چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۲۶ ـ تابستان ۱۳۹۶
ص‌ص ۱۰۸ – ۸۳

تعیین سیاست‌های مدیریت موجودی در تولید فرآیندی با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد

سیما مطلبی*، مصطفی زندیه**

چکیده

توجه روزافزون به خواسته‌های مشتریان در فرآیند تولید محصولات و همچنین ویژگی‌ها و هزینه‌های اجتناب‌ناپذیر فرآیندهای تولید، پژوهشگران و صنعتگران را به‌سوی مدیریت سفارش‌ها و انتخاب درست سیاست مدیریت موجودی هدایت کرده است. پژوهش پیش رو به‌دنبال یافتن ساختاری برای تعیین مکان بهینه نقطه نفوذ سفارش مشتری و سیاست بهینه مدیریت موجودی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تصمیم‌های استراتژیک در فرآیند تولید است؛ به این منظور، مدلی مبتنی بر شبیه‌سازی گسسته پیشامد برای محاسبه واقع‌بینانه معیارهای هزینه و زمانِ در جریان ساخت، تحت سناریوهای مختلف طراحی شد. برای اعتبارسنجی و اجرای مدل، اطلاعات تولید و فروش یک کارخانه تولید مواد شیمیایی مورداستفاده قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که استفاده ترکیبی از سیاست‌های مدیریت موجودی، باعث کاهش هزینه‌ها و زمان تحویل سفارش‌ها می‌شود.

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی گسسته پیشامد؛ تولید فرآیندی؛ مدیریت موجودی؛ نقطه نفوذ سفارش مشتری.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۲۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵.

* کارشناس ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
** دانشیار، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول).
E-mail: m_zandieh@sbu.ac.ir

۱. مقدمه

باتوجه به رقابتی‌شدن بازارهای جهانی در صنایع گوناگون و همچنین نقش روزافزون برآورده‌ساختن الزامات مشتریان در ایجاد مزایای رقابتی برای تولیدکنندگان محصولات، تلاش صنایع برای مشتری‌مداری افزایش زیادی یافته است؛ به همین علت در سال‌های اخیر، در فضای تولیدی در صنایع مختلف، نقش مشتریان و خواسته‌های آن‌ها در فرآیند آماده‌سازی و ارائه محصولات بسیار بیشتر شده است [۱۴]. ورود مؤثر مشتریان به فرآیند آماده‌سازی محصولات، از ابتدا تا انتهای زنجیره تأمین محصول، به شکل‌گیری سیستم‌های تولیدی منجر شده است که در آن‌ها فرآیند آماده‌سازی و تولید، بدون حضور یک سفارش مشخص آغاز نمی‌شود؛ بنابراین تعیین مکان بهینه نقطه نفوذ سفارش مشتری و انتخاب سیاست بهینه مدیریت و نگهداری موجودی، اهمیت بسیار زیادی دارد [۱۲].

به‌طورکلی در تولید فرآیندی سه سیاست کلی برای مدیریت و نگهداری موجودی به‌کار گرفته می‌شود: تولید برای انبار[1] (MTS)؛ تولید بر اساس سفارش[2] (MTO) و تأخیر در تمایز[3] (DD) [۸]. انتخاب درست سیاست‌های مدیریت موجودی می‌تواند موجب انعطاف‌پذیری، پاسخگویی به نوسانات تقاضا و ارائه محصولاتی با تنوع بالاتر شود؛ اما با توجه به عدم‌قطعیت در تقاضای محصولات و ماهیت پویای عملیات، تشخیص سیاست درست برای صنایع آسان نیست؛ ازاین‌رو در این پژوهش پژوهشگران به دنبال ارزیابی اثر به‌کارگیری سیاست‌های مدیریت موجودی هستند.

در تولید فرآیندی (در صنایعی مانند صنایع شیمیایی و مواد غذایی)، با توجه به تولید محصولات متعدد و شرایط نگهداری خاص برای هر محصول، موضوع مدیریت موجودی، اهمیت زیادی دارد. به‌دلیل پیچیدگی ساختاری موضوع و عدم‌قطعیت پارامترهایی مانند تقاضای محصولات، تکنیک شبیه‌سازی گسسته پیشامد برای تخمین واقع‌بینانه معیارها به‌کار می‌رود. ابتدا، سیاست‌های MTS، MTO و DD به‌صورت خالص، مدل‌سازی، اجرا و مقایسه می‌شود. «خالص» به این معنا است که یک سیاست برای تمام محصولات اعمال می‌شود؛ سپس دو سیاست ترکیبی MTS/DD برای محصولاتی با هزینه فساد بالا ایجاد شده و با مقایسه این پنج سیاست، سیاست بهینه تعیین خواهد شد؛ درنتیجه اهداف این پژوهش عبارت‌اند از: معرفی و شناخت سیاست‌های مدیریت موجودی در صنایع فرآیندی؛ طراحی مدل شبیه‌سازی کارا برای بررسی و انتخاب بهترین سیاست و تعیین سیاست‌های مدیریت موجودی برای بهبود عملکرد کارخانه‌هایی با تولید فرآیندی.

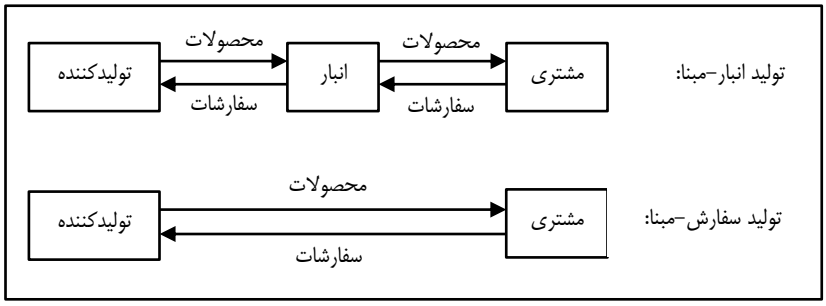
1. Make-To-Stock
2. Make-To-Order
3. Delayed Differentiation

به‌طورخلاصه پرسش‌های پژوهش عبارت‌اند از:
۱. عوامل مؤثر بر انتخاب سیاست‌های مدیریت موجودی کدام‌اند؟
۲. سیاست‌های مدیریت موجودی برای هرکدام از محصولات موردبررسی به چه صورت است؟

این پژوهش از نظر علمی، تأثیر انتخاب سیاست‌های مدیریت موجودی بر هزینه‌های تولید را بررسی می‌کند و می‌تواند راهنمای مفیدی به‌منظور بهبود عملکرد سیستم‌های سفارش‌دهی و انبارداری به مدیران ارائه دهد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پیشینه نظری. سیستم‌های تولید و مدیریت موجودی به شکل‌های متفاوتی برنامه‌ریزی می‌شوند. به‌طورکلی سیستم‌های تولید قطعات گسسته به سیستم‌های انبار ـ مبنا و سفارش ـ مبنا تقسیم می‌شوند (شکل ۱) [۷].



شکل ۱. سیستم‌های مدیریت موجودی

انواع سیستم‌های تولید و مدیریت موجودی عبارت‌اند از:
۱. ساخت برای انبار (MTS): در این سیستم، محصولات طبق تقاضای پیش‌بینی‌شده تولید و سپس در انبار نگهداری می‌شوند تا به‌فروش برسند. سیاست MTS باعث کاهش زمان ارائه محصول به مشتری می‌شود؛ اما هزینه‌های موجودی (هزینه‌های نگهداری و خواب سرمایه) و هزینه‌های فساد محصولات را افزایش می‌دهد [۵].
۲. مونتاژ بر اساس سفارش (ATO)[1]: در این سیستم قطعات و محصولات نیمه‌ساخته از قبل تهیه شده و به‌محض دریافت سفارش مشتری، محصول نهایی مونتاژ و آماده و به مشتری تحویل داده می‌شود. در این روش نیز زمان ارائه محصول به مشتری تقریباً کوتاه است.

1. Assemble-To-Order

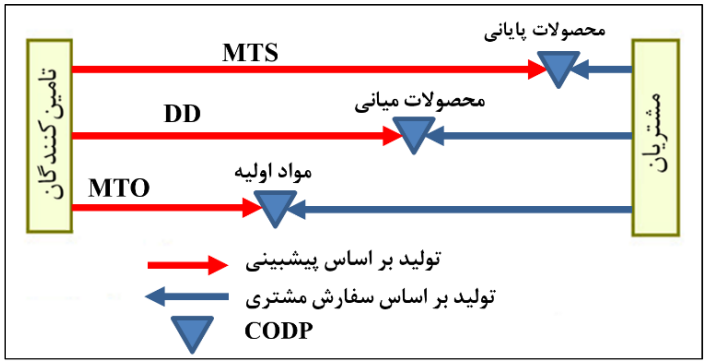
۳. ساخت بر اساس سفارش (MTO): در این سیستم‌ها طرح‌ها یا ترکیبات محصولات از قبل موجود است و مشتری یک محصول را انتخاب می‌کند و سپس تولید انجام می‌شود. ویژگی سیستم‌های MTO، زمان تحویل طولانی، هزینه نگهداری پایین و انعطاف‌پذیری بیشتر تولید است.

