



The Study of a Total Productive Integrated Approach Based on Reliability in Maintenance Systems

Mahdi Khosronia ^{۱*}, Saeed Ramezani^۲

^۱- *PhD student, Faculty of Management and Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.*

^۲- *Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty and Research Institute of Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.*

Received: 2023/03/14 Accepted:2023/07/15

Abstract:

While the integration of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability-centered maintenance (RCM) is clearly a major issue in maintenance management. Unfortunately, limited attention has been paid to it in the literature. It lacks a structured approach to operational equipment. Therefore, this research uses the complementary nature of the two strategies to provide an integrated operational approach to increase equipment availability with the aim of designing and improving maintenance plans for a public system. It also includes specific operational worksheets, ranging from autonomous maintenance tasks to maintainability improvement measures and employee's education and training. This research is a mixed method of questionnaire and library and document analysis type. In order to analyze the findings, classification, reasoning and logical inference have been done. literature review and development of the proposed model proved that RCM if developed within the TPM framework improves better results, because it focuses on preventive maintenance. Also, both approaches with the same goals increase the quality, reliability, availability and performance of equipment by eliminating waste. This research gives companies the opportunity to reap the benefits of an operational framework that effectively integrates long-term maintenance methods, helping technicians and operators during their daily operations.

Key words: Total Productive Maintenance (TPM), Reliability- Centered Maintenance (RCM), Autonomous Maintenance, Preventive Maintenance.

* Corresponding Author mail: yourash74@gmail.com



تحلیل و بررسی یک رویکرد یکپارچه بهره‌ور فراگیر مبتنی بر قابلیت اطمینان در سیستم‌های نگهداری و تعمیرات

مهدی خسرو نیا^{۱*}، سعید رمضانی^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده و پژوهشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴

چکیده

در حالی که ادغام نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM) و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) به وضوح یک موضوع اصلی در زمینه مدیریت نگهداری و تعمیرات است، متأسفانه در ادبیات توجه محدودی به آن شده است. این موضوع فاقد یک روش ساختاریافته برای تجهیزاتی است؛ بنابراین، این تحقیق از ماهیت مکمل دو راهبرد ذکر شده برای ارائه یک رویکرد عملیاتی یکپارچه به منظور افزایش دسترسی تجهیزاتی با هدف طراحی و بهبود برنامه‌های نگهداری و تعمیرات برای یک سیستم عمومی استفاده می‌کند. همچنین شامل کاربرگ‌های عملیاتی خاص می‌شود که از وظایف نگهداری مستقل تا اقدامات بهبود قابلیت نگهداری و آموزش کارکنان را دربرمی‌گیرد. این پژوهش به شیوه آمیخته پرسشنامه‌ای و کتابخانه‌ای و از نوع تحلیل اسنادی می‌باشد. به منظور تجزیه و تحلیل یافته‌ها اقدام به طبقه‌بندی، استدلال و استنتاج منطقی شده است. بررسی ادبیات ثابت کرد که اگر نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در چارچوب نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر توسعه یابد، نتایج بهتری را تسهیل می‌کند، زیرا بر نگهداری پیشگیرانه تمرکز دارد. همچنین هر دو رویکرد با اهداف یکسان، موجب افزایش کیفیت، قابلیت اطمینان، دسترسی و عملکرد تجهیزاتی از طریق حذف ضایعات می‌گردند. این تحقیق به شرکت‌ها این فرصت را می‌دهد تا از مزایای یک چارچوب عملیاتی که به طور مؤثر روش‌های نگهداری و تعمیرات طولانی‌مدت را ادغام می‌کند، بهره ببرند و به متخصصان و اپراتورها در طول عملیات روزانه خود کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، نگهداری و تعمیرات مستقل، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه

^۱ پست الکترونیک نویسنده مسئول: yourash74@gmail.com





سازمان‌ها در کنار تغییرات سریع تکنولوژی و رقابت در بین صنایع، راهبردها و خط‌مشی‌های مختلفی را برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها به کار می‌گیرند و نقش یک چارچوب نگهداری و تعمیرات مؤثر در سازمان‌ها برای حفظ رقابت‌پذیری در بازار جهانی اهمیت بیشتری یافته است. انتخاب خط‌مشی‌های مناسب برای هر شرکت تولیدی، حیاتی است. نگهداری و تعمیرات می‌تواند به صورت ترکیبی از تمام اقدامات فنی و اجرایی، شامل وظایف نظارتی در نظر گرفته شده برای حفظ تجهیزات یا بازگرداندن آن به یک نظام منظم تعریف شود که می‌تواند در آن یک عملکرد لازم را انجام دهد [۱]؛ بنابراین، ایجاد فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات متناسب با همه تجهیزات کارخانه مهم است. سازمان می‌تواند با تعامل در قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و عملکرد به میزان زیادی در زمان، هزینه و منابع مفید خود صرفه‌جویی کند.

مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که اتخاذ یک خط‌مشی صحیح این امکان را می‌دهد تا ماشین‌ها را عملیاتی نگه داریم. با این حال، افزایش اجزای مکانیکی و پیچیدگی سیستم‌ها منجر به افزایش عدم برنامه‌ریزی قطعی و خرابی می‌شود. نگهداری و تعمیرات ضعیف منجر به خرابی و از کارافتادگی‌های مکرر ماشین‌ها و تجهیزات می‌شود و در نتیجه بهره‌وری را کاهش می‌دهد [۲]. فراوانی بالای خرابی ماشین‌های تولیدی یکی از عوارض شایع در اکثر شرکت‌هاست، ۸۰ درصد مواقع از کار افتادگی غیرمنتظره تکراری است و می‌تواند توسط اپراتور آموزش‌دیده حل شود و تنها در ۲۰ درصد نیاز به کمک خارجی می‌باشد [۳]. قره‌اسانلو و همکاران به خرابی جزئی که منجر به از کارافتادگی سیستم می‌شود اشاره می‌کنند. در دسترس نبودن سیستم موجب تلفات قابل توجهی در عملکرد تولید، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بالا می‌شود [۴]. جین و سینج^۳ نشان می‌دهند که شرکت‌های کوچک و متوسط باید از طریق بخش یا واحد نگهداری و تعمیرات خود، بهبودهای متمرکز در نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و مستقل که بخش‌هایی از رویکرد نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر هستند، اتخاذ کنند. همچنین آن‌ها اعتقاد داشتند پیاده‌سازی روش نشان داده شده در دسترس بودن، عملکرد، کیفیت و کارایی را افزایش می‌دهد [۵].

قابلیت اطمینان یک مفهوم نسبتاً پیچیده است که باید در هر جدول زمانی گنجانده شود. از آنجایی که مفهوم کیفیت مبتنی بر تضمین آن است، ما واقعاً باید قبل از ارائه بینشی نسبت به روش‌شناسی‌های تضمین کیفیت، خود را با تعاریف کیفیت آشنا کنیم [۶]. افراد متعددی از رشته‌های مختلف حرفه‌ای و دانشگاهی موضوع کیفیت را برای مدت طولانی مطالعه کرده‌اند، علی‌رغم این واقعیت که معیار برتری پذیرفته شده جهانی هرگز مورد توافق قرار نخواهد گرفت. رعایت هنجارهای از پیش تعریف شده خاص و الزامات طراحی، مناسب بودن برای استفاده، یا سطح رضایت مشتری، همگی نمونه‌هایی از کیفیت هستند [۷]. اکثریت مردم ممکن است قابلیت اطمینان را بر اساس مؤلفه‌ای از خواسته‌های مصرف‌کننده که یک محصول خاص برآورده می‌کند، قضاوت کنند. به گفته کارشناسان، کیفیت به عنوان مجموع کلی از کیفیت‌های یک محصول تعریف می‌شود که منعکس‌کننده پتانسیل سازنده برای برآوردن تمام نیازهای اعلام شده و ضمنی مصرف‌کننده است که توسط پارامترهای استفاده و هدف محصول تعیین شده است [۸].

