فصلنامه مطالعات کمی در مدیریت
دوره ۱۳، شماره چهار، زمستان ۱۴۰۱، صص ۸۱-۱۱۴

طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در صنعت نساجی و پوشاک در تعامل با تولید به کمک شبیه‌سازی(مطالعه موردی کارخانجات نساجی بروجرد)

سید شهرام فاطمی[۱]، مهرداد جوادی[۲]، اسماعیل نجفی[۳] و امیر عزیزی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۸

چکیده

هدف پژوهش"طراحی مدل پویای هوشمند نت پیش‌گیرانه با بهره‌گیری از شبیه‌سازی در تعامل با تولید" براساس مستندات صنایع نساجی و پوشاک تحت عنوان مدل نت پیش‌گیرانه پویا است. جهت محاسبات پویایی سیستم از نرم‌افزار ونسیم و داده تحقیق بر اساس نمونه ۲۰۰۰ تایی از داده‌ها و گزارش‌های صنایع نساجی و پوشاک طی سال‌های ۱۳۹۶ تا پایان ۱۴۰۰ و کارخانجات نساجی بروجرد به عنوان محل اجرای طرح به صورت نیم‌سال تهیه شده است. نتایج تحقیق نشان‌دهنده نرخ رشد "محیط کار در نت" کمترین مقدار رشد در سال ۱۳۹۶ حدود ۱/۲ ٪ و در سال ۱۳۹۸ به رشد ۳/۵ ٪ و در سال ۱۴۰۰ به رشد بالاتری، یعنی ۶ ٪ رسیده است. نرخ رشد "فن‌آوری در نت" مقدار رشد متوسطی در سال ۱۳۹۶ حدود ۱/۲٪ و در سال ۱۳۹۸ به رشد ۵ ٪ و در سال ۱۴۰۰ به رشد بالاتری، یعنی ۸/۵٪ رسیده است، نرخ رشد پویای متغیر " استراتژی در نت" بیش‌ترین مقدار رشد در سال ۱۳۹۶ حدود ۱ ٪ و در سال ۱۳۹۸ به رشد ۶ ٪ و در سال ۱۴۰۰ به میزان رشد بالاتری، یعنی ۹/۵ ٪ (حالت بهینه) رسیده است. نرخ رشد پویای متغیر " کارکنان در نت" رشد مطلوبی را داشته در سال ۱۳۹۶ حدود ۱/۲٪ و در سال ۱۳۹۸ به رشد ۵ ٪ و در سال ۱۴۰۰ به رشد بالاتری، یعنی ۸/۵ ٪ رسیده است. در نهایت، نرخ رشد پویای متغیر " کیفیت در نت " رشد خوبی را داشته در سال ۱۳۹۶ حدود ۱/۲ ٪ و در سال ۱۳۹۸ به رشد ۴ ٪ و در سال۱۴۰۰ به رشد بالاتری، یعنی۶/۵ ٪ رسیده است.

کلمات کلیدی: پویایی سیستم، شبیه‌سازی، نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه.

[۱]- دانشجوی دکترای مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. آدرس پست الکترونیکی: fatemi.shahram@yahoo.com.

[۲]- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. آدرس پست الکترونیکی: mjavadi@azad.ac.ir.

[۳]- دانشیار مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. آدرس پست الکترونیکی: najafi1515@yahoo.com

[۴]- استادیار مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. آدرس پست الکترونیکی: azizi@srbiau.ac.ir

مقدمه

نگهداری و تعمیرات[1] به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش بودجه در صنایع تولیدی شده، و این در حالی است که محققان ادعا می‌کنند دیدگاه نگهداری و تعمیرات از تمرکز شدید بر هزینه‌ها به سمت توانایی استراتژیک نگهداری و تعمیرات سازمانی هدایت شده است(سونگو همکاران، ۲۰۱۸).اخیراً، نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در بسیاری از حوزه‌های کاربردی که در آنجا ایمنی، قابلیت اطمینان[2] و قابلیت دسترسی سیستم‌ها موردتوجه بوده بسیار موردپسند قرارگرفته و توانسته اثربخشی، کارآیی و قابلیت دسترسی سیستم‌های تولید را افزایش دهد. (اسگاربوسا و همکاران، ۲۰۱۸)

سنجش بین هزینه‌های سرمایه‌گذاری شده و مزایای استراتژی سازمانی نگهداری و تعمیرات هنوز بیشترین نگرانی برای تصمیم‌گیرندگان است. (الیوف، ۲۰۰۹). برنامه‌ریزی تولید و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات از رایج‌ترین و مهم‌ترین مشکلاتی هستند که مدیران صنایع با آن‌ها مواجه می‌شوند. به‌طورکلی مشکلات برنامه‌ریزی تولید شامل تخصیص کارها یا عملیات مورد نیاز تولید یک محصول به ماشین‌ها بدون هیچ‌گونه وقفه در فرآیند تولید بوده، درحالی‌که اقدامات نگهداری برای حفظ سیستم و برگرداندن تجهیزات به یک موقعیت عملیاتی و با کمترین شکست و توقفات می‌باشد. لذا با اتخاذ بهینه‌سازی تصمیمات برنامه‌ریزی تولید هم زمان با برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات هوشمند می‌توان بهره‌وری تولید را بهبود داد. (بل ۲۰۱۵ ، بریلسفورد، ۲۰۱۰)

فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات زمان‌بر بوده و تأثیرگذار بر تولید که در صورت به تعویق انداختن نگهداری و تعمیرات احتمال شکست ماشین افزایش می‌یابد، به همین دلیل همواره اختلافاتی بین برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات و برنامه‌ریزی تولید وجود دارند. با این‌حال، با توجه به نگرانی‌هایی که بعضی متخصصان نگهداری و تعمیرات نسبت به تمرکز سازمانی بر نحوه برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات مطرح می‌نمایند، ضرورت هر چه بیشتر از واکنش‌پذیر[3] به پیش‌گیرانه را نشان می‌دهد. (دروت، ۲۰۰۶). نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه، یکی از تکنیک‌های نوین نگهداری و تعمیرات است که در طی سال‌های اخیر به‌طور گسترده در صنایع مختلف و نیروگاه‌های بادی، گازی، بخار و سیکل ترکیبی صنعت نفت و گاز مورد بهره‌برداری قرارگرفته است. (رحیمی و نیکبخت، ۱۳۹۷). در

[1] Maintenance
[2] Reliability
[3] Reactive

بیشتر سازمان‌ها داده‌ها به‌طور پراکنده و در ساختارها و فرمت‌های متنوعی نگهداری می‌گردند. پلت‌فرم تحلیل داده، امکانات متنوعی جهت خواندن داده از انواع فایل‌های متداول در ساختار سازمانی یک محیط کسب و کار را فراهم آورده وبا اتصال داده‌ها به پایگاه‌های دادهای متمرکز در سازمان امکان دسترسی تحلیل‌گران به‌تمامی منابع متنوع را فراهم نموده است.(گارسیا، ۲۰۱۵) . در مقابل عدم مدیریت صحیح فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، خود سبب تحمیل هزینه‌های قابل توجه به بنگاه‌های اقتصادی خواهد شد(امیری، ۲۰۱۸). اهمیت تجهیزات و وسایل در واحدهای صنعتی و همچنین ویژگی‌های خاص آن و اینکه خیلی از این تجهیزات به آسانی قابل تهیه نبوده است (حیدریانی زاده و زنجیر چی، ۱۳۹۶). هزینه تهیه بسیار بالا و خرابی‌هایی که منجر به از دست رفتن زمان در دسترس بودن تجهیزات باعث شده توجه به نگهداری و تعمیرات بیش از پیش مورد توجه قرارمی‌گیرد. (کبوکی و همکاران، ۲۰۱۹). از طرفی دستگاه‌های تولیدی به دنبال افزایش اثربخشی هستند و یکی از راه‌های افزایش اثربخشی ماشین‌آلات افزایش زمان دسترسی و کاهش خرابی است که با بهره‌برداری از یک نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه قابل دست‌یابی است. (لاکز و همکاران، ۲۰۱۸).

اهداف تحقیق

هدف کلی این تحقیق، طراحی مدل هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه بر اساس پویای سیستم در تعامل با عملیات تولید می‌باشد.

سؤالات تحقیق

چگونه می‌توان یک مدل سیستم پویا با مفهوم عملکرد نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه برای حمایت از استراتژی‌های بالقوه و سیاست‌های توسعه استراتژیک نگهداری و تعمیرات طراحی نمود؟

فرضیه‌های تحقیق

مدل شبیه‌سازی پویا نشان‌دهنده شرایط جمع شده در سطح عملیاتی است که بر روی سطح استراتژیک تأثیر می‌گذارد و آن را بازتاب می‌دهد. به همین دلیل فرض اصلی این است که ترکیبی از متدولوژی‌های نگهداری مختلف می‌تواند نقایص احتمالی را با کارآیی متنوع شناسایی کند. به‌کارگیری روش بهینه‌سازی چندهدفه بر اساس شبیه‌سازی پویا توانایی شناسایی عوامل مهم و تأثیرگذار بر قابلیت اطمینان تجهیزات را دارد.

محدودیت‌های تحقیق

مدل شبیه‌سازی پویا، ارائه پاسخ‌های از قبل آماده به مشخصات خاص نیست، بلکه به این پرسش پاسخ خواهد داد که آیا دانش فعلی باید در سطح پیشرفته اعمال شود یا اینکه دانش خاصی نیاز به توسعه دارد مدل شبیه‌سازی پویا جهت بررسی رفتارهای فعال و واکنشی و برآورد کل هزینه‌های نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در راستای جستجوی یک فرآیند مؤثر کافی به نظر نمی آید تأکید بر مدل شبیه‌سازی پویا به‌عنوان یک روش در راستای حمایت از تفکر سیستم[1] بوده ولی با این حال، شبیه‌سازی پویا به‌تنهایی نمی‌تواند با پیچیدگی در سطح عملیاتی سیستم تولید مقابله کند. شناسایی کارآیی راه‌حل‌های تجاری در این تحقیق موردنیاز بوده که بایستی از طریق مدل‌های پیشرفته‌تر از شبیه‌سازی پویا آزمایش و شناسایی شوند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

