فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی
(مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال شانزدهم/ شماره ۵۸ / زمستان ۱۴۰۰

بررسی و امکان‌پذیری اجرای سیاست‌های مقیاس‌پذیری ظرفیت تولید مطلوب براساس سیستم تولید قابل پیکر بندی مجدد با رویکرد سیستم‌های پویا

روح اله رنجبر
دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه ازاد اسلامی، واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران
سید احمد شایان نیا (نویسنده مسؤول)
استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه ازاد اسلامی، واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران
Email: sheibat@yahoo.com
امیرمهدی میاندرق
استادیار،گروه ریاضی، دانشگاه ازاد اسلامی، واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران
محمدرضا لطفی
استادیار،گروه مهندسی صنایع،دانشگاه ازاد اسلامی، واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۳ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

چکیده

مسئله مورد مطالعه در این تحقیق اجرای سیاست های مقیاس پذیری ظرفیت تولید بر اساس سیستم تولید قابل پیکربندی مجدد می باشد.در این تحقیق مدل جدیدی برای ارزیابی سیاست‌های ظرفیتی براساس سفارشات جدید محصولات، موجودی مالی و بودجه بر اساس سیستم های پویا ارائه شده است. قلمرو تحقیق شرکت ملی گاز ایران می باشد. داده‌های به دست آمده از طریق مصاحبه‌های اکتشافی از کارشناسان شرکت ملی گاز ایران انتخاب شد.در ابتدا بر اساس ارزیابی مطالعات نظری، مصاحبه‌های اکتشافی با خبرگان و توسعه چارچوب مفهومی پژوهش انجام شده و پس از بررسی اطلاعات مربوط به رفتار متغیرها، ارتباطات منطقی از نحوه تاثیرگذاری آنها بر روی یکدیگر استخراج شده و پس از بیان فرضیه پویایی، نموار علت معلولی مربوط تهیه شد. پس از ترسیم نمودار حلقه‌های علی و معلولی و به منظور آنالیز و تحلیل پارامترهای دخیل در مدل، نمودار انباشت جریان رسم گردید. مدل طراحی شده اجرا شده و رفتار متغیرها بررسی و سپس اعتبارسنجی مدل انجام شد.مدل شامل چهار بخش سفارشات، تولید، تحقیق و توسعه و مالی می باشد.پس از اجرای برنامه ارتباط و تاثیر پارامترها بر یکدیگر مشخص گردید . نتایج نشان داد که شرکت ظرفیت تولید و سطح موجودی خود را با در نظر گرفتن نرخ سفارش دریافتی از سوی مشتریان تنظیم می‌نماید و خروجی محصول خود را با نگرش عدم خروجی قابل ذخیره در نظر گرفت و همانطور که در مدل مشاهده نمودید با این رویکرد توانست تا ظرفیت تولید و سطح موجودی را با نیاز بازار تطابق بخشد.

واژه های کلیدی:سیستم تولید قابل پیکربندی مجدد،سیستم های پویا،مقیاس پذیری ظرفیت تولید.

۱-مقدمه

سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد (RMS[1]) یک رویه جدید در سیستم های تولیدی است که با ویژگی های اساسی از قبیل یکپارچه سازی، سفارشی سازی، قابلیت تبدیل، مقیاس پذیری و قابلیت تشخیص شناخته میشود. این ویژگی ها به سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد امکان پاسخگویی و مقرون به صرفه بودن را می دهد. با این حال، ساختار پیچیده آنها و طراحی پیچیده محصولات مدرن، نیاز به یک طرح مقیاس پذیری ظرفیت تولید مطلوب را ضروری می سازد (Asghar, Baqai & Homri, 2018). تولیدکنندگان با این نیاز روبه‌رو هستند که علیرغم حفظ کیفیت و پایین نگه‌داشتن قیمت، به موقع و با سرعت به نیازهای متنوع مشتریان خود پاسخ گویند و این به «سفارشی‌سازی انبوه» شهرت یافته است (Moghaddam, Houshmand & Fatahi Valilai, 2017, ۱۵).

در دهه گذشته، ویژگی های سنتی در بخش صنعتی و بازار با عواملی در حال ظهور جایگزین شدند، مانند تقاضای متغیر بازار، نیاز به انعطاف پذیری، چرخه های عمر کوتاه تر محصول و شخصی سازی انبوه، که به شدت فضای تولید را تغییر داده و باعث فشار بیشتر بر شرکت های صنعتی شده است که باعث شده انواع جدیدی از پارادایم های تولید را پیاده سازی کنید. سیستم های ساختاری با قابلیت تنظیم مجدد به عنوان سیستم های موثر که قادر به پاسخگویی به چالش های فعلی هستند، به سرعت با تغییر سخت افزارهای خود، یعنی فیزیکی و نرم افزاری، یعنی منطقی، ساختارهایی را برای رفع نیازهای بازار افزایش می دهند. محیط تولید معمولاً با سلولهای دینامیکی یعنی سلولهای ماشین قابل تنظیم (RMC[2]) و بکارگیری ماشین های هوشمندی ازجمله ماشینهای قابل تنظیم مجدد (RMT) مشخص شدند (Bortolini, Galizia & Mora, 2021).

سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد، یک سیستم تولید پاسخگو است که در صورت تغییر تقاضا برای محصول، می تواند ظرفیت و عملکرد خود را به راحتی با کمترین تلاش و زمان تنظیم کند. سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد هر زمان که لازم باشد دقیقاً از ظرفیت و کارایی برخوردار است(Dou, Li & Su, 2016). سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد یک سیستم پویا است که قابلیت پوشش دادن تقاضاهای متغیر را دارد با توجه به این تقاضاهای متغیر در دنیای واقعی،قابلیت تنظیم مجدد ساختار سیستم و ماشینها، به عنوان ویژگی موثر یک سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد شناخته میشود (Li, Wang & Tang, 2014). مسئله تحقیق در پژوهش حاضر ارائه روشهایی برای بررسی و امکان پذیری اجرای سیاست‌های مقیاس‌پذیری ظرفیت تولید مطلوب براساس سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد است که براساس معیارهای چندگانه عملکرد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که با بررسی عواملی چون ؛ قیمت محصول، زمان تحویل محصول، کیفیت محصول، وسعت محدوده محصول به امکان پذیری اجرای سیاست های مقیاس پذیری تولید پرداخته ایم. دراین تحقیق سعی برآن خواهد شد که متوجه پارامترهای گروهی مقیاس‌پذیری ظرفیت شود، که گروه‌ها را می‌توان مطابق طبقه‌بندی زیر تعریف نمود؛ ظرفیت تولید، ظرفیت جدید مورد انتظار، تحقیق و توسعه محصول، قابلیت تبدیل نرخ ایجاد ظرفیت (Ashraf & Hasan, 2018).

قلمرو پیکربندی پژوهش دربردارنده حوزه تولید در شرکت ملی گاز می‌باشد که نقش مهمی در اقتصاد ملی ایفا می‌کند. قلمرو مساله تحقیق نه تنها محدود به سیاست‌های مقیاس‌پذیری ظرفیت در سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد می‌شود بلکه براساس سیاست‌های چرخه سفارش موجودی، اطلاعات فنی و عملکردی، ظرفیت رقابتی تولید نیز تدوین می‌گردد، که به نوعی می‌توان آن را موازنه‌ای میان اهداف رقابتی عملیاتی و استراتژیک مورد نظر شرکت بر شمرد.

با توجه به چالش‌های موجود، مطالعه حاضر بر شناخت مقیاس‌پذیری ظرفیت و طراحی آن و نیز روش‌های پیکربندی دوباره در RMS تمرکز دارد.ظرفیت از آن جهت انتخاب شده است که توانایی شرکت برای پاسخگویی به نیاز بازار در درجه اول براساس ظرفیت آن تعیین می‌شود. شتاب تغییرات در بازار برای محصولات تولید شده به سرعت در حال افزایش است (Haddou Benderbal, Dahane & Benyoucef, 2017). مشتریان محصولاتی را انتخاب می‌کنند که به صورت سفارشی قابلیت برآورده ساختن نیازهای خاص آنها را داشته باشند، بنابراین تولیدکنندگان باید طراحی عملکرد محصولات را اصلاح کنند و

[1] Reconfigurable manufacturing systems
[2] Reconfigurable Machine Cells

برنامه‌ریزی تولید را به رقابت پذیرترین شکل ممکن تغییر دهند که نتیجه این تغییرات برای تولیدکنندگان تغییر در حجم تقاضا، ترکیب برتری در بازار محلی، و جهانی دارند، می‌بایست برای برآورده ساختن و یا حتی گام برداشتن فراتر از نیاز مشتری نسبت به این تغییرات سریع در بازار واکنش شایسته‌ای نشان دهند (Andersen, Brunoe & Nielsen, 2015).

با توجه با اینکه شرکت‌ها دیگر نمی‌توانند از طریق تولید حجم انبوه یک محصول برای یک بازار انبوه سهم قابل توجهی را بدست آورده و به سودآوری پررونق امدوار باشند، اتخاذ رویه‌هایی برای جلب مشتری و فرآیندهای انجام سفارش و در عین حال تنوع محصول را باید سرلوحه کاری خود قرار دهند تا در عین حالی که امکان واکنش سریع و انعطاف‌پذیر به تغییرات غیرقابل پیش‌بینی را فراهم می‌سازند، مدیریت کارامد تغییرات قابل پیش‌بینی را تحصیل نمایند (Bortolini, Galizia & Mora, 2018). شرکت ملی گاز با چالش تغییر جهت استراتژیک برای برآورده ساختن تقاضای بازار فعلی در مورد محصولات، روبه‌رو می‌باشد و حتی یکی از دغدغه‌های شرکت تنوع تولید محصول می‌باشد. تولید انبوه سفارشی می‌تواند راه‌حلی برای این مسئله باشد.به دلیل نوین بودن تکنولوژی سیستم تولیدی قابل پیکربندی مجدد، در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در حوزه‌های مختلف آن صورت گرفته است.تحقیقات انجام شده در زمینه سیستم‌های قابل پیکربندی مجدد را می‌توان در چهار حوزه اصلی طبقه‌بندی نمود که عبارتست از:

- مبانی و مفاهیم سیستم‌های تولیدی قابل پیکربندی مجدد
- نحوه طراحی و استقرار سیستم‌های تولیدی قابل پیکربندی مجدد و اجزای آن
- روش‌های بهینه‌سازی فرایندها در خصوص کار با سیستم‌های تولیدی قابل پیکربندی مجدد
- مدیریت تولید و عملیات سیستم‌های تولیدی قابل پیکربندی مجدد (Haddou Benderbal, Dahane & Benyoucef, 2017).

جائو، یو و او (۲۰۲۰) اذعان داشتند که سیستم های تولیدی با قابلیت تنظیم مجدد باید در بنگاه هایی طراحی شوند که در معرض انواع مختلفی از آشفتگی ها قرار دارند. مدل سازی تأثیر مستقیم هر نوع آشفتگی بر RMS ها و تجزیه و تحلیل آسیب پذیری های سطح ساختاری آنها برای عملکرد و بهینه سازی سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد را بررسی کردند. آسیب پذیری ساختاری سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد بر اساس اصل آنتروپی و یک مدل مارکوف ارزیابی شد. رویکرد پیشنهادی شامل معادله انتقال مارکوف چند مرحله ای واحد تولیدی و روشی برای شناسایی تأثیر وضعیت و ظرفیت یک بافر در مورد آسیب پذیری ساختاری بود نتایج نشان می دهد که بافرها آسیب پذیری سیستم را کاهش می دهند و روش پیشنهادی به طور قابل توجهی بهره وری را بهبود می بخشد .ژانگ و ژائو،پن و کای (۲۰۲۰) بیان میکنند که در صورت نیاز به ظرفیت و قابلیت تولید متغیر، سیستم های تولیدی با قابلیت تنظیم مجدد به عنوان یک راه حل انتخابی در نظر گرفته می شوند. برای ارزیابی شاخص های عملکرد ترکیبی (CPI[3]) در یک سیستم های قابل پیکربندی مجدد، یک رویکرد ترکیبی، که احتمالات حالت پایدار ماشین های قابل تنظیم مجدد (RMT[4]) و حالت موجودی بافرها را از طریق یک عملکرد تولید جهانی بهبود یافته ادغام می کند، ارائه شده است. در روش پیشنهادی، احتمال حالت پویا برای هر RMT با یک مدل مارکوف با زمان پیوسته همگن تعیین می شود و احتمال حالت پایدار به عنوان حد احتمال دینامیکی که زمان به بی نهایت تمایل دارد، بدست می آید.

