پژوهش در مدیریت و مهندسی صنایع، شماره ۱۶ ، زمستان ۱۳۹۷، ص ۱۹- ۱

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

فصلنامه علمی پژوهش در مدیریت و مهندسی صنایع (سال چهارم)
شماره ۱۶ / زمستان ۱۳۹۷ / ص ۱۹- ۱

ارائه استراتژی مناسب نگهداری با استفاده از شبیه سازی با رویکرد پویایی سیستم: گامی در جهت افزایش بهره وری و کاهش هزینه تعمیرات کارخانه ایمن ساخت پاسارگاد

شیما یوسفی [۱]، امیر عزیزی [۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

[۲] استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

نام نویسنده مسئول:
امیر عزیزی

چکیده

در حفظ و بهبود قابلیت دسترسی تجهیزات، نگهداری نقش مهمی داشته که به نوبه خود بر بهره‌وری سیستم تاثیر گذاشته است .در این تحقیق با توجه به ماهیت پویای سیستم ها و ماشین آلات تلاش در جهت ارائه مدلی گردیده است که بتواند این ویژگی را در طراحی مدل نگهداری لحاظ نماید در واقع به دنبال توسعه و ارائه چارچوبی هستیم که هم بتواند به ارزیابی سیاست های نگهداری سیستم بپردازد و هم تاثیر پارامترهای نگهداری بربهره وری سیستم را شبیه سازی نماید .معیارهای اصلی مورد استفاده برای اندازه گیری بهره وری و اثر بخشی سیاست نگهداری مورد استفاده، هزینه چرخه عمر و خرابی های تجمعی میباشند. در این تحقیق با استفاده از دانش سیستم پویا مدل سازی نگهداری صورت پذیرفته است که در قالب دو نوع استراتژی(سیاست) نگهداری تحت عنوان سیاست ثابت و سیاست متغیر ارائه شده است. هدف از اجرای سیاست متغیر و ثابت و نکات آموزشی به ترتیب، کاهش تعداد خرابی ها و کاهش هزینه چرخه عمر و افزایش بهره وری سیستم می باشد. به منظور تعیین بهترین سیاست نگهداری، در ۶ ماه نخست سال ۹۷، متغیر هایی نظیر خرابی های تجمعی، هزینه چرخه عمر، قابلیت دسترسی تجهیزات،MTBF ، میانگین نرخ شکست، هزینه عملیاتی، هزینه فرصت از دست رفته، به صورت ماهانه برای هر دو سیاست بدست آمده که راهکار هایی برای اجرای هر سیاست در نظر گرفته شده است. ازآنجایی که بسیاری از سیاست‌های نگهداری به صورت تحلیلی قابل‌ردیابی نیستند ، به علاوه ، این امکان را به آزمایش و درک بهتر سیستم‌های پیچیده می‌دهد و به فرضیات کمتری در مقایسه با مدل‌سازی تحلیلی نیاز دارد، یک مدل سیستم پویا از طریق نرم افزار شبیه سازی Vensim به منظور تعیین اثر بخش سیاست منا سب نگهداری(ثابت و متغیر) با توجه به متغیرها یی همچون عمر سیستم، تجربه پرسنل نگهداری ، برنامه های پیشگیرانه، بحرانی بودن ماموریت و سطح بهبود قطعات / سیستم ارائه شده است. ضمنا برخی پارامترهای مورد نیاز در محاسبات هزینه چرخه عمر با استفاده از چرخه شبیه سازی تولید خواهد شد.

واژگان کلیدی: پویایی سیستم، بهره وری، هزینه چرخه عمر، خرابی های تجمعی.

پژوهش در مدیریت و مهندسی صنایع، شماره ۱۶ ، زمستان ۱۳۹۷، ص ۱۹- ۱

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

مقدمه

در تمامی تصمیمات مرتبط با خرید ماشین آلات و تجهیزات میبایست با توجه به هزینه های ایجاد شده در طول چرخه عمر همچون هزینه های عملیاتی، هزینه های نگهداری اصلاحی و هزینه های نگهداری پیشگیرانه حتی الامکان نگرش بلند مدت مد نظر قرار گیرد. این مسئله در خصوص ارائه تکنولوژی های جدید نیز مصداق دارد . یکی از اصول مفروض در مدیریت نگهداری ایجاد تعادل در هزینه چرخه عمر با بهره وری و اثربخشی سیستم یا سطوح دسترسی به سیستم می باشد و از انجایی که حدود ۷۰٪ مطالعات انجام شده در زمینه نگهداری از روش PM استفاده شده است و به حداقل رساندن هزینه و افزایش بهره وری سیستم ها به عنوان یک هدف در بیش از ۷۰ ٪ مطالعات (۵۹ مقاله) گزارش شده‌است (الربقی و تیواری[1]، ۲۰۱۵)، اهمیت این موضوع را می رساند. پویایی سیستم روشی است که وجوه مشخصه سیستم های بازخور را شناسائی نموده و نشان می دهد که چگونه ساختار، سیاست ها و تصمیمات بر رشد و ثبات سیستم تاثیرمی گذارند. در واقع هدف استفاده از پویایی سیستم این است که در آن تنها تغییرات در حالت‌های سیستم و در طول زمان نشان‌داده شده‌است، تغییرپذیری مدل‌سازی در توزیع‌های آماری یا تجربی و مدل‌سازی سریع با ارایه ماژول‌ها است که فرآیند مدل‌سازی را تسریع می‌کنند ، از روابط علی بین استراتژیک و نتایج عملکرد پشتیبانی میکند و تجزیه و تحلیل را قادر می‌سازد که تاخیرهای زمانی بین اقدامات مختلف را به منظور حمایت از تدوین صحیح سیاست‌ها و اجرای صحیح سیاست‌ها در نظر بگیرد و امکان آزمایش چندگانه را به منظور به چالش کشیدن مدل‌های ذهنی فراهم میکند. شناسائی و توجه دقیق به فرایند و ماهیت آن از یک سو بیانگر شاخص بحرانی بودن ماشین یا سیستم و از سوی دیگر به عنوان عاملی تعدیل کننده درتصمیمات خرید اثر گذار خواهند بود (شان وان و همکاران، ۲۰۱۵). بدین سبب در مدیریت هزینه چرخه عمر بایست تعادل بین عوامل فوق الذکر لحاظ گردیده و تصمیمات خرید بر این مبنا صورت پذیرد، در غیر این صورت مواجه با روزمرگی شده و ضمن در نادیده گرفتن افق زمانی بلند مدت، ماشین آلات و تجهیزاتی خواهیم داشت که بار سنگینی از هزینه های عملیاتی، نگهداری پیشگیرانه و نگهداری اصلاحی را یدک می کشند ، مضاف بر این که بهره وری سطوح دسترسی به سیستم به کمترین مقدار تنزل خواهد یافت. معمولاً مدل های موجود و مورد استفا ده درمدیریت نگهداری صرفاً بر تعداد اندکی متغیر تمرکز داشته (هیدکی و همکارا[2]ن،۲۰۱۸) و تعداد بسیار زیادی از متغیرهای مهم همچون میانگین نرخ شکست، $MTBF$، قابلیت دسترسی به دستگاه ها وغیره مورد غفلت واقع شده اند. بدین منظور بایستی از مدلی استفاده نمود که بتواند متغیرها و پارامترهای مهم تأثیر گذار بر سیستم در طول دوران عمر عملیاتی را شناسایی و با یکدیگر ادغام نموده و قابلیت تجزیه و تحلیل هر سیستمی را داشته باشد که مدل پویایی سیستم دارای چنین ویژگی است.

تحقیقات متعدد و پیشینه غنی در حوزه PM و بهبود در بهره وری تجهیزات می باشد که در ادامه به برخی از مهم ترین این تحقیقات اشاره شده است.

مارسلو و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با هدف شناسایی و تحلیل استفاده از شاخص‌های عملکرد نگهداری توسط شرکت‌های مرکز صنعتی $Manaus$ در برزیل به منظور شناسایی عوامل تعیین‌کننده برای دستیابی به سطوح بالاتر بهره وری و اثربخشی انجام شد. ابعاد و متغیر های مورد بررسی برای این امر شامل، تعداد کارکنان نگهداری، تعداد تجهیزات ، زمان توقف، زمان انتظار، بهره وری تجهیزات بود که بخشی از نتایج آن نیز کاهش زمان توقف تجهیزات ناشی از شکست‌ها ، کاهش زمان انتظار، بهبود در نتایج نگهداری، تاثیر مثبت بر روی فعالیت‌های تیم نگهداری با استفاده از شاخص‌های عملکرد نگهداری به صورت دوره ای شد.

اتی و همکاران (۲۰۰۴) به دنبال راه‌هایی بودند که در آن صنایع تولیدی نیجریه می‌تواند به عنوان یک استراتژی و فرهنگ برای بهبود عملکرد به عنوان پیش‌نیازهای مطلوب قبل از اجرای TPM اجرا شوند. شاخص های آن هم شامل قابلیت دسترسی تجهیزات، قابلیت اطمینان و OEE عملکرد فرآیند نسبت به کار برنامه‌ریزی‌شده ، هزینه نگهداری، ایمنی، خدمات مشتری، میانگین نرخ خروجی، کیفیت محصول نهایی می باشد. که با استفاده از تکنیک TPM پیشگیرانه و افزایش خروجی ، کاهش ضایعات ، به حداقل رسیدن زمان و بهبود کیفیت محصول نهایی، بالا رفتن OEE تا ۲۰٪ ، بهبودهای قابل‌توجه در بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها و به حداقل رسیدن وقفه‌های اضطراری و زمانبندی نشده را به دنبال داشته است.