یکی از ابزارهای مهم برای بقا در رقابت‌ها داشتن یک سیستم نگهداری وتعمیرات کارا می‌باشد. بخش نگهداری و تعمیرات در یک سازمان یکی از مهم‌ترین وظایف مراقبت از دارایی‌ها و تجهیزات به منظور تامین بهره‌وری را ایفا می‌کند(وان و همکاران، ۲۰۱۸). ایمنی عملیات، هزینه نگهداری موثر و قابلیت تولید بدون وقفه ماشین‌آلات، تاثیر مستقیمی بر رقابت بین سازمان‌ها دارد. بهره‌وری در شرکت‌ها هنگامی افزایش می‌یابد که قابلیت دسترسی به منابع و استفاده مناسب و به‌موقع از این منابع افزایش یابد. در ارتباط با ماشین‌آلات، برای افزایش بهره‌وری، استفاده از روش‌ها و استراتژی‌های مفید نگهداری و تعمیرات ضروری می‌باشد (لیواناج و کومار، ۲۰۰۳). ریسک‌های مربوط به ماشین‌آلات می‌توانند در دست یابی به اهداف پروژه تأثیرگذار باشند و در روند پروژه اختلال ایجاد کنند. (ویاسو، و همکاران، ۲۰۱۸). امروزه با آماده نگه‌داشتن ماشین‌آلات و تجهیزات، می‌توان با افزایش راندمان و کاهش هزینه‌ها، اهداف اصلی سازمان را حمایت نمود(کواچ و همکاران، ۲۰۱۳). بدون بخش نگهداری و تعمیرات یا وجود یک نگهداری و تعمیرات ضعیف، سازمان هزینه زیادی را بابت ظرفیت تولید از دست رفته، حجم زیاد قطعات یدکی، نقایص کیفی و تحویل دیرهنگام می‌پردازد. (اتی و همکاران، ۲۰۰۶). در جامعه امروزی که اکثرا از سیستم‌های پیچیده استفاده می‌شود، از کارافتادگی یک سیستم یا بروز حوادث می‌تواند موجب بروز اختلال در سطوح مختلف شود و به

[1] System thinking

این دلیل است که همگان در پی سیستمی ایمن و با احتمال خطر پایین هستند. (آرنتز و همکاران، ۲۰۱۶). تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه به معنای کلیه اقدامات جهت نگهداری تجهیزات در شرایط عملیاتی مناسب و جلوگیری از خرابی است. تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه باید بتواند زمان وقوع خرابی را نشان دهد، به طوری که قبل از اینکه چنین خرابی رخ دهد. از این رو تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه یک رویکرد مؤثر در ارتقا قابلیت اطمینان است. (یانگ، ۲۰۰۳). در راستای مدیریت هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه برحسب خروجی‌های موردنیاز، بایستی پارامترهای پایش وضعیت تجهیزات، تعیین شوند .پارامترهای انتخاب‌شده ،عوامل اثرگذار بر رخداد خرابی هستند که با شناسایی مهم‌ترین آنها می‌توان خرابی‌ها را پیش از وقوع تشخیص داد..(وود هوس، ۲۰۱۵). علت ریشه‌ای خرابی اصلی‌ترین علت خرابی است، که امکان تشخیص آن به‌صورت منطقی وجود دارد و مدیریت واحد کسب و کار،آن را برای تعمیرات کنترل می‌نماید. تحلیل علت ریشه‌ای خرابی از روش‌های اصلی افزایش قابلیت اطمینان است که با به‌کارگیری تکنیک‌های معروف حل مسأله در قالب گروه منسجم و هماهنگ بسیار مؤثر ، می‌توان قابلیت دسترسی به ماشین آلات و تجهیزات را دو چندان کرد. (بنگلور و همکاران، ۲۰۱۴).

روش‌شناسی پژوهش

تعاملات با محیط‌زیست در قالب مطالعات موردی کیفی، جلسات، بحث‌ها و سمینارهای پیاده‌سازی مدل با مدیران شرکت‌های صنعتی و بهره‌برداری از خبرگان با هدف شناسایی و تقویت روابط تحقیق پیشنهاد شد. همچنین از منابع کتابخانه‌ای، اینترنت، مقالات و تحقیقات انجام‌شده نیز در انجام این تحقیق بهره‌برداری شد. مصاحبه‌ها در میان افراد با نقش‌های مختلف باشخصیت "نسبتاً بدون ساختار و باز" انجام می‌گردد. برای طراحی مدل پویای نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه بر اساس پویایی سیستم، به درخواست مدیرکل محترم نساجی و پوشاک وزارت صنعت، معدن و تجارت، و اطلاعات چندین واحد پوشاک و نساجی کشور در اختیار قرار داده شد.و کارخانجات نساجی بروجرد به‌عنوان محل اجرای مدل طرح انتخاب گردید، که پس از انجام تحقیق مقایسه ۶ ماه قبل و بعد از اجرای تحقیق مورد تحلیل قرارگرفته تا میزان اثربخشی و سودمندی اجرای نتایج مورد مقایسه قرار گیرد.در تحقیق حاضر جهت "مدل پویای نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه" علاوه بر جامعه آماری، از دیتاست‌های سیستم‌های اطلاعاتی صنایع نساجی و پوشاک طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به صورت نیم‌سال، بهره‌برداری شد.

تحلیل داده‌ها براساس متدلوژی مدل‌سازی پویا (SD)

این تحقیق از نظر مدل‌سازی دارای روش سیستم‌های پویایی است که با استفاده از نرم‌افزار ونسیم و با توجه به تفکر سیستمی، یک مدل پویا برای نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه برای صنایع نساجی و پوشاک ارائه می‌شود. چیزی که روش سیستم پویا را از روش‌های دیگر متمایز می‌سازد بهره‌برداری از حلقه‌های بازخورد و متغیرهای جریان و حالت است که به شناخت رفتار سیستم کمک می‌نمایند. اساس این روش براین باور است که شناختن ساختار سیستم – روابط غیرخطی، تاخیرات و بازخوردها در مشخص کردن رفتار سیستم به اندازه شناختن تک تک اجزا اهمیت دارد. همچنین این روش ادعا می‌نماید خواصی در کل سیستم وجود دارد که آن‌ها را نمی‌توان در تک تک عناصر یافت(ژو، ۲۰۱۷).

افق زمانی مدل‌سازی

افق زمانی در واقع زمانی است که برای شبیه‌سازی مدل در نظر گرفته می‌گردد. به عبارت دیگر مدل برای چه مدت زمانی شبیه‌سازی می‌گردد. ریشه‌های مسأله برای فهم سیستم پویا نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه است و بیان افق زمانی یعنی پالس به مقدار ۱ در زمان است کهs در هر بازه زمانی ازi تا زمانe میرسد و هر پالس به مدتd ادامه خواهد داشت.

ترسیم ساختار مدل و حلقه‌های مدل

معیار منطقی توقف تهیه و تنظیم مدل مفهومی تحقیق، اصل غنای اطلاعاتی است. به این مفهوم که محقق با در نظر گرفتن ملاحظات، امکانات و زمان تحقیق، تا آنجا به جمع‌آوری اطلاعات نظری در حوزه مؤلفه‌های مؤثر بر ارائه سیستم پویا نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه می‌پردازد و منابع داخلی یا خارجی را مدل‌سازی و مطالعه می‌نماید که اطلاعات در حال جمع‌آوری تکراری شوند و دور تسلسل باطل آغاز شود.

تعیین مرز مدل

در این بخش ابتدا متغیرهای اصلی (درون زا) و سپس متغیرهای برون زا تعریف می‌شوند. متغیرهای برون زا تحت تأثیر متغیرهای داخلی مدل نبوده و مقداری ثابت دارند. متغیرهای درون زا در معادلات بر اساس نسبتی از سایر متغیرهای درون مدل به‌دست می‌آیند.

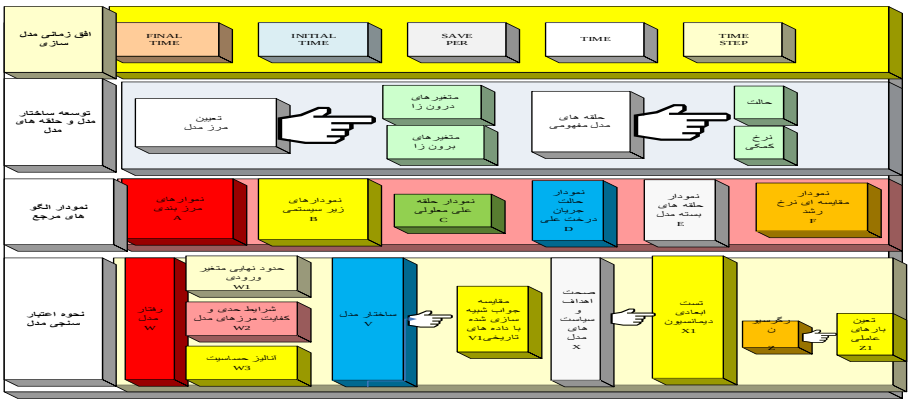
نمودارهای الگوهای مرجع

باید مشخص شود که عامل ایجادکننده تغییر چیست، تعیین و ترسیم رفتار یک متغیر کلیدی در گذر زمان، اولین گام مهم برای فهم و تبیین و ارائه سیستم پویای نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه است. ترسیم رفتار در آینده یعنی ریسک خطا کردن است به طوری که هرگونه گمانه زنی درباره آینده ممکن است اشتباه باشد، اما بیان آن باعث می‌گردد که مفروضات‌مان را محک بزنیم و تناقضاتی که آشکار نمی‌شدند را پیدا کنیم.

نحوه اعتبارسنجی مدل

به‌منظور اعتبارسنجی مدل سیستم پویا نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه، بر این اساس استوار است. به طوری که تمام مدل‌ها به این سبب که ساده شده دنیای واقعی هستند و بسیاری از متغیرها و پارامترهای آن‌ها حذف شده ، نادرست هستند. با این حال مدل‌های شبیه‌ساز سیستم‌های واقعی همگی کامل نبوده و توانایی بروز رفتار مدل واقعی را ندارند، اما هر مدل می‌تواند بخشی از رفتار سیستم واقعی را بازسازی نماید.از آزمون‌های رفتار مدل که در این تحقیق مورد بهره‌برداری قرار گرفته است، می‌توان به آزمون حدود نهایی متغیرهای کلیدی، آنالیز حساسیت، شرایط حدی و کفایت مرزهای مدل اشاره کرد. از آزمون‌های ساختار مدل که در این تحقیق مورد بهره‌برداری قرار گرفته است، می‌توان به آزمون مقایسه‌ای جواب شبیه‌سازی شده با اسناد و مدارک موجود اشاره کرد. و از آزمون‌های مدل‌سازی صحت اهداف و سیاست‌های مدل که در این تحقیق مورد بهره‌برداری قرار گرفته، می‌توان به تست ثبات ابعادی دیمانسیون اشاره کرد.