علاوه بر این، یک جریان توصیفی اطلاعات ورودی و خروجی، که ترکیبی از فرآیندهای انتقال قطعات ماشینکاری شده از طریق بافرها با فرآیند پواسون است، برای تعیین احتمال حالت موجودی بافرها ارائه شده است. سرانجام یک سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد غیر سریالی، قابل تعمیر و چند حالته با چند بافر که سه نوع سر سیلندر موتور تولید می کند برای تأیید روش پیشنهادی ارائه شده است.

[3] Compound Performance Indicators
[4] Reconfigurable Machine Tools

نتایج شبیه سازی صحت ارزیابی عملکرد سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد را تأیید می کند. از نظر قابلیت اطمینان دستگاه، کارایی استفاده از منابع و تصمیم گیری در مورد پیکربندی سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد با بافرها برای بهبود عملکرد مفید ارزیابی شد.

ماگانها، سیلوت و فریرا (۲۰۱۸) بیان کردند که نیاز به سیستم های ساخت پاسخگوتر برای مقابله با تنوع زیاد محصول و نوسانات زیاد تقاضای بازار نیازمند رویکردهای جدید است که این سیستم را قادر می سازد تا در مقابل تغییرات، سریع و موثر عمل کند. قابلیت تنظیم مجدد توانایی است که به شما امکان می دهد اجزای سیستم و سیستم های تولیدی را با اضافه کردن، حذف یا بازآرایی کنید تا با تنوع زیاد محصول و نوسانات قابل توجه تقاضای بازار به روشی مقرون به صرفه کنار بیایید. این مقاله به طور تجربی درک قابلیت تنظیم مجدد در شرکت های تولیدی صنعتی را بررسی کرده و آزمایشات را انجام داده و ویژگی های اصلی آن را با استفاده از پرسشنامه ای که با شرکت های پرتغالی انجام شده است، اعتبار سنجی می کند. یافته ها وجود پنج ویژگی اصلی قابلیت تنظیم مجدد را نشان می دهد. پیامدهای این ویژگی ها، در مورد پیاده سازی سیستم های ساخت قابل تنظیم، نیز مورد تجزیه و تحلیل و بحث قرار گرفت.

یوسف و المراقی(۲۰۰۸) خصوصیات دو پارادایم RMS و FMS[۵] را مقایسه نموده و مفهوم چرخه عمر سیستم تولید را نشان می‌دهد. انواع عمده انعطاف‌پذیری در سیستم‌های تولید را مورد بحث قرار داده و ابعاد مختلف قابل پیکربندی مجدد شامل پیکربندب سخت(فیزیکی) و نرم(منطقی) مقایسه می‌کند.عبدی و لبیب(۲۰۰۵) بیان می‌کند که سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد، محصولات مختلف گروه‌بندی شده به خانواده‌ها را براساس الزامات عملیاتی آن‌ها اجرا می‌کند. بنابراین یک سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد می‌تواند به پیکربندی‌های چیدمان مختلف هنگامی که از یک محصول به محصول دیگر تغییر می‌کند، نیاز داشته باشد. مقاله وی معیارهایی را بررسی می‌کند که می‌تواند بر انتخاب پیکربندی‌های چیدمان تاثیر بگذارد. در نهایت مدل تحلیل سلسله مراتبی را برای ساختار معیارها برای انتخاب مناسب‌ترین چیدمان برای هر مرحله پیکربندی، توسعه می‌دهد.

دیف و المراقی(۲۰۰۸) یک رویکر ناب برای بهبود مسئله تبدیل‌پذیری سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد را ارائه می‌دهد. آن‌ها یک متدولوژی ساختار یافته جدید بر مبنای ناب بودن تعویض تک دقیقه قالب‌ها SMED[۶] برای کمک به پیکربندی مجدد به اقتصادی‌ترین روش را توسعه می‌دهند. مقاله وی فعالیت‌های درونی و بیرونی مختلفی از تبدیل‌پذیری سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد و چگونگی طراحی مجدد این فعالیت‌ها برای ایجاد فرایند تبدیل‌پذیری با زمان کمتر را مشخص می‌کند.

همانطور که در این بررسی کوتاه ادبیات تأکید شده است، برخی از مقاله ها هم به طراحی سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد و هم به منظور تعیین توالی محصولات در ایستگاه سطح سیستم پرداخته اند. با این حال، پیکربندی مجدد به دلیل افزودن منابع جدید، یا اصلاح ماژولها در ایستگاههای کاری، به زمان نیاز دارد و به نظر می رسد که این ویژگی سیستم تولید با قابلیت تنظیم مجدد در ادبیات تا حد زیادی مورد توجه قرار نگرفته است. اگر بتوان این پیکربندی ها را به عنوان زمان راه اندازی در نظر گرفت، پیکربندی ها ممکن است چندین ماشین را تحت تأثیر قرار دهند، در بررسی زمان راه اندازی در مشکلات زمانبندی کارها، دو نوع زمان راه اندازی را شناسایی می کنند: وابسته به توالی و زمان تنظیم مستقل از توالی.

۲- روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر به لحاظ روش و ماهیت کار، توصیفی و از نظر هرف، کاربردی است جامعه آماری تحقیق حاضر شرکت ملی گاز ایران می باشد .روش تحقیق از نوع توصیفی تحلیلی و بر حسب هدففکاربردی است.داده های مورد نیاز از طریق اطلاعات موجود در شرکت ملی گاز ایران و مصاحبه ساختاریافته با روش تحلیل کمی گردآوری و سپس در نرم افزار ونسیم[۷] پیاده سازی شدند. جهت جمع آوری اطلاعات دو روش کتابخانه ای و میدانی مورد استفاده قرار گرفتند .در این تحقیق برنامه ریزی در

[5] Flexible Manufacturing System
[6] Single Minute Exchange Of Dies
[7] Vensim

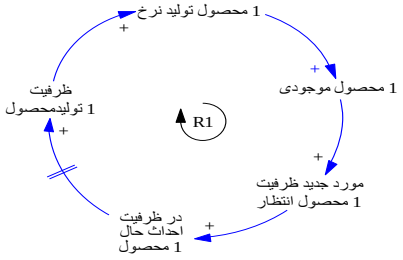
راستای ظرفیت تولید بر اساس سیستم های تولید قابل پیکربندی مجدد با استفاده از مدل مناسب صورت گرفته،سپس کلیه پارامترها وارد نرم افزار ونسیم شده و مدل تحلیل شده است.

این مطالعه مبتنی بر یک فرآیند دو مرحله‌ای است که شامل فاز شناسایی و فاز طراحی است. فاز شناسایی با تکیه بر ارزیابی مطالعات نظری، مصاحبه‌های اکتشافی با خبرگان و توسعه چهرچوب مفهومی پژوهش است. در فاز طراحی، داده‌های مورد نیاز از طریق پژوهش میدانی به دست می‌آید، پیشینه تحقیقات مورد سازمان (داخلی و خارجی) مورد مطالعه قرار گرفت و بررسی‌های مورد نظر انجام گرفت. در نهایت، مدل پویایی سیستم از طریق پیمایش نظر خبرگان طراحی شد. فرآیند پژوهش پویایی سیستم در ۶ مرحله تعریف می‌شود که مرحله اول شامل شرح سیستم ات که در واقع برخاسته از یک رفتار نامطلوب سیستم که نیازمند شناسایی و اصلاح است شکل می‌گیرند. مرحله دوم شامل تبدیل شرح سیستم به معادلات نرخ و سطح می باشد که با تدوین یک مدل شبیه‌سازی آغاز می‌گردد. شرح سیستم به معادلات سطح و نرخ از یک مدل پویایی‌سیستم برگردان می‌شود. مرحله سوم شبیه‌سازی مدل است.مرحله چهارم طراحی سیاست‌ها و ساختارهای جایگزین می باشد که سیاست‌های جایگزین را برای آزمون مدل شناسایی می‌کند. مرحله پنجم شامل آموزش، بحث و تبادل نظر می باشد هدف این مرحله رسیدن به اجماعی برای اجرای مدل است. مرحله ششم شامل اعمال تغییر در سیاست‌ها و ساختارها می باشد که در خلال پیاده‌سازی سیاست‌های جدید ممکن است سیستم و محیط اطراف آن با تغییرات متعددی روبرو شود.

۳- بحث و نتایج

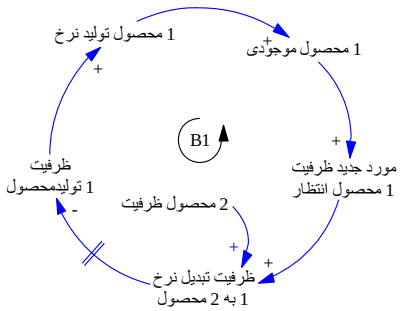
برای درک بهتر ساختار سیستم‌ها وجود یک زبان مدلسازی ضروری است. در پویایی‌های سیستم به این زبان نمودارهای بازخور و یا علت و معلولی می‌گویند. تفاوت این نمودار با سایر نمودارها در نمایش روابطی است که به سادگی در نمودارهای دیگر قابل ترسیم نیستند. در این تحقیق پس از شناسایی متغیرهای مسئله ضمن تعیین روابط علی نوع ارتباط بین آنها را مشخص می‌نماییم که از ترکیب روابط علی و معلولی در یک دایره بسته، بازخورد یا دایره علی و معلولی حاصل می‌شود که این بازخوردها دارای دو حالت

(مثبت، تقویت کننده) و (منفی، تعدیل کننده) است.



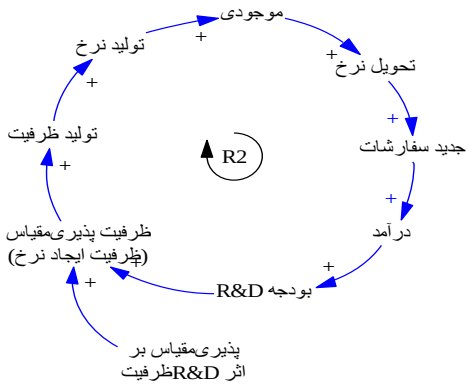
شکل شماره (۱): حلقه شماره یک

شرکت تصمیم گرفته است که ظرفیت جدید مورد انتظار محصول خود را افزایش دهد که باعث می‌شود ظرفیت در حال احداث افزایش یافته و به تبع آن ظرفیت تولید محصول افزایش می‌یابد که اثر مستقیمی بر نرخ تولید محصول داشته و موجودی محصول ما نیز افزایش پیدا می‌کند.



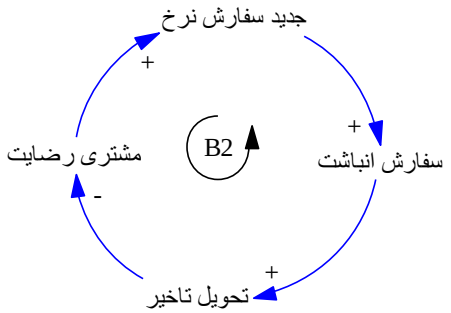
شکل شماره (۲): حلقه شماره دو

شرکت در راستای افزایش تنوع محصول خود و تغییر از محصول ۱ به محصول ۲ خود (نرخ تبدیل ظرفیت) می‌باشد که در نمودار می‌توان اثر ظرفیت محصول ۲ را بر نرخ تبدیل‌پذیری مشاهده کرد که نرخ تبدیل ظرفیت محصول ۲ به ۱ باعث می‌شود شرکت، ظرفیت تولید محصول ۱ خود را با تاخیر کاهش دهد، متغیر ظرفیت محصول ۱ همچنان نرخ تولید محصول را افزایش می‌دهد و به تبع آن موجودی افزایش پیدا می‌کند و بر روی ظرفیت جدید مورد انتظار ما اثری مستقیم دارد و این روند تا جایی ادامه دارد که حلقه مقابل آن یعنی نرخ تبدیل ظرفیت ۱ به ۲ غالب شود و میزان بودجه‌ای که به واحد R&D اختصاص پیدا می‌کند به نرخ تبدیل‌پذیری وارد شود.