سهر و هتیس (۲۰۱۵) در تحقیقی به تضمین تداوم تولید با کاهش توقف در ماشین‌ها برای اطمینان از تحقق برنامه‌های پیش از تولید و حصول اطمینان از عملکرد بیشتر با توجه به سرمایه صرف‌شده از طریق اعمال تولید ناب، 5s، کایزن و کانبان و TPM پیشگیرانه پرداختند که مهم ترین دستاورد آنها کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری تا ۳۰٪، حفظ کیفیت در تجهیزات و فرآیندها و حصول اطمینان

[1] Alrabghi & Tiwari
[2] Hideki, Takuya & Shinichi

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

از کارایی کل تجهیزات، کاهش در خرابی ماشین شد و شاخص های مورد استفاده آنها برای این امر مدت توقف یا شکست ؛متوسط زمان بین خرابی‌ها، متوسط مدت شکست.متوسط مدت تعمیر، زمان شکست و اندازه‌گیری‌های مربوط به مدیریت تعمیرات برنامه‌ریزی‌شده و برنامه‌ریزی نشده بود.

رانتشوار و همکاران[1](۲۰۱۳) در پژهش خود به شناسایی تلفات مربوط به اثربخشی و کارایی کلی تجهیزات پرداختند که از طریق گزارش اجرای تفصیلی 5S و Kaizen توانستنند نتایج مهمی را به همراه داشته یاشد از جمله اینکه اجرای کایزن باعث کاهش تلفات در محل کار شد که بر کارآیی تاثیر گذاشت، کارآیی کلی تجهیزات از ۶۳ ٪ به ۷۹ ٪ بهبود یافته‌است که نشان‌دهنده بهبود بهره‌وری و بهبود کیفیت محصول است و باعث بهبود در استفاده از دستگاه‌های CNC و حفظ بهداشت در این کارخانه شده است.

سورافون و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود مشکلات خرابی تجهیزات و اتلاف آب در طول فرآیند تولید آب در تصفیه خانه ها را بررسی کردند و شاخص های آنها شامل نرخ شکست، قابلیت دسترسی ، کارایی عملکرد ، میزان کیفیت ، اثربخشی تجهیزات کلی (OEE) می باشد. روش تجزیه و تحلیل از طریق اجرای استراتژی هشت ستونی از طریق 5S ، نگه داری خودگردان، Kaizen، برنامه ریزی نگه داری TPM انجام شده است و در نهایت کاهش اتلاف آب، کاهش خرابی تجهیزات و افزایش اثر بخشی را به مرا داشت و نرخ شکست از بین رفت (صفر) و کارایی تجهیزات افزایش یافت از ۰,۹۲٪ به ۱,۱۰٪.

چانا و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی اثربخشی و اجرای برنامه TPM برای شرکت تولید الکترونیک در بخش مونتاژ هنگ هنگ با ارائه برنامه TPM در ۵ مرحله پرداختند که در نتیجه بهره‌وری دستگاه مدل با ۸۳ درصد افزایش یافت ، شاخص بهره‌وری ماشین مدل از ۴۳۳ به ۲۱۳۲ افزایش یافت و همچنین میزان توقف تجهیزات از ۵۱۷ به ۸۹ بار کاهش یافت.

چارلز و بوپ (۲۰۱۵) در پژوهشی طراحی یک مدل TPM به منظور اجرای موثر TPM برای رقابت بالاتر در محیط کسب‌وکار پویا بو بهبود سیستم نگهداری در یک شرکت تولید شیمیایی را انجام دادند و از شاخص‌های کلیدی عملکرد و عوامل موفقیت TPM و محاسبه OEE استفاده کردند و داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار spss مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اثربخشی تجهیزات کلی (OEE)۳۷ ٪ محاسبه شد و در زیر سطح استاندارد جهانی ۵۰ ٪ بود و زمان استراحت تجهیزات علت اصلی آن بود.در نتیجه شرکت از طریق توانمندسازی کارکنان و پرسنل نگهداری از طریق آموزش برای به حداکثر رساندن کارایی تجهیزات به منظور حذف اشتباهات اپراتورها و تعمیر نامناسب اقدام می کند.

عماد (۲۰۰۹) به بررسی شیوه‌های نگهداری که در صنعت سوئد مورد استفاده قرار می‌گیرند، پرداخته است. شاخص های مورد استفاده در این تحقیق بهره وری، کارایی و اثربخشی عملیات بوده است که از طریق شناسایی مشکلات در مراحل اولیه و بهبود اثربخشی برنامه‌ریزی نگهداری توانست بهره‌وری ،ارزش و سودآوری بلندمدت را افزایش دهد.

بسیم و متیاس (۲۰۱۲) تمرکز اصلی این مقاله پیشنهاد یک تکنیک تعمیر و نگهداری جدید است که برای حفظ کیفیت (مشخصات فنی) توربین‌های بادی و بهبود کارایی ، موثر است. گام‌های سیستماتیک با استفاده از حفظ کیفیت کلی (TQMain) برای بهبود موثر در عملکرد توربین بادی ارائه داده شد که متشکل از چهار مرحله می باشد: مرحله شناسایی، توصیف فاز ارتباط، مرحله انتخاب و مرحله بهبود موثر و مستمر. نتیجه این تحقیق شامل افزایش تولید ، سود و سهام ، افزایس کارایی و بهره وری توربین ها تا ۴۶٪ و کاهش نقض محیط‌زیست شد.

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

پنکاج و همکاران (۲۰۱۷) در این پژوهش روشی برای استفاده از شبیه‌سازی برای پیش‌بینی شکست‌ها در تجهیزات ارتش ارائه می‌کند و در واقع توضیح می‌دهد که چگونه یک رویکرد نگهداری انتخابی می‌تواند در ارتباط با روش پیش‌بینی قطعات یدکی مورد نیاز مورد استفاده قرار گیرد تا سطح مطلوب قابلیت اطمینان تجهیزات را تضمین کند در حالی که هزینه‌های نگهداری را به حداقل می‌رساند و یک الگوریتم ژنتیک (GA) برای بهینه‌سازی فعالیت‌های نگهداری قبل از شروع تعمیر نگهداری استفاده می‌شود. فرآیند شبیه‌سازی به همراه بهینه‌سازی GAبا استفاده از MATLAB، کد گذاری شده است. . شاخص ها شامل قابلیت اطمینان تجهیزات، بودجه، هزینه و زمان تعمیر می باشد. در نهایت نتیجه حاصل از آن به این صورت بوده است که انتخاب بهینه وظایف نگهداری در طول وقفه نگهداری برای حداکثر تاثیر مثبت بر قابلیت اطمینان تجهیزات کمک خواهد کرد. و هزینه‌ها را به حداقل می‌رساند. منابع تاخیر تدارکات را تا حد زیادی کاهش یافته و در نتیجه قابلیت دسترسی بیشتر تجهیزات را تضمین می‌کند. تاخیرهای ناشی از زمان رهبری بین ترتیب سفارش و تحقق سفارش را کاهش داده است .انتخاب بهینه وظایف نگهداری در طول وقفه نگهداری برای حداکثر تاثیر مثبت بر قابلیت اطمینان تجهیزات کمک خواهد کرد.

فانگ و هانگ (۲۰۱۵) هدف از انجام پژوهش خود را ، بررسی تاثیر میزان شکست قطعات و نرخ تعمیرات پیشگیرانه بر هزینه‌های نگهداری در طول عمر تجهیزات و ارایه یک روش موثر برای محاسبه ، تحلیل و کنترل هزینه پشتیبانی نگهداری . برای کاهش و کنترل هزینه پشتیبانی نگهداری و هزینه کل چرخه عمر تجهیزات تعریف کردند به طوری که ابتدا رابطه علیت را بررسی می‌کند و سپس نمودار حلقه علی توسط نرم‌افزار Vensim را ترسیم می‌کند. نتایج تحلیل ، عملی بودن روش شبیه‌سازی این مقاله را تایید کرده‌است و با کاهش نرخ شکست به طور موثر هزینه چرخه عمر تجهیزات را کاهش می دهد.

عبداله و آشاتوش(۲۰۱۶) در این پژوهش، یک رویکرد جدید پیشنهاد شده است که مدل‌سازی سیستم‌های چند واحدی بدون محدود در تعداد واحدها یا ویژگی‌های نگهداری آن‌ها امکان پذیر می‌سازد. روش پیشنهادی در این مطالعه بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی رویداد گسسته در سیستم پویا است که در آن تغییرات در سیستم در طول زمان نشان‌داده شده‌است و نشان می‌دهد که چگونه اعمال یک استراتژی نگهداری داده‌شده ممکن است بر تجهیزات در سیستم‌های مختلف تاثیر بگذارد و احتمال وقوع همه حالت‌های شکست را تغییر دهد و یک رویکرد برای مدل‌سازی PM مبتنی بر زمان ارائه شده است. شاخص های مورد استفاده در این پژوهش شامل میانگین زمان سپری‌شده بین شکست‌ها، زمان‌های تعمیر و هزینه‌های PM ، هزینه‌های بازرسی می باشد. روش پیشنهادی موجب تسهیل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های نگهداری صنعتی، به حداقل رسیدن هزینه و به حداکثر رسیدن قابلیت دسترسی می شود. بهینه‌سازی منجر به کاهش هزینه ۱۶,۶ درصد نسبت به مدل پایه شد.

گری و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود یک مدل دینامیک جدید برای مطالعه و توسعه عملکرد نگهداری و هزینه‌ها را ارایه می‌دهند که به منظور روشن کردن راهبرد هایی برای حمایت از توسعه بلندمدت استراتژیک نگهداری تولید می‌باشد. این مدل با استفاده از نرم‌افزار Vensim DSSساخته شده‌است و از روابط علی بین ابتکارات استراتژیک و نتایج عملکرد، تجزیه و تحلیل تاخیرهای زمانی بین اقدامات مختلف به منظور حمایت از تدوین صحیح سیاست‌ها استفاده شده است. متغیر ها و شاخص های آنها شامل هزینه های نگهداری مستقیم و غیر مستقیم، قابلیت اطمینان تجهیزات، .وضعیت سلامت تجهیزات، نرخ خرابی تجهیزات بوده است. در نهایت موجب کاهش خرابی‌ها و همچنین تحول سازمانی شده است واجرای کار PM ، با استفاده از فواصل ثابت ، عملکرد قابلیت دسترسی را تا ۲۸٪ افزایش داد.