۴. مهندسی بر اساس سفارش (ETO)[1]: این سیستم در شرکت‌های تولیدکننده ساختارهای پیچیده استفاده می‌شود. محصول در این سیستم بر اساس مشخصات موردنظر مشتری طراحی می‌شود و سفارش هر یک از مشتریان به مجموعه منحصربه‌فردی از قطعات، فهرست مواد و فرآیند نیاز دارد [۷].

در صنایع فرآیندی سیستم ETO کاربردی ندارد و سیستم ATO نیز به صورتی که مطرح شد به‌کار نمی‌رود؛ چراکه در این صنایع واژه مونتاژ مفهومی ندارد و این سیستم باعنوان «تأخیر در تمایز (DD)» مطرح می‌شود. در این سیاست محصولات میانی در مخازن ذخیره‌سازی موقت ذخیره می‌شوند و بعد از دریافت سفارش، تولید آن‌ها تکمیل می‌شود و به اتمام می‌رسد. دلیل به‌کارگیری سیاست DD این است که محصولات میانی می‌توانند برای تولید چندین محصول نهایی استفاده شوند. سیاست DD به ذخیره‌سازی محصولات میانی نیاز دارد و برای فرایندهایی مناسب است که محصولات در حین فرایند تولید متمایز می‌شوند. ازآنجاکه محصولات میانی در این روش ذخیره می‌شوند، این سیاست زمان تولید (در مقایسه با سیاست MTO) و هزینه‌های فساد محصولات (در مقایسه با سیاست MTS) را کاهش می‌دهد [۱۵].

نقطه نفوذ سفارش مشتری (CODP)[2] مرحله‌ای در چرخه تولید است که در آن، یک محصول خاص به سفارش یک مشتری خاص مرتبط می‌شود و بخشی از سازمان را که به سفارش‌ها مشتریان مربوط است از بخش پیش‌بینی و برنامه‌ریزی سازمان، جدا می‌کند [۹]. انتخاب فرآیند تولید، به‌طوری‌که منطبق بر نیازهای بازار و شرایط تولید باشد، عمیقاً با موقعیت CODPمرتبط است [۲۱]. هرچه CODP به انتهای زنجیره تولید نزدیک‌تر باشد، باعث کاهش زمان تحویل سفارش به مشتری و افزایش قدرت پاسخگویی به مشتریان و نیز افزایش موجودی مواد اولیه و نیم‌ساخته در ایستگاه‌های ماقبل این نقطه می‌شود؛ در مقابل هرچه CODP به ابتدای زنجیره نزدیک‌تر شود، سبب کاهش موجودی مواد اولیه و نیم‌ساخته، افزایش زمان تحویل محصولات به مشتری و افزایش امکان سفارشی‌سازی می‌شود (شکل۲) [۱۲].

1. Engineer-To-Order
2. Customer Order Decoupling Point



شکل ۲. CODP در سیاست‌های مختلف

پیشینه تجربی. پژوهش‌ها در زمینه مسئله بررسی سیستم‌های مدیریت موجودی و سفارش‌دهی بسیار محدود هستند؛ ولی در سال‌های اخیر پژوهشگران به پژوهش در این حوزه علاقه‌مند شده‌اند. پژوهش ون‌دانک (۲۰۰۱)، نخستین پژوهشی که به‌طور مشخص به یافتن نقطه نفوذ سفارش مشتری در محیط‌های تولیدی پرداخته و چارچوبی برای تشخیص عوامل مرتبط با سیاست‌های مدیریت موجودی ارائه کرده است و این پژوهش تعیین می‌کند که عوامل مختلفی، مانند امکان ذخیره‌سازی محصولات میانی و ظرفیت انبارها، در تصمیم‌گیری اینکه محصولات باید از کدام‌یک از سیاست‌های MTO یا MTS پیروی کنند، مؤثر هستند.

اولگر (۲۰۰۳)، با ارائه شاخص‌های تصمیم‌گیری در سه دسته بازار، محصول و فرآیند، تحلیل‌های بیشتری را در رابطه با فعالیت‌های تولیدی قبل و بعد از نقطه نفوذ سفارش شرح داد و دو شاخص اصلی در انتخاب سیاست‌های MTS و MTO را بی‌ثباتی تقاضا و نسبت مدت‌زمان تولید به مدت‌زمان تحویل معرفی کرد. سومن و همکاران (۲۰۰۴)، مطالعاتی در سیستم ترکیبی MTO/MTS در تولید فرآیندی انجام دادند و یک چارچوب سه‌سطحی (تعیین استراتژی تولید ـ مقدار ذخیره‌شده محصولات و زمان تحویل محصولات ـ فرآیند ترخیص سفارش‌ها و زمان‌بندی تولید) ارائه کردند. سو و همکاران (۲۰۰۵)، با بیان اینکه سیاست MTO شکلی از سیاست DD است که در آن محصولات از مرحله سفارش متفاوت هستند، مدل‌هایی برای دو نوع ساختار DD در سفارشی‌سازی انبوه توسعه دادند و عملکرد آن‌ها را از لحاظ هزینه کل زنجیره تأمین و زمان انتظار مشتری سنجیدند.

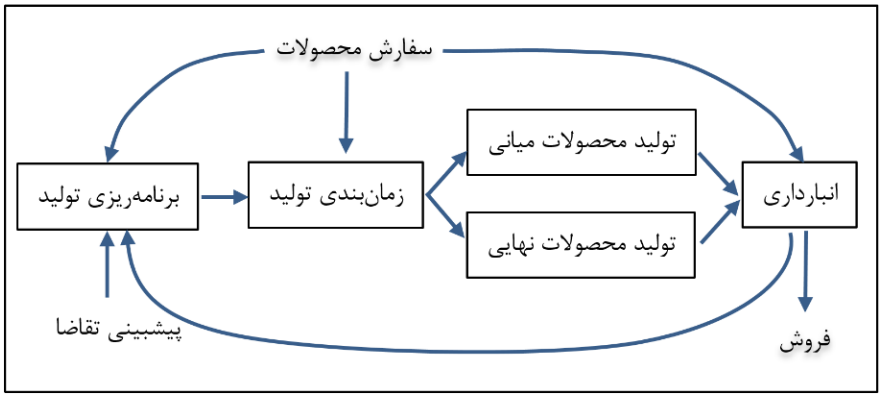
راجرز و ناندی (۲۰۰۷)، با کمک شبیه‌سازی گسسته پیشامد، مدلی در محیط MTO با ظرفیت ثابت و کنترل ورودی به‌وسیله جریمه دیرکرد سنگین، طراحی کردند و به این نتیجه رسیدند که این روش، تاریخ تحویل سفارش‌ها را بهبود نمی‌بخشد، بلکه باید تعدادی از سفارش‌ها را رد کنند. کوبر و هینک (۲۰۱۲)، با استفاده از تکنیک پویایی‌شناسی سیستم‌ها یک سیستم ترکیبی با استفاده از مزایای دو سیاست MTO و MTS معرفی کرده و استراتژی‌های تولید را بر

اساس یک تولیدکننده جهانی ماشین‌آلات کشاورزی ارزیابی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که استراتژی MTO در صورت عدم‌محدودیت ظرفیت تولید، بسیار سازگار است؛ ولی درعمل، سیاست MTO برای بازار موردنظر و عملکرد سازمان‌ها دور از دسترس است. در شرایط عدم‌اطمینان تقاضا، محصولات استاندارد به استراتژی MTS سوق پیدا می‌کنند و به‌طور خلاصه، یک استراتژی تولید ترکیبی MTS/MTO به دستیابی به یک بازار بهتر و عملکرد عملیاتی بالاتر منجر می‌شود.

شاردا و اکیا (۲۰۱۲)، با مقایسه سیاست‌های مدیریت موجودی MTS و DD و سیاست ترکیبی DD/MTS با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد، در مورد انتخاب سیاست بهینه تصمیم‌گیری کردند. در این پژوهش معیارهای هزینه محاسبه‌شده برای سیاست‌های MTS، DD و سیاست‌های ترکیبی مقایسه شدند. گان و اتیکن (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های تقاضا و الگوریتم تشخیص داده‌های پرت، سیاست‌های MTS و MTO را بررسی کردند. نتایج نشان داد که استراتژی MTS می‌تواند به سطح بالایی از هزینه‌های موجودی منجر شود؛ اما سیاست MTO از نظر صرفه‌جویی در هزینه‌های موجودی بسیار خوب عمل می‌کند؛ بنابراین شناسایی و استفاده از سیاست‌هایی مثل MTO که به‌صورت ترکیبی با MTS اجرا شوند، لازم است.