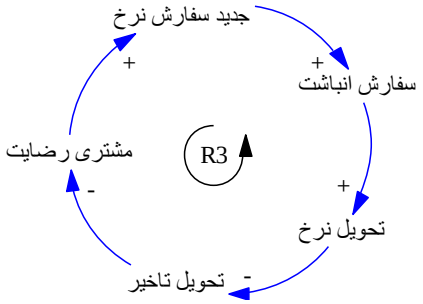
شکل شماره (۳): حلقه شماره سه

نرخ ایجاد ظرفیت محصول می‌تواند نقش اساسی در رشد شرکت داشته باشد، که اثری مستقیم بر ظرفیت تولید دارد که نرخ تولید را افزایش می‌دهد و باعث می‌شود که موجودی افزایش پیدا کند و به تبع باعث می‌شود نرخ تحویل نیز افزایش پیدا کرده که افزایش رضایت مشتریان را در پی دارد و موجب می‌شود که نرخ سفارشات جدید نیز افزایش پیدا کند و در نتیجه درآمد بیشتر شده و موجب می‌شود که شرکت بودجه بیشتری را به واحد R&D اختصاص دهد و این واحد با منابع مالی بیشتری بر روی نرخ ایجاد ظرفیت هزینه کند.



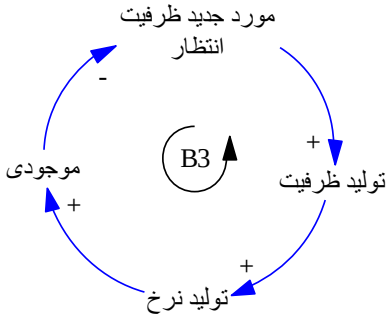
شکل شماره (۴): حلقه شماره چهار

رضایت مشتری موجب افزایش نرخ سفارش جدید شرکت می‌شود به طوری که انباشت سفارشات بیشتر شده که در اینصورت موجب می‌شود که تاخیر در تحویل داشته باشیم و تاخیر در تحویل نیز باعث می‌شود که رضایت مشتری کم شود.



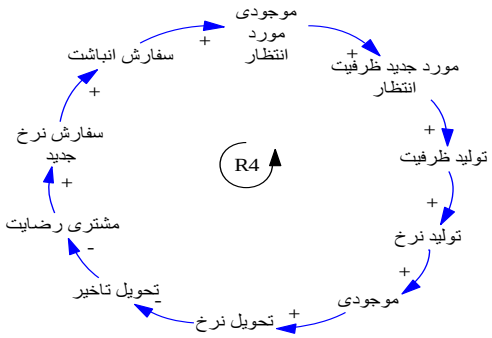
شکل شماره (۵): حلقه شماره پنج

دیگر متغیرهای مطرح شده نرخ تحویل می‌باشد که اثری معکوس بر تاخیر تحویل داشته به طوری که تاخیر در تحویل موجب کاهش رضایت مشتری می‌شود. رضایت مشتری موجب می‌شود که نرخ سفارش جدید شرکت افزایش پیدا کند و موجب می‌شود که انباشت سفارشات بیشتر شود که دراینصورت نرخ تحویل شرکت افزایش پیدا می‌کند.



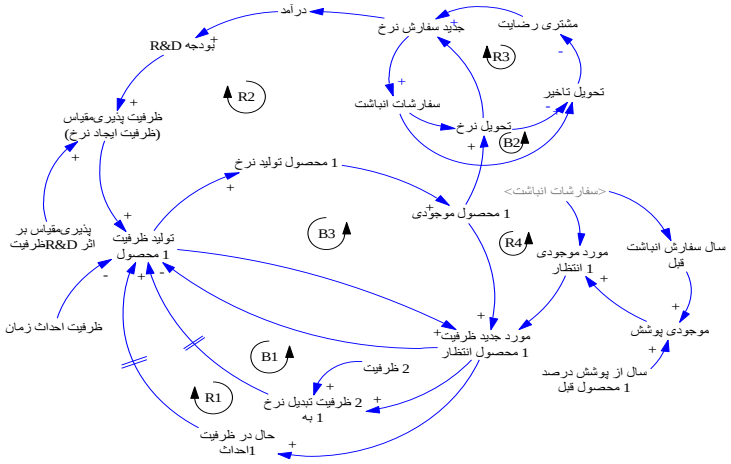
شکل شماره (۶): حلقه شماره شش

ظرفیت جدید مورد انتظار باعث می‌شود که شرکت ظرفیت تولید را افزایش دهد که باعث می‌شود نرخ تولید نیز افزایش پیدا کند و در اینصورت موجودی نیز افزایش پیدا می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش موجودی از ظرفیت مورد انتظار شرکت کم می‌شود.



شکل شماره (۷): حلقه شماره هفت

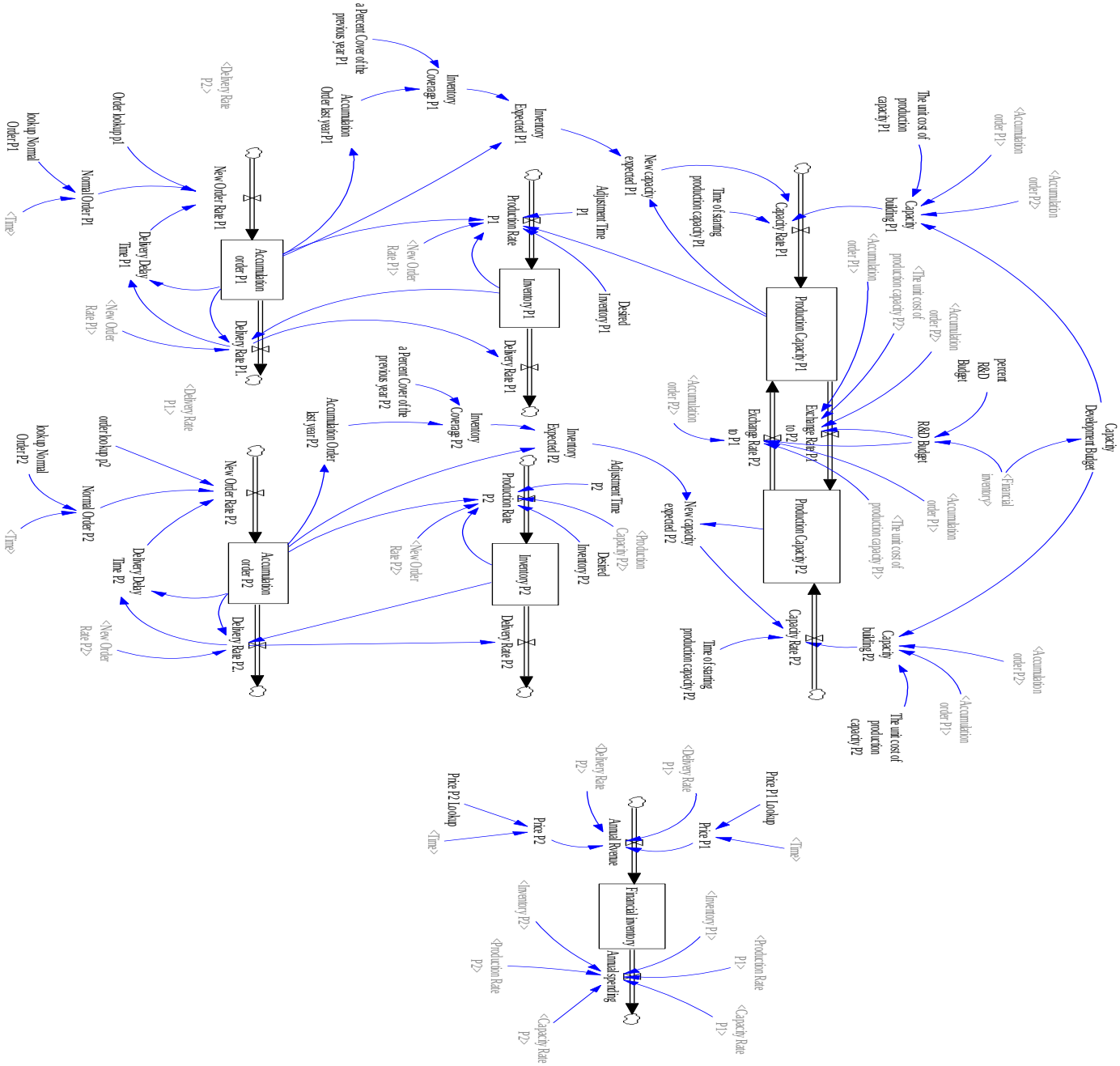
یکی از بازخوردهای مثبت افزایش نرخ سفارش توسط مشتریان می باشد که موجب انباشت سفارشات می‌شود که باعث می شود موجودی مورد انتظار شرکت بیشتر شود که در اینصورت ظرفیت جدید مورد انتظار نیز افزایش پیدا می‌کند به طوری که تاثیر مستقیم بر ظرفیت تولید داشته که باعث می‌شود نرخ تولید افزایش پیدا کرده و موجودی بیشتر شود که در اینصورت نرخ تحویل نیز بیشتر می‌شود که باعث می‌شود تاخیر در تحویل کاهش پیدا کند.



شکل شماره (۸): نرخ در حالت کلی

نمودار بالا حاصل مجموع حلقه‌های نامبرده می‌باشد. باید خاطر نشان کرد که تمامی حلقه‌های فوق در دو حالت محصول اول و دوم صادق می‌باشد که برای جلوگیری از افزایش مکررات از رسم مجدد آن صرف نظر کرده‌ایم.

نمودار جریان متغیرهای حالت، نرخ و شیوه اتصال آنها را نشان می‌دهد. شیوه اتصال متغیرهای نرخ یا حالت ممکن است به صورت مستقیم یا با واسطه باشد که در حالت دوم متغیر کمکی نقش واسطه را بازی می‌کند. متغیر کمکی برای ساده کردن محاسبه نرخ بر حسب حالت استفاده می‌شود که در معادلات متغیر نرخ یا متغیرهای کمکی دیگر به کار می‌رود. نمودار جریان برای نشان دادن ساختمان کلی سیستم و روابط فیزیکی و اطلاعاتی در سیستم به کار می‌رود.



شکل شماره (۹): انباشت جریان

پس از ترسیم نمودار حلقه‌های علی و معلولی و به منظور آنالیز و تحلیل پارامترهای دخیل در مدل، نمودار انباشت جریان رسم گردید. مدل نشان داده شده شامل چهار بخش است:

بخش سفارشات: همانطور که مشاهده می‌کنید سفارشات جدید یکی از ابزارهایی است که موجب می‌شود شرکت شروع به فعالیت کند و موجب می‌شود که انباشت سفارشات شکل بگیرد. نرخ تحویل نیزکه تاثیر معکوس بر تاخیر تحویل داشته است. این بخش

یکی از بخش‌های مهم سازمان می‌باشد که تاثیر مستقیمی برای کسب درآمد شرکت می‌باشد. این بخش به بخش تولید گره خورده است.