مدل مفهومی تحقیق



شکل ۱- مدل مفهومی پویایی سیستم

تحلیل محاسبات پویایی مدل

افق زمانی مدل

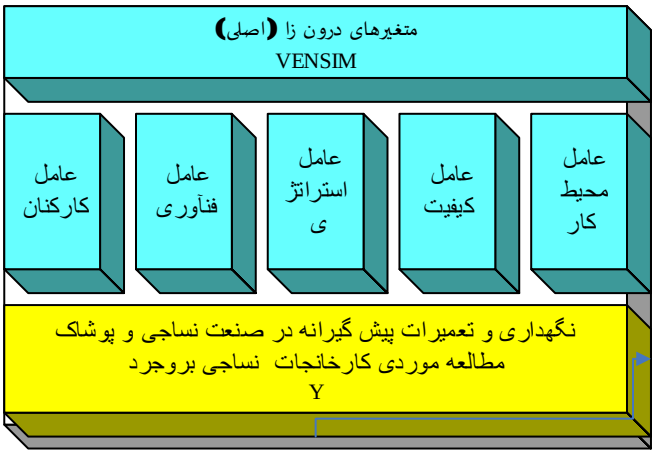
با توجه به مدل مفهومی نهایی تحقیق، برای به‌دست آوردن نمودار حالت جریان با بهره‌برداری از نمودار مفهومی نهایی که همان نمودار علی معلولی می‌باشد را بایستی وارد نرم‌افزار Vensim کرد. در ابتدا بایستی افق زمانی مدل را وارد کنیم. در نتیجه تنظیمات زیر را بایستی ابتدا در نرم‌افزار Vensim وارد نماییم.

Time Step	Time	Saveper	Initial Time	Final Time
نمو زمان (به صورت ۶۰ بار در ۵ سال)	زمان جاری شبیه‌سازی سال ۱۳۹۶ درنظر گرفته شده است.	طول زمان بین ذخیره‌سازی داده‌های شبیه‌سازی شده، که ضریبی از Time Step است و برای تحقیق حاضر ۵ سال می‌باشد	زمان ابتدایی شبیه‌سازی (بر اساس پویایی سیستم سال ۱۳۹۶)	زمان تمام شدن شبیه‌سازی (بر اساس پویایی سیستم سال ۱۴۰۰)

جدول ۱- افق زمانی مدل سیستم پویا

تعیین مرز مدل

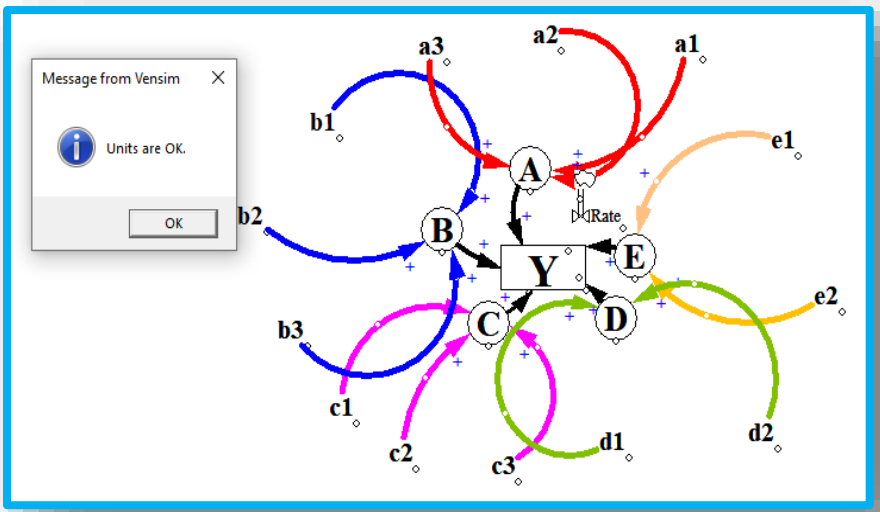
در این بخش ابتدا متغیرهای اصلی (درون زا) و سپس متغیرهای برون زا را تعریف می‌نماییم. متغیرهای برون زا تحت تأثیر متغیرهای داخلی مدل نبوده و مقداری ثابت دارند، ولی متغیرهای درون‌زا در معادلات بر اساس نسبتی از سایر متغیرهای درون زا مدل به‌دست می‌آیند. متغیرهای اصلی (درون زا) مدل مفهومی نهایی تحقیق جهت نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در صنعت نساجی و پوشاک و بر اساس مطالعه موردی در کارخانجات نساجی بروجرد با بهره‌برداری از روش پویایی سیستم، را می‌توان در شکل ذیل مشاهده کرد:



شکل ۲- متغیرهای درون زا

همچنین متغیرهای برون زای مدل مفهومی نهایی تحقیق جهت نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه با بهره‌برداری از روش پویایی سیستم، را می‌توان در جدول ذیل مشاهده کرد:

جدول ۲- متغیرهای برون زا



نمودار ۱- شمای کلی حلقه‌های تعیین مرز مدل پویا

در حقیقت پس از مصاحبه با برخی خبرگان صنعت نساجی و پوشاک، مهم‌ترین متغیرهای تحقیق وارد مدل ونسیم و محاسبات پویایی سیستم، با هدف طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه (Y)، شدند.

جدول ۳- مهم‌ترین متغیرهای مدل

❖ متغیر عامل کارکنان در نت با کد A دربرگیرنده شاخص‌هایی از قبیل: عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه پیشگیرانه (رشته سازمانی) با هدف حداکثرسازی در دسترس بودن تجهیزات (a1)، عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه برنامه‌ریزی شده (پیش کار طرح) با هدف برنامه‌ریزی و پیش‌بینی قبل از خرابی تجهیزات (a2)، عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه واکنشی (پاسخ به وقایع) با هدف رفع عیب پس از خرابی تجهیزات (a3)

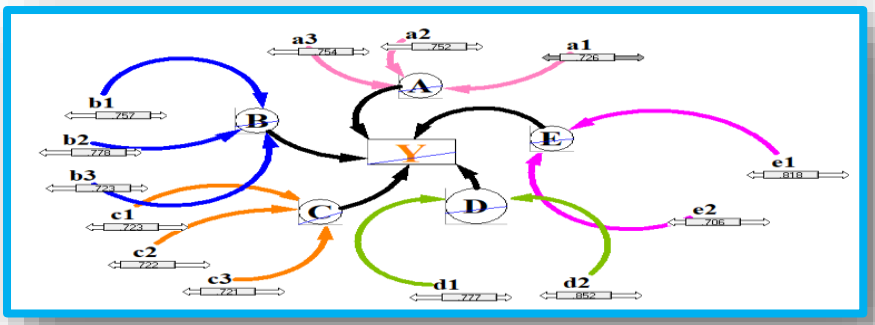
ادامه **جدول ۳- مهم‌ترین متغیرهای مدل**

❖ متغیر عامل فن‌آوری در نت با کد B دربرگیرنده شاخص‌هایی از قبیل: ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سنسورهای تجهیزات جهت سنجش میزان اثربخشی نگهداری و تعمیرات (b1)، ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سابقه نگهداری و تعمیرات جهت تشخیص موارد غیر عادی و تحلیل ریسک (b2)، ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سوابق بازرسی‌های فنی جهت تشخیص عیوب پیشرفته در مدیریت زنجیره تامین (b3)
❖ متغیر عامل استراتژی در نت با کد C دربرگیرنده شاخص‌هایی از قبیل: عملیات استراتژیک مدیریت قطعات کم‌مصرف (غیرفعال) و پرمصرف (فعال) در انبارهای انتخاب‌شده (c1)؛ مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی (c1)؛ بهبود مستمر و استراتژیک بهینه‌سازی میزان موجودی اطمینان در اقلام کم‌مصرف (غیرفعال یا راکد) برحسب احتمال خرابی (c3)
❖ متغیر عامل کیفیت در نت با کد D دربرگیرنده شاخص‌هایی از قبیل: سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان شکست (MTTF) (d1)، سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان تعمیر (RTTF) (d2)
❖ متغیر عامل محیط کار در نت با کد E دربرگیرنده شاخص‌هایی از قبیل: بهبود در عملیات تولید محیط کار از طریق هوشمندسازی تصمیم‌گیری در نت پیش‌گیرانه (e1)، نوآوری در عملیات تولید محیط کار از طریق به‌کارگیری دانش ایجادشده در نت پیش‌گیرانه (e2)، تعیین شدند.

ماخذ: یافته‌های تحقیق

مدل روابط علی - معلولی

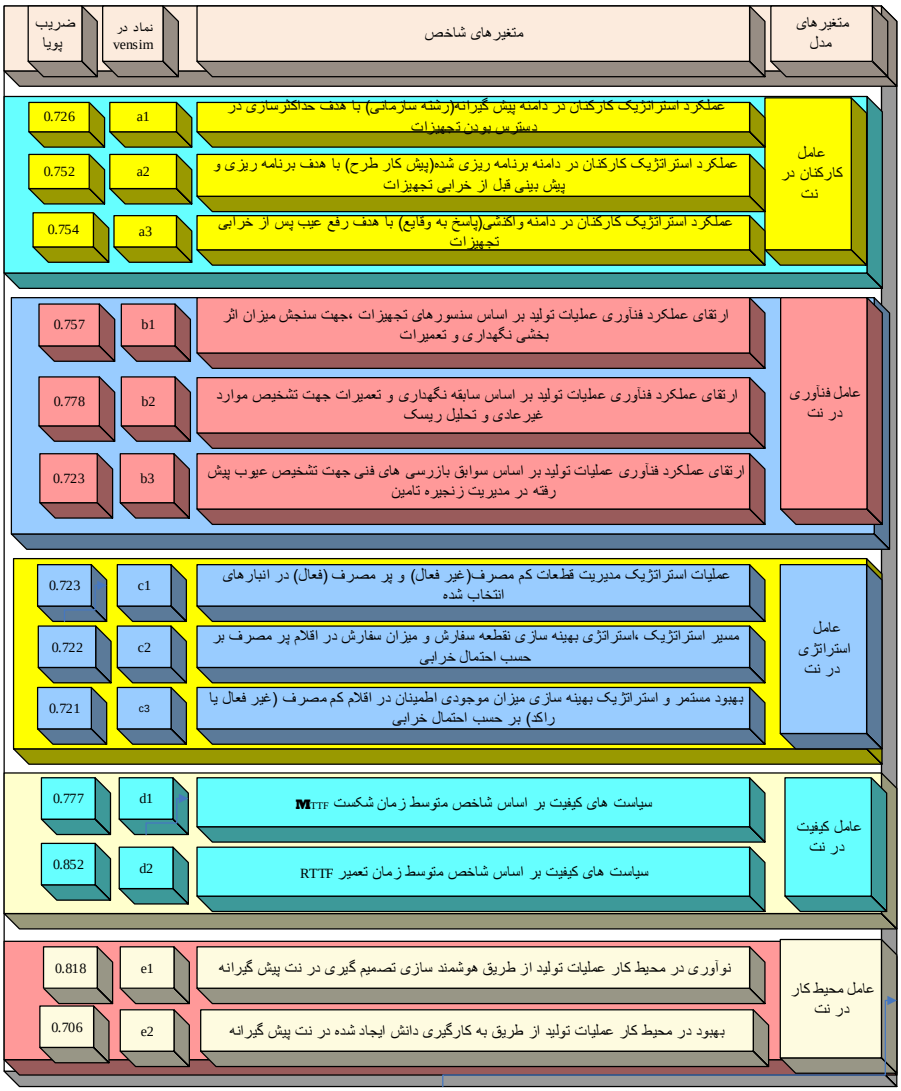
در نمودار ذیل می‌توان روابط علی معلولی مدل مورد نظر این تحقیق را مشاهده نمود:



نمودار ۲- روابط علی معلولی مدل پویا

روابط علی معلولی مدل، بر اساس متغیرهای دارای تأثیر بالای ۰/۷ جهت نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه، به شرح ذیل استخراج شدند:

جدول ۴- روابط علی معلولی مدل بر اساس متغیرهای دارای تأثیر بالای مدل



ماخذ: یافته‌های تحقیق

روابط علی معلولی مدل ونسیم و محاسبات پویایی سیستم، با هدف طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه، نشان می‌دهد که:

جدول ۵- نتایج روابط علی

شاخص‌های اصلی متغیر عامل کارکنان در نت با کد A؛ عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه پیشگیرانه (رشته سازمانی) با هدف حداکثرسازی در دسترس بودن تجهیزات (a1) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۲۶، عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه برنامه‌ریزی شده (پیش کار طرح) با هدف برنامه‌ریزی و پیش‌بینی قبل از خرابی تجهیزات (a2) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۵۲ ، عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه واکنشی (پاسخ به وقایع) با هدف رفع عیب پس از خرابی تجهیزات (a3) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۵۴
شاخص‌های اصلی متغیر عامل فن‌آوری در نت با کد B: ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سنسورهای تجهیزات جهت سنجش میزان اثربخشی نگهداری و تعمیرات (b1) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۵۷ ، ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سابقه نگهداری و تعمیرات جهت تشخیص موارد غیر عادی و تحلیل ریسک (b2) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۷۸ ، ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سوابق بازرسی‌های فنی جهت تشخیص عیوب پیشرفته در مدیریت زنجیره تامین (b3) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۲۳ ؛
شاخص‌های اصلی متغیر عامل استراتژی در نت با کد C: عملیات استراتژیک مدیریت قطعات کم‌مصرف (غیرفعال) و پرمصرف (فعال) در انبارهای انتخاب‌شده (c1) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۲۳ ، مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی (c2) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۲۲ ، بهبود مستمر و استراتژیک بهینه‌سازی میزان موجودی اطمینان در اقلام کم‌مصرف (غیرفعال یا راکد) برحسب احتمال خرابی (c3) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۲۱

ماخذ: یافته‌های تحقیق

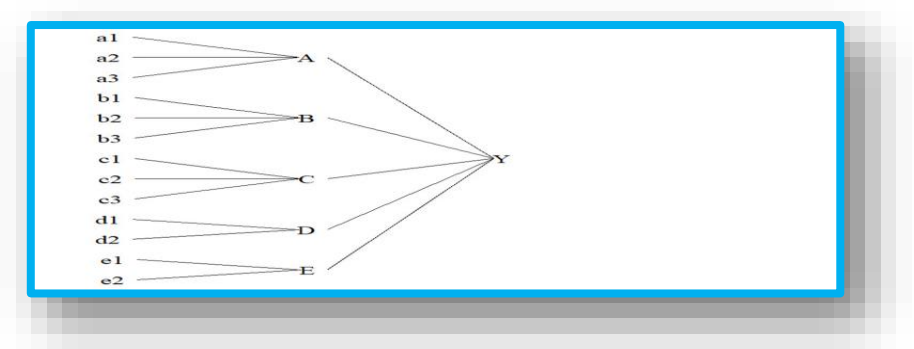
ادامه جدول ۵- نتایج روابط علی

شاخص‌های اصلی متغیر عامل کیفیت در نت با کد D: سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان شکست (MTTF) (d1) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۷۷، سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان تعمیر (RTTF) (d2) دارای ضریبی برابر با ۰/۸۵۲
شاخص‌های اصلی متغیر عامل محیط کار در نت با کد E: به‌عنوان و بهبود در عملیات تولید محیط کار از طریق هوشمندسازی تصمیم‌گیری در نت پیش‌گیرانه (e1) دارای ضریبی برابر با ۰/۸۱۸ ، نوآوری در عملیات تولید محیط کار از طریق به‌کارگیری دانش ایجادشده در نت پیش‌گیرانه (e2) دارای ضریبی برابر با ۰/۷۰۶ محاسبه شدند.

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار حالت جریان درخت علی

نمودار جریان درخت علی امکان درک یک فرآیند یا برنامه را به همراه ارتباط بین عناصر آن در ساده‌ترین شکل، ممکن می‌سازد.هر نمودار جریان درخت علی معادل است با یک معادله دیفرانسیل و تعداد معادلات دیفرانسیل نیز برابر با تعداد متغیرها است. در نهایت بوسیله متغیرهای درون زا و برون زا ، روابط علی و معلولی ،نمودار جریان درخت علی، مدل مفهومی نهایی این تحقیق به صورت نمودار ذیل در نرم‌افزار Vensim به‌دست می آید.

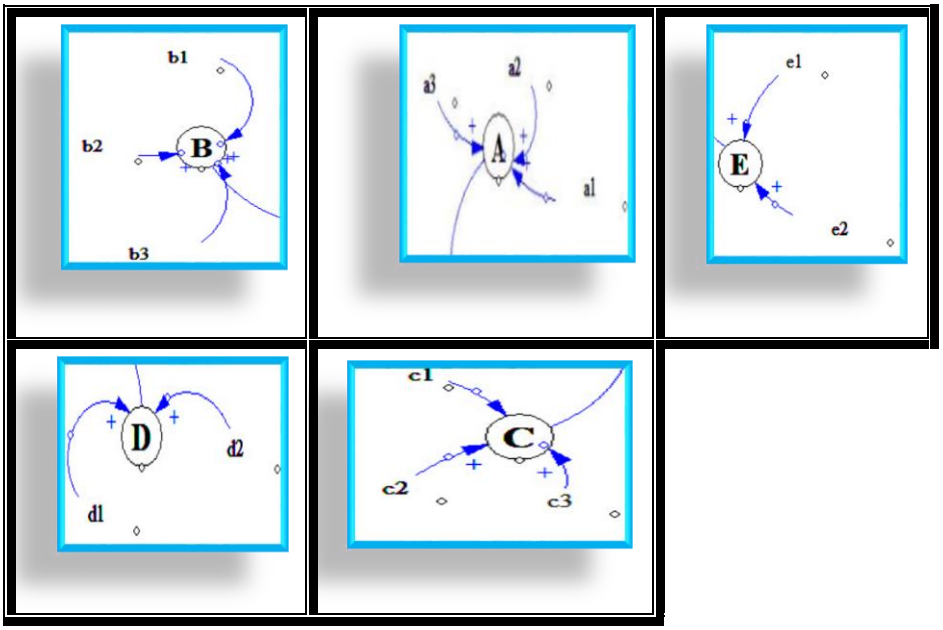


نمودار ۳- حالت جریان

پس از به‌دست آوردن نمودار حالت جریان و رسم آن در نرم‌افزار Vensim، بایستی از صحت مدل در نرم‌افزار اطمینان حاصل شود. بدین منظور از سربرگ Model گزینه Check Model را می‌زنیم، با پیامی در نرم‌افزار Vensim تحت عنوان Model is OK روبرو شده ایم که نشان می‌دهد که مدل دارای صحت و قابلیت اطمینان می‌باشد و تست ثبات ابعادی دیمانسیون، برای مدل‌سازی تعادل ابعاد متغیرها در هر سمت معادلات انجام شده است که با توجه به بعد نداشتن متغیرهای غیر فیزیکی مدل، واحد این متغیرها با واقعیت تطابق دارد.

نمودار حلقه های بسته مدل

در ادامه، حلقه‌های بسته مدل در محاسبات پویایی سیستم، با هدف طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه، ارائه شدند:



نمودار ۴- حلقه‌های بسته مدل در محاسبات پویایی سیستم

باتوجه به حلقه‌های بسته مدل در محاسبات پویایی سیستم،و با هدف طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه رسم شدند. به بیانی دیگر:

حلقه عامل کارکنان در نت با کد A شامل نودها و آرک‌های مثبتی چون: عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه پیشگیرانه (رشته سازمانی) با هدف حداکثرسازی در دسترس بودن تجهیزات (a1)،عملکرد

استراتژیک کارکنان در دامنه برنامه‌ریزی شده (پیش کار طرح) با هدف برنامه‌ریزی و پیش‌بینی قبل از خرابی تجهیزات (a2)، عملکرد استراتژیک کارکنان در دامنه واکنشی (پاسخ به وقایع) با هدف رفع عیب پس از خرابی تجهیزات (a3)،

حلقه عامل فن‌آوری در نت با کد B شامل نودها و آرک‌های مثبتی چون: ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سنسورهای تجهیزات جهت سنجش میزان اثربخشی نگهداری و تعمیرات (b1)، ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سابقه نگهداری و تعمیرات جهت تشخیص موارد غیر عادی و تحلیل ریسک (b2)، ارتقای عملکرد فن‌آوری عملیات تولید براساس سوابق بازرسی‌های فنی جهت تشخیص عیوب پیشرفته در مدیریت زنجیره تامین (b3) ؛

حلقه عامل استراتژی در نت با کد C شامل نودها و آرک‌های مثبتی چون: عملیات استراتژیک مدیریت قطعات کم‌مصرف (غیرفعال) و پرمصرف (فعال) در انبارهای انتخاب‌شده (c1)؛ مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی (c1)؛ بهبود مستمر و استراتژیک بهینه‌سازی میزان موجودی اطمینان در اقلام کم‌مصرف (غیرفعال یا راکد) برحسب احتمال خرابی (c3)؛

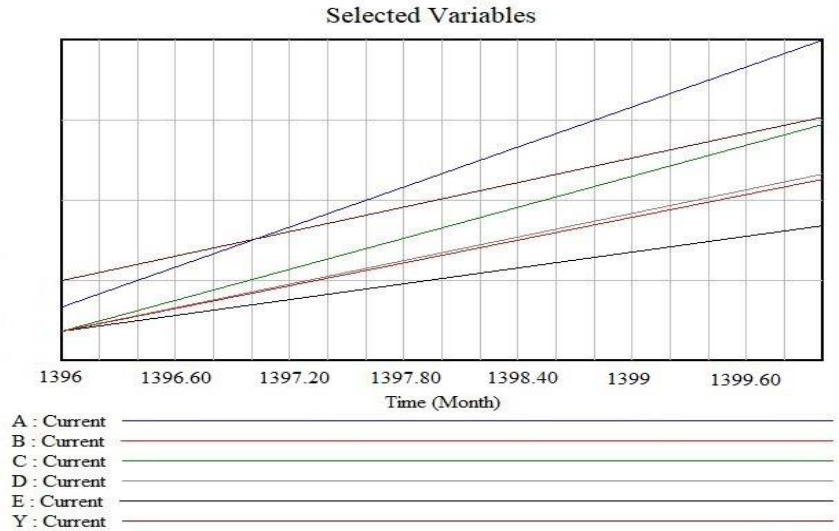
حلقه عامل کیفیت در نت با کد D شامل نودها و آرک‌های مثبتی چون: سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان شکست (MTTF) (d1)، سیاست‌های کیفیت براساس شاخص متوسط زمان تعمیر (RTTF) (d2)؛

حلقه عامل محیط کار در نت با کد E شامل نودها و آرک‌های مثبتی چون: بهبود در عملیات تولید محیط کار از طریق هوشمندسازی تصمیم‌گیری در نت پیش‌گیرانه (**e1**)، نوآوری در عملیات تولید محیط کار از طریق به‌کارگیری دانش ایجادشده در نت پیش‌گیرانه (**e2**)، ترسیم شدند.