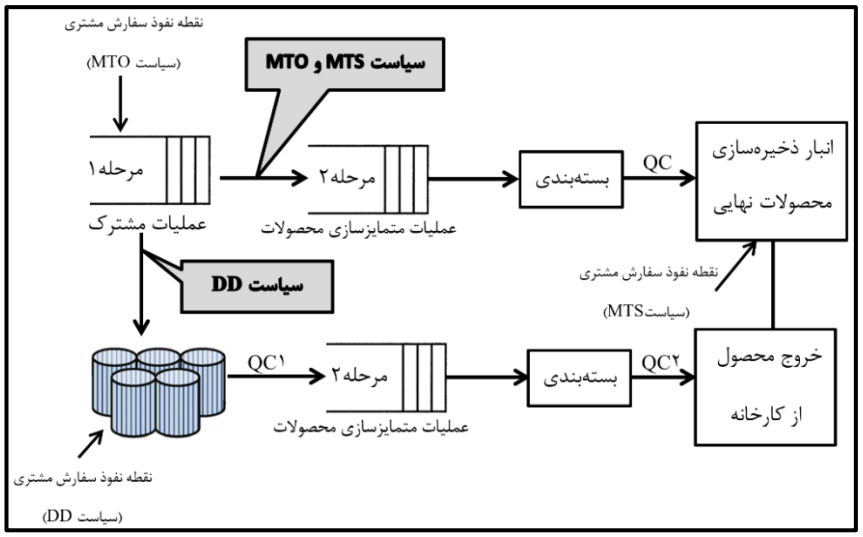
در پژوهش‌های اخیر، گان و اتیکن (۲۰۱۵)، راجرز و ناندی (۲۰۰۷) و کوبر و هینک (۲۰۱۲) به بررسی عملکرد سیاست‌های مدیریت موجودی پرداخته‌اند؛ اما سیاست‌های ترکیبی، بررسی نشده‌اند. در پژوهش شاردا و اکیا (۲۰۱۲)، سیاست‌های ترکیبی مطالعه شده است؛ اما محاسبه واقع‌بینانه‌ای از معیارهای هزینه در این پژوهش صورت نگرفته است و هزینه‌هایی ازقبیل هزینه‌های انبارداری و خواب سرمایه محاسبه نشده‌اند؛ بنابراین با توجه به اینکه در پژوهش‌های پیشین سیاست‌های مدیریت موجودی در تولید فرآیندی، به‌صورت جامع، مقایسه نشده‌اند، این پژوهش در پی مقایسه جامع سیاست‌های مدیریت موجودی در تولید فرآیندی با محاسبه واقع‌بینانه معیارهای هزینه و زمانِ در جریان ساخت با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی گسسته پیشامد است.

مدل مفهومی. شکل ۳، ساختار کلی فعالیت‌های اصلی سیستم را نشان می‌دهد. فعالیت‌ها به‌طورکلی به برنامه‌ریزی تولید، زمان‌بندی تولید، تولید محصولات میانی، تولید محصولات نهایی و انبارداری دسته‌بندی می‌شوند.



شکل ۳. ساختار کلی سیستم

در برنامه‌ریزی تولید، میزان تولید هفتگی و ماهانه با استفاده از سفارش‌های مشتریان، پیش‌بینی تقاضا و موجودی فعلی تعیین می‌شود. در بخش زمان‌بندی تولید، زمان انتظار تکمیل سفارش‌ها و اولویت‌بندی تولید محصولات میانی و نهایی مشخص می‌شود. تولید محصولات میانی و نهایی با ترکیب شیمیایی متفاوت براساس برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید صورت می‌گیرد و درنهایت در بخش انبارداری ظرفیت انبارها و مخازن ذخیره‌سازی و هزینه‌های نگهداری و انبارداری محصولات مشخص شده و موجودی محصولات ذخیره‌شده بر اساس فروش و یا فساد محصولات به‌روز می‌شوند. برای ارائه یک مفهوم بهتر از فرآیند برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی، جزئیات تولید در کارخانه در شکل ۴، نشان داده شده است.



شکل ۴. مدل مفهومی مسئله

به‌طورکلی فرآیند تولید به این صورت است که انواع محصولات میانی تولید و در مخازن ذخیره‌سازی موقت ذخیره می‌شوند. پس از آزمون اول کنترل کیفیت (QC۱)، مواد شیمیایی دوباره به رآکتور تولید منتقل شده و محصولات نهایی تولید و بسته‌بندی می‌شوند. پس از آزمون دوم کنترل کیفیت (QC۲)، محصولات به انبار و از آنجا برای مشتریان ارسال می‌شوند. برای بیان روابط ریاضی مدل، اجزای اصلی سیستم مطابق شکل ۳، تشریح شده و روابط ریاضی تعریف می‌شوند:

ورودی اصلی برنامه‌ریزی تولید، تقاضای محصولات است. برنامه‌ریزی تولید به‌صورت هفتگی، با استفاده از تقاضای هفته‌های پیشین صورت می‌گیرد. در هر سفارش اطلاعات ثبت‌شده شامل تاریخ ورود سفارش به سیستم، موعد تحویل سفارش، مقدار سفارش یا مقدار محصول موردنیاز و ID محصول (شماره شناسایی محصولات) است.

به‌دلیل عدم‌دقت و تنوع تقاضای ماهانه، در شبیه‌سازی، سفارش‌های «واقعی» و «موردانتظار» به‌صورت تصادفی از مجموعه داده‌های کارخانه موردمطالعه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. سفارش‌های «واقعی» نشان‌دهنده نیاز واقعی مشتریان است و سفارش‌های «موردانتظار» نشان‌دهنده پیش‌بینی برنامه‌ریزی تولید بوده و برای تقاضای محصول در ماه آینده و برای تکمیل مجدد ظرفیت موجودی استفاده می‌شود. اختلاف بین این نوع سفارش نشان‌دهنده تنوع تقاضا و عدم‌اطمینان است.

نخستین گام در فرایند ارزیابی سفارش‌ها، تعیین لزوم پردازش سفارش در هفته جاری است که از طریق بررسی زمان انتظار برای تکمیل سفارش‌ها تعیین می‌شود.

$$LT = ODD - (PTMP + PTFP + TQCTT)$$ رابطه (۱)

LT: زمان انتظار برای تکمیل سفارش‌ها[1]

ODD: موعد مقرر تحویل سفارش[2]

PTMP: مدت‌زمان تولید محصول میانی[3]

PTFP: مدت‌زمان تولید محصول نهایی[4]

TQCTT: مدت‌زمان بررسی کنترل کیفیت[5]

1. Lead Time
2. Order Due Date
3. Production Time of Middle Product
4. Production Time of Final Product
5. Total QC Test Time

گام بعدی در فرآیند ارزیابی سفارش‌ها، بررسی موجودی خالص در دسترس برای تولید محصول است.

$$NIH = TPW + TPQCT + PP$$ رابطه (۲)

NIH: موجودی خالص دردسترس[۱]
TPW: موجودی خالص در انبار[۲]
TPQCT: محصولات در مرحله کنترل کیفیت[۳]
PP: سفارش‌ها در حال تولید[۴]

زمان‌بندی تولید برای محصولات، بر اساس زمان انتظار برای تکمیل سفارش‌ها، شبیه‌سازی می‌شود. برای تولید محصولات میانی، زمان انتظار برای تکمیل، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MPLT = ODD - (PTMP + PTFP + TQCTT)$$ رابطه (۳)

MPLT: زمان انتظار برای تولید محصولات میانی[۵]

برای تولید محصولات نهایی، زمان انتظار برای تکمیل، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$FPLT = ODD - (PTFP + TQCTT)$$ رابطه (۴)

FPLT: زمان انتظار برای تولید محصولات نهایی[۶]

محصولات میانی و نهایی که از آزمون کنترل‌کیفیت عبور می‌کنند، برای ذخیره‌سازی به مخازن ذخیره‌سازی موقت و انبارها ارسال می‌شوند. این محصولات، سطح موجودی در انبار را افزایش می‌دهند. عمر مفید مواد شیمیایی در دو حالت فله‌ای (در واحد ذخیره‌سازی موقت) و بطری‌های پرشده (در انبار محصولات نهایی)، به‌صورت روزانه بررسی می‌شود. برای پیگیری عمر مفید مواد شیمیایی، زمانی که یک دسته از مواد تولید می‌شود، زمان تولید بلافاصله به‌صورت تمبرهای زمانی[۷] ثبت می‌شود.