در حالی که رویکردها، خط‌مشی‌ها و راهبردهای متعددی در انواع قابل توجهی از سیستم‌های صنعتی برای مدیریت فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در دسترس هستند [۹، ۱۰]؛ اما این رویکردها اساساً بر یک مؤلفه متمرکز بوده و فاقد چشم‌انداز وسیع‌تر هستند. از طرفی اصول و مفاهیم RCM^۴ و TPM^۵ به دلیل کمک به یکپارچه شدن نگهداری و تعمیرات در سطوح مختلف در سازمان‌ها و افزایش سطح قابلیت دسترسی و اطمینان تجهیزات بیشتر مورد مطالعه و پیاده‌سازی قرار می‌گیرند. با این حال، ما باید در نظر بگیریم که RCM و TPM معمولاً به عنوان جهان‌های جداگانه در نظر گرفته می‌شوند؛ یعنی معمولاً روش‌های نگهداری و تعمیرات مستقل و یا جایگزین در نظر گرفته می‌شوند که به طور بالقوه به صورت متوالی اجرا می‌شوند.

^۳ Jain, A. & Singh, H.^۴ Reliability-centered maintenance^۵ Total Productive Maintenance



بنابراین ادغام TPM و RCM به وضوح یک موضوع اصلی در زمینه مدیریت نگهداری و تعمیرات است، اما تاکنون به این بحث توجه محدودی شده است. از این منظر، به نظر می‌رسد تحقیقات هنوز در مراحل اولیه است. علاوه بر این، راه‌حل‌های ارائه شده در ادبیات توجه محدودی به جنبه‌های عملیاتی دارند یا برای یک زمینه خاص توسعه یافته‌اند. در این راستا، هدف این مطالعه کیفی، بهبود وضعیت فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات است و به این موضوع پرداخته می‌شود که آیا دو خط‌مشی TPM و RCM می‌توانند در یک چارچوب یکپارچه متأثر از یکدیگر موجب بهبود وضعیت تجهیزات تولیدی از منظر تولید، قابلیت اطمینان و کارایی در جریان فرایند عملیاتی شوند؟ آیا با استفاده از ارکان TPM می‌توان در این چارچوب موجب بهبود وضعیت و هم‌افزایی شد؟ هدف این مقاله پیشبرد این جریان پژوهشی است. به‌طور خاص، رویکرد جدیدی را برای نگهداری تجهیزات ارائه می‌کند که می‌تواند به طور مستمر برای توسعه یک برنامه نگهداری و تعمیرات جدید یا بررسی و بهبود طرح موجود اتخاذ شود. این رویکرد اصول و روش‌های TPM و RCM را تحت یک دیدگاه عملیاتی یکپارچه می‌کند. روش پیشنهادی می‌تواند برای انواع سیستم‌ها و تجهیزات به‌صورت عمومی اعمال شود و به تصمیم‌گیرندگان، نیروهای واحدهای نت و اپراتورهای روی خط تولید در جهت انجام امور نگهداری و تعمیرات کمک می‌کند.

در ادامه، این تحقیق بدین شرح سازماندهی شده است. در بخش بعدی ابتدا اصول و مفاهیم TPM و RCM ارائه می‌شود سپس به ماهیت مکمل و مقایسه این دو رویکرد پرداخته می‌شود. بخش ۳ رویکرد یکپارچه پیشنهادی را تشریح می‌کند. بخش ۴، گزیده‌ای از یک مطالعه موردی برای سیستم تحت نگهداری و تعمیرات ماشین CNC VMC ۸۵۰ در خط تولید یک واحد صنعتی، نحوه عملکرد روش توسعه‌یافته برای تشخیص عیوب در سیستم تولیدی نشان می‌دهد و به ارائه توصیه‌هایی در مورد چگونگی بهبود اوضاع می‌پردازد. در نهایت، بخش آخر مقاله با نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی به پایان می‌رسد.