نتایج و بحث

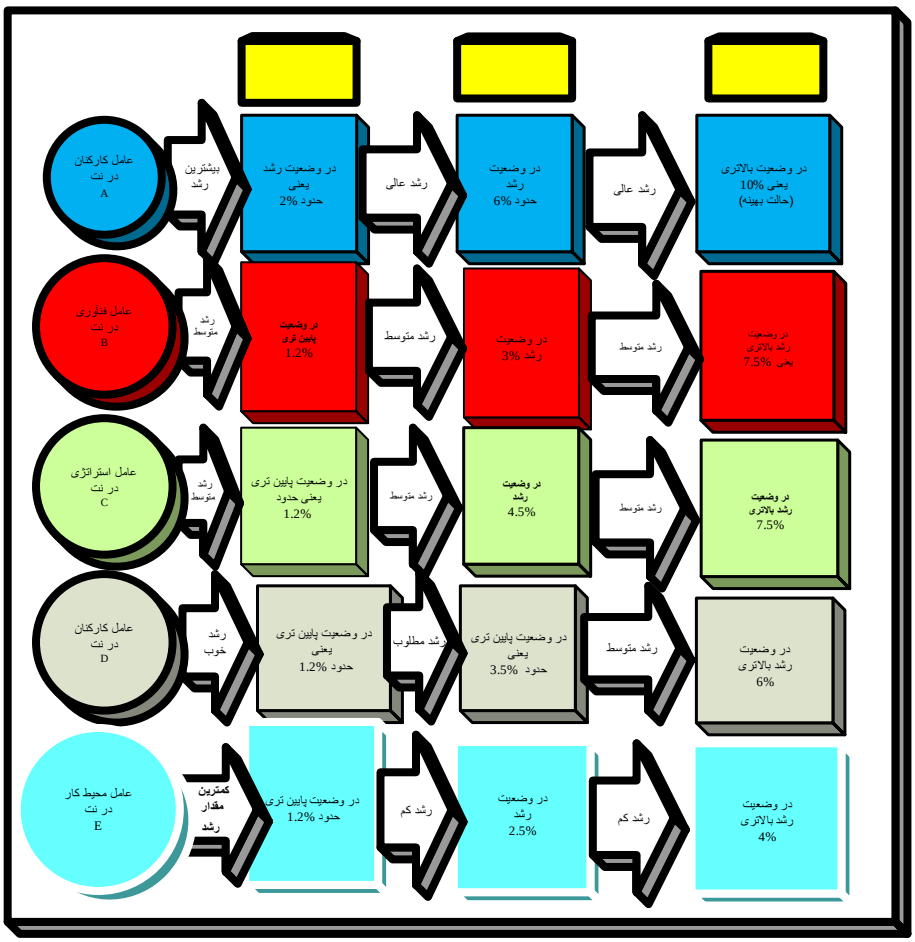
پس از Run نمودن مدل نهایی در نرم‌افزار Vensim نتایج زیر که به دنبال طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه بود حاصل شد. همان‌طور که از درخت علی معلولی می‌توان دریافت: عامل کارکنان در نت دارای بالاترین اولویت و نخستین اولویت در بین طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه می‌باشد و با نرخ تغییرات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد رابطه معناداری دارد. نموداری که در ذیل قابل مشاهده است، نمودار نرخ تغییرات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد می‌باشد. همان گونه

که در نمودار قابل مشاهده است، "عامل کارکنان در نت" نسبت به "نرخ تغییرات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد" در این مدل در طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ افزایش یافته است:



نمودار ۵- مقایسه‌ای نرخ رشد متغیرهای مدل Vensim

همانگونه که گفته شد متغیرهای مدل پویا نسبت به نرخ تغییرات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در صنعت نساجی و پوشاک -کارخانجات نساجی بروجرد رابطه معناداری و همسویی دارد. متغیرهای مدل پویا همسو با نرخ تغییرات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در طی سال‌های۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ افزایش یافته و در قالب نمودار زیر است.

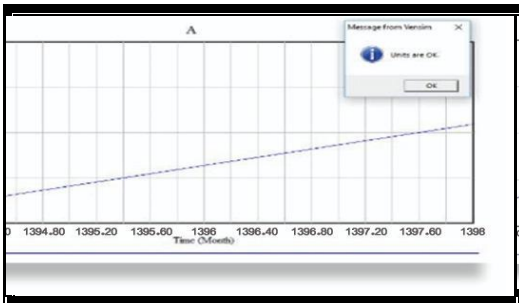
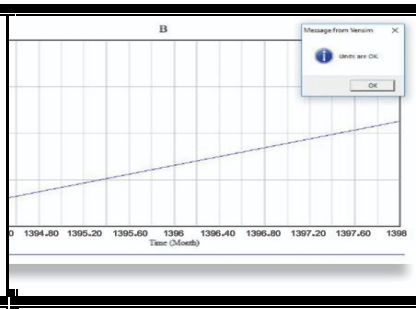


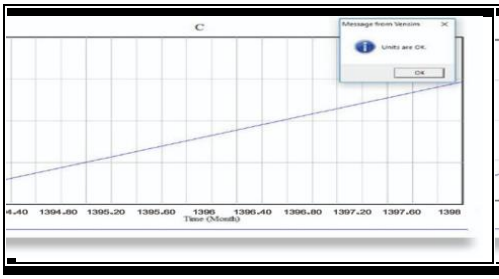
نمودار ۶- براساس اطلاعات مقایسه‌ای نرخ رشد متغیرهای مدل

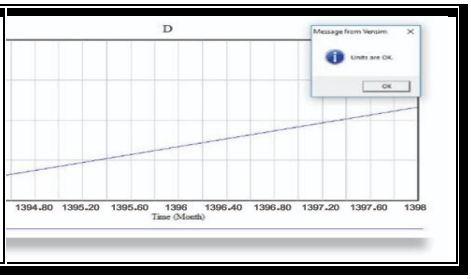
اعتبارسنجی مدل

اعتبار در مدل‌های پویایی سیستم به دو گونه اعتبار ساختاری و اعتبار رفتاری تقسیم شده است. اعتبار ساختاری به معنای ایجاد روابطی در مدل است که به گونه‌ای رسا و کافی بوده و نشان‌دهنده روابط جهان واقعی (با درنظرگرفتن هدف مطالعه) باشند. اعتبار رفتاری بدین معنی است که رفتار مدل به اندازه کافی نشان‌دهنده رفتار پدیده در جهان واقعی باشد.اعتبار رفتاری وجود نخواهد داشت مگر آنکه مدل از اعتبار ساختاری مناسبی برخوردار باشد. متداول‌ترین تست‌های اعتبارسنجی شامل؛ الف)مقایسه با نقاط مرجع ب)پایداری تحت شرایط حدی ج)آنالیز حساسیت می‌باشد. پس از

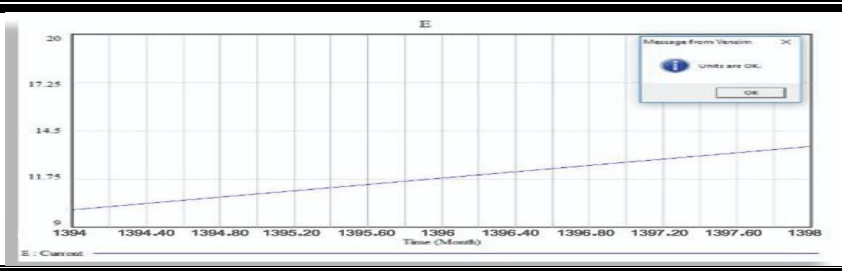
به‌دست آوردن نمودار حالت جریان و رسم آن در نرم‌افزار Vensim، بایستی از صحت مدل در نرم‌افزار اطمینان یافته شود. بدین منظور از سربرگ Model گزینه Check Model را می‌زنیم. با پیامی در نرم‌افزار Vensim تحت عنوان Model is OK روبرو شده ایم که نشان می‌دهد که مدل دارای صحت و قابلیت اطمینان می‌باشد .تست ثبات ابعادی دیمانسیون، برای مدل‌سازی تعادل ابعاد متغیرها در هر سمت معادلات انجام شد که با توجه به بعد نداشتن متغیرهای غیر فیزیکی مدل، واحد این متغیرها با واقعیت تطابق دارد. در جدول ذیل، اعتبار در مدل‌های پویایی سیستم بر اساس آمارهای توصیفی متغیرهای مدل Vensim ارائه شده‌اند:

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>نمودار اعتبارسنجی مدل براساس تغییرات پویای بین متغیر "عامل فن‌آوری در نت" و متغیر هدف "نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد"</td><td>نمودار اعتبارسنجی مدل براساس تغییرات پویای بین متغیر "عامل کارکنان در نت" و متغیر هدف "نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد"</td></tr>
</table>