1. Net Inventory on Hand
2. Total Product in The Warahous
3. Total Product Under QC Test
4. Product in Progress
5. Middle Production Lead Time
6. Final Production Lead Time
7. Time Stamp

این تمبرها در واحدهای ذخیره‌سازی موقت و انبار محصولات نهایی پیگیری می‌شود. محصولات شیمیایی دور انداخته می‌شوند اگر:

رابطه (۵)
$$CT > SL + TS$$

CT: زمان فعلی سیستم[1]
SL: عمر مفید محصولات[2]
TS: تمبر زمانی

دیر رسیدن محصول به مشتری بیشتر از یک روز تأخیر محسوب می‌شود:

رابطه (۶)
$$OOF\ (\%) = \frac{\sum_i U_i}{\sum_i Q_i}$$

OOF: درصد تکمیل به‌موقع سفارش‌ها[3]
I: اندیس محصول
Ui: کل سفارش‌ها به‌موقع تکمیل‌شده محصول i
Qi: کل سفارش‌ها دریافت شده برای محصول i

هزینه‌های راه‌اندازی (تمیزکردن رآکتور بعد از هر بار تولید):

رابطه (۷)
$$SC\ (\$) = \sum_{m} C_m^{fl} \times N_m^{fl}$$

SC: هزینه راه‌اندازی[4]
M: روش‌های ذخیره‌سازی متفاوت
C_m^{fl}: هزینه تمیزکردن رآکتور در هر تغییر، بعد از متوسط m بار تولید
N_m^{fl}: تعداد متوسط m بار تغییرات

1. Current Time
2. Shelf Life
3. Ontime Order Fulfillment
4. Setup Cost

هزینه‌های فساد محصولات میانی و نهایی:

$$SLEC\ (\$) = CMiddle + CFinal$$ رابطه (۸)

SLEC: هزینه فساد محصولات[1]
CMiddle: هزینه فساد محصولات میانی در واحدهای ذخیره‌سازی موقت
CFinal: هزینه فساد محصولات نهایی بسته‌بندی‌شده در انبار

$$C^{Middle}\ (\$) = \sum_{k} C_k^{Middle} \times Q_k^{Middle}$$ رابطه (۹)

C_k^{Middle}: هزینه فساد محصول میانی k
Q_k^{Middle}: میزان کل (kg) محصول میانی k فاسدشده

$$C^{Final}\ (\$) = \sum_{i} C_i^{Final} \times Q_i^{Final}$$ رابطه (۱۰)

C_i^{Final}: هزینه فساد محصول نهایی i
Q_i^{Final}: میزان کل (kg) محصول نهایی i فاسد شده

هزینه‌های تأمین موجودی نمایانگر هزینه‌های صرف‌شده قبل از نیاز به آن در مواد اولیه، محصولات میانی و محصولات نهایی است که هزینه خواب سرمایه و هزینه‌های نگهداری را شامل می‌شود. محاسبه بخش عمده هزینه‌های موجودی مواد شیمیایی به شرح زیر صورت می‌گیرد:

$$OC\ (\$) = O^{Material} + O^{Middle} + O^{Final}$$ رابطه (۱۱)

OC: هزینه خواب سرمایه[2]
$O^{Material}$: هزینه خواب سرمایه مواد اولیه
O^{Middle}: هزینه خواب سرمایه محصولات میانی
O^{Final}: هزینه خواب سرمایه محصولات نهایی

1. Shelf Life Expiration Cost
2. Opportunity Cost

رابطه (۱۲) $$O^{Material} = \sum_j I_j^{Material} \times K_j^{Material} \times T_j^{Material} \times \text{Interest rate}$$[1]

$I_j^{Material}$: قیمت هر کیلوگرم مواد اولیه j
$K_j^{Material}$: میزان کل (kg) مواد اولیه اضافی j
$T_j^{Material}$: زمان اضافی باقی‌ماندن مواد اولیه j در انبار

رابطه (۱۳) $$O^{Middle} = \sum_k I_k^{Middle} \times K_k^{Middle} \times T_k^{Middle} \times \text{Interest rate}$$

I_k^{Middle}: هزینه هر کیلوگرم مواد به‌کاررفته در تولید محصول میانی k
K_k^{Middle}: میزان کل (kg) محصول میانی اضافی k
T_k^{Middle}: زمان اضافی باقی‌ماندن‌محصول میانی k در انبار

رابطه (۱۴) $$O^{Final} = \sum_i I_i^{Final} \times K_i^{Final} \times T_j^{Final} \times \text{Interest rate}$$

I_i^{Final}: هزینه هر کیلوگرم مواد به‌کاررفته در تولید محصول نهایی i
K_i^{Final}: میزان کل (kg) محصول نهایی اضافی i
T_i^{Final}: زمان اضافی باقی‌ماندن محصول نهایی i در انبار

رابطه (۱۵) $$WHC\ (\$) = W^{Material} + W^{Middle} + W^{Final}$$

WHC: هزینه انبارداری[2]
$W^{Material}$: هزینه انبارداری مواد اولیه
W^{Middle}: هزینه انبارداری محصولات میانی
W^{Final}: هزینه انبارداری محصولات نهایی

رابطه (۱۶) $$W^{Material} = \sum_j S_j^{Material} \times K_j^{Material} \times T_j^{Material}$$

$S_j^{Material}$: هزینه نگهداری هر تُن مواد اولیه j

---

۱. نرخ بهره

2. Warehousing Cost

$$W^{Middle} = \sum_{k} S_k^{Middle} \times K_k^{Middle} \times T_k^{Middle}$$ رابطه (۱۷)

S_k^{Middle}: هزینه نگهداری هر تُن محصول میانی k

$$W^{Final} = \sum_{i} S_i^{Final} \times K_i^{Final} \times T_j^{Final}$$ رابطه (۱۸)

S_i^{Final}: هزینه نگهداری هر تُن محصول نهایی i

۳. روش‌شناسی پژوهش

به‌دلیل پیچیدگی ساختاری مدل و عدم‌قطعیت پارامترها از شبیه‌سازی گسسته پیشامد و برای اجرای آزمایش‌ها شبیه‌سازی از داده‌های کارخانه موردمطالعه (شرکت شیمیایی بهداد) استفاده می‌شود.

شبیه‌سازی. شبیه‌سازی مجموعه‌ای از روش‌ها برای تقلید رفتار یک سیستم واقعی با کمک رایانه است و هدف آن تحلیل و بررسی عملکرد سیستم تحت‌مطالعه و ایجاد بهبود در آن و یا انجام پیش‌بینی‌ها است [۳]. می‌توان از شبیه‌سازی به منظور تعیین پارامترهای بحرانی برای ارزیابی مسائل مختلف یک سیستم، با حداقل خطای ممکن استفاده کرد [۴]. امروزه شبیه‌سازی در گستره زیادی از علوم کاربرد دارد و با توجه به قدرت و محبوبیتی که دارد، باعث شده است تا نرم‌افزارهای بسیار کارآمدی در این زمینه تولید شود [۲].

نرم‌افزار ED[1]. نرم‌افزار ED کامل‌ترین و پرسرعت‌ترین نرم‌افزار شبیه‌سازی گسسته پیشامد است که در سال ۲۰۰۳ توسط شرکت هلندی «ISS[2]» معرفی شد. محیط و ابزارهای طراحی‌شده در این نرم‌افزار، مدت‌زمان لازم برای ساخت مدل‌های شبیه‌سازی گسسته و پیچیده را نسبت به رقبای خود تا حد بسیار زیادی کاهش می‌دهد.

انجام پروژه شبیه‌سازی. هدف این پژوهش حداکثرکردن درصد تکمیل به‌موقع سفارش‌ها و حداقل‌کردن مجموع هزینه‌ها است. به این منظور عملکرد سیاست‌های MTS، DD و MTO

1. Enterprise Dynamics
2. Incontrol Simulation Solutions

به‌طور خالص ارزیابی شده و سپس دو سیاست ترکیبی MTS–DD با تمرکز بر کاهش هزینه فساد محصولات ایجاد می‌شود.

برای مقایسه سیاست‌ها چهار معیار اصلی محاسبه می‌شود: ۱. درصد تکمیل به‌موقع سفارش‌ها؛ ۲. هزینه‌های راه‌اندازی (تمیزکردن رآکتور بعد از هر بار تولید)؛ ۳. هزینه‌های فساد محصولات میانی و نهایی؛ ۴. هزینه‌های تأمین موجودی (هزینه نگهداری مواد و خواب سرمایه). برای جمع‌آوری داده‌های موردنیاز این پژوهش از اطلاعات تولید و فروش ۵ سال (فروردین ۱۳۹۰ تا اسفند ۱۳۹۴) «شرکت شیمیایی بهداد» استفاده شد. در این کارخانه از سیاست MTS استفاده می‌شود.