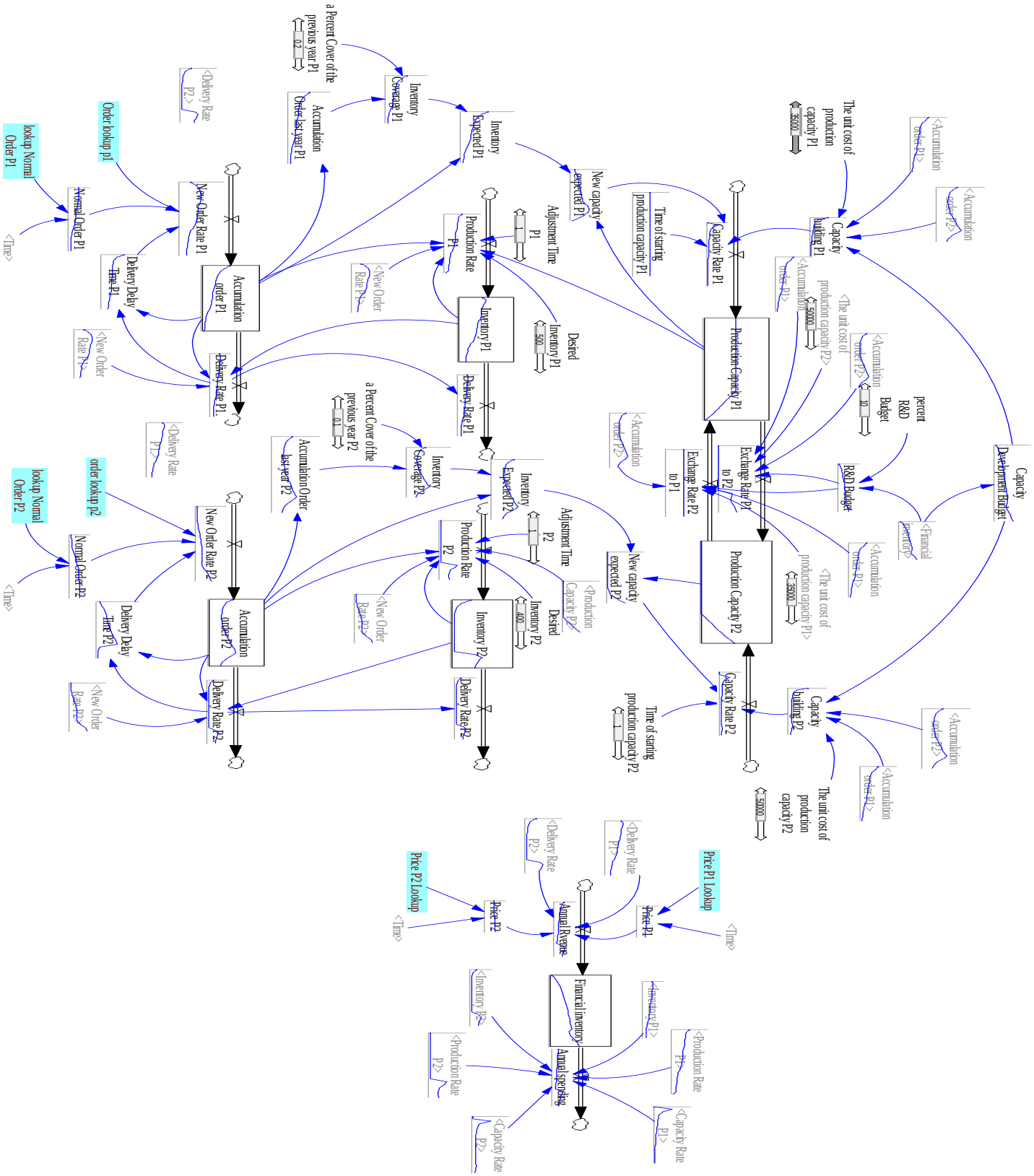
بخش تولید: همانطور که ملاحظه می‌فرمایید این بخش از مجوعه‌ای از فعالیت‌ها با یکدیگر ترکیب شده تا موجودی مورد نیاز را تهیه کند که شامل سفارشات جدید، انباشت سفارشات، موجودی مورد انتظار، زمان تنظیم، بازخوردی از موجودی و ظرفیت تولید می‌باشد. سپس موجودی به دست آمده به مشتری تحویل داده می‌شود.

بخش تحقیق و توسعه (R&D): معمولا میزان بودجه‌ای که شرکت به واحد R&D اختصاص می‌دهد رابطه نزدیکی با هزینه‌ها دارد. در R&D فعالیت‌هایی مانند تحقیق و توسعه، نوآوری محصولات، طراحی محصولات جدید و ... با بودجه تخصیص یافته رابطه مستقیمی دارد که اثرات آن را در تحقیق جاری بررسی خواهیم نمود.

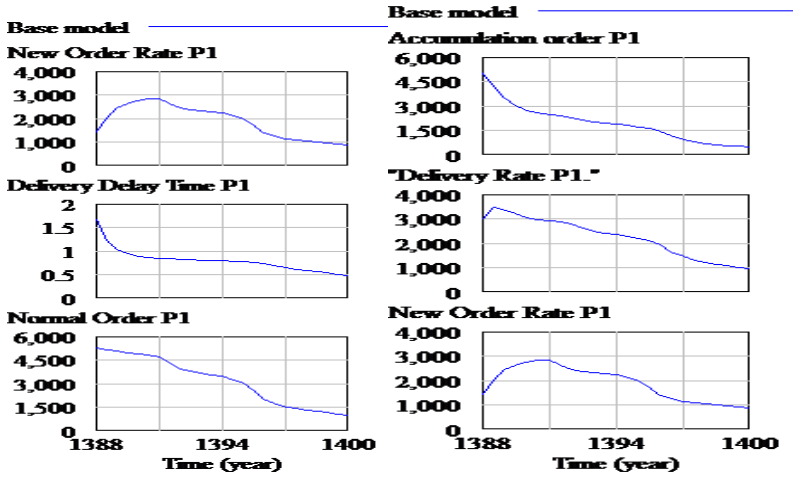
بخش مالی: بخش مالی به عنوان بخش کلیدی سازمان می‌باشد که تحت تاثیر میزان سفارشات، نرخ تحویل و قیمت فروش می‌باشد.

الف) اجرای مدل شبیه‌سازی

پس از اجرای برنامه ارتباط و تاثیر پارامترها بر یکدیگر مشخص می‌گردد. تاثیر مقادیر پارامترهای ثابت و ورودی به مدل و اجرای مجدد مدل به جوابهای تازه می‌توان دست یافت و این کار را به کرات می‌توان انجام داد و مقادیر پارامترهای ثابت را افزایش یا کاهش داد و تاثیر آن را بر روی سایر پارامترها مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. با اعمال تغییرات متعدد و اجرای مکرر مدل، مجموعه جوابهای مطرح شده بدست خواهند آمد. حال می‌توان مجموعه جوابهای بدست آمده را جهت گرفتن تصمیمات، برنامه‌ریزی و اقدامات مدیریتی ارائه نمود. همانطور که ملاحظه می‌فرمایید مدل شبیه‌سازی پس از طراحی به اجرا درآمده و نتایج و روند پیش‌بینی متغیرها در شکل نشان داده شده است.

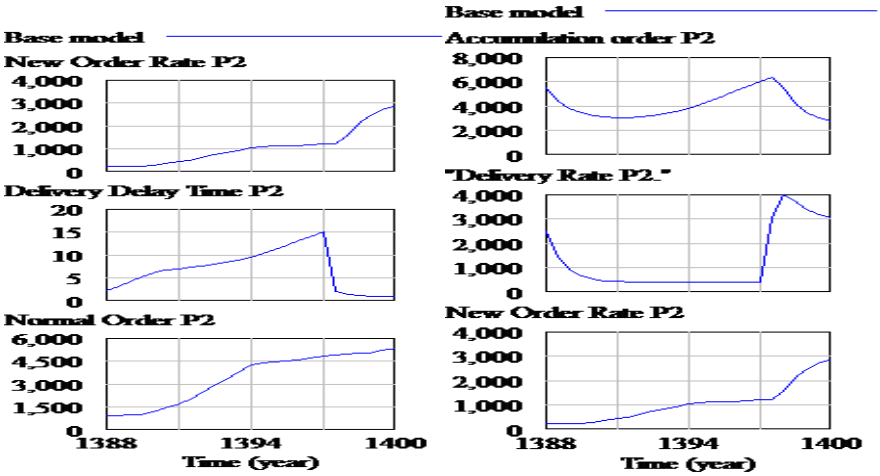


شکل شماره(۱۰): اجرای مدل شبیه‌سازی



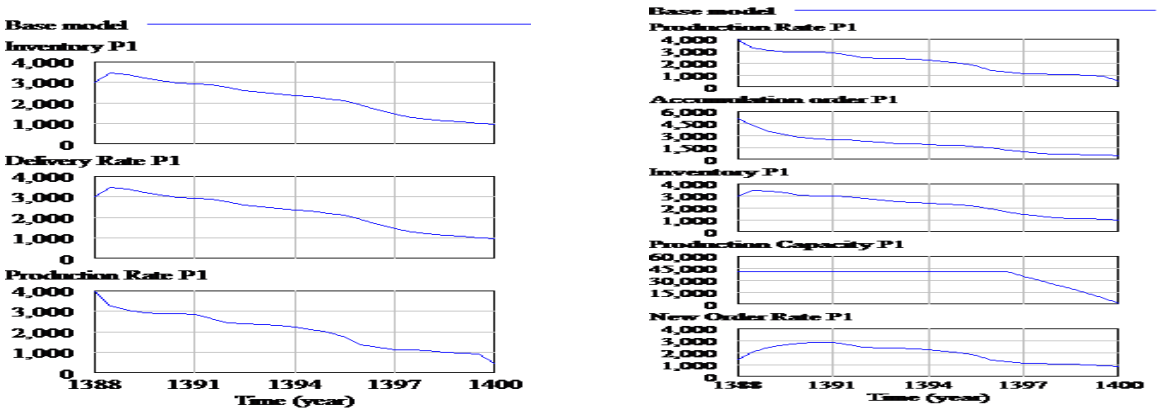
شکل شماره (۱۱): انباشت سفارش محصول۱

همانطور که ملاحظه می‌فرمایید سفارشات جدید محصول ۱ در ابتدا افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد، این کاهش به دلیل تغییر اختصاص بودجه از حصول ۱ به محصول ۲ می‌باشد به عبارتی تبدیل ظرفیت محصول اول به دوم می‌باشد، که دلیل کاهش سفارش نرمال ما نیز می‌باشد. با افزایش نرخ تحویل، نمودار نرخ تحویل کاهش پیدا می‌کند و موجب می‌شود که نمودار انباشت سفارش نیز کاهش می‌یابد. به این نکته نیز باید توجه کرد که نرخ تحویل به خاطر اینکه به صورت غیرخطی به متغیرهای انباشت سفارشات، موجودی و سفارشات وابسته است از شرط حالت گسسته استفاده کرده است.



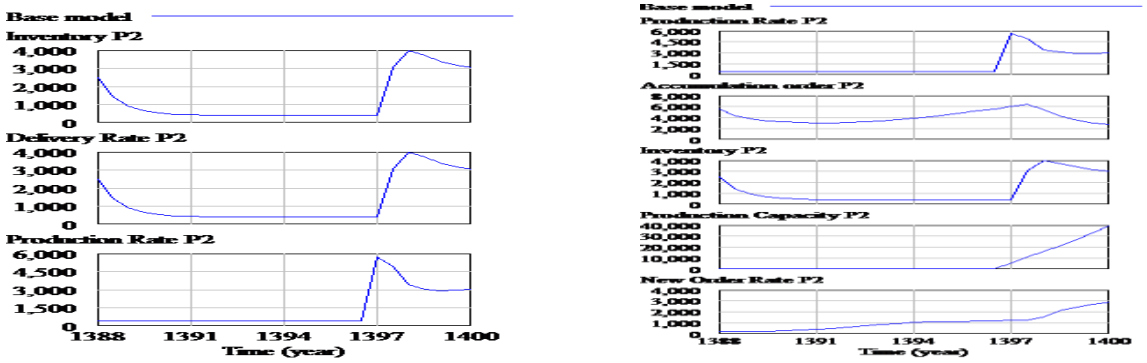
شکل شماره (۱۲): انباشت سفارش محصول۲

همانطور که نمودارهای بالا را ملاحظه می‌فرمایید در ابتدا نرخ سفارشات جدید روند رو به رشد کمی داشته که با اختصاص بودجه به نرخ تبدیل‌پذیری، اثری مثبت بر روند روبه‌رشد سفارشات محصول ۲ داشته که اگر با نمودار سفارشات محصول ۱ مقایسه کنیم مشاهده خواهیم کرد که عکس این اتفاق رخ می‌دهد به دلیل اینکه میزان بودجه اختصاص یافته به سمت محصول ۲ می‌رود. در اینحال نرخ تحویل ما در ابتدا زیاد است چرا که سفارشات در ابتدا کم است چرا که نرخ تولید روندی ثابت داشته و نرخ صعودی خود را طی نکرده است و این اتفاق هم برای انباشت سفارشات هم رخ می‌دهد و بعد با افزایش تولید نرخ تحویل و انباشت سفارشات کم می‌شود. در قسمت سوم نمودار سفارشات جدید افزایش سریع رو به بالا را مشاهده می‌کنیم که موجب می‌شود نرخ تحویل و انباشت سفارشات به یکباره افزایش پیدا می‌کند چرا که تاخیری خواهیم داشت تا نرخ تولید افزایش پیدا کند و پس از افزایش مجددا نرخ تحویل و انباشت سفارشات روند کاهشی خود را طی می‌کنند. نمودار تاخیر در تحویل نیز عکس نمودار نرخ تحویل می‌باشد.