حجت نبوتی، امیر صالحی پور(۱۳۹۱) به بهبود عملکرد سیستم نگهه داری و تعمیرات پیشگیرانه در صنعت خودرو سازی براساس بهره گیری از دانش کنترل کیفیت آماری پرداختند و میزان اثربخشی یک برنامه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه توسط اندازه گیری شاخص های مربوط و پایش آنها در طول زمان تعیین شد .به علاوه، تحت کنترل بودن آماری فرآیند ضمن کاهش هزینه های نگه داری و تعمیرات باعث افزایش عملکرد فرآیند نیز شد.

محمد شیخ علیشاهی ، علی آزاده(۱۳۹۴) در حقیقی به مدلسازی و برنامه ریزی فعالیت های نگهداری و تعمیرات یک واحد عملیاتی پرداختند که الگوریتمی برای برنامه ریزی فعالیت های نگهداری و تعمیرات سیستم تولیدی ارائه شده است و این الگوریتم ادغامی، ترکیبی از شبیه سازی توسط AweSim و تحلیل پوششی داده هاست. متغیر ها و شاخص های مورد استفاده آنها تعداد خرابی های پیش بینی نشده، تعداد نگهداری و تعمیرات دوره ای، میانگین زمان انتظار/اپراتور ، میانگین به کارگیری ماشین ، میانگین قابلیت دسترسی ماشین بوده است به طوری که میانگین طول صف و قابلیت دسترسی ماشین همبستگی بالا یی(بیش از ۹۹)% را نشان داده است.

ابزار و روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع کاربردی می باشد که از روش توصیفی استفاده شده است . در این روش تمامی عوامل مرتبط با هدف تحقیق همچون سطح تکنولوژی، فعالیت های نگهداری پیشگیرانه و عمر را در محاسبه هزینه چرخه عمر سیستم مورد استفاده قرار می دهیم . مدل

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

شامل پارامترهای مهم جهت تشریح سیستم مورد نظر میباشد . برخی از این پارامترها ذهنی بوده و توسط یک کارشناس متخصص تخمین زده شده و یا از اطلاعات موجود در سیستم های مشابه قابل استخراج خواهد بود. همچنین برخی پارامترها وجود دارند که بر اساس سیاست های مدیریت تعیین خواهند شد . این مدل شامل برخی پارامترها به منظورتوصیف سیستم تحت بررسی بوده و در واقع، مبنای تصمیمات مرتبط با سیاست نگهداری را مشخص می سازد .بعضی از این پارامتر ها ذهنی بوده و بر اساس قضاوت متخصص امر ویا از داده های موجود در سوابق سیستمهای مشابه به دست خواهد آمد . برخی دیگر نیز متأثر از سیاست های مدیریت خواهند بود که تمامی پارامترها می توانند تابعی از زمان و یا به عنوان یک ثابت در نظر گرفته شوند . اساس شکل گیری این مدل بر هدف اصلی هر مسئله نگهداری که همانا ایجاد تعادل درهزینه چرخه عمر با بهره وری و اثر بخشی سیستم می باشد .لازم به توضیح می باشد که شکست های سیستم، شامل فرصت از دست رفته است که در قالب کاهش نرخ تولید و یا ریسک ناشی از عدم امکان دسترسی به سیستم تعریف شده است . به عبارت دیگر اساس حلقه های بازخور در مدل بر مبنای ارتباط بین برنامه های نگهداری پیشگیرانه و شکست ها مدلسازی شده است.اقدامات نگهداری پیشگیرانه در هر مقطع زمانی وابسته به شکست های تجمعی دوره قبل می باشد . بر اساس سیاست ها و عملکرد مورد انتظار سیستم، پارامترهای مدل تعیین شده و شبیه سازی پارامترها درنرم افزار VENSIM در دامنه ای مشخص انجام می شود این تحقیق حاضر در شرکت ایمن ساخت پاسارگاد انجام شده است.

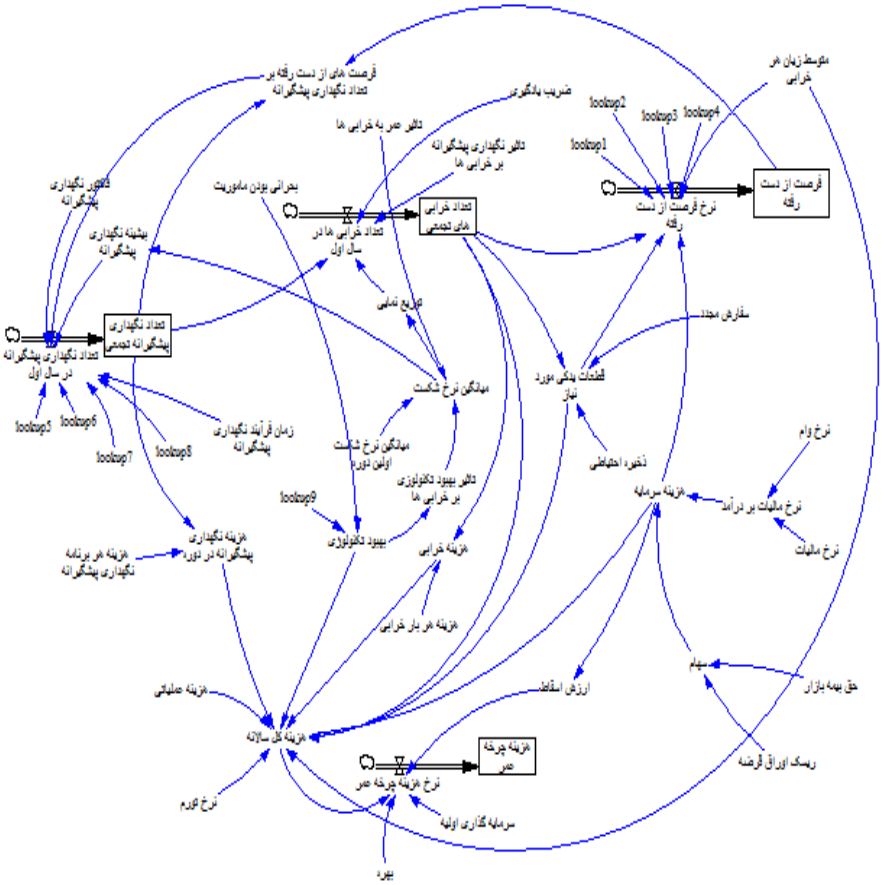
طرح تفضیلی مدل

شکل شماره ۱ بیان گر طرح تفضیلی مدل میباشد و نمودار حلقه علی ترسیم شده توسط نرم‌افزار Vensim را نشان می‌دهد. یک نمودار حلقه علیتی شامل چندین متغیر است و رابطه علی بین متغیرها توسط فلش مشخص می‌شود. تمام متغیرها و پارامترهای استفاده شده در مدل در اینجا نشان داده شده است برای مثال، میانگین نرخ شکست برای هر سیستمی مساوی است با(تأثیر بهبود تکنولوژی بر خرابی هی و تأثیر عمر به خرابی ها). مدل پیشنهادی یک مدل نگهداری انطباق می باشد که تلاش مینماید تعداد فعالیت های نگهداری پیشگیرانه دوره بعد را با توجه به تعداد خرابی های دوره قبل تنظیم نماید. سیستمی که در این تحقیق مد نظر است دارای چرخه عمر ۱۵ ساله بوده بحرانی بودن مأموریت ۱۵، بهره ۰,۱۲، تاثیر عمر به خرابی ها ۰,۱، میانگین نرخ شکست اولین دوره ۱۰۰، متوسط زیان در هر خرابی ۲۰ واحد پول، میانگین هزینه فعالیت نگهداری پیشگیرانه۱۵ و احد پو ل ، نرخ تورم۰,۱، ذخیره اطمینان موجودی۱۵ است.

پژوهش در مدیریت و مهندسی صنایع، شماره ۱۶ ، زمستان ۱۳۹۷، ص ۱۹- ۱

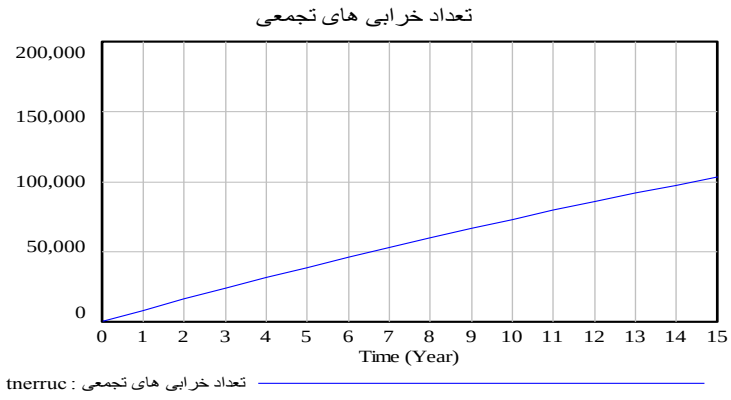
ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

رفتار متغیرهای کلیدی برای چرخه عمر ۱۵ ساله شبیه سازی



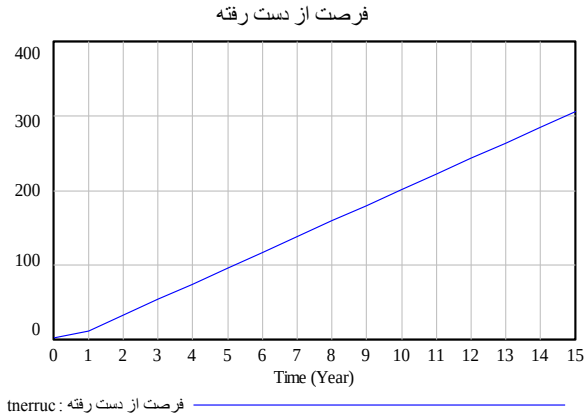
شکل ۱. طرح تفضیلی مدل

با توجه به حلقه علی رسم شده نمودار های تعداد خرابی های تجمعی، فرصت از دست رفته، تعداد نگهداری پیشگیرانه تجمعی و هزینه چرخه عمر بدست آمده است:

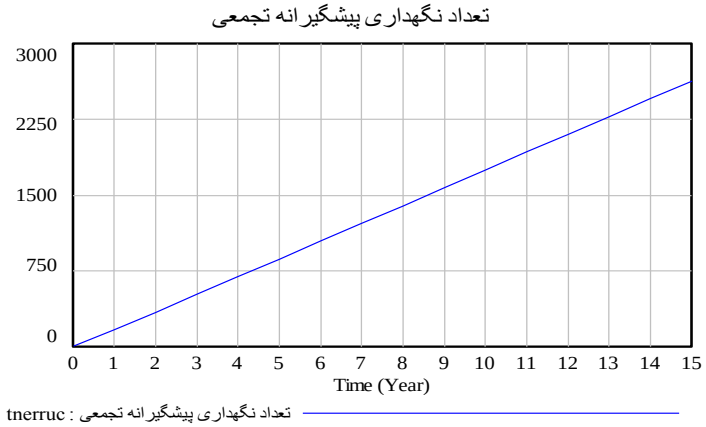


نمودارشماره ۱. تأثیر زمان بر خرابی های تجمعی

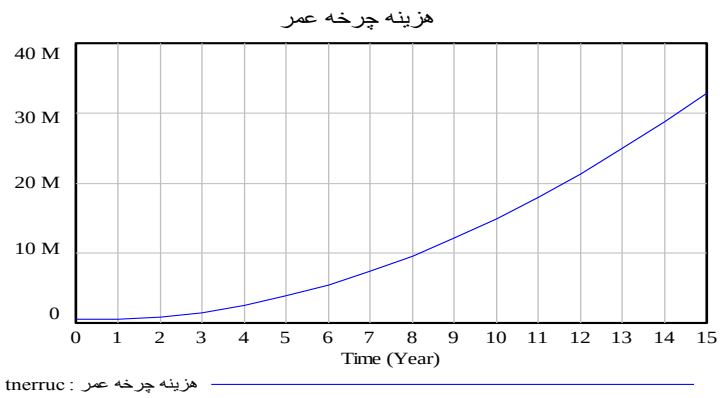
ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir



نمودارشماره ۲. تأثیر زمان بر فرصت از دست رفته



نمودارشماره ۳. تأثیر زمان بر تعداد نگهداری پیشگیرانه



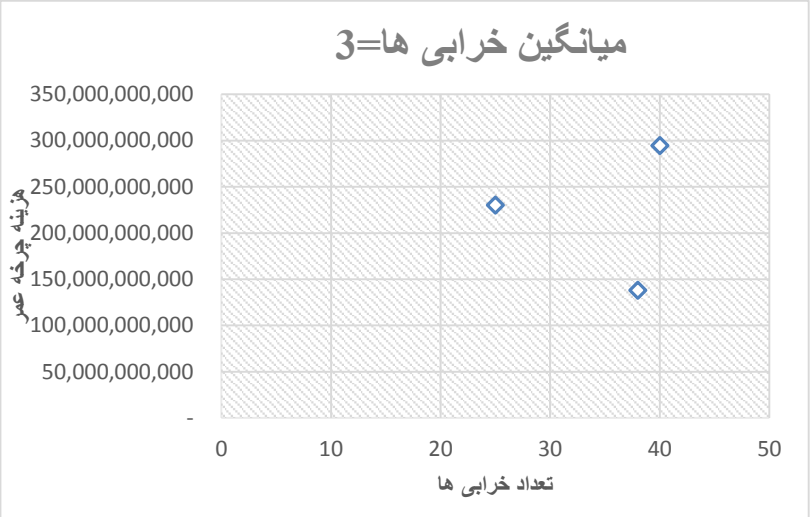
نمودارشماره ۴. تأثیر زمان بر هزینه چرخه عمر

همان طور که در نمودارهای ۴،۳،۲،۱ و۵ مشخص است با گذشت زمان تعداد خرابی های تجمعی افزایش می یابد که موجب افزایش فرصت های از دست رفته در بازه زمانی شبیه سازی می گردد. لذا تعداد نگهداری پیشگیرانه تجمعی نیز روند صعودی به خود میگیرد، در نتیجه افزایش مجموع هزینه های خرابی و هزینه های پیشگیری سبب می شود که هزینه چرخه عمر روند صعودی داشته باشد

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

یافته ها

نمودار خرابی های تجمعی بر حسب هزینه چرخه عمرکه در مدت ۶ ماه نخست سال ۹۷ برای ۶ ماشین طبق OPC درب تک لنگه ضد حریق استیل جمع آوری شده است، ترسیم شده و سپس نقاط برجسته به منظور تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شده و سیاست اصلی انتخاب آن نقاطی در نمودار میباشد که ترکیب مناسبی از خرابی های تجمعی و هزینه چرخه عمر را ارائه نمایند. ترکیب مناسب از خرابی های تجمعی و هزینه چرخه عمر، ترکیبی است که ارائه کننده خرابی های تجمعی پایین تر در مقایسه با تمام ترکیبات با هزینه چرخه عمرهای مشابه بوده و یا اینکه در مقایسه با دیگر حالات خرابی های تجمعی، دارای هزینه چرخه عمر پایین تر باشد.



شکل شماره۲. انتخاب سیاست مناسب نگهداری

جدول شماره ۱. نتایج بدست آمده در دوره ۳ ساله

هزینه چرخه عمر(LCC)	فرصت از دست رفته در دوره t (OL)	تعداد فعالیت های نگهداری پیشگیرانه (PM)	تعدادی خرابی ها (BD)	T
۷۷۹,۴۹۲,۴۲۲,۲۳۰	۰۰۰,۰۰۰,۱۷۵,۱۵	۷۵	۲۵	۱۳۹۳
۴۱۴,۹۸۱,۷۲۷,۲۹۴	۰۰۰,۰۰۰,۲۸۰,۸۳	۶۰	۴۰	۱۳۹۴
۵۸۶,۰۷۹,۴۹۴,۱۴۰	۰۰۰,۰۰۰,۷۰۴,۱۴	۹۰	۳۸	۱۳۹۵

برای مثال، میانگین نرخ خرابی در ۳ سال اول را در نظر بگیرید، در اینجا انتخابهای بهتر (۲۵،۲۳۰۴۲۲۴۹۲۷۷۹) یا (۳۸،۱۳۸۱۴۰۲۲۹۰۶۸) مقاد یر نگهداری پیشگیرانه برنامه ر یزی شده برای سال اول سیاست های نگهداری پیشگیرانه ۱ و۳می باشند . هزینه چرخه عمری که توسط تعداد۳۸ خرابی ایجاد شده است کمتر از آن مقدار با تعداد ۲۵ خرابی میباشد.لذاحالت(۳۸،۱۳۸۱۴۰۲۲۹۰۶۸) که تعد اد خرابی ۳۸ را ارائه میدهد ، برسایرسیاست ها برتری دارد زیرا ارائه کننده هزینه چرخه عمر پایین تر با تعداد خرابی تجمعی کمتر میباشد. در مثالی که در شکل شماره ۲ آمده است، برای سیاست ۱ فعالیت نگهد اری پیشگیرانه درسال اول، انتظار می رود هزینه چر خه عمر برابر با ۲۳۰۴۲۲۴۹۲۷۷۹ واحد پول شود و خرابی های تجمعی منجر به از دست دادن فرصتی معادل ۱۵۱۷۵۰۰۰۰۰۰ و احد پول شده و لذا ضروریست به تعداد ۷۵ فعالیت نگهداری پیشگیرانه در خلال ۱۵ سال عمر سرویس دهی صورت پذیرد.

براساس نظر مدیریت نگهداری نسبت به افزایش خرابی ها یا افزایش هزینه چرخه عمر یک سیستم، ممکن است برای سال اول یک سیاست نگهداری ویژه انتخاب گردد. در مثال فوق اگر هدف به حداقل رساندن خرابی های تجمعی باشد باید سیاست نگهداری پیشگیرانه ۱ انتخاب گردد و اگه هدف حداقل کردن هزینه چرخه عمر باشد ،باید سیاست نگهداری پیشگیرانه ۳ انتخاب گردد. (هزینه نهایی) که نشانگر مقدا ر پول اضافی مورد نیاز برای کاهش تعداد خرابی ها می باشد (توسط سیاست نوع ۲).اگر این مقدار کمتر از میانگین زیان هر خرابی باشد ، سیاست حاوی خرابی های تجمعی کمتر باید انتخاب شود . در مثال بالا با بکارگیری سیاست ۱ ، با کاهشی در خرابی های

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

تجمعی مواجه هستیم که منجر به افزایش در هزینه چرخه عمر به اندازه ۹۲۲۸۲ و احد پول یا افزا یش به میزان ۹۲۲۸۲ و احد پول برای هر کاهش در خرابی های تجمعی میشود . از آنجائیکه این مقدار پایین تر از مقدار میانگین زیان هر خرابی میباشد، برای این سیستم انتخاب یک سیاست نگهداری پیشگیرانه با خرابی های تجمعی پایین تر پیشنهاد میگردد به عبارت دیگر، نگهداری پیشگیرانه برنامه ریزی شده نوع ۱ .