در پژوهش حاضر، سیاست‌های مدیریت موجودی در خطوط تولید انواع مایعات ظرف‌شویی، لباسشویی، نرم‌کننده، پاک‌کننده‌های سطوح، مایع لوله‌بازکن، شامپوها و مایعات دستشویی (درمجموع ۵۲ نوع محصول از ۷ نوع ماده میانی و با ۳۷ نوع بسته‌بندی متفاوت) ارزیابی شد. محصولات عمر مفید محدود دارند و پیشینه تقاضای آن‌ها متغیر و دارای عدم‌اطمینان است.

اطلاعات ورودی مدل شامل میزان تولید و فروش ماهانه و هفتگی هر محصول، توابع توزیع فعالیت‌های تولید، ترکیب شیمیایی محصولات میانی و نهایی، ظرفیت انبارها و مخازن ذخیره‌سازی و هزینه‌های نگهداری و انبارداری محصولات است که در مدل شبیه‌سازی به‌کار رفته است.

برای اجرای یک مدل شبیه‌سازی، وجود داده‌ها و اطلاعات موردنیاز به صورت توزیع های آماری ضروری است؛ بنابراین زمان‌های ثبت‌شده فروش و فعالیت‌های تولید، توسط نرم‌افزار EasyFit به‌صورت توزیع آماری برحسب دقیقه به‌دست آمد. توزیع آماری داده‌های تولید و فروش در نرم‌افزار به‌صورت توزیع نرمال تخمین زده شد.

با درنظرگرفتن محدودیت‌های فیزیکی سیستم، جزئیات فرآیندها و مشخصات عملیاتی سیستم با استفاده از امکانات مدل و به‌کارگیری اتم‌های دردسترس، مسئله در نرم‌افزار ED مدل‌سازی شد. با توجه به اینکه سیستم فعلی کارخانه موردمطالعه، MTS است، ابتدا مدل MTS طراحی و اجرا شده و پس از بررسی صحت و اعتبار مدل، به طراحی سناریوها برای تغییر سیستم موجود پرداخته می‌شود.

اتم‌های استفاده‌شده در مدل‌سازی مسئله در نرم‌افزار ED. Arrivallist (برای ورود اطلاعات زمان‌بندی تولید به‌صورت هفتگی و ماهانه)، Excel (ورود اطلاعات موردنیاز برای تولید محصولات، شامل ترکیبات محصولات، میزان تولید هر محصول، برنامه‌ریزی تولید و دریافت داده‌ها از نرم‌افزار)، Assembler (رآکتورهای تولید برای ساخت محصولات میانی و محصولات نهایی)، Server (بخش کنترل کیفیت)، Multiservice (نقطه ورود سفارش مشتری

به سیستم)، Queue (انبارها و واحدهای ذخیره‌سازی موقت)، Splitter (ورود مواد اولیه به سیستم و تفکیک آن‌ها)، Sink (ثبت تعداد محصولات خارج‌شده از سیستم).

مفروضات مدل عبارت‌اند از:

ـ جزئیات عملیات که بر مدیریت موجودی تأثیر دارد؛ شامل عمر مفید محصولات و تخصیص ظرفیت واحدهای ذخیره‌سازی موقت، به‌دلیل تأثیر بر هزینه‌ها و مزایای سیاست‌های مختلف باید در نظر گرفته شود.

ـ هزینه ایجاد واحدهای ذخیره‌سازی موقت برای سیاست DD و سیاست‌های ترکیبی محاسبه می‌شود.

ـ برای جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی، رآکتورها پس از هر بار تعویض مواد شیمیایی تمیز می‌شوند. تمیزکردن رآکتور حتی در صورتی که محصول جدید شامل همان مواد شیمیایی باشد که آخرین پردازش بر روی آن در رآکتور انجام شده است، لازم است. هزینه‌های مرتبط با تمیزکردن رآکتور شامل آب و مواد شیمیایی مصرف‌شده در طول تمیزکردن است.

ـ زمان‌های پردازش و ظرفیت تولید به‌صورت دقیق مشخص شده است.

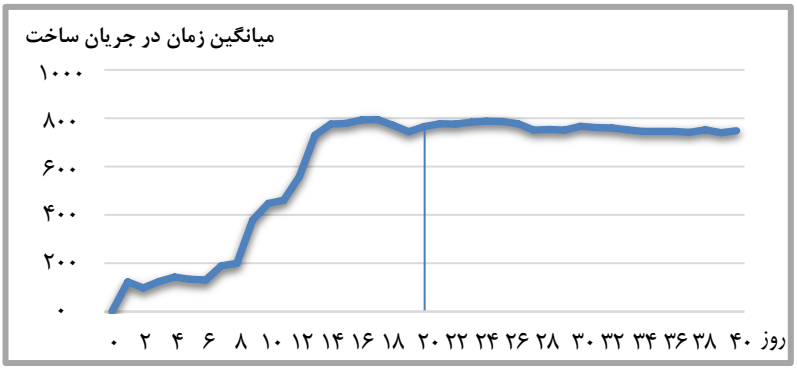
ـ مسافت بین ماشین‌ها و رآکتورها در نظر گرفته نشده است.

نمای مدل شبیه‌سازی سیاست MTS در شکل ۵، مشاهده می‌شود.

شکل ۵. نمای مدل‌سازی مسئله در نرم‌افزار ED

به‌دلیل اینکه مدل شبیه‌سازی ساخته‌شده توسط تحلیل‌گر، شرایط ابتدایی، مشابه آنچه در یک خط تولید واقعی در حال اجرا است را ندارد، زمان مشخصی برای گرم‌شدن سیستم تعیین می‌شود. برای محاسبه زمان گرم‌شدن توصیه می‌شود تا نموداری خاص ترسیم شده و زمان تقریبی گرم‌شدن از روی این نمودار مشخص شود. منظور از زمان گرم‌شدن سیستم، مدت‌زمانی است که طول می‌کشد تا یک سیستم به حالت نسبتاً پایدار برسد [۲].

برای این مسئله در محور افقی «زمان» و در محور عمودی «زمان در جریان ساخت» (ثبت‌شده توسط نرم‌افزار پس از ۳۰ بار اجرای مدل) قرار گرفت و نمودار ترسیم شد. زمان گرم‌شدن سیستم، ۲۰ روز تخمین زده شد.



شکل ۶. نمودار زمان گرم‌شدن سیستم

طول دوره اجرای شبیه‌سازی، به‌استثنای زمان گرم‌شدن سیستم، یک سال درنظر گرفته شد؛ زیرا معیارهای تصمیم‌گیری بر اساس هزینه‌های سالانه است. تعداد اجـرای فرآینـد شـبیه‌سـازی برای هر سیاست ۳۰ بار (درمجموع ۱۵۰ بار) است.

برای اطمینان از اجرای صحیح مدل به‌طوری‌که تمام اجزای ضـروری سیسـتم را دارا باشـد، فرآیند بررسی صحت مدل انجام می‌شود و به‌منظور کسب اطمینان از اینکه مدل ساخته‌شـده بـا سطح قابل‌قبولی، ارائه‌دهنده سیستم واقعی باشد، فرآیند اعتبارسنجی صورت می‌گیرد. با توجه بـه اینکه شبیه‌سازی مدل در نرم‌افزار ED انجام می‌پذیرد و این نرم‌افزار از ابزارهـای شـبیه‌سـازی و محیط سه‌بُعدی بهره می‌برد، می‌توان اطمینان مناسبی از صحت مدل کسب کـرد؛ بـه‌عـلاوه در مدل‌سازی هر مرحله از زیر سیستم‌های کارخانه، تلاش بر این بوده که خروجی‌ها با محیط واقعی متناسب باشد و فرآیند معتبرسازی به‌طور پیوسته انجام شده است. بـه‌منظـور اطمینـان کامـل از اعتبار مدل در این قسمت، مجموعه داده‌های مدل و سیستم واقعی با یکدیگر مقایسه شد. نخست باید مشخص شود که آیا دو مجموعه از داده‌ها، دارای توزیع نرمال هستند یا خیر؟ به این منظور از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج آزمون کولموگروف - اسمیرنوف

	Statistic	Df	Sig.
۱	۰/۳۱۵	۴۴۸۶۶	۰/۵۳۳
۲	۰/۲۲۷	۴۴۸۴۸	۰/۵۵۵

با توجه به اینکه میزان sig بیشتر از ۰/۰۵ است، می‌توان نتیجـه گرفـت کـه توزیـع داده‌هـا نرمال است. قدم بعدی مشخص‌کردن مشابه‌بودن واریانس و میانگین دو مجموعه داده‌ها است. با توجه به نتایج آزمون F (جدول ۲) ، مقدار .sig بیشتر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین می‌توان با اطمینـان

۹۵ درصد ادعا کرد که دو مجموعه داده‌ها، واریانس‌های یکسان دارند و با توجه به نتایج آزمون T (جدول ۳) بین میانگین دو مجموعه داده‌ها تفاوت معناداری مشاهده نمی‌شود.