۲- مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

۲-۱- نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر

شرکت‌ها می‌توانند از نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر (TPM) که یک رویکرد نوآورانه برای نگهداری و تعمیرات و بهینه‌سازی کارایی تجهیزات، حذف شکست‌ها و ارتقای نگهداری و تعمیرات مستقل بین اپراتورها، از طریق فعالیت‌های روزانه که شامل کل نیروی کار است، استفاده کنند [۱۱]. TPM یک رویکرد مدیریت تولید در کلاس جهانی است که به دنبال بهینه‌سازی برای اثربخشی در تجهیزات تولیدی است [۷]، به عبارت دیگر TPM به دنبال مشارکت در همه سطوح و کارکردها، در فرآیند به حداکثر رساندن اثربخشی کلی تجهیزات تولیدی است [۱۲]. در حقیقت اجرای TPM شرایطی را برای سازمان‌ها فراهم می‌کند که با تلفیق فرهنگ، فرآیند و فن‌آوری، توانایی تغییر سطح تولید خود را به طور اساسی داشته باشند [۳].

این مفهوم معمولاً در عملکرد تجاری دقیق‌تر درک می‌شود و به نحوه مطابقت ویژگی‌های یک محصول با استانداردها، قوانین فنی، جزئیات طراحی، قوانین و تعهدات قرارداد تجاری اشاره دارد. کیفیت بر اثربخشی فناوری‌ها، پیشرفت‌ها، ادارات دولتی و سایر سازمان‌های عمومی، پایداری رشد اقتصادی یک کشور و کیفیت زندگی جمعیت آن تأثیر می‌گذارد [۸]. این صرفاً معیاری برای میزان صلاحیت یک شرکت نیست [۱۳]. به همین دلیل است که ما باید دیدگاه خود را در مورد کیفیت گسترش دهیم. برنامه‌های مهندسی، مالی و تجاری همه به نوآوری‌ها و کیفیت برای ادغام و حفظ سیستم‌های خود متکی هستند. واقعاً هیچ بحثی وجود ندارد که خدمات نقش مهمی در مشاغل ایفا می‌کند. اکنون چندین شرکت بر روی این عملکرد حیاتی تمرکز می‌کنند که به عنوان یک معیار ضروری برای آن‌ها تلقی می‌شود، به‌عنوان مثال، شرکتی که روی یک سرمایه‌گذاری یا یک ویژگی غیر ارزش‌افزوده متمرکز است [۱۴].

TPM شامل جنبه‌های زیر است [۱۵، ۱۶، ۱۷]:

- اثربخشی بیشینه تجهیزات از طریق بهینه‌سازی قابلیت دسترسی تجهیزات، عملکرد، کارایی و کیفیت محصول





- ایجاد یک راهبرد نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برای کل چرخه عمر تجهیزات
- پوشش تمامی بخش‌ها و واحدها مانند بخش‌های برنامه‌ریزی، اداری و نگهداری و تعمیرات
- دربرگیرنده تمامی کارکنان، از مدیر ارشد تا کارگران سطوح پایین‌تر
- ارتقا نگهداری و تعمیرات بهبود یافته از طریق فعالیت‌های مستقل گروه‌های کوچک

یکی از اهداف TPM این است که هر دو کارکرد تولید و نگهداری و تعمیرات را با توجه به ترکیبی از عملکرد صحیح، کار گروهی و بهبود مستمر کنار هم قرار دهد [۶]. در این راستا، TPM قصد دارد فرهنگی را ایجاد نماید که اپراتورها را به توسعه مالکیت ماشین‌ها، تجهیزات خود، یادگیری بیشتر در مورد آن‌ها و کسب مهارت‌های مربوط به تشخیص و اقدام به انجام پروژه‌های بهبود دهنده تجهیزات، سوق دهد [۱۸]. هدف اصلی TPM کاهش ضایعات در فعالیت‌های مختلف، کاهش هزینه‌های کل با افزایش بهره‌وری و تولید محصولات با کیفیت بالا است [۱۹].