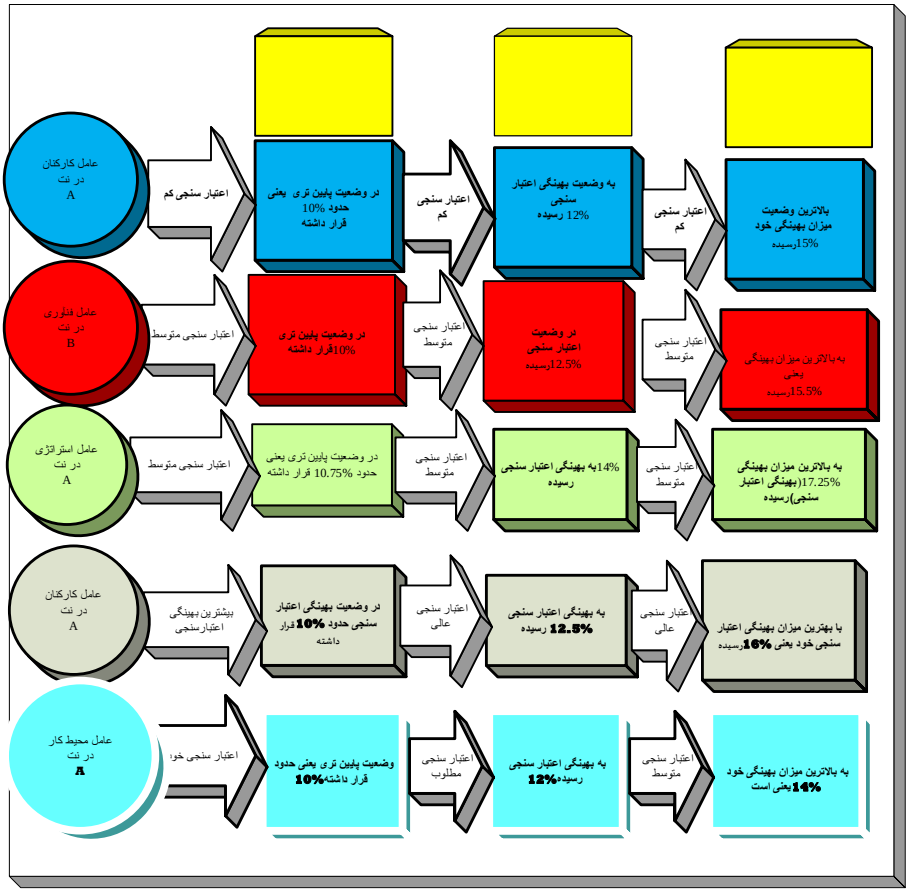
نمودار اعتبارسنجی مدل براساس تغییرات پویای بین متغیر "عامل کیفیت در نت " و متغیر هدف "نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد"	نمودار اعتبارسنجی مدل براساس تغییرات پویای بین متغیر "عامل استراتژی در نت" و متغیر هدف "نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد"



نمودار اعتبارسنجی مدل براساس تغییرات پویای بین متغیر "عامل محیط کار در نت" و متغیر هدف "نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد"

نمودار(۷) اعتبارسنجی مدل براساس تغییرات پویای بین متغیر

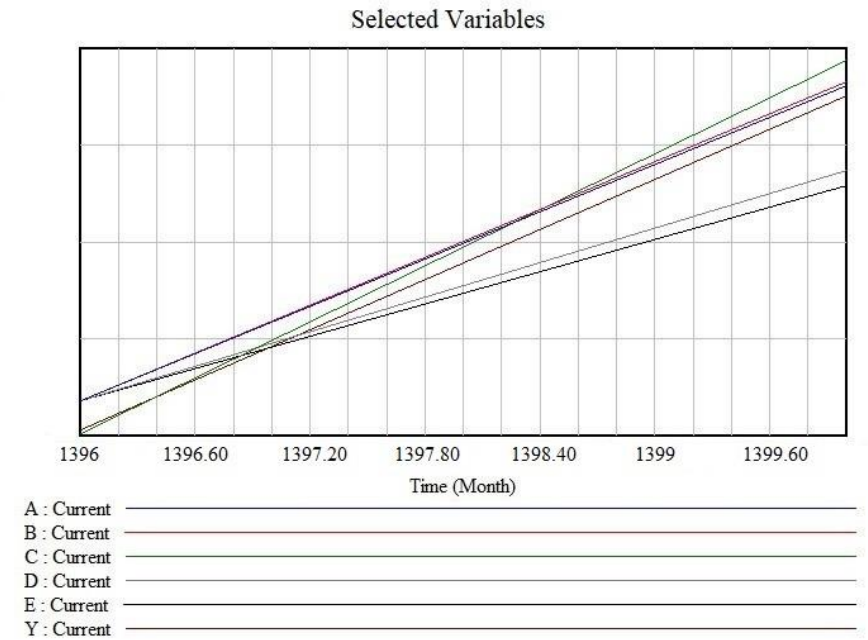
۱-۷-۲-۳نمودارهای اعتبارسنجی مدل براساس تغییرات پویای بین متغیرهای تحقیق و هدف تحقیق"نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد"، ارائه شده است.



نمودار۸- اعتبارسنجی مدل براساس تغییرات پویای بین متغیرهای تحقیق و متغیر هدف تحقیق

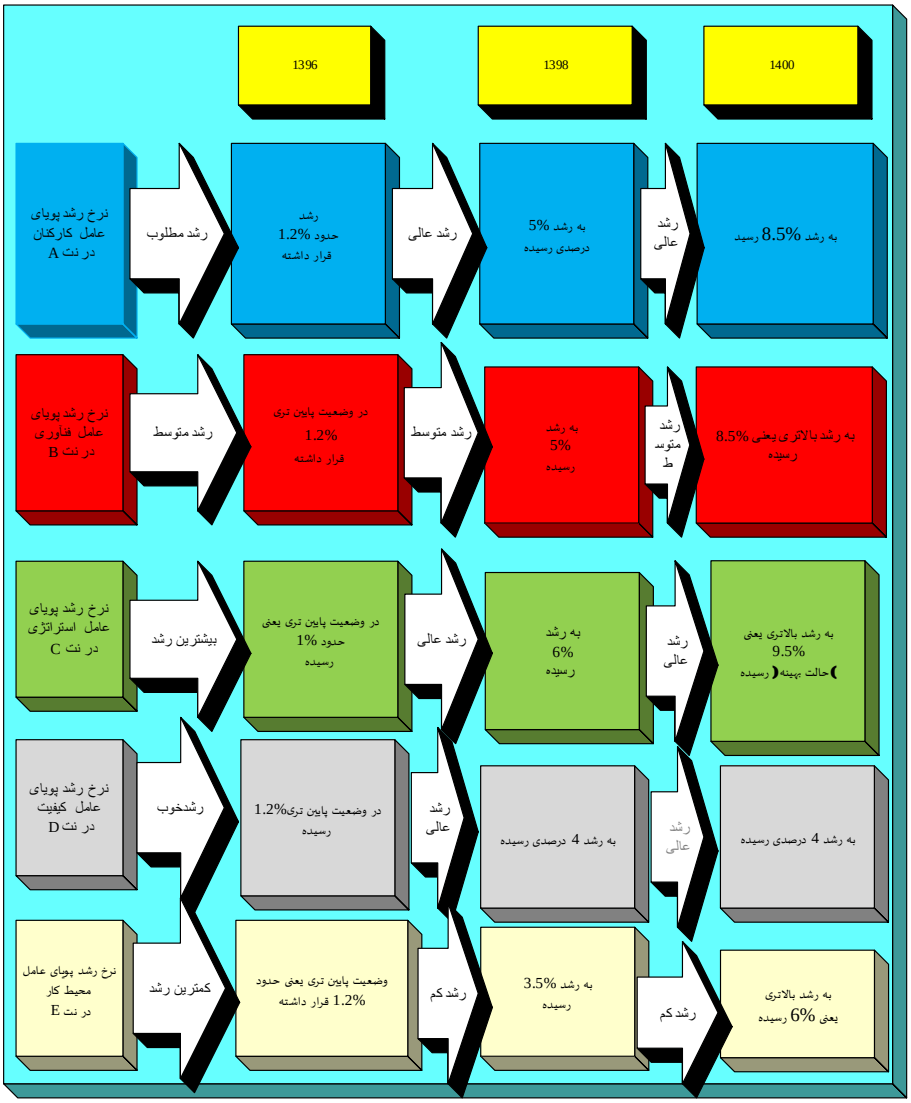
همانگونه که گفته شد متغیرهای مدل پویا نسبت به نرخ تغییرات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در صنعت نساجی و پوشاک –کارخانجات نساجی بروجرد رابطه معناداری و همسویی دارد. متغیرهای مدل پویا همسو با نرخ تغییرات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد در طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ افزایش یافته است. در ادامه برای مدل‌سازی اعتبار ساختاری ، مدل را در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ به کمک نرم‌افزار اجرا و داده‌های حاصل با داده‌های تاریخی موجود از صنعت نساجی و پوشاک مقایسه شد. اگر چه تطابق روندهای تاریخی با داده‌های حاصل از شبیه‌سازی به تنهایی نمی‌تواند تضمین کنندهٔ روندهای آینده باشد، ولیکن تا زمانی که رفتار و

ساختار مدل شبیه‌سازی شده متناسب با مفروضات گذشته باشد می‌توان انتظار داشت پیش‌بینی‌ها با شرایط آتی مطابقت داشته باشند. نتایج این تست را می‌توانید در نمودار ذیل مشاهده کنید:



نمودار ۹- تغییر متغیرهای مدل پویا پس از تغییر در مقدار سطح اولیه نرخ تغییرات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد

بر اساس مقایسه جواب بهینه سازی با داده‌های تاریخی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد به شرح زیر است:



نمودار ۱۰- اعتبار ساختاری مدل :بر اساس مقایسه جواب بهینه سازی با داده‌های تاریخی

تست ثبات ابعادی دیمانسیون، برای مدل‌سازی تعادل ابعاد متغیرها در هر دو سمت معادلات انجام شد که با توجه به بعد نداشتن متغیرهای غیر فیزیکی مدل، واحد این متغیرها با واقعیت تطابق دارد تست‌های کفایت مرزهای مدل، به‌منظور مدل‌سازی تناسب ساختار مدل با هدف مدل، صورت گرفته است. در مدل ارائه شده همه متغیرهای اصلی و کمکی، به‌عنوان متغیرهای درون زا در مدل فرموله

شده‌اند. همچنین به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌های پویا در نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد با رویکرد پویا، هر مدل می‌تواند بخشی از رفتار سیستم واقعی را بازسازی نماید. پس از انجام آزمون حدود نهایی متغیرهای کلیدی، آنالیز حساسیت، تست ثبات ابعادی دیمانسیون و آزمون مقایسه‌ای جواب شبیه‌سازی شده با اسناد و مدارک موجود، مشخص گردید که متغیرهای تأثیرگذار بر روی نرخ تغییرات نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد و عامل کارکنان در نت نیز به‌عنوان متغیر برون زا آورده شده است و با توجه به عدم تغییر زیاد این متغیرها، مدل می‌تواند تقریب مناسبی از رفتار واقعی آن‌ها بروز دهد.