جدول ۲. نتایج تحلیل واریانس و آزمون F

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	۴۲۷۵۶۵	۱	۴۲۷۵۶۵/۱۱۵	۱/۱۸۲	۰/۲۷۷
Within Groups	۱۱۷۷۱۲۸۲۲۶۴	۳۲۵۵۴	۳۶۱۵۹۲/۵۰۱		
Total	۱۱۷۷۱۷۰۹۸۳۰	۳۲۵۵۵			

جدول ۳. نتایج آزمون T

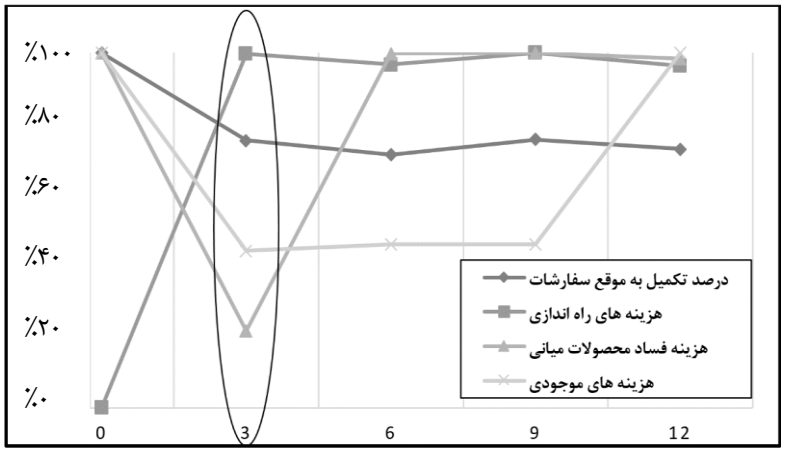
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
۱	۱۶۱۱۰	۱۰۰۵	۶۰۱	۴/۷۳۹۰۲
۲	۱۶۴۴۶	۱۰۱۳	۶۰۱	۴/۶۸۷۶۶

جدول ۴. آزمون معناداری T

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
	F	Sig.	t	Df	Sig. (2-tailed)
Equal variances assumed	۷/۱۱۹	۰/۰۸	−۱/۰۸۷	۳۲۵۵۴	۰/۲۷۷
Equal variances not assumed			−۱/۰۸۷	۳۲۵۳۹	۰/۲۷۷

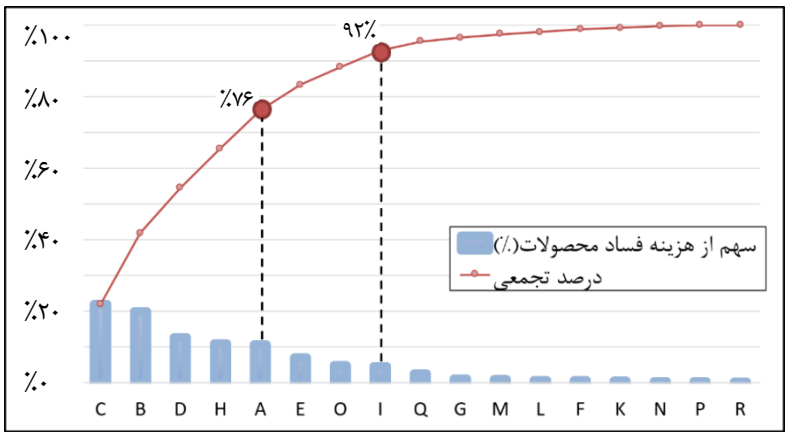
جدول ۴، نشان می‌دهد که تفاوت معناداری بین میانگین دو نمونه وجود ندارد (سطح معناداری بیشتر از ۰/۰۵ است)؛ درنتیجه با اطمینان ۹۵ درصد می‌توان ادعا کرد که اختلاف آماری معنادارای بین سیستم واقعی و مدل شبیه‌سازی وجود ندارد و مدل ساخته‌شده معتبر است. پس از سنجش صحت و اعتبار مدل، می‌توان تأثیر سایر سیاست‌ها (DD، MTO، MD1 و MD2) را بررسی کرد.

برای تغییر سیستم تولید از MTS به سایر سیاست‌ها در سناریوهای مختلف، ابتدا لازم است ظرفیت بهینه مخازن ذخیره‌سازی برای سیاست DD و سیاست‌های ترکیبی تعیین شده و محصولات برای سیاست‌های ترکیبی انتخاب شود. به این منظور ابتدا تعداد واحدهای ذخیره‌سازی موقت برای هر یک از محصولات میانی با حداقل میزان موردنیاز برای سیاست DD خالص آغاز شده و معیارهای هزینه، به‌عنوان توابعی از تعداد واحدهای ذخیره‌سازی، ارزیابی شد (شکل ۷)؛ درنهایت مشخص شد که تغییر واحدهای ذخیره‌سازی در افزایش هزینه‌ها مؤثر است و ظرفیت بهینه منابع ذخیره‌سازی موقت تعیین شد.



شکل ۷. تأثیر تعداد واحدهای ذخیره‌سازی موقت بر معیارهای موردبررسی

در یک سیاست مدیریت موجودی ایده‌آل، درصد تکمیل به‌موقع سفارش‌ها بالا است و هزینه‌های راه‌اندازی، فساد و موجودی در کمترین حالت ممکن قرار دارد. در این پژوهش نیز سیاست‌های ترکیبی MTS-DD باهدف به‌حداکثررساندن درصد تکمیل به‌موقع سفارش‌ها و حداقل‌کردن هزینه‌ها ایجاد شد و تلاش می‌شود که با ایجاد سیاست‌های ترکیبی در همه معیارها به وضعیت بهینه برسد؛ بنابراین با استفاده از تجزیه‌وتحلیل پارتو (شکل ۸)، محصولاتی که بیشترین سهم در هزینه فساد را داشتند (در سیاست MTS)، شناسایی شد. برای محصولات با هزینه فساد پایین، سیاست DD به‌خاطر کاهش استفاده از واحدهای ذخیره‌سازی موقت و به‌حداقل‌رساندن هزینه‌های راه‌اندازی به‌کار نمی‌رود.



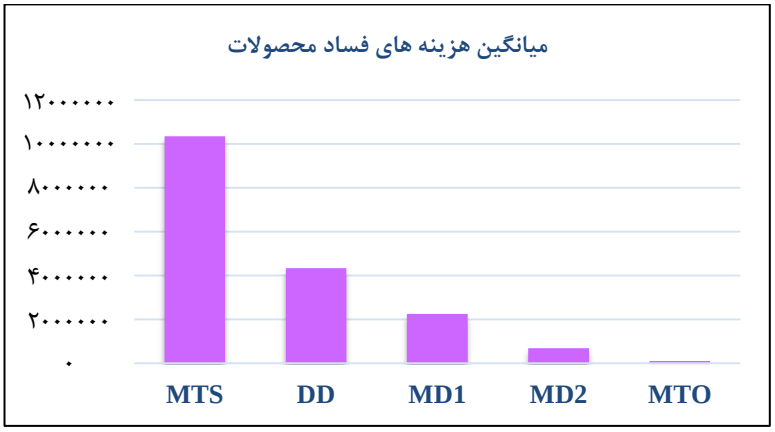
شکل ۸. نمودار پارتو هزینه فساد محصولات مختلف در انبار در سیاست MTS

با توجه به شکل ۸، محصولات A، B، C، D و H بیشتر از ۷۶ درصد از هزینه کل فساد محصولات را به خود اختصاص می‌دهند. در سیاست ترکیبیMD1 این محصولات تحت سیاست DD و سایر محصولات تحت سیاست MTS تولید می‌شوند. انتخاب سیاست DD برای این محصولات باعث افزایش اندک هزینه‌های راه‌اندازی و افزایش اندک زمان تکمیل سفارش‌ها می‌شود که در مقایسه با کاهش نسبتاً زیادی که در هزینه‌های فساد به‌وجود می‌آورد، قابل‌چشم‌پوشی است. برای سیاست ترکیبی MD2، معیار انتخاب تا ۹۲ درصد از هزینه کل فساد محصولات افزایش داده شد.