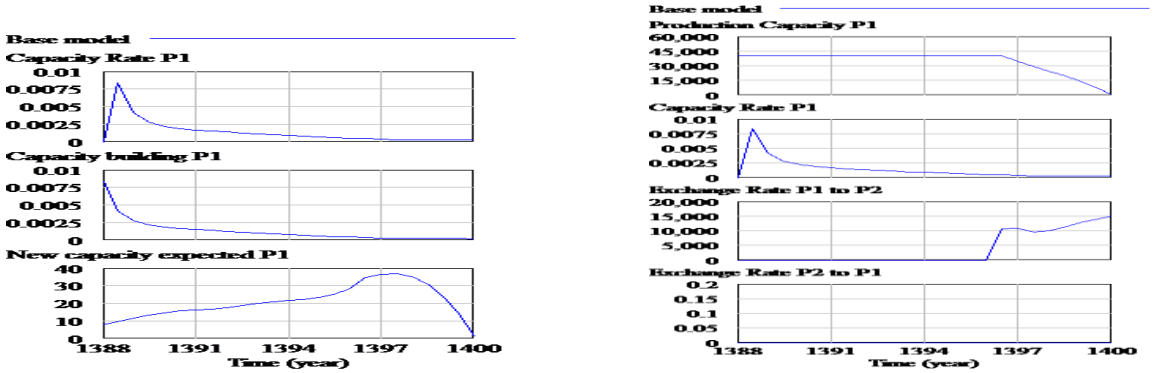
شکل شماره (۱۳): تولید محصول۱

همانطور که در نمودار بالا ملاحظه می‌نمایید نرخ تولید محصول ۱ به دلیل کاهش سفارشات، و کاهش انباشت سفارشات، و همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود ظرفیت تولید پس از روند ثابت افت شدیدی پیدا می‌کند، روند کاهشی خود را طی می‌کند. باید توجه نمود که با کاهش نرخ تولید با توجه به نمودار، موجودی ما افت پیدا می‌کند. اما در قسمت اول نمودار مشاهده می‌شود که ابتدا یک افزایش داشته و بعد کاهش و علت این جهش را می‌توان در نمودار نرخ سفارش مشاهده نمود که این نمودار نیز یک روند روبه‌بالا داشته و بعد کاهش پیدا می‌کند.



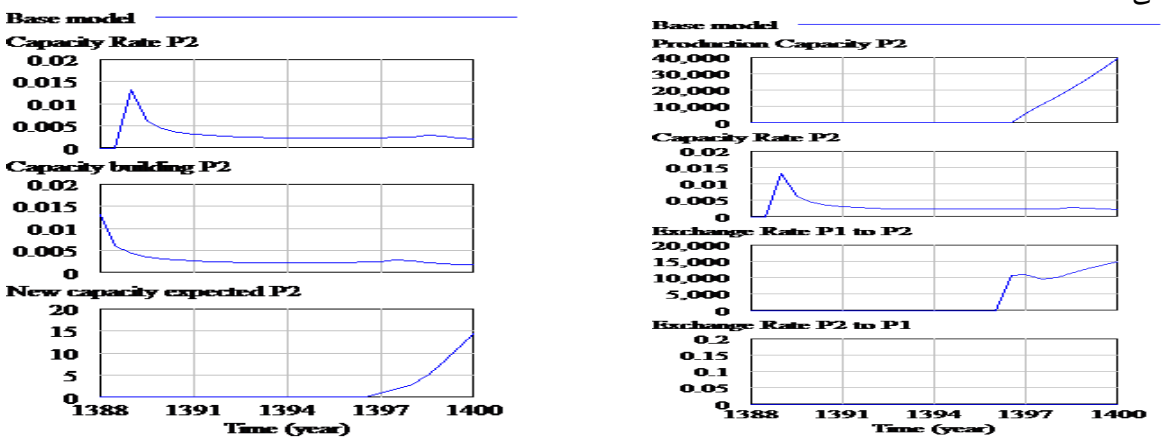
شکل شماره (۱۴): تولید محصول۲

همانطور که در نمودار بالا ملاحظه می‌نمایید نرخ تولید محصول ۲ در ابتدا روند ثابتی داشته سپس افزایش شدید رو به بالایی داشته و بعد روند کاهشی را طی می‌کند و سپس روند ثابت، که اگر نمودار نرخ سفارشات را مشاهده نمایید در ابتدا خیلی کند روند صعودی داشته و بعد افزایش پیدا می‌کند و با تاخیر موجب افزایش تولید می‌شود، در نمودار انباشت سفارشات به روند نزولی و بعد افزایشی داشته، که اثر تاخیر در نرخ تولید به اینصورت بوده که نرخ تولید روند ثابت خود را طی می‌کند که به یکباره افزایش و بعد کاهش پیدا می‌کند. اما تاثیر ظرفیت تولید بر نرخ تولید در نمودار کاملا مشخص است که نشان از تاثیر نرخ تخصیص بودجه به واحد تحقیق و توسعه (R&D) و تاثیر آن بر نرخ تبدیل‌پذیری و ظرفیت تولید محصول ۲ دارد. موجودی محصول نیز در ابتدا کاهش می‌یابد که این کاهش ابتدایی به دلیل تاثیر انباشت سفارش می‌باشد و قسمت ثابت نمودار به دلیل ثابت بودن نرخ تولید بوده و بعد با افزایش تولید، موجودی نیز افزایش می‌یابد. در اینجا محقق بر این باور است که موجودی به مشتری تحویل داده می‌شود و در انبار ذخیره نمی‌گردد.



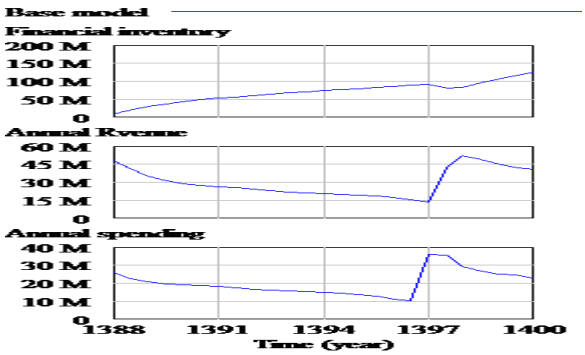
شکل شماره (۱۵): ظرفیت محصول۱

همانطور که در نمودار بالا ملاحظه می‌نمایید نرخ ایجاد ظرفیت با یک افزایش ناگهانی، شروع به کاهش می‌نماید. با توجه به نمودار متوجه می‌شویم که ظرفیت در حال احداث تقریبا از همانجایی که نرخ ایجاد ظرفیت کاهش پیدا می‌کند شروع به کاهش کرده تا جایی که نزدیک به صفر می‌شود. به این نکته باید توجه کرد که نرخ ایجاد ظرفیت یک نوع تاخیر (ساده) دارد که باعث انحراف رو به بالا شده و بعد کاهش پیدا می‌کند. در این جریان بودجه توسعه ظرفیت مقادیر یکسانی را به دو محصول اختصاص می‌دهد اما با توجه به کاهش انباشت سفارش محصول ۱ بودجه کمتری به محصول ۱ اختصاص داده می‌شود و باعث می‌شود ظرفیت در حال احداث افت نماید. ما انتظار داریم که ظرفیت جدید مورد انتظار رشد داشته باشد، اما به دلیل ذکر شده، نمی‌تواند تاثیر بر رشد نرخ ایجاد ظرفیت داشته باشد. با توجه به بودجه اختصاص داده شده و شرط ایجاد شده که با توجه به برقراری شرط همانطور که در نمودار مشاهده می‌کنید، نرخ تبدیل‌پذیری تغییر کرده و محصول ۱ به سوی محصول ۲ می‌رود. که در ابتدا روند ثابت و بعد افزایشی دارد. مشاهده خواهیم کرد که ظرفیت تولید نیز با این روند بیان شده، ثابت بوده و بعد افت شدیدی پیدا می‌کند.



شکل شماره (۱۶): ظرفیت محصول۲

همانطور که در نمودار بالا ملاحظه می‌نمایید نرخ ایجاد ظرفیت پس از مدت زمان ثابیی با یک افزایش ناگهانی، شروع به کاهش می‌نماید. با توجه به نمودار متوجه می‌شویم که ظرفیت در حال احداث تقریبا از همانجایی که نرخ ایجاد ظرفیت کاهش پیدا می‌کند شروع به کاهش کرده تا جایی که نزدیک به صفر می‌شود. به این نکته باید توجه کرد که نرخ ایجاد ظرفیت از یک نوع تاخیر (ساده) که باعث انحراف رو به بالا شده و بعد کاهش پیدا می‌کند. برای درک ثابت بودن نرخ تولید مورد انتظار باید نمودار را با نرخ تبدیل ظرفیت از محصول ۱به ۲ مقایسه کنیم، مشاهده خواهیم کرد که تغییر جهت محصول از ۱ به ۲ و افزایش ظرفیت مورد انتظار در بازه زمانی مشخصی رخ می‌دهد. با توجه به نمودار بودجه توسعه ظرفیت مقادیر یکسانی را به دو محصول اختصاص می‌دهد اما با توجه به کاهش انباشت سفارش محصول ۱، و از طرفی به دلیل کاهش جزئی و بعد افزایش محصول دوم و شرط برقرار شده جهت تبدیل ظرفیت، ما هیچگونه تغییری را مشاهده نخواهیم کرد. با توجه به نمودار ملاحظه می‌نمایید با توجه به تبدیل ظرفیت از محصول ۱به۲ ظرفیت تولید نیز پس از طی روند ثابت افزایش ناگهانی داشته است.



شکل شماره (۱۷): موجودی مالی

همانطور که در نمودار بالا ملاحظه می‌نمایید موجودی مالی سازمان روند رو به رشدی دارد و افزایش می‌یابد، فقط در قسمتی از نمودار افت می‌کند که این افت به دلیل تغییر جهت از محصول اول به محصول دوم می‌باشد که این افت منطقی است. کاهش درآمد سالانه و بعد افزایش متاثر از قیمت و نرخ تحویل به مشتریان می‌باشد. در نمودار هزینه سالیانه نیز یک جهش روبه‌بالا داریم که این جهش نیز به خاطر سرمایه‌گذاری بر روی محصول دوم می‌باشد که خوشبختانه با توجه به این هزینه‌های انجام شده موجودی مالی شرکت روند افزایشی خود را به دست می‌آورد.

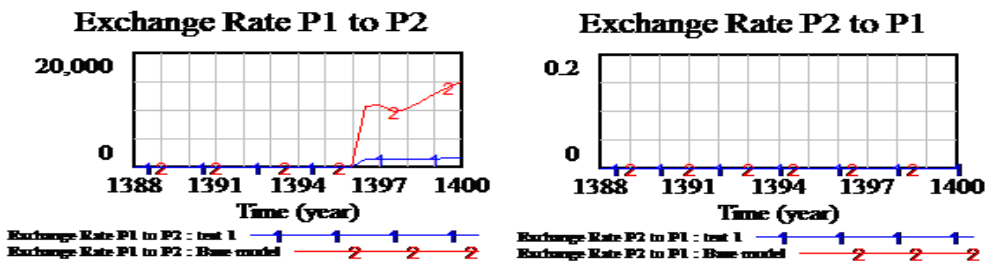
ب) اعتبار سنجی مدل

یکی از بخش‌های مهم پویایی سیستم اعتبارسنجی مدل است. اعتبار سنجی فرایند ایجاد اطمینان در زمینه معنی‌دار بودن و مفید بودن مدل است. تصمیم‌گیرندگان باید اطمینان حاصا کنند که مدل، کاملا درخور و مناسب وظایفی است که از آن انتظار می‌رود. اگرچه به سادگی و وضوح این نظره اعتبار سنجی درست است اما اعتبارسنجی یک مدل شبیه‌سازی به طور کامل در عمل می‌تواند بسیار دشوار باشد.(مایکل‌پید،۱۹۷۹) برای این منظور تست‌های اعتبارسنجی، جهت حصول اطمینان از صحت نتایج به دست آمده، انجام شده است. سنجش ساختار اعتبار، با برگزاری جلسات کانونی و تحلیل متغیرهای درونی مدل و ساختار روابط صورت پذیرفت. دز این تحقیق تعدادی از تست‌های اعتبارسنجی معرفی شده توسط استرمن[۸](۲۰۰۰)، جهت حصول اطمینان از صحت مدل ارائه شده است.