۲-۷-۲-۳ تحلیل رگرسیون : یک فرآیند آماری برای تخمین روابط بین متغیرها جهت بررسی و طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه می‌باشد. از تحلیل رگرسیون به صورت گسترده برای پیش‌بینی استفاده شده است. تحلیل رگرسیون همچنین برای شناخت ارتباط میان متغیر مستقل و وابسته و شکل این روابط بهره‌برداری شده است. در ادامه بارهای عاملی متغیرهای مؤثر بر نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه، ارائه شده است:

جدول ۶- بارهای عاملی متغیرهای تحقیق نسبت به متغیر هدف (Y)

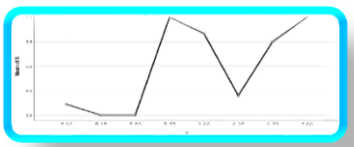
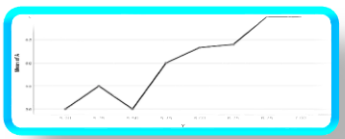
بارهای عاملی متغیرهای تحقیق به تابع هدف Y	متغیر هدف Y	عامل کارکنان در نت	عامل فناوری در نت	عامل استراتژی در نت	عامل کیفیت در نت	عامل محیط کار در نت
متغیر هدف Y	1.000	0.914	0.751	0.924	0.592	0.813
عامل کارکنان در نت	0.914	1.000	0.493	1.000	0.491	0.763
عامل فناوری در نت	0.751	0.493	1.000	0.493	0.591	0.540
عامل استراتژی در نت	0.924	1.000	0.493	1.000	0.491	0.763
عامل کیفیت در نت	0.592	0.491	0.559	0.491	1.000	0.407
عامل محیط کار در نت	0.813	0.763	0.540	0-763	0-407	1.000

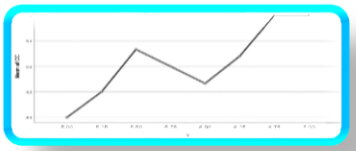
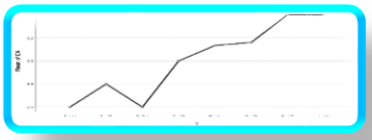
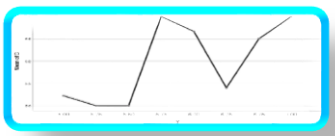
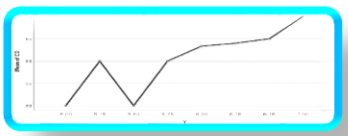
ماخذ: یافته‌های تحقیق

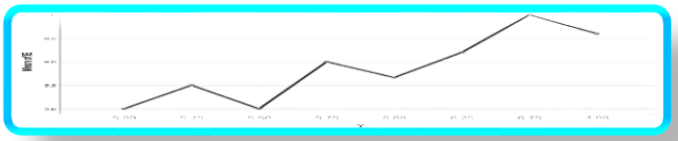
همان‌طور که در جدول بالا مشاهده می‌گردد، از آنجایی که علامت ضریب همبستگی، شیب خط رگرسیون است، لذا بر اساس نظرات مدیران و کارشناسان صنعت نساجی و پوشاک و خبرگان آکادمیک; بارهای عاملی متغیر "عامل کارکنان در نت" نسبت به متغیر هدف (Y) (نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد) براساس محاسبات مدل رگرسیونی تحقیق برابر با۰/۹۱۴ محاسبه شده؛ بارهای عاملی متغیر "عامل فن‌آوری در نت" نسبت به متغیر هدف (Y) (نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد) براساس محاسبات مدل رگرسیونی تحقیق برابر با ۰/۷۵۱محاسبه شده؛ بارهای عاملی متغیر "عامل استراتژی در نت" نسبت به متغیر هدف (Y) (نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد) براساس محاسبات مدل رگرسیونی تحقیق برابر با ۰/۹۱۴ محاسبه شده؛ بارهای عاملی متغیر " عامل کیفیت در نت " نسبت به متغیر هدف (Y) (نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد) براساس محاسبات مدل رگرسیونی تحقیق برابر با ۰/۵۹۲ محاسبه شده؛ بارهای عاملی متغیر "عامل محیط کار در نت" نسبت به متغیر هدف (Y) (نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد) براساس محاسبات مدل رگرسیونی تحقیق برابر با ۰/۸۱۳ محاسبه شده است.

نمودارهای تحلیل حساسیت

متغیرهای تحقیق نسبت به متغیر هدف (Y) (نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانه‌های نساجی بروجرد) ارائه شده‌اند:

	
نمودار تحلیل حساسیت متغیر عامل فن‌آوری در نت نسبت به متغیر هدف (Y)	**نمودار تحلیل حساسیت متغیر عامل کارکنان در نت نسبت به متغیر هدف (Y)**

	
نمودار تحلیل حساسیت متغیر مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی نسبت به متغیر هدف (Y)	نمودار تحلیل حساسیت متغیر عملیات استراتژیک مدیریت قطعات کم‌مصرف (غیرفعال) و پرمصرف (فعال) در انبارهای انتخاب‌شده نسبت به متغیر هدف (Y)
	
نمودار تحلیل حساسیت متغیر عامل کیفیت در نت نسبت به متغیر هدف (Y)	نمودار تحلیل حساسیت متغیر بهبود مستمر و استراتژیک بهینه‌سازی میزان موجودی اطمینان در اقلام کم‌مصرف (غیرفعال یا راکد) برحسب احتمال خرابی نسبت به متغیر هدف (Y)



نمودار تحلیل حساسیت متغیر عامل محیط کار در نت نسبت به متغیر هدف (Y)

نمودار ۱۱- تحلیل حساسیت متغیر ها در نت نسبت به متغیر هدف (Y)

مطالعه تأثیرپذیری متغیر هدف تحقیق از متغیرهای ورودی مدل تحقیق جهت نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه درکارخانجات نساجی بروجرد، نشان می‌دهد که با تغییر دادن ورودی‌های مدل آماری به صورت سیستماتیک می‌توان تأثیرات این تغییرها را در خروجی مدل پیش‌بینی کرد، به بیانی دیگر:با تغییر ورودی اول تحقیق (A) یعنی متغیر عامل کارکنان در نت در سطح میانگین ۵ و۵/۵ متغیر هدف یعنی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد، دارای کمترین حساسیت بوده و تأثیر خاصی بر آن ندارد. از جهتی دیگر با تغییر متغیر عامل کارکنان در نت در سطح میانگین ۶/۷۵متغیر هدف، دارای بیشترین حساسیت بوده و تأثیر بسیار معناداری بر آن دارد.

نمودار تحلیل حساسیت متغیر عامل فن‌آوری در نت نسبت به متغیر هدف (Y) نشان می‌دهد که: با تغییر ورودی دوم تحقیق (B) یعنی متغیر عامل فن‌آوری در نت در سطح میانگین ۵/۲۵ و ۵/۵ متغیر هدف یعنی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد، دارای کمترین حساسیت بوده و تأثیر خاصی بر آن ندارد. از جهتی دیگر؛ با تغییر متغیر عامل فن‌آوری در نت در سطح میانگین ۶/۹۵ متغیر هدف، دارای بیشترین حساسیت بوده و تأثیر بسیار معناداری بر آن دارد.

در حقیقت، نمودار تحلیل حساسیت متغیر عملیات استراتژیک مدیریت قطعات کم‌مصرف (غیرفعال) و پرمصرف (فعال) در انبارهای انتخاب‌شده نسبت به متغیر هدف (Y) نشان می‌دهد که: با تغییر ورودی سوم تحقیق (C1) یعنی متغیر عملیات استراتژیک مدیریت قطعات کم‌مصرف (غیرفعال) و پرمصرف (فعال) در انبارهای انتخاب‌شده در سطح میانگین ۵/۲۵ و ۵/۵ متغیر هدف یعنی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد، دارای کمترین حساسیت بوده و تأثیر خاصی بر آن ندارد. ازجهتی دیگر؛ با تغییر متغیر عملیات استراتژیک مدیریت قطعات کم‌مصرف (غیرفعال) و پرمصرف (فعال)

در انبارهای انتخاب‌شده در سطح میانگین ۶/۹۵ متغیر هدف، دارای بیشترین حساسیت بوده و تأثیر بسیار معناداری بر آن دارد. از طرفی دیگر، نمودار تحلیل حساسیت متغیر مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی نسبت به متغیر هدف (Y) نشان می‌دهد که: با تغییر ورودی چهارم تحقیق (C2) یعنی متغیر مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی در سطح میانگین ۵، متغیر هدف یعنی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد، دارای کمترین حساسیت بوده و تأثیر خاصی بر آن ندارد، ازجهتی دیگر؛ با تغییر متغیر مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی در سطح میانگین ۶/۷۵ الی ۷، متغیر هدف، دارای بیشترین حساسیت بوده و تأثیر بسیار معناداری بر آن دارد. در حقیقت، تغییر متغیر مسیر استراتژیک استراتژی بهینه‌سازی نقطه سفارش و میزان سفارش در اقلام پرمصرف برحسب احتمال خرابی در سطح میانگین ۶/۷۵ الی ۷،تأثیرات بالا و مستمری بر متغیر هدف دارد. نمودار تحلیل حساسیت متغیر بهبود مستمر و استراتژیک بهینه‌سازی میزان موجودی اطمینان در اقلام کم‌مصرف (غیرفعال یا راکد) برحسب احتمال خرابی نسبت به متغیر هدف (Y) نشان می‌دهد که: با تغییر ورودی چهارم تحقیق (C3) یعنی متغیر بهبود مستمر و استراتژیک بهینه‌سازی میزان موجودی اطمینان در اقلام کم‌مصرف (غیرفعال یا راکد) برحسب احتمال خرابی در سطح میانگین ۵ و ۵/۵ متغیر هدف یعنی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد، دارای کمترین حساسیت بوده و تأثیر خاصی بر آن ندارد، ازجهتی دیگر؛ با تغییر متغیر بهبود مستمر و استراتژیک بهینه‌سازی میزان موجودی اطمینان در اقلام کم‌مصرف (غیرفعال یا راکد) برحسب احتمال خرابی در سطح میانگین ۶/۹۵متغیر هدف، دارای بیشترین حساسیت بوده و تأثیر بسیار معناداری بر آن دارد. در نهایت، در اینجا محاسبه و برآورد نمودیم که رفتاری که برای سیستم پیش‌بینی کرده‌ایم (خروجی آن سیستم) تا چه حد به مقادیر متغیرهای مستقل (ورودی آن سیستم) حساس است. نمودار تحلیل حساسیت متغیر عامل کیفیت در نت نسبت به متغیر هدف (Y) نشان می‌دهد که: با تغییر ورودی چهارم تحقیق (D) یعنی متغیر عامل کیفیت در نت در سطح میانگین ۵/۲۵ الی ۵/۵؛ متغیر هدف یعنی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد، دارای کمترین حساسیت بوده و تأثیر خاصی بر آن ندارد، ازجهتی دیگر؛ با تغییر متغیر عامل کیفیت در نت در سطح میانگین ۶/۹۵ متغیر هدف، دارای بیشترین حساسیت بوده و تأثیر بسیار معناداری بر آن دارد. در واقع؛ نمودار تحلیل حساسیت متغیر عامل محیط کار در نت نسبت به متغیر هدف (Y) نشان می‌دهد که