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

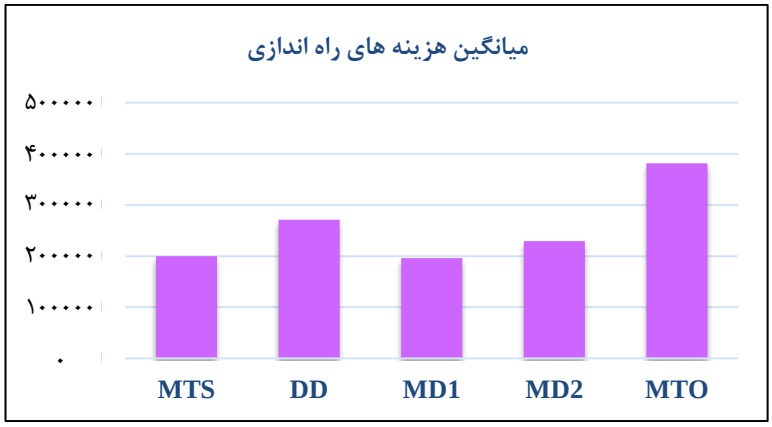
طبق نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل‌ها و ثبت اطلاعات، همان‌طور که انتظار می‌رفت، سیاست MTS خالص، زمان تحویل سفارش پایین‌تر و هزینه راه‌اندازی کمتری دارد؛ اما هزینه فساد محصولات و هزینه‌های موجودی در این سیاست بالاتر است. در مقایسه، سیاست DD خالص نسبت به MTS خالص، هزینه موجودی و فساد پایین‌تری دارد. سیاست MTO خالص، زمان تحویل سفارش بالاتری نسبت به همه سیاست‌ها دارد، اما درمجموع هزینه‌های آن نسبت به سایر سیاست‌ها پایین‌تر است؛ هرچند هزینه‌های راه‌اندازی در این سیاست، بسیار بالا است.

همان‌طور که انتظار می‌رفت، نتایج نشان می‌دهد که سیاست‌های ترکیبی باعث کاهش قابل‌توجهی در هزینه‌های فساد محصولات شده‌اند (شکل ۹).



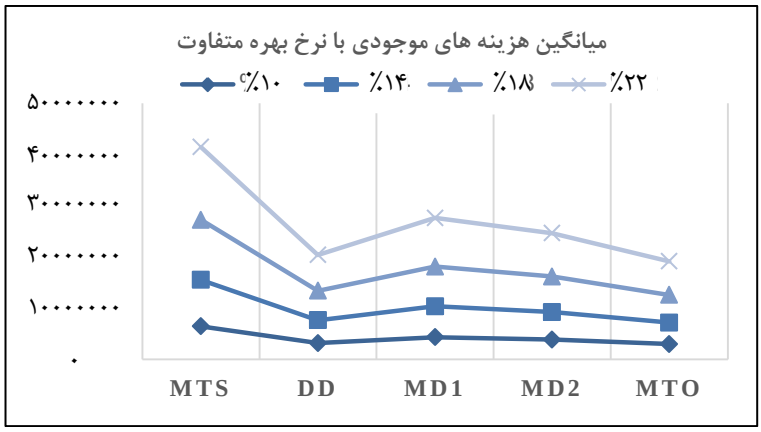
شکل ۹. مقایسه هزینه‌های فساد محصولات در سیاست‌های مختلف

هزینه‌های راه‌اندازی در سیاست‌های ترکیبی، نسبت به سیاست DD کاهش نسبتاً زیادی داشته است (شکل ۱۰).



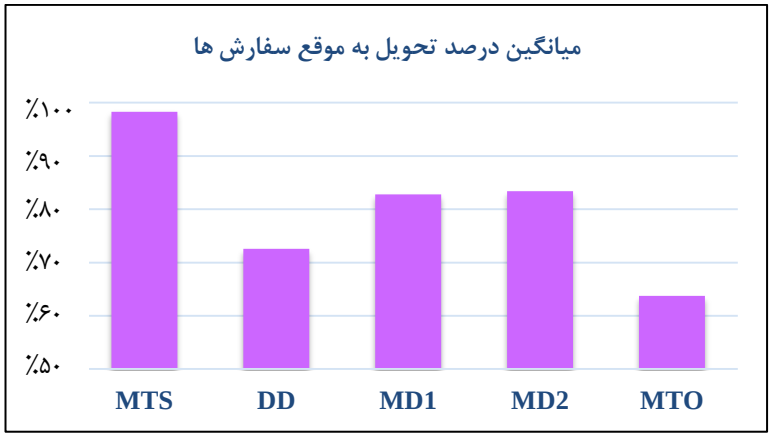
شکل ۱۰. مقایسه هزینه‌های راه‌اندازی در سیاست‌های مختلف

در رابطه با هزینه‌های موجودی که با توجه به شرایط سرمایه‌گذاری در ایران، با ۴ نرخ بهره بانکی متفاوت ارزیابی شده است، هر دو سیاست ترکیبی در این معیار، نسبت به سیاست MTS بهبود یافته‌اند (شکل ۱۱).



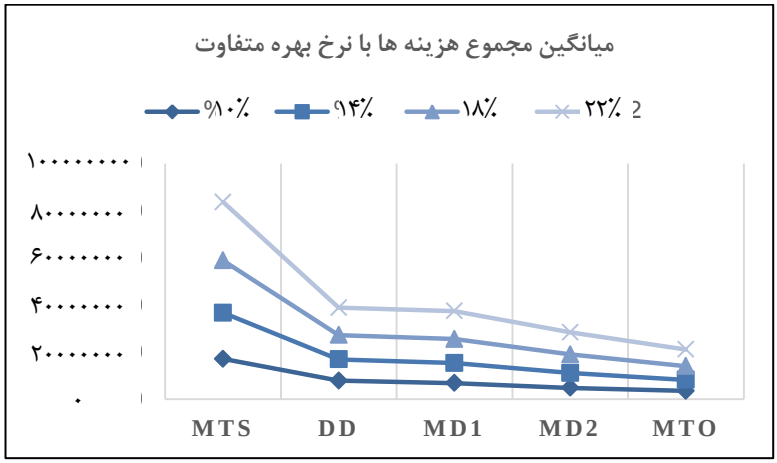
شکل ۱۱. مقایسه هزینه‌های موجودی با نرخ بهره متفاوت در سیاست‌های مختلف

ازنظر درصد تکمیل به‌موقع سفارش‌ها، سیاست MTS همچنان از سیاست‌های دیگر بهتر عمل می‌کند؛ اما سیاست‌های ترکیبی نسبت به سیاست DD در این معیار، بهبود زیادی داشته‌اند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. مقایسه درصد تحویل به‌موقع سفارش‌ها در سیاست‌های مختلف

سیاست MTS با توجه به هزینه‌های بالاتری که در رابطه با فساد محصولات و موجودی، نسبت به سایر سیاست‌ها دارد، از نظر مجموع هزینه‌ها نیز با اختلاف از سایر سیاست‌ها ضعیف‌تر عمل می‌کند و سیاست MTO با توجه به نرخ بسیار پایین فساد محصولات، پایین‌ترین میزان هزینه را در میان سایر سیاست‌ها دارد. سیاست‌های ترکیبی MD1 و MD2 بهبود زیادی در میانگین مجموع هزینه‌ها نسبت به سیاست‌های MTS و DD داشتند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: مقایسه میانگین مجموع هزینه‌ها با نرخ بهره متفاوت در سیاست‌های مختلف

برای مقایسه سیاست‌ها از تحلیل واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده شد که نتایج آن در جدول ۵، قابل‌مشاهده است.

جدول ۵. نتایج تحلیل واریانس

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
درصد تحویل به‌موقع سفارش‌ها	Between Groups	۲/۰۱۸	۴	۰/۵۰۵	۷۹۵۲/۹۵۸	۰/۰۰۰
	Within Groups	۰/۰۰۹	۱۴۵	۰/۰۰۰		
	Total	۲/۰۲۷	۱۴۹			
میانگین مجموع هزینه‌ها	Between Groups	۹/۲۲E+۲۳	۴	۲/۳۱E+۲۳	۸۷۱۴/۳۷۳	۰/۰۰۰
	Within Groups	۳/۸۳E+۲۱	۱۴۵	۹۲/۶۵E+۱		
	Total	۹/۲۶E+۲۳	۱۴۹			

در خروجی تحلیل واریانس، با توجه به مقدار به‌دست‌آمده .sig کوچک‌تر از ۰/۰۵ است؛ بنابراین فرضیه صفر مبنی بر برابری میانگین هزینه‌ها و میانگین درصد تحویل به‌موقع سفارش‌ها در سیاست‌های موردبررسی رد می‌شود. برای رتبه‌بندی سیاست‌ها از آزمون توکی استفاده شد.