مقایسه بین سیاست نگهداری ثابت و متغیر

در این بخش مقایسه بین سیاست نگهداری ثابت و متغیر با فاتور عمر ۰ و ۰,۳ (یعنی عمر زیاد یا هیچ تأثیری بر خرابی ها ندارد و یا باعث افزایش ۳۰ درصد در نرخ خرابی ها می شود)، در قالب جداول ۳،۲ و۴ آورده شده است:

جدول شماره ۲. نتایج سیاست نگهداری ثابت با فاکتورعمر ۰,۳

هزینه چرخه عمر سیاست ثابت	خرابی های تجمعی سیاست ثابت	تعداد نگهداری پیشگیرانه در سال ۱۳۹۷	t
۷۶۶,۸۶۸,۵۱۶	۳	۶	۱
۶۶۴,۵۴۵,۲۰۰	۴	۴	۲
۵۷۶,۷۷۶,۷۶۸,۷	۵	۳	۳
۶۴۴,۸۴۵,۶۶۵,۹۹	۸	۷	۴
۴۵۳,۶۹۵,۲۹۱	۱	۵	۵
۴۳۴,۶۴۵,۴۰	۰	۶	۶
۵۳۷,۳۷۷,۴۸۴,۱۰۸	۲۱		

جدول شماره ۳. نتایج سیاست نگهداری متغیر با فاکتورعمر ۰,۳

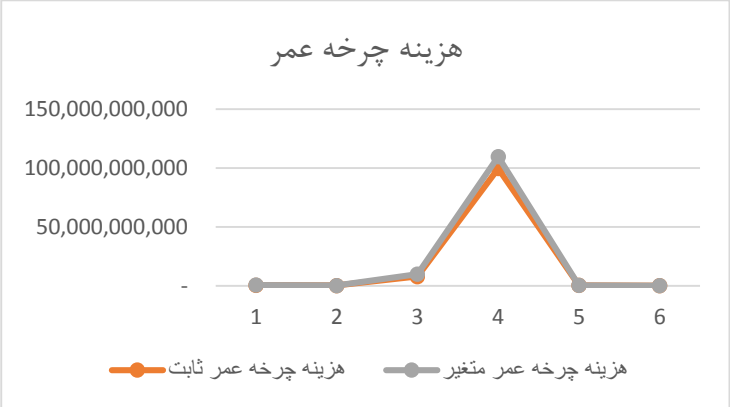
هزینه چرخه عمر سیاست متغیر	خرابی های تجمعی سیاست متغیر	تعداد نگهداری پیشگیرانه در سال ۱۳۹۷	t
۷۰۷,۰۵۶,۵۷۴	۱	۶	۶
۵۹۰,۲۷۴,۲۲۵	۲	۴	۴
۴۷۰,۸۷۴,۹۲۵,۹	۴	۳	۳
۴۳۹,۳۹۵,۷۳۷,۱۰۹	۴	۷	۷
۴۳۸,۷۷۸,۳۲۴	۱	۵	۵
۲۳۴,۸۸۹,۴۶	۰	۶	۶
۸۷۸,۲۶۸,۸۳۴,۱۲۰	۱۲		

جدول شماره۴. نتایج سیاست نگهداری متغیر و ثابت با فاکتورعمر ۰,۳

هزینه چرخه عمر	خرابی های تجمعی	تعداد نگهداری پیشگیرانه در سال ۱۳۹۷	t
۹۴۱,۱۸۷,۵۷	۲-	۶	۶
۹۲۶,۷۲۸,۲۴	۲-	۴	۴
۸۹۴,۰۹۷,۱۵۷,۲	۱-	۳	۳
۷۹۵,۵۴۹,۰۷۱,۱۰	۴-	۷	۷
۹۸۵,۰۸۲,۳۳	۰	۵	۵
۸۰۰,۲۴۳,۶	۰	۶	۶

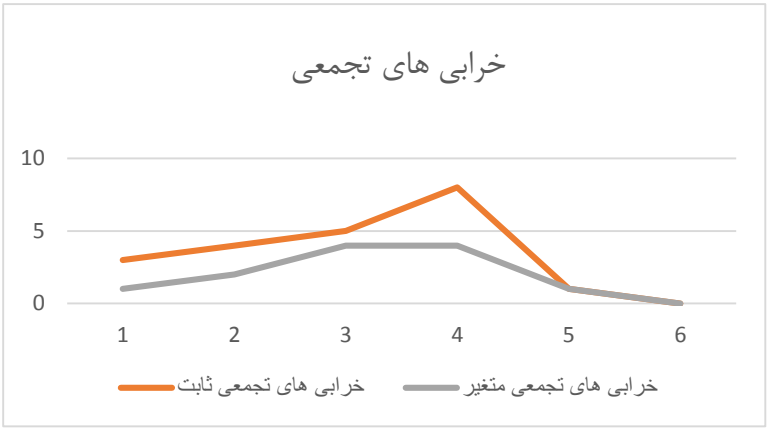
ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

نتایج نشانگر این نکته است که سیاست نگهداری متغیرارائه کننده تعداد خرابیهای تجمعی پایین تر در مقایسه با سیاست نگهداری ثابت میباشد .در بعضی مواردر نمودار شماره ۵ میتوان مشاهده نمود که هزینه چرخه عمر برای سیاست نگهداری ثابت از هزینه چرخه عمر برای سیاست نگهداری متغیر، کمتر میباشد اما خرابی های تجمعی آنبا توجه به نمودار شماره ۶ بیشتر است.



نمودار شماره ۵. سیاست متغیر در مقابل ثابت با فاکتور عمر ۰,۳(هزینه چرخه عمر)

برای یک سیاست نگهداری ثابت، با ۶۰ فعالیت نگهداری پیشگیرانه در سال، خرابی های تجمعی در حدود ۳۰ %بیشتر از همان مقدار تحت سیاست نگه داری متغیر میباشد، در حالیکه هزینه چرخه عمر در حدود ۱۰ % کمتر خواهد بود .این مطلب نشان دهنده این است که اعتماد یا تکیه کردن بر هزینه چرخه عمر به تنهایی معیاری مناسب جهت انتخاب سیاست نگهداری بهینه نخواهد ، بلکه شاید لازم باشد فرصت از دست رفته هم در نظر گرفته شود و لذا بر انتخاب سیاست نگهداری پیشگیرانه بهینه تاثیرگذار خواهد بود.



نمودار شماره ۶.سیاست متغیر در مقابل ثابت با فاکتور عمر ۰,۳(خرابی های تجمعی)

به همین ترتیب با عامل عمر برابر صفر (بدون تاثیر زمان) در جدول های ۵ و۶ و نمودار های ۷و ۸ ،مشاهده می شود که برای متناسب و متعادل کردن نیازمندیهای اولیه نگهداری ، سیاست نگه داری پیشگیرانه متغیر ارائه کنندۀ هزینه چرخه عمر و خرابی های تجمعی پایین تری نسبت به سیاست نگهداری ثابت می باشد. اگر مدیریت تصمیم به اتخاذ سیاست نگه داری پیشگیرانه محافظه کارانه داشته باشد، سازگاری و تطبیق با سیاست نگهداری پیشگیرانه متغیر برمبنای هزینه چرخه عمر و خرابی های تجمعی پایین تر میتواند انتخاب خوبی باشد . برای نگهداری در سطح بالا لازم است به این نکته توجه شود که ممکن است هر دوی این سیاستها ارائه کننده هزینه چرخه عمر بسیار مشابه باشند (اختلاف در حدود ۸٪)به هرحال، برای فعالیت های نگهداری پیشگیرانه بسیار گسترده (نزدیک به حداکثر) سیاست ثابت میتواند خرابی های تجمعی کمتری را داشته باشد.

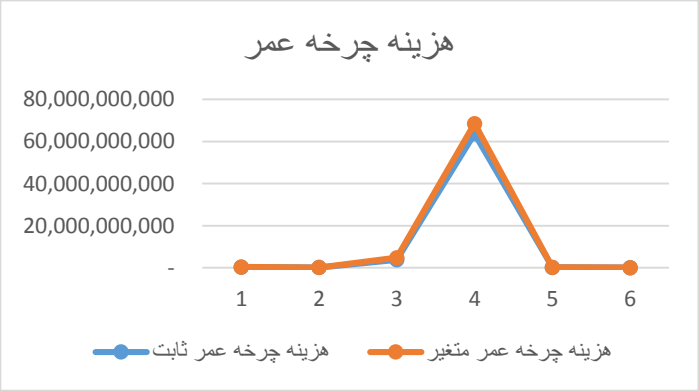
ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

جدول شماره ۵. نتایج سیاست نگهداری ثابت بدون توجه به فاکتورعمر

هزینه چرخه عمر سیاست ثابت	خرابی های تجمعی سیاست ثابت	تعداد نگهداری پیشگیرانه در سال ۱۳۹۷	t
۷۳۶,۰۸۷,۳۵۷	۲	۶	۱
۵۶۲,۳۸۶,۱۴۰	۲	۴	۲
۲۸۲,۴۵۶,۷۵۱,۳	۴	۳	۳
۷۳۲,۳۹۵,۷۲۵,۶۳	۵	۷	۴
۴۷۳,۵۲۵,۱۷۳	۲	۵	۵
۳۸۴,۸۴۶,۲۵	۱	۶	۶
۱۶۹,۶۹۸,۱۷۳,۶۸	۱۶		

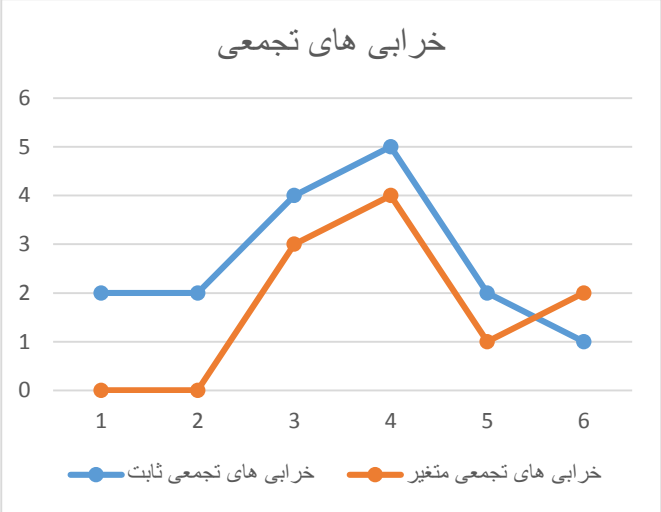
جدول شماره ۶. نتایج سیاست نگهداری متغیر بدون توجه به فاکتورعمر