سینج و راتهی^۶ دریافتند که با استفاده از TPM، فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات صنعت و عملکرد ماشین ممکن است بهبود یابد. با این حال، این نیز درست است که بسیاری از صنایع نتوانسته‌اند TPM را با موفقیت به کار گیرند. این محققان طرحی را ایجاد کردند که عناصری را که به موفقیت‌آمیز بودن ایجاد TPM کمک می‌کند، ترسیم می‌کند. به علاوه، به شرکت‌ها در توسعه یک برنامه محکم برای اجرای TPM در صنایع مختلف کمک می‌کند [۲۰]. معرفی TPM که در این مطالعه برجسته شده است، نشان دهنده یک تغییر قابل توجه در بخش نگهداری و تعمیرات است که خواستار تغییر در دیدگاه کارکنان است. این مقاله همچنین نشان می‌دهد که چگونه یک فرهنگ محیط کار مثبت به بخش کمک می‌کند تا TPM را با موفقیت اتخاذ کند. علاوه بر این، یک ابزار ریاضی برای استفاده در اجرا فراهم می‌کند. با استفاده از فرمول چهار مدل ریاضی در صنعت نگهداری و تعمیرات، ادعا می‌شود که این مدل‌ها به افزایش درک کارکنان از TPM کمک می‌کنند که منجر به اجرای موفقیت‌آمیز TPM می‌شود [۲۱].

TPM توقفات کوچک، عملکرد روغن کاری، تمیز کردن، تنظیم و بازرسی را که توسط اپراتورها انجام می‌شوند کاهش می‌دهد، در حالی که کارکنان نگهداری و تعمیرات، بازرسی دوره‌ای و تعمیرات پیشگیرانه انجام می‌دهند [۲۱]؛ بنابراین اهداف نهایی حذف شکست، کاهش زمان توقفات برنامه‌ریزی شده و برنامه‌ریزی نشده، بهبود بهره‌وری و دستیابی به بازدهی بالاتر و کیفیت محصول بهتر است. در حقیقت، TPM قصد دارد سه هدف اصلی را پیگیری کند: نقص صفر، تصادف صفر و شکست صفر [۱۸]. بسیاری از مزایای نامشهود را با استفاده از TPM می‌توان به دست آورد. این امر امکان بهبود تصویر سازمان را فراهم می‌کند که امکان افزایش سفارشات را ایجاد می‌نماید. به لطف عملکرد نگهداری و تعمیرات خودکار، اپراتورها بدون نیاز به یادآوری به طور مستقیم مسئول نگهداری و تعمیر ماشین‌ها و تجهیزات در شرایط عملیاتی هستند. این رویه از طریق توانمندسازی، آموزش، شناخت کافی و انگیزه در نیروی کار ارتقا می‌یابد، در نتیجه مشارکت کارکنان در تحقق اهداف سازمانی افزایش می‌یابد. مزایای دیگر شامل تغییرات مطلوب در نگرش اپراتورها، دستیابی به اهداف توسط کار گروهی و به اشتراک‌گذاری دانش و تجربه است. نتیجه اهداف اصلی TPM این است که اپراتورها نسبت به مهارت‌ها و توانایی‌های خود اعتماد جدیدی کسب می‌کنند و از سوی دیگر سازمان‌ها نقش اساسی کارکنان در دستیابی به اهداف عملکرد را شناسایی می‌کنند [۲۲]. همان‌طور که توسط موسسه نگهداری و تعمیرات کارخانه ژاپن مشاهده و پیشنهاد شد، رویکرد TPM به‌منظور بهبود عملکرد تولیدی بر روی افزایش قابل توجه بهره‌وری نیروی کار، کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، کاهش وقفه و خرابی‌ها پایه‌گذاری شده است. پیاده‌سازی TPM می‌تواند در شش فعالیت اصلی سازماندهی شود: آموزش، طراحی اولیه تجهیزات، طراحی اولیه محصول، گروه‌های بهبوددهنده متمرکز، فعالیت‌های پشتیبانی گروهی، نگهداری و تعمیرات مستقل و برنامه‌ریزی شده [۲۱].