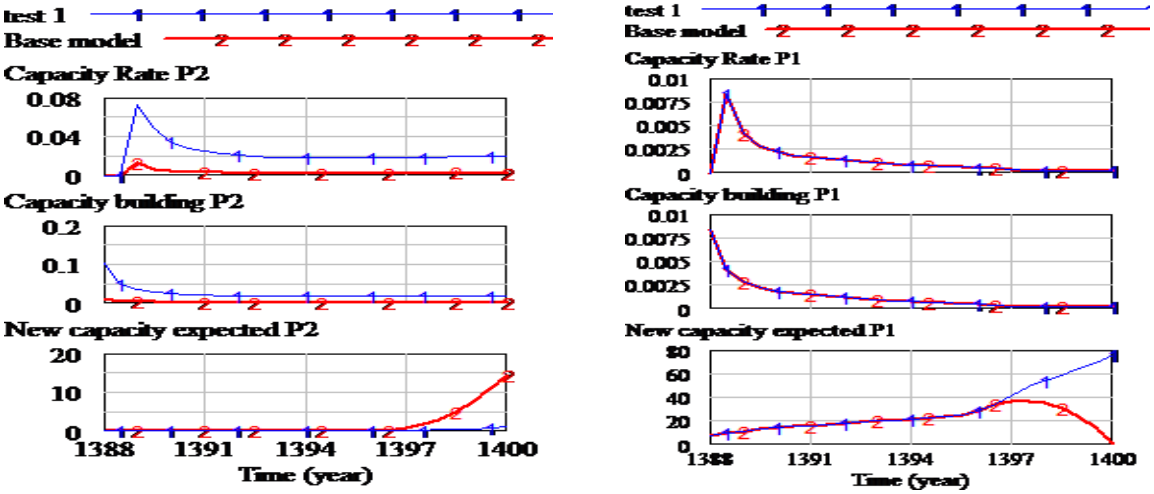
ج) تست شرایط حدی

این آزمون بررسی می‌کند که آیا معادلات موجود در مدل، حتی اگر به سمت بی‌نهایت میل کنند، با معنی بوده و متغیرها نیز دارای مقادیر با معنی خواهند بود؟ در این بخش رفتار متغیرها در حالت حدی مورد بررسی قرار می‌گیرند که مدل باید رفتار مورد انتظار را از خود نشان دهد.

همانطور که ملاحظه می‌شود با تغییر هزینه تولید هر واحد محصول دوم (افزایش هزینه) مدل رفتار مورد انتظار خود را حفظ می‌کند، محصول ۱ روند قبلی خود را طی می‌کند اما محصول دوم تمام روند قبل با تاخیر انجام می‌شود یعنی به عنوان مثال نرخ تولید ما به سرعت افزایش پیدا نمی‌کند بلکه روند رو به رشدی دارد که موجودی هم از این روند تبعیت می‌کند. باید توجه کرد که این اتفاق باعث می‌شود که موجودی مالی سازمان نیز افت پیدا می‌کند و همین نرخ رشد را هم مدیون تولید محصول اول خود می‌باشد. نرخ تبدیل ظرفیت نیز به طور محسوس از ۱به ۲ تغییر می‌کند.

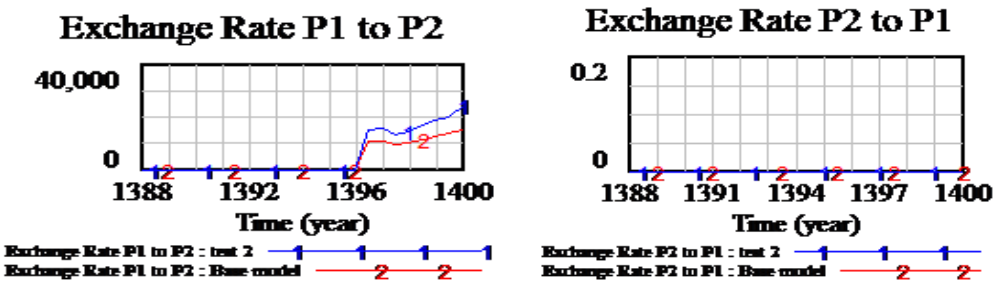


[8] Sterman



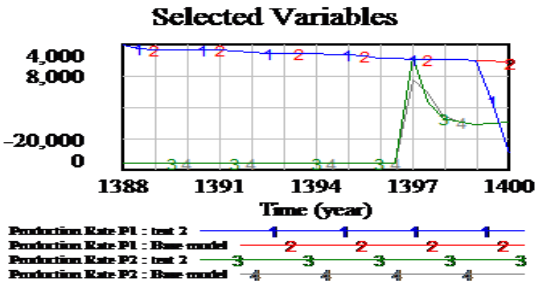
شکل شماره (۱۸): نمودارهای تست شرایط حدی

در حالت دیگر اگر که هزینه تولید هر واحد محصول دوم را کاهش بدهیم عکس اتفاقات بالا رخ می‌دهد اما همانطور که مشاهده خواهید کرد مدل رفتار مورد انتظار خود را حفظ می‌کند.



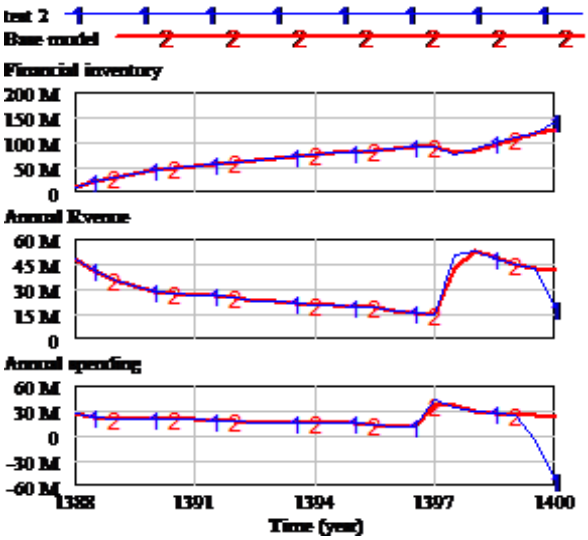
شکل شماره (۱۹): نمودار تست شرایط حدی، نرخ تبدیل ظرفیت

همانطور که در دو نمودار بالا ملاحظه می‌فرمایید با کاهش هزینه نرخ تبدیل ظرفیت با شیب بیشتری انجام می‌شود. در نمودار زیر مقایسه نرخ تولید محصول اول و دوم نشان داده می‌شود نرخ تولید محصول اول سریعتر کاهش پیدا می‌کند چرا که شرکت به دلیل کمتر شدن هزینه به سمت تولید محصول دوم می‌رود.



شکل شماره (۲۰): نمودار تست شرایط حدی، نرخ تولید

با توجه به این روند، نمودار موجودی مالی را مشاهده می‌کنیم که در پایان افزایش داشته است.



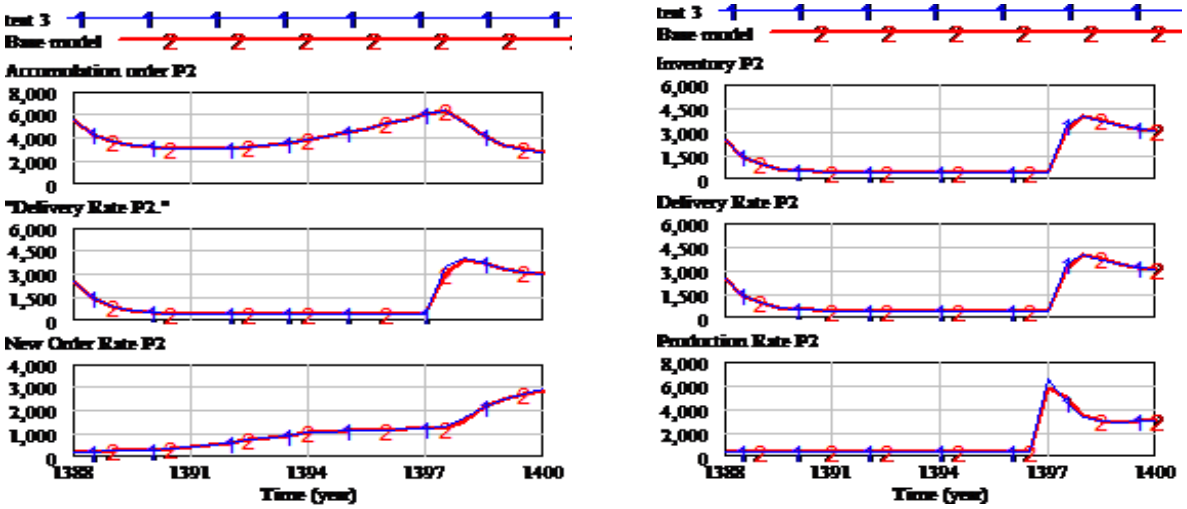
شکل شماره (۲۱): نمودار تست شرایط حدی، موجودی مالی

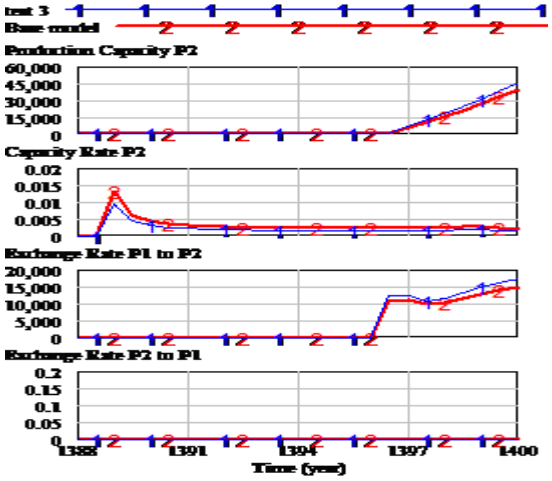
ه) تست ساختار

این آزمون، پاسخ به این سوال می‌باشد که آیا ساختار مدل با دانشی که ما از ساختار سیستم واقعی آن داشتیم در تضاد نیست؟ و آیا مرتبط‌ترین تعیین ساختار با سیستم واقعی مدل شده است؟ در این بخش بررسی تطابق مدل با واقعیت بررسی شده است. از آنجایی که از نظر خبرگان و کارشناسان برای تکمیل متغیرها استفاده شده است ورفتار متغیرها برای تبدیل ظرفیت محصول، نرخ تولید و تاثیر آن بر نرخ سفارش و موجودی مالی استفاده شده که در مدل نهایی فرمول و لحاظ شده است، کاملا با واقعیت تطابق داشته و این موضوع در رفتار مدل به تایید خبرگان و کارشناسان مربوطه رسیده است.

و) تست آزمون حساسیت

یکی از روش‌های سنجش اعتبار، آزمون حساسیت است. براساس این آزمون، تغییرات کوچک و قابل پیش‌بینی در پارامترهای الگو، در حالت عادی، نباید تغییرهای شدید و غیرقابل پیش‌بینی در رفتار الگو ایجاد کند. در مدل، با کاهش ۲ درصدی از درصد بودجه اختصاص داده شده به واحد تحقیق و توسعه (R&D) تغییر چشمگیری در سفارشات، موجودی، نرخ تحویل، نرخ تبدیل‌ظرفیت و ... دیده نشد که در نمودارهای زیر ملاحظه می‌نمایید.

