارچه)؛ ترجمه م. غضنفری، س. صغیری، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، 1387.

[2] MurthyD.N.P.,Ma.L.;"MRP with uncertainty: A review and some extensions"; *International Journal of Production Economics*, Vol. 25,1991.

[3] استرمن، جان د.؛ پویایی شناسی کسب‌وکار، ترجمه (ک.برارپور، پ، موسوی، ب. بهزاد، م، امامی، ل. رضایی، ح. فغانی)، ج. اول، صفحه 19، تهران: سمت، مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی، 1388.

[4] InderfurthK.;"Safety stock optimization in multi-stage inventory systems"; *International Journal of Production Eonomics*, Vol. 24 ,1991.

[5] AlyOuldLoulyM., DolguiA.; "Calculating safety stocks for assembly systems with randomcomponent procurement lead times: A branch and bound algorithm";*European Journal of Operational Research*, Vol. 199,2009.

[6] Al-RefaieM. Al-Tahat, Jalham. I.; A system dynamics approach to reduce total inventory cost in an airline fueling system;*Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, U.K., Vol. I, WCE, June 30 - July 2, 2010.

[7] J. MulaR., PolerJ. P. Garcia; MRP with flexible constraints: Afuzzy mathematical programming approach; *Fuzzy Sets and Systems* 157, 2006.

[8] PersonaaA., BattiniaD., ManzinibR., Pareschib.A.; "Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturing components"; *Int. J. Production Economics*, Vol. 110, 2007.

[9] لطفی، م.، رضائی نصرتی و.، معمائی آ.؛ ارائه مدل برای سیستم کنترل موجودی مواد اولیه (مطالعه موردی: صنایع چوب و کاغذ مازندران)؛ بازیابی شده از http://www.betsa.ir/post/category/11.

[10] ماکوئی، ا. ، طباطبائی ر.؛ الگوریتم تخصیص مقادیر ذخیره احتیاطی در یک زنجیره تأمین بازیابی شده از http://www.SID.ir.

[11] ربّانی آ.؛ استفاده از رویکرد فازی در مسئله تعیین اندازه انباشته چند سطحی، چند قلمی با ظرفیت محدود درسیستم‌های مبتنی برMRP؛ *فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی*، واحد سنندج، س. پنجم، ش. *15*،بهار1390.

[12] InderfurthK., VogelgesangS.; "Concepts for safety stock determination under stochastic demand and different types of random production yield"; *European Journal of Operational Research*, No. 224, 2012.

[13] BeutelA., StefanMinnerN.; "Safety stock planning under causal deman forecasting"; *Int. J. Production Economics*, No. 140, 2012.

[14] حاج شیر محمدی ع.؛ اصول برنامه‌ریزی و کنترل تولید و موجودی‌ها؛ اصفهان، انتشارات ارکان دانش، 1378.

[15] OrcunaS., UzsoybR., Karl G. Kemp F.; "An integrated production planning model with load-dependent lead-times and safety stocks"; *Computers and Chemical Engineering*, No.33, 2009.

[16] Peter L., KingCSCP;Understanding safety stock and mastering its equations, APICS magazine;July/August 2011.

[17] Daqin Wang, Ou Tang; "Dynamic inventory rationing with mixed backorders and lost sales"; *Original ResearchArticle International Journal of Production Economics*,Vol. 149, March 2014.

[18] RadimŠpicar, System Dynamics Archetypes in Capacity Planning Original Research ArticleProcedia Engineering,Vol. 69, 2014.

[19] Xun Wang, Stephen M., Disney, Jing Wang; "Exploring the oscillatory dynamics of a forbidden returns inventory system"; *OriginalResearch Article International Journal of Production Economics*, Vol. 147, Part A., January 2014

[20] Martin Albrecht, Determining near optimal base-stock levels in two-stage generalinventory systems; *Original Research Article European Journal of OperationalResearch*, Vol. 232, Issue 2, 16 January 2014.

[21] Mustefa MussaY.; A system dynamics model for operations management improvement in multi-plant Enterprise; Faculty of Technology, Policy and Management Energy and Industry Section Delft University of Technology, August 2009.

[22] A New Framework for Safety Stock Management, Cognizant 20-20 Insights, December 2011.