^۶ Singh and Rath



۲-۲- نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان

مفاهیم نگهداری و تعمیرات مانند قابلیت اطمینان (RCM)، به طور موفقیت آمیزی در صنعت تولید به کار گرفته شده اند تا اقدامات پیشگیرانه غیر ضروری را کاهش داده و با یک برنامه نگهداری و تعمیرات منظم و کارآمد همراه شوند. RCM منظم ترین و کارآمدترین فرآیند برای پرداختن به یک رویکرد برنامه ای کلی برای بهینه سازی نگهداری و تعمیرات کارخانه و تجهیزات است. نیازهای نگهداری و تعمیرات تجهیزات کارخانه های تولیدی را می توان با رویکرد RCM بهتر برطرف کرد. RCM تکنیکی برای اولویت بندی استراتژی نگهداری و تعمیرات به شیوه ای نظام مند و منطقی است. هدف اصلی RCM حفظ کارکردها می باشد [۲۳].

RCM تکنیکی برای توسعه یک برنامه نگهداری پیشگیرانه است. RCM بر اساس این فرض استوار است که قابلیت اطمینان ذاتی تجهیزات تابعی از طراحی و کیفیت ساخت است. هدف از برنامه نگهداری پیشگیرانه دستیابی به این قابلیت اطمینان ذاتی است. با توجه به RCM، نگهداری و تعمیرات باید به این دلیل باشد که تجهیزات مطابق با نیازهای کاربران به خوبی کار کنند، نه برای جلوگیری از خرابی ها. از این رو، ایجاد بافت عملیاتی و عملکرد سیستم مورد انتظار نقطه شروع فرآیند RCM است. این امر ممکن است نیازمند ایجاد ثبت وسیع اطلاعات سازمانی باشد که با بررسی تمام دارایی ها و اجزای فردی آن ها همراه شود [۲].

چهار ویژگی زیر رویکرد RCM را مشخص می کند [۲۴]:

- (۱) حفظ عملیات
- (۲) شناسایی حالت های خرابی که می تواند عملکرد را به خطر بیندازد
- (۳) اولویت بندی نیازهای عملکردی (از طریق حالت های شکست)
- (۴) انتخاب وظایف قابل اجرا و مؤثر

شناسایی، تعیین اثرات و اولویت بندی بر اساس میزان بحرانی بودن خرابی های احتمالی در سیستم ها و تجهیزات (FMECA)^۷ به شناسایی تمام علل احتمالی خرابی با ارجاع خاص به اجزای سیستم ها و زیر سیستم ها کمک می کند [۱۲]. پیامدهای هر شکست بدین صورت طبقه بندی می شود: پیامدهای پنهان، پیامدهای ایمنی یا زیست محیطی، پیامدهای عملیاتی و پیامدهای غیر عملیاتی. حالت های اصلی خرابی از FMECA ورودی درخت منطق RCM است که یک نمودار جریان تصمیم گیری است و به تحلیلگر در ایجاد مناسب ترین عملکرد نگهداری و تعمیرات برای هر یک از تجهیزات کمک می کند [۲۲]. این برنامه از روش های کمی برای تجزیه و تحلیل انواع داده های ورودی مورد نیاز فرآیند پیاده سازی RCM مانند داده های طراحی، داده های عملیاتی و داده های قابلیت اطمینان استفاده می کند.

۲-۳- رابطه نگهداری و تعمیرات بهره ور فراگیر و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان

رابطه بین روش های TPM و RCM، امکان ایجاد یک راهکار از عملکرد اپراتور خبره و تعامل با ماشین ها و دستگاه ها با هدف رسیدن به عیوب صفر را فراهم می کند. کلید موفقیت TPM، توسعه عملکرد تعمیر و نگهداری خودکار (AM)^۸ است که به سرمایه انسانی در میان اپراتورهای پشتیبانی شده توسط مهندسان برای انجام فعالیت های ساده نگهداری روزانه، به غیر از تعمیرات برنامه ریزی شده اشاره دارد. رویکرد RCM به ما اجازه می دهد تا این قابلیت دسترسی را بهبود بخشیم و در نتیجه عملکرد را از طریق تجزیه و تحلیل خرابی و اثرات به حداکثر برسانیم تا توسعه نگهداری پیشگیرانه (PM)^۹ ارزیابی شود [۲۵]. نتیجه موجب بهبود در دسترس بودن تجهیزات و کاهش هزینه نگهداری است. کاربرد TPM، به

^۷ Failure modes, effects, and criticality analysis

^۸ Autonomous Maintenance





ویژه بر فعالیت‌های پیشگیرانه ساده مانند تمیز کردن، روغن کاری، تنظیم اجزا و رسیدگی تمرکز دارد. با استفاده از RCM، یک سیستم مدیریت نگهداری و تعمیرات و هدایت‌پذیری جدید برای ماشین یا دستگاه مورد مطالعه را می‌توان ایجاد کرد [۱۵].