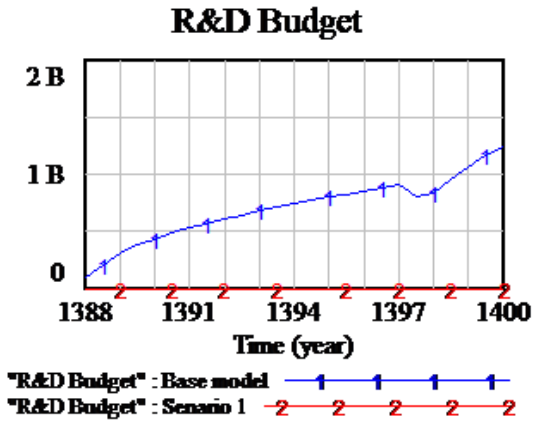


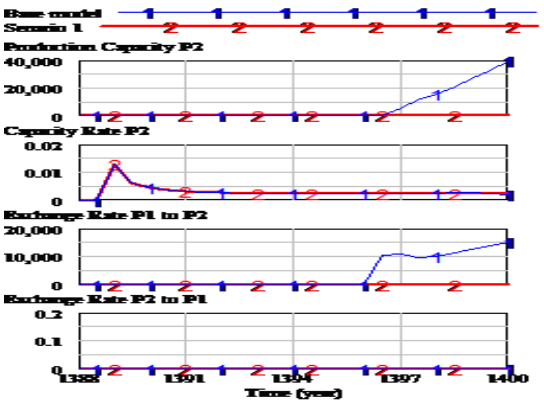


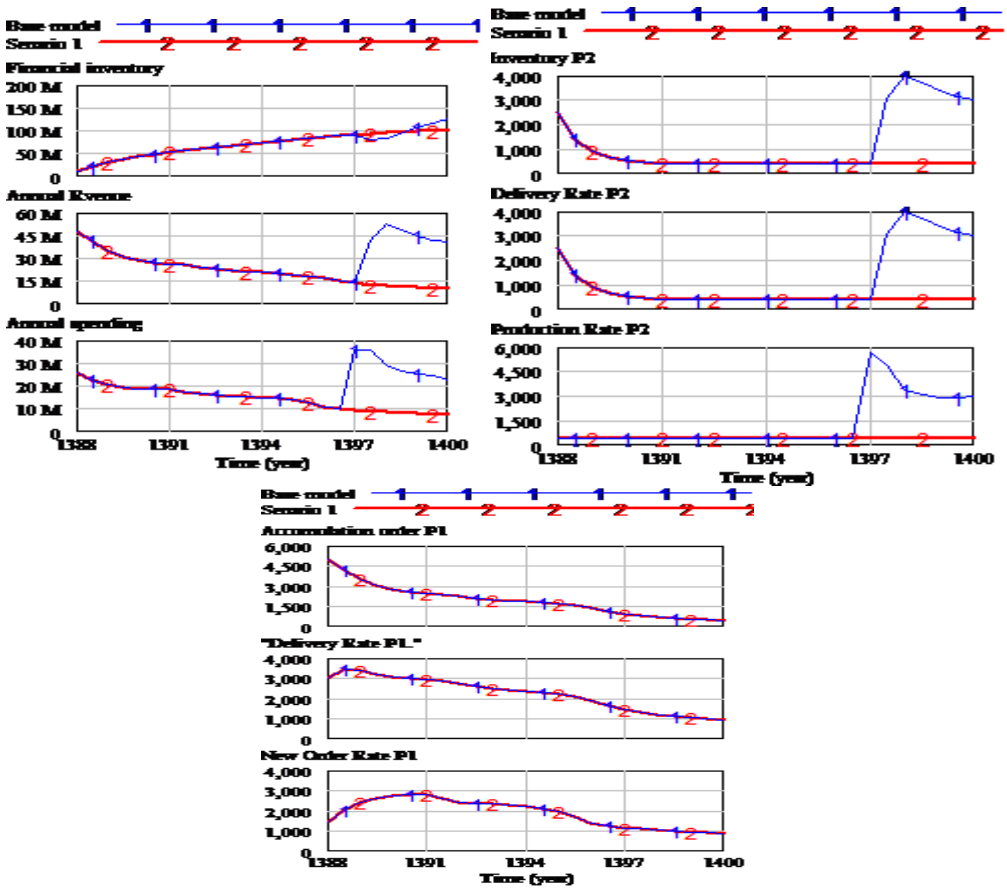
شکل شماره (۲۲): نمودارهای آزمون حساسیت

هدف همه تست‌های مدل پویایی شناسی سیستم نشان دادن مفید بودن مدل به عنوان ابزاری برای تحلیل سیاست می‌باشد. در واقع می‌توان اینطور بیان کرد که می‌توان از تست‌های سیاست و طراحی ارزیابی سیاست‌ها جهت ترقی و اصلاح در عالم واقع استفاده نمود. در این تحقیق با توجه به اینکه سیاست‌های ظرفیتی تولید یکی از عناصر مهم می‌باشد و جهت بهبود آن تلاش شده است می‌توان عدم تاثیر میزان بودجه اختصاص یافته به واحد تحقیق و توسعه (R&D) را به عنوان سناریوی اول بررسی کرد.

سناریوی اول:در حال حاضر سازمان مورد نظر، میزان خاصی را به عنوان بودجه تحقیق به واحد تحقیق و توسعه (R&D) اختصاص می‌دهد که در مدل نشان داده شد. اما اگر سازمان میزان بودجه اختصاص یافته را قطع نماید، آنگاه دیگر نمی‌توان انتظار داشت که نرخ تبدیل پذیری محصول و ظرفیت تولید تغییر کند و همچنان که در نمودار مشاهده خواهید کرد هیچ اتفاقی رخ نخواهد داد. در اینجا نمودار موجودی مالی نشان می‌دهد که روند رو به رشدی دارد ولی در قیاس با نمودار مدل اصلی، مشخص می‌شود که اگر بودجه اختصاص یافته بود با در نظر گرفتن افت محسوسی در سال‌های مالی، سود در انتها بیشتر از این حالت خواهد بود. اگر فرد تصمیم‌گیرنده با صرف‌نظر از میزان کاهش رخ داده در موجودی مالی آینده‌نگر باشد در سالهای آتی میزان موجودی مالی افزایش چشمگیری خواهد داشت. نکته مهمی که باید به آن توجه نمود این است که اگر در نمودار میزان سفارش جدید و انباشت سفارشات دقت نمایید، مشاهده خواهید کرد که میزان این سفارشات روند کاهشی دارد و در آینده‌ای نه چندان دور شرکت سهم خود را در بازار از دست خواهد داد. مقدار رشد موجودی مالی به دلیل انحصاری بودن بازار می‌باشد.



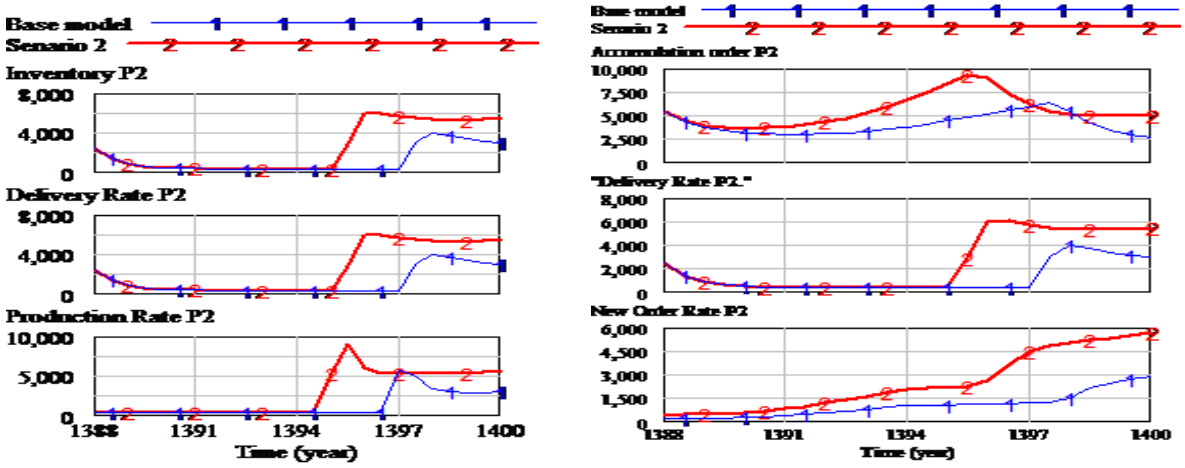




شکل شماره (۲۳): نمودارهای سناریوی اول

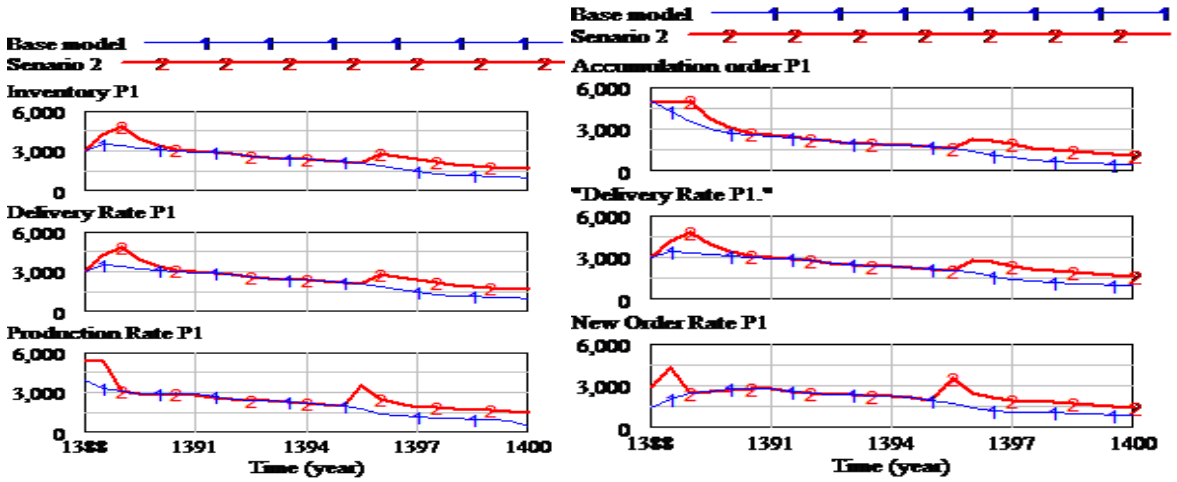
هدف اصلی محقق در بنا نهادن این مدل، بررسی وضعیتی است که سازمان مورد نظر بتواند ظرفیت‌های تولیدی خود را بهبود ببخشد و بتواند در حالتیکه محصول اول خود را تولید می‌کند آرام آرام تغییر وضعیت داده و محصول دوم خود را هم تولید کند. از آنجا که عکس‌العملهای بین بخش‌های می‌تواند مختلف نقش مهمی را در ایجاد توسعه ظرفیت ایجاد کنند، بنابراین ما اثر نرخ تحویل را به عنوان سناریو دوم بررسی می‌نماییم.

در سناریوی دوم، محقق اثر نرخ تحویل را بر روی میزان سفارشات هر دو محصول، نرخ تولید، تغییر وضعیت، ظرفیت تولید و ... بررسی می‌کند. توجه به این نکته ضروری است که نرخ تحویل می‌تواند نقش موثری در سهم سازمان از بازار را داشته باشد و برند سازمان را خوش نام و یا بد نام کند که در تحقیق مورد نظر نادیده گرفته شده است.همچنان که در نمودار مشاهده خواهید کرد اثر نرخ تحویل محصول اول بر محصول دوم تغییرات نسبتا شدیدی را ایجاد کرده است و میزان سفارشات محصول دوم افزایش پیدا کرده است، این افزایش موجب شده است که میزان انباشت سفارشات به تبع افزایش پیدا کرده و نرخ تولید در زمانی زودتر از مدل اولیه شروع به تولید کرده و میزان بیشتری را هم نسبت به مدل اولیه تولید نماید و این باعث می‌شود که موجودی ما بیشتر شده و در نتیجه نرخ تحویل نیز سریعتر انجام شود.



شکل شماره (۲۴): نمودار سناریوی دوم، میزان تغییرات محصول دوم

همچنان که در نمودار مشاهده خواهید کرد مشتریانی که همچنان علاقه‌مند به خرید محصول اول هستند با افزایش نرخ تحویل محصول دوم، با یک رشد کوتاه مدتی اقدام به سفارش می‌کنندو مجددا به نرخ کاهشی خود برمیگردد اما در زمان جلوتر مجددا شاهد یک رشد سفارشی از محصول اول هستیم که به خاطر افزایش نرخ تحویل محصول دوم می‌باشد و در انتها نسبت به مدل اولیه خواهیم دید که با مقدار بیشتری از سفارش محصول اول بازار را ترک خواهد کرد. این افزایش سفارشات اثری مستقیم بر انباشت سفارشات داشته و موجب می‌شود که نرخ تولید و به تبع میزان موجودی افزایش پیدا کند.