هزینه چرخه عمر سیاست متغیر	خرابی های تجمعی سیاست متغیر	تعداد نگهداری پیشگیرانه در سال ۱۳۹۷	t
۷۶۵,۸۷۶,۳۶۱	۰	۶	۶
۶۵۷,۷۶۷,۱۴۲	۰	۴	۴
۴۳۲,۶۶۷,۷۵۷,۴	۳	۳	۳
۵۴۵,۸۶۵,۵۴۳,۶۸	۴	۷	۷
۵۶۵,۵۷۶,۲۰۰	۱	۵	۵
۴۴۳,۵۴۵,۲۷	۲	۶	۶
۴۰۷,۲۹۹,۰۳۴,۷۴	۱۰		



نمودارشماره ۷. سیاست متغیر در مقابل ثابت بدون تأثیر مسائل زمان(هزینه چرخه عمر

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir



نمودارشماره ۸. سیاست متغیر در مقابل ثابت بدون تأثیر مسائل زمان(خرابی های تجمعی)

از نتایج فوق میتوان این موضوع را ا ستنباط نمود که در مواردی که فاکتور زمان اثر افزایشی بر خر ابی ها دارد، سیاست متغیر در رسیدن و دستیابی به کاهش در خرابی های تجمعی نقش اساسی ایفا نموده و عموماً با توجه به تلرانس خرابی ومحدودیت بودجه(هزینه چرخه عمر مورد نظرعمر)سیاست مناسب انتخاب خواهد شد.

شبیه سازی یکی از خطوط تولید درب تک لنگه ضد حریق استیل

شبیه سازی یکی از خطوط تولید درب تک لنگه ضد حریق استیل بعد از پیاده سازی سیاست های ثابت و متغیر انجام شده است و از آنجایی که ۳ شیفت ۸ ساعته می باشد، زمان کل شبیه سازی ۲۴ ساعت در نظر گرفته شده است و همچنین تعداد ماشین ها و ایستگاه های کاری به ترتیب ۶ و ۱۳ می باشد(M= ۶ و P=۱۳)

در این قسمت اجرای دو سیاست نگهداری به این صورت بوده است در هر ایستگاه به توجه به بحرانی بودن میزان خرابی های ماشین مورد نظر و هزینه چرخه عمر، سیاست نگهداری مورد نظر را طبق جدول ۷ انتخاب میکنیم.

جدول شماره ۷. انتخاب سیاست نگهداری مناسب در هر ایستگاه کاری

سیاست انتخاب شده	هزینه چرخه عمر	هزینه خرابی	بیشترین نوع خرابی	نام دستگاه
سیاست متغیر	۴۸۰,۲۸۶,۴۵	۷۳۸,۴۵۶,۵۰	خراب شدن کابل و گیره اتصال	دستگاه جوش
سیاست متغیر	۱۶۷,۵۷۷,۳۱	۹۲۵,۷۴۵,۳۶	قطعی کابل سه فاز	دستگاه پانچ
سیاست ثابت	۴۳۸,۵۷۳,۴۲	۳۳۴,۳۵۹,۲۳	اتصال سیم های داخل دریل	دریل پایه دار
سیاست متغیر	۰۰۰,۱۲۹,۷۳	۵۱۴,۲۲۵,۹۸	خرابی پمپ گازوئیل	لیفتراک
سیاست ثابت	۹۹۸,۲۵۴,۸۷	۰۰۰,۳۴۸,۲	عدم روشن شدن دستگاه	جرثقیل سقفی
سیاست ثابت	۰۰۰,۳۸۱,۶۶	۵۹۹,۷۵۷,۳۴	سوختن هد لیبل	دستگاه برچسب زن

قبل از اعمال سیاست، ایستگاه آماده سازی B دارای حداکثر زمان عملیات (T_O) است. بنابراین زمان چرخه (T_C) با توجه به رابطه ی

$$T_C = max\ \{ T_O \} \qquad (۱)$$

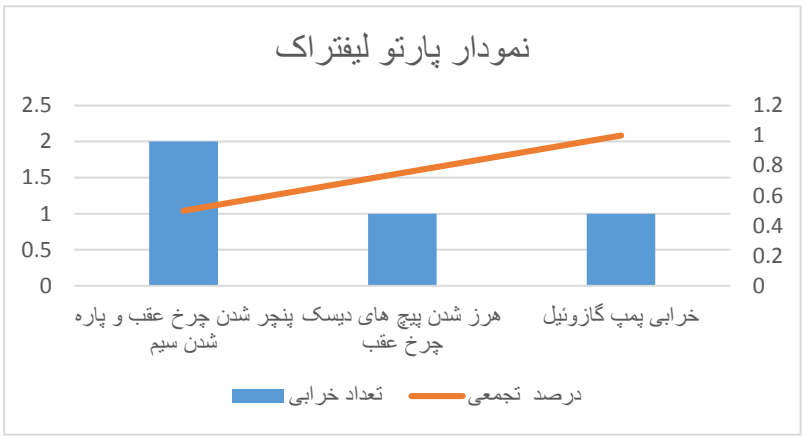
مربوط به زمان عملیات ایستگاه آماده سازی B یعنی ۳۱۰ می باشد که گلوگاه این خط تولید به حساب می آید. همچنین بعد از Run کردن مدل در قسمت Result مشاهده می شود که Total time (T_p) عملیات prep B از سایر عملیات بیشتر است. با توجه به فرمول

$$T_p = T_C + T_d \qquad (۲)$$

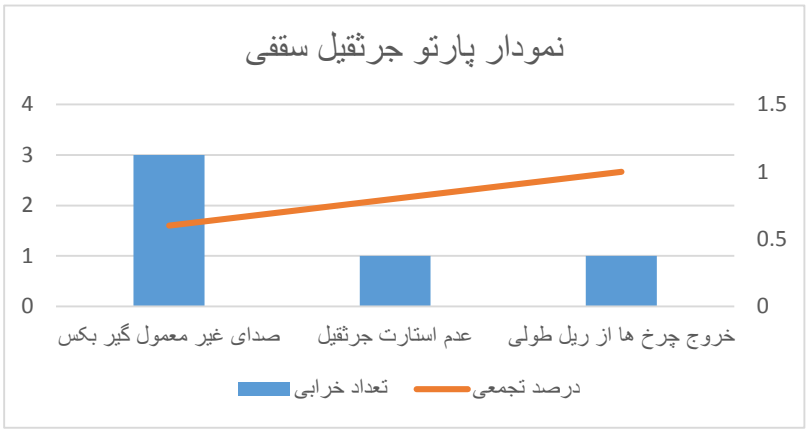
ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

به منظور کاهش T_p یک سری سیاست هایی اعمال شده است که این سیاست ها با هدف کاهش زمان چرخه و کاهش زمان تعمیر(T_d) می باشد. به منظور کاهش زمان چرخه، زمان عملیات آماده سازی B را کاهش داده ایم که این کاهش از طریق افزایش تعداد اپراتور در عملیات آماده سازی B از ۱ نفر به ۲ نفر می باشد و همچنین به منظور ایجاد نشدن گلوگاه در عملیات های دیگر، تعداد اپراتور را در سایر عملیات مربوط به خط تولید شبیه سازی شده، افزایش دادیم.

به منظور کاهش T_d، تعداد تعمیر کار ها را افزایش دادیم که با این اقدام مدت زمان خرابی دستگاه ها (Down time) کاهش یافته است. همچنین با توجه به نمودار های پارتو از Fish bone های تهیه شده، یک سری دستورالعمل ها و آموزش هایی به اپراتور ها جهت خرابی کمتر دستگاه ها تهیه شده که در کاهش زمان خرابی دستگاه ها (Down time) تأثیر مثبت گذاشته ایم. Fish boneهای تهیه شده بدین صورت است:

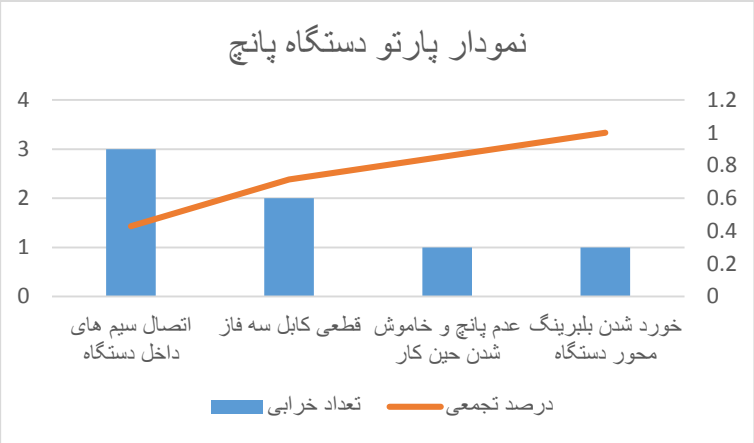


نمودارشماره 9. نمودار پارتو لیفتراک

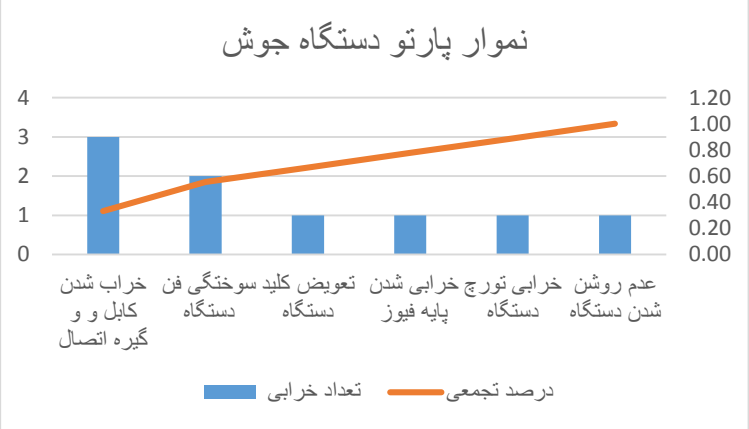


نمودارشماره ۱۰. نمودار پارتو جرثقیل سقفی

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir



نمودارشماره ۱۱. نمودار پارتو دستگاه پانچ



نمودارشماره ۱۲ نمودار پارتو دستگاه جوش

به فرض ثابت بودن میزان ورودی خرابی های تجهیزات، هزینه های ثابت و متغیر تعمیر و نگهداری(هزینه های مربوط به خرابی تجهیزات) مربوط به هر دو سیاست را اعمال کردیم. هزینه های ثابت شامل هزینه دستمزد اپراتور، هزینه انبار داری، هزینه آموزش و هزینه های متغیر شامل هزینه قطعات و لوازم یدکی مورد نیاز تجهیزات، هزینه خدمات پیمانکاری(هزینه دستمزد تعمیرکار)، هزینه تأسیسات (سرویس و نگهداری) و هزینه اتلاف تولید از دست رفته به دلیل خرابی و توقف تجهیزات می باشد. با وجود افزایش تعداد تعمیرکار در بخش پردازش تعمیرات تجهیزات، هزینه های متغیر در اکثریت پردازش ها کاهش داشته داشت که این مهم به دلیل سیاست های اعمال شده می باشد که تقریبا تأثیری بر کل هزینه های متغیر نداشته است.

نتایج حاصل از اجرای سیاست های نگهداری و شبیه سازی

میانگین نرخ شکست چهار استراتژی عبارت است از:

-۰۶۱۸۴۲۸۵۷.۰: سیاست ثابت با فاکتور عمر ۰,۳

۰۴۱۲۲۸۵۷۱.۰: سیاست متغیر با فاکتور عمر ۰,۳

۰۰۵۲۸۵۷۱۴.۰: سیاست ثابت با فاکتور عمر صفر

۰۳۷.۰: سیاست متغیر با فاکتور عمر صفر

میانگین نرخ شکست استراتژی ثابت با فاکتور عمر ۳.۰ نسبت به سایر استراتژی ها کمتر شده است با توجه به میانگین نرخ شکست اولین دوره(۱۳۹۵). و با توجه به میانگین هزینه چرخه عمر دو استراتژی ثابت و متغیر با فاکتور عمر ۰,۳ مشاهده می شود که نرخ شکست تجهیزات تاثیر قابل‌توجهی بر هزینه چرخه عمر دارد وکاهش نرخ شکست می‌تواند به طور موثر هزینه چرخه عمر تجهیزات را کاهش دهد و

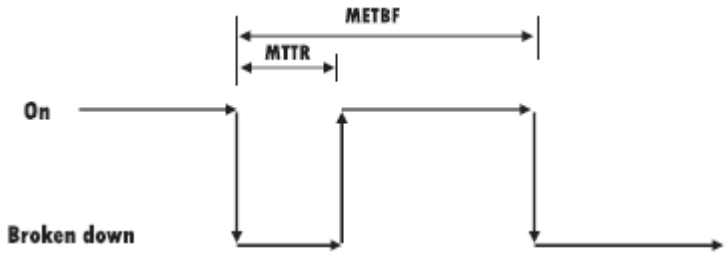
ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

همچنین همانطور که در جدول شماره ۸ نشان‌داده شده، بهینه‌سازی منجر به کاهش هزینه ۶۴,۲درصد نسبت به هزینه پایه (معادل ۳۸۵,۱۹۲واحد پولی) شد.

جدول شماره ۸. سیاست متغیر در مقابل ثابت بدون تأثیر مسائل زمان(خرابی های تجمعی)

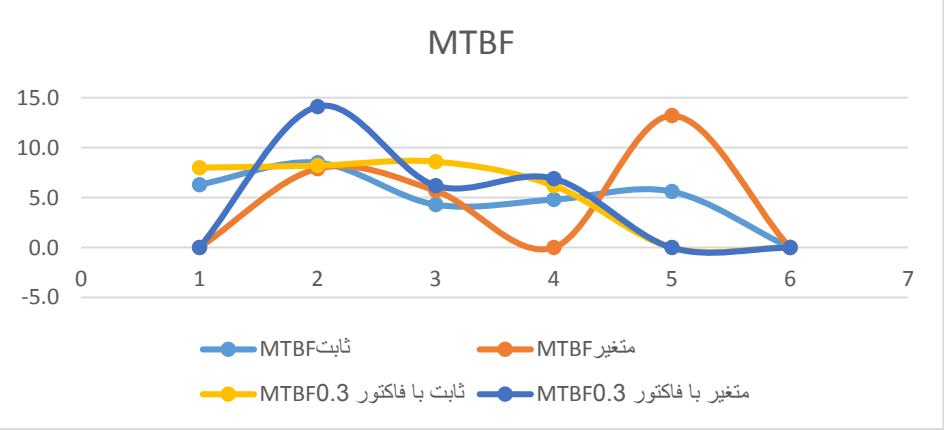
t	تعداد نگهداری پیشگیرانه در سال ۱۳۹۷	خرابی های تجمعی سیاست ثابت	هزینه چرخه عمر سیاست ثابت
۱	۶	۳	۷۶۶,۸۶۸,۵۱۶
۲	۴	۴	۶۶۴,۵۴۵,۲۰۰
۳	۳	۵	۵۷۶,۷۷۶,۷۶۸,۷
۴	۷	۸	۶۴۴,۸۴۵,۶۶۵,۹۹
۵	۵	۱	۴۵۳,۶۹۵,۲۹۱
۶	۶	۰	۴۳۴,۶۴۵,۴۰
		۲۱	۵۳۷,۳۷۷,۴۸۴,۱۰۸

با توجه به شکل شماره ۳ (الربقی و تیواری، ۲۰۱۶) میانگین زمان سپری شده بین استراتژی های مختلف را بررسی کردیم.



شکل شماره ۳. میانگین زمان سپری‌شده بین شکست‌ها (MTBF) و میانگین زمان تعمیر ((MTTR)

طبق شکل شماره ۱۳مشاهده می شود که مجموع میانگین زمان سپری شده بین شکست ها در استراتژی متغیر با فاکتور عمر ۰,۳، حداکثر حدود از۱۹٪ سایر استراتژی ها بیشتر و بهتر است.



نمودار شماره 13. میانگین زمان سپری‌شده بین شکست‌ها (MTBF) و میانگین زمان تعمیر (MTTR)

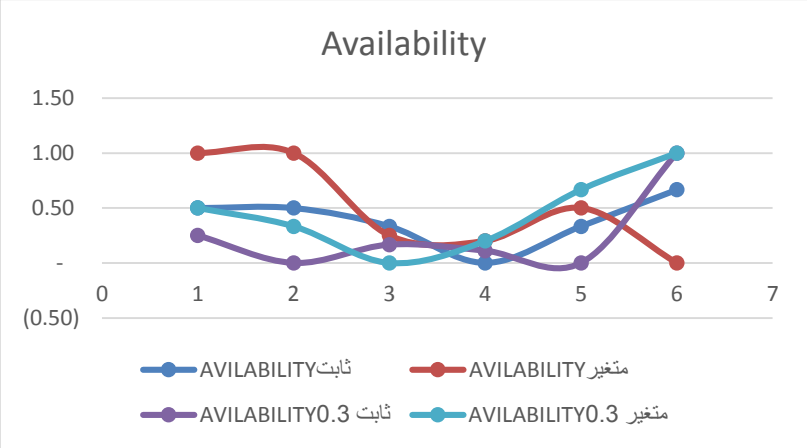
از آنجایی که عدم دسترسی ماشین هزینه‌ای را متحمل می‌شود در شکل شماره ۱۴ مشاهده می شود قابلیت دسترسی طبق فرمول ۳ در استراتژی متغیر با فاکتور عمر ۰,۳ بیشتر از سایر استراتژی ها و حدود ۵۲ ٪ می باشد که به معنای بار عملیاتی بیشتر بر روی تجهیزات

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

است (گری و همکاران، ۲۰۱۸) و همینطور با توجه به جدول های ۹ و ۱۰ هزینه فرصت از دست رفته نیز با توجه به آن حدود ۳۱٪ نسبت به هزینه پایه (۱۹،۸۶۴ واحد پولی) کمتر شده که به دلیل کار موفق PM بوده است زیرا اجرای کار PM ، با استفاده از فواصل ثابت ، عملکرد قابلیت دسترسی را افزایش می‌دهد و به این معناست که MTTFبهبود یافته است و همچنین هزیه عملیاتی آن نیز ۶٪ کاهش یافته است.

(۳)

Availability= Equipment in full functionality / number of equipment



نمودار شماره ۱۴. قابلیت دسترسی تجهیزات در دو عامل زمان صفر و متغیر

جدول شماره ۱۰. هزینه های عملیاتی با فاکتور عمر ۰,۳

	هزینه عملیاتی	هزینه فرصت از دست رفته در دوره t	موجودی	هزینه سرمایه	متوسط زیان در هر خرابی	تعداد خرابی های دوره t
سیاست ثابت با فاکتور زمان صفر	۳۳۸,۵۵۴,۱۱۶	۰۰۰,۰۰۰,۷۰۸,۱۶	۱۱	۰۰۰,۰۰۰,۵۰۰,۱	۰۰۰,۰۰۰,۱۳	۱۶
سیاست متغیر با فاکتور زمان صفر	۷۵۴,۳۶۳,۱۰۵	۰۰۰,۰۰۰,۶۳۰,۱۹	۱۳	۰۰۰,۰۰۰,۵۰۰,۱	۰۰۰,۰۰۰,۱۳	۱۰

جدول شماره ۱۰. هزینه های عملیاتی با فاکتور عمر ۰

	هزینه عملیاتی	هزینه فرصت از دست رفته در دوره t	موجودی	هزینه سرمایه	متوسط زیان در هر خرابی	تعداد خرابی های دوره t
سیاست ثابت با فاکتور زمان صفر	۳۳۸,۵۵۴,۱۱۶	۰۰۰,۰۰۰,۷۰۸,۱۶	۱۱	۰۰۰,۰۰۰,۵۰۰,۱	۰۰۰,۰۰۰,۱۳	۱۶
سیاست متغیر با فاکتور زمان صفر	۷۵۴,۳۶۳,۱۰۵	۰۰۰,۰۰۰,۶۳۰,۱۹	۱۳	۰۰۰,۰۰۰,۵۰۰,۱	۰۰۰,۰۰۰,۱۳	۱۰

بعد از اعمال سیاست های مطرح شده، تعداد خرابی ها در یکی از خطوط تولید درب ضد حریق برای کلیه دستگاه های خط تولید مورد نظر با توجه به فرمول ۴ حدود ۲۰٪کاهش یافته است.