جدول ۶. نتایج آزمون توکی (برای مقایسه درصد تحویل به‌موقع سفارش‌ها)

Policy	N	Subset for alpha= ۰/۰۵				
		۱	۲	۳	۴	۵
MTO	۳۰	۰/۶۳۷۵				
DD	۳۰		۰/۷۲۵۳			
MD1	۳۰			۰/۸۲۸۰		
MD2	۳۰				۰/۸۳۳۸	
MTS	۳۰					۰/۹۸۲۷
Sig.		۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

جدول ۷. نتایج آزمون توکی (برای مقایسه میانگین مجموع هزینه‌ها)

Policy	N	Subset for alpha= ۰/۰۵				
		۱	۲	۳	۴	۵
MTO	۳۰	۵۵۶۷۳۶۰۰۰۰۰				
MD2	۳۰		۷۹۱۲۸۱۳۳۳۳۳			
MD1	۳۰			۱۰۸۹۰۲۹۳۳۳۳۳		
DD	۳۰				۱۲۶۵۶۸۳۳۳۳۳۳	
MTS	۳۰					۲۷۸۹۲۸۰۳۳۳۳۳
Sig.		۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

با توجه به نتایج آزمون توکی، ازنظر معیار «درصد تحویل به‌موقع سفارش‌ها»، سیاست‌ها به ترتیب زیر رتبه‌بندی می‌شوند:

MTO < DD < MD1< MD2 < MTS

و ازنظر معیار «میانگین مجموع هزینه‌ها» رتبه‌بندی سیاست‌ها به‌صورت زیر است:

MTS < DD < MD1 < MD2 < MTO

تفسیر نتایج. طبق نتایج خروجی نرم‌افزار و نتایج رتبه‌بندی سیاست‌ها در آزمون توکی، با توجه به اینکه سیاست MTO ازنظر درصد تحویل به‌موقع سفارش‌ها بسیار ضعیف عمل می‌کند، می‌توان نتیجه گرفت که به‌کارگیری این سیاست در صنایعی با تولید فرآیندی امکان‌پذیر نیست و از تمام ظرفیت‌های تولیدی کارخانه در این روش استفاده نمی‌شود؛ به همین دلیل سیاست MTO کنار گذاشته می‌شود. سیاست MTS نیز از نظر میانگین مجموع هزینه‌ها، بسیار نامطلوب‌تر از سایر سیاست‌ها است؛ بنابراین سیاست MTS نیز حذف شده و درنهایت در میان سه سیاست باقی‌مانده، سیاست MD2، به‌عنوان سیاست برتر انتخاب می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش تلاش شد تا با ارائه یک مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد، سیاست بهینه مدیریت موجودی در صنایعی با تولید فرایندی را تعیین و تأثیر آن بر معیارهای هزینه و زمان بررسی شود. با استفاده از نرم‌افزار ED، پنج سیاست مدیریت موجودی (MTS، MTO، DD، MD1 و MD2) شبیه‌سازی شد. برای اجرای مدل، داده‌های مربوط به سیستم موجودی و فروش «کارخانه شیمیایی بهداد» به‌کار رفت و نتایج نشان داد که در صنایع فرآیندی با محصولات فسادپذیر، سیاست‌های ترکیبی عملکرد بهتری نسبت به سیاست‌های خالص دارند.

نتایج این پژوهش، با مطالعات گان و اتیکن (۲۰۱۵)، راجرز و ناندی (۲۰۰۷)، کوبر و هینک (۲۰۱۲) و شاردا و اکیا (۲۰۱۲) در زمینه CODP و به‌کارگیری ترکیبی سیاست‌ها هم‌خوانی دارد و با توجه به شبیه‌سازی تمامی سیاست‌های قابل‌اجرا در تولید فرآیندی و درنظرگرفتن تمامی معیارهای هزینه و زمان، نتایج مطالعات پیشین را تکمیل می‌کند. پیشنهاد می‌شود برای پژوهش‌های آتی در رابطه با گسترش مسئله، تأثیر افزایش تعداد رآکتورهای تولید و ظرفیت ذخیره‌سازی و در رابطه با رویکرد حل مسئله، توسعه الگوریتم‌های فرابتکاری برای این مسئله بررسی شود؛ همچنین با توجه به یافته‌های پژوهش، استفاده از سیاست‌های مدیریت موجودی به‌صورت ترکیبی در بیشتر محیط‌های تولیدی قابل‌اجرا است و به‌عنوان یک گزینه عملی، می‌توان این سیاست‌ها را به صنایع معرفی کرد.

منابع

1. Azar, A. & Momeni, M. (2002). Statistics and Its Application in Management. Tehran. Samt press. (in persian)

2. Azimi, P., Farajpoor Nazari, M., Esmati, A. & Farzin, A. (2013). Optimization via simulation & Enterprise Dynamics tutorial. Islamic Azad University of Qazvin press. Qazvin. (in persian)

3. Chung, Ch. A. (2003). *Simulation modeling handbook: a practical approach, CRC press, Inc*. Boca Raton, FL, USA, ISBN 0-8493-1241-8.

4. Davoodi, S.M.R, Jolai, F., Mohaghar, A. & Mehregan, M.R. (2015). Designing a multi-Level Multi-Product inventory simulation model and comparing it with the selected models; Case: Iran steel industries, *Journal of Industrial Management Perspective, 5:19,* 9-38. (in persian)

5. Dellaert, N. P. & Melo, M.T. (1996). Production strategies for a stochastic lot sizing problem with constant capacity, *European Journal of Operational Research, 92*, 281-301.

6. Garn, W. & Aitken, J (2015). Splitting hybrid Make to Order and Make to Stock demand profiles, *International Journal of Operations and Production Management*, *15*, 48-61.

7. Ghazanfari, M.& Saghiri, S. (2015). Production management systems (the integrated approach). Tehran. Iran University of Science and Technology. (in persian)

8. Gupta, D. & Benjaafar, S (2004). Make to order, make to stock, or delay product differentiation? A common framework for modeling and analysis, *IIE Transactions*, *36:6*, 529–546.

9. Kober, J. & Heinecke, G (2012). Hybrid Production Strategy between Make to Order and Make to Stock - A Case Study at a Manufacturer of Agricultural Machinery with Volatile and Seasonal Demand. *45th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 453-458.

10. Nahavandi, B., Moghbel, A., Azar, A. (2014). Provide a step-by-step approach to simulate a strategy map using fuzzy cognitive maps, *Journal of Industrial Management Perspective, 4:14*, 93-115. (in persian)

11. Olhager, J (2003). Strategic positioning of order penetration point. *International Journal of Production Economics, 85*, 319-329.

12. Rabbani, M & Yousefnezhad, H & Rafiei, H. (2013). A new approach to find optimal location order decoupling point of supply chain. Tenth International Conference of Industrial Engineering. Tehran. (in persian)

13. Rogers, P. & Nandi, A. (2007). Judicious order acceptance and order release in make-to-order manufacturing systems. *Production Planning & Control, 18: 7*, 610-625.

14. Shafiei Nikabadi, M., Hemmati, M., Khaleqi, I. (2014). Evaluation and selection of suppliers in terms of competitiveness indicators, *Journal of Industrial Management Perspective, 4:13,* 143-161. (in persian)

15. Sharda, B. & Akiya, N. (2012). Selecting make-to-stock and postponement policies for different products in a chemical plant: A case study using discrete event simulation, *Int. J. Production Economics*, *136*, 161-171.

16. Slotnick, S. A. & Morton, E. (2007). Thomas order acceptance with weighted tardiness, *Computers & Operations Research, 34:10*, 3029-3042.

17. Soman, C. A., Van Donk, D. P. & Gaalman, G. (2004). Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system. *International Journal of Production Economics, 90:2,* 223-235.

18. Soman, C. A., Van Donk, D.P. & Gaalman, G. J. C. (2006). Comparison of dynamic scheduling policies for hybrid make to order and make-to-stock production systems with stochastic demand, *International Journal of Production Economics, 104,* 441-453.

19. Su, J. C. P., Chang, Y. L. & Ferguson, M. (2005). Evaluation of postponement structures to accommodate mass customization. *Journal of Operations Management, 23,* 305-318.

20. Van Donk, D. P. (2001). Make to stock or make to order: the decoupling point in the food processing industries. *International Journal of Production Economics, 69:2,* 297-306.

21. Wikner, J. & Rudberg, M. (2005). Integrating production and engineering perspectives on the customer order decoupling point. *Production and engineering perspectives,* 25:7, 623-641.