با تغییر ورودی چهارم تحقیق (E) یعنی متغیر عامل محیط کار در نت در سطح میانگین ۵ الی ۵/۵؛ متغیر هدف یعنی نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه در کارخانجات نساجی بروجرد، دارای کمترین حساسیت بوده و تأثیر خاصی بر آن ندارد، ازجهتی دیگر؛ با تغییر متغیر عامل محیط کار در نت در سطح میانگین ۶/۷۵ متغیر هدف، دارای بیشترین حساسیت بوده و تأثیر بسیار معناداری بر آن دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در نهایت با انجام محاسبات متعدد مهم‌ترین نتایج مدل‌سازی پویا، نشان داده شد که: نرخ رشد " محیط کار در نت" دارای رنگ مشکی با کد E، کمترین مقدار رشد در سال ۱۳۹۶ در وضعیت پایین‌تری یعنی حدود۱/۲ و با رشدی کم در سال ۱۳۹۸ به رشد ۳/۵ درصدی و رشدی کم در سال ۱۴۰۰ به میزان رشد بالاتری، یعنی ۶ درصد رسیده است. به علاوه، نرخ رشد "فن‌آوری در نت" دارای رنگ قرمز با کد B، مقدار رشد متوسطی را داشته و در سال ۱۳۹۶ در وضعیت پایین‌تری یعنی حدود ۱/۲ و با رشدی متوسطی در سال ۱۳۹۸ به رشد ۵ درصدی و با رشدی متوسط در سال ۱۴۰۰ به میزان رشد بالاتری، یعنی ۸/۵درصد رسیده ازطرفی، نرخ رشد پویای متغیر " استراتژی در نت" یعنی نمودار دارای رنگ سبز با کد C، بیش‌ترین مقدار رشد را داشته و در سال ۱۳۹۶ در وضعیت پایین‌تری یعنی حدود ۱ درصد و با رشدی عالی در سال ۱۳۹۸ به رشد ۶ درصدی و با رشدی عالی در سال ۱۴۰۰ به میزان رشد بالاتری، یعنی ۹/۵ درصد (حالت بهینه) رسیده است.نرخ رشد پویای متغیر " کارکنان در نت" دارای رنگ آبی با کد A، رشد مطلوبی را داشته و در سال ۱۳۹۶ در وضعیت رشد حدود ۱/۲درصدی قرار داشته و با رشدی عالی در سال ۱۳۹۸ به رشد ۵ درصدی و با رشدی عالی در سال ۱۴۰۰ به میزان رشد بالاتری، یعنی ۸/۵ درصد رسیده است. درنهایت، نرخ رشد پویای متغیر " کیفیت در نت " دارای رنگ خاکستری با کد D، مقدار رشد خوبی را داشته و در سال ۱۳۹۶ در وضعیت پایین‌تری یعنی حدود ۱/۲ درصد قرار داشته و با رشدی مطلوب در سال ۱۳۹۸ به رشد ۴ درصدی و با رشدی متوسط در سال۱۴۰۰ به میزان رشد بالاتری، یعنی۶/۵ درصد رسیده است.

با توجه به نتایج تحقیق، مهم‌ترین توصیه‌ها و پیشنهادات برای تحقیق‌های بعدی را می‌توان این چنین بیان نمود:

الف) بهره‌برداری از سایر تکنیک‌های هوش مصنوعی، به‌ویژه شبکه‌های عصبی مصنوعی و مهم‌ترین و مرتبط‌ترین الگوریتم‌های موجود در حوزه هوش مصنوعی، به‌منظور افزایش غنای محتوایی سیستم مذکور و نیز بهبود فرآیند استنتاج فازی آن برای طراحی مدل پویای هوشمند نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه؛

ب) بهره‌برداری از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) فازی، به‌منظور رتبه‌بندی شبکه‌ای روابط بین مدل نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه.

ج) به‌کارگیری متدلوژی آنتولوژی (Ontology) فازی، جهت مدل‌سازی جامع نگهداری و تعمیرات پیش‌گیرانه.

منابع

-Alsyouf, I. 2009. Maintenance practices in Swedish industries: Survey results. International Journal of Production Economics, 121 (1), 212-223. doi: http: //dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.05.005

- Arnetz, J. E., Zhdanova, L., & Arnetz, B. B. (2016). Patient involvement: a new source of stress in health care work?. Health communication, 31(12), 1566-1572.

-Amiri, Farzad; Hadith of Fayzi Kamrah; Mena Khameei and Elham Nazari, 2016, The Role of Information Management (IM) and Resource Management System (ERP) in Strategic Knowledge Management and Decision Making, Second National Engineering Management Conference, Astana Ashrafieh, Mehr Astan Institute of Higher Education, Gilan. (in Persian)

-Bangalore, P., & Tjernberg, L. B. 2015. An artificial neural network approach for early fault detection of gearbox bearings. IEEE Transactions on Smart Grid, 6 (2), 980-987.

- Bell, M. A. 2015. Methods for enhancing system dynamics modelling: state-space models, data-driven structural validation & discrete event simulation. (PhD), Lancaster University,

- Brailsford, S., Desai, S. M., & Viana, J. 2010. Towards the holygrail: Combining System dynamics and discrete-event simulation in healthcare. Paper presented at the Proceedings of the Winter Simulation Conference

- Droguett, E. L., Jacinto, C. M. C., Garcia, P. A. A., & Moura, M. 2006. Availability assessment of onshore oil fields. Paper presented at the Proceedings of the European Safety and Reliability Conference 2006, ESREL 2006 – Safety and Reliability for Managing Risk.

- Eti, M.C. & Ogaji, Stephen & Probert, S.D.. (2006). Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. Applied Energy. 83. 1235-1248.

- Garcia , Kyounghyun, Minh Chau Nguyen, and Heesun Won. 2015. "Web-based collaborative big data analytics on big data as a service platform." 17th International Conference on Advanced Communication Technology.

- Ghasadi, Melika, 2017, Effective management of change: a requirement for the successful implementation of manufacturing company strategies, National conference of new models in management and manufacturing company with the approach of supporting national entrepreneurs, Tehran, Nagareh Higher Education Institute (in Persian)

- Haidrianizadeh, Abuzar and Seyed Mahmoud Zanjeerchi, 2016, improving the comprehensive effectiveness of machinery by using preventative maintenance and repairs: selected press machines of Yazd Pitch Company, First International Congress of Engineering Sciences 2017, Shiraz, Kharazmi Institute of Science and Technology (in Persian)

- Kauppi, K, Longoni, A. 2016. Managing country disruption risks and improving operational performance: risk management along integrated supply chains, nternational Journal of Int.J. Production Economics, vol. 182, PP.484-495.

- Kováč, J., Stejskal, T., & Valenčík, Š. (2013). Virtual Reality in the Maintenance of Machinery and Equipment. Applied Mechanics and Materials, 282, 269–273.

- Laks, Paul & Wim J. C. Verhagen. 2018. Identification of optimal preventive maintenance decisions for composite components. Transportation Research Procedia, Volume 29, 2018, Pages 202-212
- Liyanage, J. and Kumar, U. (2003), "Towards a value-based view on operations and maintenance performance management", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 9 No. 4, pp. 333-350.
- Rahimi, Mokhtar and Mehrdad Nikbakht, 2017, Identification of key factors affecting the efficiency and cost reduction of the mechanized management system of maintenance and preventive maintenance in Isfahan Region 2 Gas Transmission Company, 6th National Conference on New Findings in Industrial Management and Engineering with an emphasis on entrepreneurship in industries. , Payam Noor University, Tehran. (in Persian)
- Sgarbossa, Fabio, 2018. Impacts of weibull parameters estimation on preventive maintenance cost. IFAC-PapersOnLine, Volume 51, Issue 11, 2018, Pages 508-513
- Fadaeefath Abadi, M., Haghighat, F., & Nasiri, F. (2020). Data center maintenance: applications and future research directions. *Facilities*, *38*(9/10), 691-714..
- Song, Jian, et al. 2018. Dynamic Simulation of the Group Behavior under Fire Accidents Based on System Dynamics. Procedia Engineering, Volume 211, 2018, Pages 635-643.
- Vlasov, A. I., Echeistov, V. V., Krivoshein, A. I., Shakhnov, V. A., Filin, S. S., & Migalin, V. S. (2018). An information system of predictive maintenance analytical support of industrial equipment. *Journal of Applied Engineering Science*, *16*(4), 515-522.
- Wan, Shan & Li, Dongbo & Gao, James & Roy, Rajkumar & He, Fei. (2018). A collaborative machine tool maintenance planning system based on content management technologies. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 94. 1639-1653. 10.1007/s00170-016-9829-0.
- Woodhouse P., & Tjernberg, L. B. 2015. An artificial neural network approach for early fault detection of gearbox bearings. IEEE Transactions on Smart Grid, 6 (2), 980-987.
- Xue, Chaogai &Yawen Xu. 2017. Influence Factor Analysis of Enterprise IT Innovation Capacity Based on System Dynamics. Procedia Engineering, Volume 174, 2017, Pages 232-239

Designing an intelligent dynamic model of preventive maintenance and repairs in the textile and clothing industry in the interaction of production with the help of simulation (a case study of Borujerd textile factories)

Seyed Shahram Fatemi[1] , Mehrdad Javadi [2], Esmaeil Najafi [3]and Amir Azizi[4]

Abstract

The aim of the research is "designing a smart dynamic model of preventive net using simulation in interaction with production" based on the documentation of textile and clothing industries under the title of dynamic preventive net model. In order to calculate the dynamics of the system, Vansim software and research data were prepared based on a sample of 2000 data and reports from the textile and clothing industries during the years 2016 to the end of 2014 and the textile factories of Borujerd as the location of the project on a semi-annual basis. The results of the research show that the growth rate of "working environment on the net" has reached the lowest growth rate of 1.2% in 2016 and 3.5% in 2018 and a higher growth of 6% in 2014. The growth rate of "Internet technology" has reached an average growth rate of 1.2% in 1396, 5% in 1398, and a higher growth of 8.5% in 1400. The dynamic growth rate of the variable "Strategy in Net" has reached the maximum growth rate of 1% in 2016, 6% in 2018, and a higher rate of growth in 2014, i.e. 9.5% (optimal state).

Key words: System dynamics, Simulation, maintenance and preventive maintenance.

[1]Phd. Student Candidate, Department of Industrial Engineering, Science and Research branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran. Email: fatemi.shahram@yahoo.com.

[2]Corresponding Author, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, South Tehran branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran. Email: mjavadi@azad.ac.ir.

[3]Corresponding Author, Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Science and Research branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran. Email: najafi1515@yahoo.com.

[4]Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Science and Research branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran. Email: azizi@srbiau.ac.ir.