(۴)

$$\sum_{i=1}^{8} (\max \text{down time})_i + \sum_{i=1}^{8} (\text{average down time})_i \Big/ (\max \text{down time})_i$$

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

همچنین با توجه به شکل های شماره ۴و ۵ در مجموع ۴۲۷ عدد تعداد قطعات در حال انتظاردر خط تولید مورد نظر قبل از اعمال سیاست ها می باشد در حالی که این عدد بعد ار اجرای سیاست ها به عدد ۱۵۴ رسیده است. نتیجه می گیریم که تعداد قطعات در حال انتظار بعد از اعمال سیاست ها حدود ۶۴٪ کاهش داشته است.

	Number Waiting
gharare dar.Queue	0.13
gharare tasme.Queue	0.11
gharare zavar.Queue	0.76
ghofl.Queue	1.39
jush.Queue	0.93
lola.Queue	0.11
p sang.Queue	142.10
packing.Queue	5.08
prep A Process.Queue	1.70
prep B Process.Queue	1.36
Rework Process.Queue	0.06
surakh kari 1.Queue	0.18

شکل شماره۴. تعداد قطعات مورد انتظار قبل از اعمال سیاست ها

میزان بهره وری تولید با توجه به جدول های ۱۱ و۱۲ قبل از اعمال سیاست در خط تولید مورد نظر حدود ۴٪ بوده که این مقدار بعد از اجرای سیاست به ۶۲,۲٪ افزایش و بهبود یافته است که همچنین با توجه به جدول های ۱۳ و۱۴ میزان ضایعات حدود ۳۰٪ و دوباره کاری ۵٪ کاهش داشته است.

جدول شماره ۱۱. تعداد ورودی و خروجی ها تولید قبل از اعمال سیاست ها

	Number in	Number out
Total	۸۹۱	۳۵

جدول شماره ۱۲. تعداد ورودی و خروجی ها تولید بعد از اعمال سیاست ها

	Number in	Number out
Total	۷۷۷	۴۸۴

جدول شماره۱۳. تعداد قطعات ضایعات و دوباره کاری قبل از اعمال سیاست ها

Interval	Average
Record salvaged parts	۹۹.۱۸۰۹۳
Record scrapped parts	۳۲.۲۳۴۱۷

جدول شماره ۱۴. تعداد قطعات ضایعات و دوباره کاری بعد از اعمال سیاست ها

Interval	Average
Record salvaged parts	۲۸.۱۷۲۶۳
Record scrapped parts	۹۳.۱۶۲۹۰

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی از این تحقیق معرفی و تعیین سیاست نگهداری متغیربه منظور افزایش بهره وری تولید سیستم مورد نظر بوده است. این مدل همچنین میتواندنیاز به تعیین پار امترهای اصلی سیستم نگهداری پیشگیرانه را قبل از طراحی برآورده نماید، بدین صورت که قبل از طراحی سیستم ، بودجه هزینه چرخه عمر و حداکثر خرابی مورد قبول را تعیین نماید . همچنین مدیر نگهداری باید هدفهای روشنی داشته باشد، اهداف ممکن است حداقل نمودن هزینه چرخه عمر یا حداقل نمودن خرابی های تجمعی یا ترکیبی از این دو و یا افزایش بهره وری تولید و کاهش ضایعات و دوباره کاری ها با محدودیتهای تعیین شده با توجه به حداکثر مقدار مجاز انحراف باشد. نتایج به طور صریح از سیاست نگهداری متغیر در مورد اینکه از سیاست نگهداری ثابت بهتر است و دارای خرابی ها ی تجمعی پایین تر میباشد، حمایت می نماید و هنگامی که عامل عمر(۰,۳) بالا باشد، شبیه سازی نشان میدهد که سیاست متغیر نتایج بهتری را برحسب خرابی های تجمعی پایین ارائه مینماید. اگرچه نادیده گرفتن فاکتور زمان می‌تواند به دستاوردهای کوتاه‌مدت دست یابد مانند میانگین نرخ شکست کمتر و برای فعالیت های نگهداری پیشگیرانه بسیار گسترده سیاست ثابت میتواند خرابی های تجمعی و هزینه های چرخه عمرکمتری را داشته باشد ولی با توجه به در نظر نگرفتن کلیه خرابی ها می تواند در بلند مدت استراتژی مناسبی نباشد و منجر به پیامدهای اقتصادی شود و به دلیل قابلیت دسترسی کمتر، میانگین زمان تعمیر آن بیشتر از استراتژی با فاکتور عمر ۰,۳ است. در صورتی که در بلند مدت استراتژی متغیر با فاکتور عمر ۰,۳ نتایج بهتری را برحسب خرابی های تجمعی پایین تر (تقریبا ۳۰٪) با افزایش حدود ۱۰٪ در هزینه چرخه عمر ارائه مینماید به گونه ای که شاخص هایی نظیر میزان قابلیت دسترسی به تجهیزات، میزان بهره وری تولید، میزان ضایعات و دوباره کاری محصولات، MTBF، تعداد قطعات در حال انتظار کاهش و بهبود داشته است.

ISSN: 2588-2791
http://www.miej.ir

منابع و مراجع

[1] Alrabghi, A., & Tiwari, A. (۲۰۱۵). State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems. Computers & Industrial Engineering, ۸۲, ۱۶۷-۱۸۲.

[2] Alrabghi, A., & Tiwari, A. (۲۰۱۶). A novel approach for modelling complex maintenance systems using discrete event simulation. Reliability Engineering & System Safety, ۱۵۴, ۱۶۰-۱۷۰.

[3] Basi Al-Najjar,MatiasT.Hailemariam.(2012).Maintenance Solutions for Continuous & Cost-effective Improvement of Wind Turbine Performance. Maintenance Engineering, Services and Technology.۱۰۹.۱۵۱-۱۵۶

[4] Bupe.G. Mwanzaa,Charles Mbohwa.(۲۰۱۵). Design of a total productive maintenance model for effective implementation: Case study of a chemical manufacturing company Industrial. Engineering and Service Science, ۴, ۴۶۱ – ۴۷۰

[5] F.T.S.Chana,H.C.W.Laub,R.W.L.Ipc,H.K.Chana,S.Konga.(۲۰۰۵).

[6] Implementation of total productive maintenance:A case study. Int. J. Production Economics, ۹۵,۷۱–۹۴

[7] Gary, L., Amos, N. H. C &Tehseen, A. (۲۰۱۸). Towards strategic development of maintenance and its effects on production performance by using system dynamics in the automotive industry. International Journal of Production Economics, ۲۰۰, ۱۵۱-۱۶۹.

[8] Imad Alsyouf (۲۰۰۹). Maintenance practices in Swedish industries: Survey results. Int. J. Production Economics, ۱۲۱ , ۲۱۲–۲۲۳

[9] Liu Fang, Huang Zhaodong.(۲۰۱۵).System Dynamics Based Simulation Approach on Corrective maintenance Cost of Aviation Equipments.Procedia Engineering, ۹۹, ۱۵۰ – ۱۵۵

[10] Hideki Kobayashi, Takuya Matsumoto, Shinichi Fukushige. (۲۰۱۸). A simulation methodology for a system of product life cycle systems. Advanced Engineering Informatics, ۳۶, ۱۰۱- ۱۱

[11] Marcelo Oliveiraa, Isabel Lopes, Cristina Rodrigues .(2016). Use of maintenance performance indicators by companies of the industrial hub of Manaus Changeable, Agile, Reconfigurable & Virtual Production, ۵۲, ۱۵۷ – ۱۶۰

[12] M.C. Eti, S.O.T. Ogaji b, S.D. Probert.(۲۰۰۴). Implementing total productive maintenance in Nigerian manufacturing industries. Applied Energy, ۷۹,۳۸۵–۴۰۱

[13] Pankaj Sharma,Makarand S Kulkarni,Vikas Yadav.(۲۰۱۷). Asimulation based optimization approach for spare parts forecasting and selective maintenance. Reliability Engineering and System Safety, ۱۶۸, ۲۷۴-۲۸۹

[14] Ranteshwar Singh,Ashish M Gohil,Dhaval B Shah,Sanjay Desai.(۲۰۱۳).Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study. Procedia Engineering, ۵۱, ۵۹۲ – ۵۹۹

[15] Seher Arslankaya, Hatice Atayb.(۲۰۱۵) Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products. Social and Behavioral Sciences, ۲۰۷, ۲۱۴ – ۲۲۴

[16] Shan Wana, James Gaob, Dongbo Lia, Yifei Tonga, Fei Hea.(۲۰۱۵). Web-based process planning for machine tool maintenance and services. Procedia CIRP, ۳۸, ۱۶۵ – ۱۷۰

[17] Sorapho Kigsirisina,Sirawit Pussawiroa, Onurai Noohawmb(۲۰۱۶). Approach for Total Productive Maintenance Evaluation in Water Productivity: A Case Study at Mahasawat Water Treatment Plant. Procedia Engineering, ۱۵۴,۲۶۰ – ۲۶۷