در میان خط‌مشی‌های مختلف نگهداری و تعمیرات، دو خط‌مشی بیشترین کاربرد و موفقیت را در بین صنایع جهان داشته‌اند که عبارت‌اند از: نگهداری و تعمیرات بهره‌ور جامع و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان. اولی، بیشتر بر جنبه‌های مدیریتی و مورد دوم بر جنبه‌های محاسباتی و آماری تأکید دارد. RCM ترویج‌دهنده استراتژی‌های بهبود نت می‌باشد و هدف آن شناسایی حالات خرابی و توالی آن‌ها و همچنین تأیید اقتصادی‌ترین و کاربردی‌ترین تکنیک‌های نت برای حداقل کردن احتمال هر خرابی و اثرات آن می‌باشد [۱۷]. درحالی‌که TPM بر این نکته تأکید دارد که فعالیت‌های نت به تنهایی نمی‌تواند قابلیت اطمینان را بهبود بخشد، عواملی همچون دقت پایین اپراتور، تجربه پایین عملیاتی، طراحی اولیه و ساخت ضعیف و همچنین بهره‌برداری در شرایط نامطلوب، همگی بر قابلیت اطمینان تجهیز تأثیر می‌گذارد. فقدان انگیزه یک مانع مهم برای استقرار TPM است. وقتی یک رویکرد و رویه جدید در صنعت پیاده‌سازی شود، کارکنان اطلاعات کافی نخواهند داشت، اما اگر آموزش و آگاهی کافی ارائه شود، کارمندان با انگیزه باقی می‌مانند و تلاش می‌کنند تا آن آموزش را تا حد امکان عملی کنند [۲۷].

استقرار TPM بدون هماهنگی خوب در چندین بخش موفق نخواهد بود؛ زیرا مستلزم بازنگری کامل ساختار سازمانی صنعت است. این مانع مهم با جو کار در یک سازمان مرتبط است. در جایی که چیزها اغلب خراب می‌شوند، بازخورد مشتری پیگیری نمی‌شود و کیفیت محصول بررسی نمی‌شود [۲۸]. یکی دیگر از موانع مهم در راه استقرار TPM مقاومت در برابر تغییر است. «این کار من نیست» قبلاً یک اظهارنظر معمولی بود که توسط کارگران صنعتی گفته می‌شد و به این معنی بود که آن‌ها به جز وظایف محول شده خود هیچ کار دیگری را انجام نمی‌دهند. تغییر طرز فکر کارکنان و ارائه رهنمودهای مناسب برای انجام وظایفشان به عنوان اعضای کل سازمان، مسئولیت مدیریت، به‌ویژه منابع انسانی است. یک تلاش مؤثر از قبل برنامه‌ریزی شده و طرز فکر صحیح برای موفقیت استقرار TPM ضروری است؛ بنابراین، برنامه‌ریزی دقیق و برنامه‌های با کیفیت قبل از معرفی هر رویکرد جدید در صنعت ممکن است منجر به موفقیت مالی برای بخش شود [۲۷].