شکل شماره (۲۵): نمودار سناریوی دوم، میزان تغییرات محصول ۱

همچنان که در نمودار مشاهده خواهید کرد نمودار ظرفیت تولید محصول دوم به صورت پلکانی افزایش پیدا می‌کند و همچنین نمودار ظرفیت تولید محصول اول به صورت پلکانی کاهش پیدا می‌کند. نرخ تبدیل‌پذیری با عث این اتفاق خواهد شد که به دلیل اثر انباشت سفارشات محصولات و میزان بودجه به R&D می‌باشد. این رخدادها باعث می‌شود که موجودی مالی شرکت نسبت به مدل اولیه افزایش پیدا کند و موجب می‌شود که درصد بیشتری به واحد R&D اختصاص پیدا کند.

رقابت جهانی و تغییرات پیش‌بینی نشده‌ای که هر از گاه در شرایط بازار به وجود می‌آیند، عمده چالش‌های امروز پیش‌روی سازمان‌های تولیدی را تشکیل می‌دهند. در چنین شرایطی بیش از گذشته نیاز به کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت محصولات، شناسایی متغیرهای موثر در تولید محصول بسیار احساس می‌شود.

مقیاس‌پذیری ظرفیت (نرخ ایجاد ظرفیت) شاخصی است که می‌توان به کمک آن و با استفاده از روش‌های مبتنی بر هزینه، ظرفیت و قابلیت را به منظور افزایش نرخ تولیدات، نرخ سفارشات، منابع و ... افزایش (کاهش) داد. مهمترین ویژگی یک برنامه کاربردی این است که برای افزایش نرخ تولید علاوه بر نیاز به منابع، به میزان سفارشات دریافتی، آرایش‌های بهینه در طراحی جهت ایجاد نرخ تبدیل ظرفیت و... توجه لازم را ایجاد نمایند.

در این تحقیق، به اهدافی نظیر شناسایی عوامل مستقیم و غیرمستقیم بر ایجاد نرخ ظرفیت، شناسایی عوامل موثر بر سفارش محصولات جدید، نرخ تولید دست پیدا کردیم.مدیران می‌توانند پیش از شروع کار، مطابق به برآوردهای انجام شده از شرکت یک مدل دینامیک ایجاد کرده و از طریق شبیه‌سازی نتایج، آنچه را که در ادامه فرایند مدل اتفاق می‌افتد مشاهده کنند. در ساخت مدل ارائه شده انتظار محقق این است که مدل‌های پویایی سیستم به طور رایج برای بهبود عملکرد سازمان مورد استفاده قرار بگیرد. در نتایج تحقیق حاضر مشخص شد که شرکت برای حفظ ظرفیت رقابتی خود با توجه به مدل و کارشناسان تصمیم می‌گیرد که تغییرات سیاست ظرفیتی را با ورود محصول دوم ایجاد نماید، اما استراتژی تولید محصول اول خود را همچنان ادامه می‌دهد تا موجودی مالی شرکت افت نکند.

از طرفی در سناریوی دوم بررسی شد که زمانی که نرخ تحویل محصول دوم افزایش یابد، محصول اول نیز با یک جهش سفارش مواجهه می‌شود. در نهایت شرکت برای حفظ ظرفیت رقابتی خود تولید محصولات جدید را مد نظر قرار می‌دهد.همچنین از نتایج چنین بر می اید که شرکت سیاست برنامه‌ریزی ظرفیت تولید خود را از جهت‌گیری داخلی (حالت فشاری) خارج شده و سیاست برنامه‌ریزی ظرفیت تولید خود را از جهت‌گیری خارجی (حالت کششی) تغییر می‌دهد به عبارت دیگر تولید بر حسب سفارش دریافت شده از سوی مشتری انجام می‌شود، که در مدل قابل مشاهده است.همچنین نتایج نشان داد که شرکت ظرفیت تولید و سطح موجودی خود را با در نظر گرفتن نرخ سفارش دریافتی از سوی مشتریان تنظیم می‌نماید و خروجی محصول خود را با نگرش عدم خروجی قابل ذخیره در نظر گرفت و همانطور که در مدل مشاهده نمودید با این رویکرد توانست تا ظرفیت تولید و سطح موجودی را با نیاز بازار تطابق بخشد.

برای تحقیقات اتی پیشنهاد میشود که از شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی سطح موجودی استفاده شود و از نتایج شبکه های عصبی برای ورودی مدل سیستم های قابل پیکربندی مجدد استفاده شود.

٤-منابع

1. Abdi, M. R., & Labib, A. W. (2003). A design strategy for reconfigurable manufacturing systems (RMSs) using analytical hierarchical process (AHP): a case study. *International Journal of production research*, *41*(10), 2273-2299.
2. Andersen, A. L., Brunoe, T. D., & Nielsen, K. (2015, September). Reconfigurable manufacturing on multiple levels: literature review and research directions. In *IFIP International conference on advances in production management systems* (pp. 266-273). Springer, Cham.
3. Andersen, A. L., Brunoe, T. D., & Nielsen, K. (2019). Engineering education in changeable and reconfigurable manufacturing: Using problem-based learning in a learning factory environment. *Procedia Cirp*, *81*, 7-12.
4. Asghar, E., Baqai, A. A., & Homri, L. (2018). Optimum machine capabilities for reconfigurable manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *95*(9), 4397-4417.
5. Ashraf, M., & Hasan, F. (2018). Configuration selection for a reconfigurable manufacturing flow line involving part production with operation constraints. *The international journal of advanced manufacturing technology*, *98*(5), 2137-2156.
6. Bensmaine, A., Benyoucef, L., and Dahane, D. (2013). A non-dominated sorting genetic algorithm based approach for optimal machines selection in reconfigurable manufacturing environment. *Computers & Industrial Engineering*, 66(3), 519–524.
7. Bortolini, M., Ferrari, E., Galizia, F. G., & Regattieri, A. (2021). An optimisation model for the dynamic management of cellular reconfigurable manufacturing systems under auxiliary module availability constraints. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*, 442-451.

8. Bortolini, M., Galizia, F. G., & Mora, C. (2018). Reconfigurable manufacturing systems: Literature review and research trend. *Journal of manufacturing systems*, *49*, 93-106.
9. Bortolini, M., Galizia, F. G., & Mora, C. (2018). Reconfigurable manufacturing systems: Literature review and research trend. *Journal of manufacturing systems*, *49*, 93-106.
10. Bortolini, M., Galizia, F. G., & Mora, C. (2019). Dynamic design and management of reconfigurable manufacturing systems. *Procedia manufacturing*, *33*, 67-74.
11. Choi, Y. C., & Xirouchakis, P. (2015). A holistic production planning approach in a reconfigurable manufacturing system with energy consumption and environmental effects. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *28*(4), 379-394.
12. Deif, A. M., & ElMaraghy, H. A. (2007). Assessing capacity scalability policies in RMS using system dynamics. *International journal of flexible manufacturing systems*, *19*(3), 128-150.
13. Dou, J., Li, J., and Su, C. (2016). Bi objective optimization of integrating configuration generation and scheduling for reconfigurable flow lines using NSGA-II. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(5-8), 1945–1962.
14. Gao, Guibing., Yue, Wenhui, Wang, Junshen., Ou, Wenchu. (2020). Structural-vulnerability assessment of reconfigurable manufacturing system based on universal generating function, *Reliability Engineering & System Safety*, 20(3): 101-107.
15. Haddou Benderbal, H., Dahane, M., & Benyoucef, L. (2017). Flexibility-based multi-objective approach for machines selection in reconfigurable manufacturing system (RMS) design under unavailability constraints. *International Journal of Production Research*, *55*(20), 6033-6051.
16. Hashemi-Petroodi, S. E., Dolgui, A., Kovalev, S., Kovalyov, M. Y., & Thevenin, S. (2021). Workforce reconfiguration strategies in manufacturing systems: a state of the art. *International Journal of Production Research*, *59*(22), 6721-6744.
17. Khan, A. S., Homri, L., Dantan, J. Y., & Siadat, A. (2020). Cost and quality assessment of a disruptive reconfigurable manufacturing system based on MOPSO metaheuristic. IFAC-PapersOnLine, 53(2), 10431-10436.
18. Lamy, D., Delorme, X., Lacomme, P., & Fleury, G. (2020). Toward Scheduling for Reconfigurable Manufacturing Systems. *IFAC-PapersOnLine*, *53*(2), 10443-10448.
19. Lee, S., Ryu, K., & Shin, M. (2017). The development of simulation model for self-reconfigurable manufacturing system considering sustainability factors. *Procedia manufacturing*, *11*, 1085-1092.
20. Li, J., Wang, A., and Tang, C. (2014). Production planning in virtual cell of reconfiguration manufacturing system using genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74(1-4), 47–64.
21. Maganha, I., Silva, C., & Ferreira, L. M. D. (2018). Understanding reconfigurability of manufacturing systems: An empirical analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, *48*, 120-130.
22. Moghaddam, S. K., Houshmand, M., & Fatahi Valilai, O. (2018). Configuration design in scalable reconfigurable manufacturing systems (RMS); a case of single-product flow line (SPFL). *International Journal of Production Research*, *56*(11), 3932-3954.

23. Ouaret, S., Kenné, J. P., & Gharbi, A. (2019). Production and replacement planning of a deteriorating remanufacturing system in a closed-loop configuration. *Journal of Manufacturing Systems*, *53*, 234-248.
24. Petroodi, S. E. H., Eynaud, A. B. D., Klement, N., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2019). Simulation-based optimization approach with scenario-based product sequence in a reconfigurable manufacturing system (RMS): A case study. *IFAC-PapersOnLine*, *52*(13), 2638-2643.
25. Singh, P. P., Madan, J., & Singh, H. (2020). A systematic approach for responsiveness assessment for product and material flow in reconfigurable manufacturing system (RMS). *Materials Today: Proceedings*, *28*, 1643-1648.
26. Touzout, F. A., & Benyoucef, L. (2019). Multi-objective multi-unit process plan generation in a reconfigurable manufacturing environment: a comparative study of three hybrid metaheuristics. *International Journal of Production Research*, *57*(24), 7520-7535.
27. Youssef, A. M., & ElMaraghy, H. A. (2008). Performance analysis of manufacturing systems composed of modular machines using the universal generating function. *Journal of manufacturing systems*, *27*(2), 55-69.
28. Zhang, Y., Zhao, M., Zhang, Y., Pan, R., & Cai, J. (2020). Dynamic and steady-state performance analysis for multi-state repairable reconfigurable manufacturing systems with buffers. *European Journal of Operational Research*, *283*(2), 491-510.

Investigating the Feasibility of Implementing Scalable Policies for Optimal Production Capacity Based On a Reconfigurable Production System (RMS) With a Dynamic Systems Approach

Rohollah Ranjbar
Department of industrial management, Firoozkooh branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran
Seyed Ahmad Shayan Nia (Corresponding Author)
Department of industrial management, Firoozkooh branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran
Email: sheibat@yahoo.com
Amirmehdi Miandaragh
Department of mathemathics, Firoozkooh branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran
Email: Roya.ahari@pin.iaun.ac.ir
Mohammadreza Lotfi
Department of industrial engineering, Firoozkooh branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran

Abstract
The problem studied in this research is the implementation of scalable policies of production capacity based on the reconfigurable production system. A new model for evaluating capacity policies based on new product orders, financial inventory and budget based on dynamic systems is presented in this paper. The scope of research is the National Iranian Gas Company. The data obtained through exploratory interviews were selected from the experts of the National Iranian Gas Company. Their effect on each other was extracted and after expressing the dynamics hypothesis, a sample of the related cause-effect was prepared. After plotting the causal loops and in order to analyze the parameters involved in the model, the flow accumulation diagram was drawn. The designed model was implemented and the behavior of the variables was investigated and then the model was validated. The model consists of four sections: orders, production, research and development and finance. The results showed that the company adjusts its production capacity and inventory level by considering the order rate received from customers and considered the output of its product with the attitude of no stock output and as you saw in the model with this approach was able to match production capacity and inventory level to market needs.

Keywords: Re-configurable production system, Dynamic systems, Scalability of production capacity.