RCM شکست‌های بالقوه هر سیستم را از طریق معیارهایی مانند تحلیل شکست، تعیین اقدامات پیشگیرانه (برنامه آموزشی، اصلاح رویه‌ها)، مشاوره، دستورالعمل‌ها و تعهدات تعیین می‌کند که به برنامه نگهداری سالانه فعلی سازمان اضافه خواهد شد. از طرفی دیگر TPM یکپارچگی بین شیوه‌های تولید و نگهداری و همچنین بهبود منظم و مستمر را ارتقا می‌دهد [۱۶]. محققین معتقد هستند که TPM یک روش بهبودیافته می‌باشد که به منظور بهینه‌سازی قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی تجهیزات از طریق توانمندسازی و مشارکت فعال تمامی کارکنان درگیر در کارهای تولیدی و نگهداری و تعمیرات طراحی شده است. علاوه بر این، به دنبال حذف شش تلفات اصلی تجهیزات (خرابی تجهیزات، تنظیم ماشین، خرابی جزئی، کاهش سرعت عملیاتی، نقص فرآیند و اتلاف زمان) است [۸]. RCM بر روی عملکردهای سیستم تمرکز می‌کند و منجر به سوق نگهداری و تعمیرات به سمت بخش‌ها و واحدهایی می‌شود که قابلیت اطمینان در آن‌ها بحرانی هستند [۲۰]. این رویکرد هزینه‌های نگهداری و تعمیرات را به حداقل می‌رساند و هزینه اقدامات اصلاحی را در برابر برنامه‌های PM متعادل می‌کند [۲۹].

در نگاه کلی تر TPM عمدتاً یک رویکرد جامع برای نگهداری و تعمیرات محسوب می‌شود که می‌تواند در کل سازمان اعمال شود، در صورتی که RCM به عنوان یک تکنیک خاص تلقی می‌شود که می‌تواند در یک سیستم مدیریت نگهداری و تعمیرات یکپارچه گنجانده شود [۱۶]. به‌طور دقیق‌تر، TPM روشی است که می‌تواند بخشی از سیستم مدیریت عملیات یک سازمان باشد. این روش به صورت هم‌افزایی و مؤثر فعالیت اپراتور را با کارهای برنامه‌ریزی شده و نگهداری و تعمیرات ترکیب می‌کند، در حالی که جنبه‌های ایمنی، انرژی، مواد و کیفیت را در نظر می‌گیرد. TPM به عنوان یک روش بهبود جامع یکپارچه مناسب‌تر است، در حالی که RCM بر روی تجهیزات خاص برای کاربردهای حیاتی، پیچیده و پیشرفته تمرکز می‌کند. فریزر^{۱۰} و همکاران اشاره کردند که یک رویکرد جامع مانند TPM که نیازمند مشارکت و پشتیبانی





کل سازمان و مدیریت آن است، ممکن است برای پیاده‌سازی و بهره‌برداری از RCM مفید باشد [۱۷]. همانطور که هنسان^{۱۱} و همکاران تأیید کردند، RCM مسائل سازمانی و اهمیت رسیدگی به عوامل ناملموس را نادیده می‌گیرد که باعث دشواری معرفی روش خود به سازمان می‌شود؛ بنابراین TPM می‌تواند از RCM پشتیبانی کند. همچنین شایان ذکر است که TPM و RCM با ارائه نگهداری و تعمیرات مؤثر و کارآمد، نیازهای مدیریت کیفیت کل را برآورده می‌کنند [۳۰].

RCM یک روش دقیق دارد که امکان درک عمیق از تجهیزات و فرآیندها را فراهم می‌کند. در صورتی که TPM روش‌شناسی خاصی ندارد که اصول آن بر مسائل سازمانی و مدیریتی که ممکن است در RCM پنهان باشند، تأکید می‌کند. در پیاده‌سازی رویکرد استاندارد TPM با استفاده از اصول RCM، جنبه‌های دقیق مانند زمان، تعداد دفعات فعالیت و وظایف لازم در کل سازمان صورت می‌گیرد [۲]. یک جنبه قابل توجه دیگر که بر اساس آن TPM و RCM می‌توانند مکمل تلقی شوند، مسئله تنوع در بازه‌های شکست است [۳۱]. به طور دقیق‌تر، درحالی‌که RCM استفاده از شرایط PM را در هر جایی که امکان پذیر است توصیه می‌کند، TPM تلاش می‌کند تا فواصل شکست را تثبیت کند که فعالیت‌های زیر که نگهداری و تعمیرات مستقل را شامل می‌شود را ارتقا دهد:

- ایجاد شرایط اساسی از طریق تمیز کردن، روغن‌کاری و سفت کردن
- آشکار کردن ناهنجاری‌ها و احیای زوال
- شفاف‌سازی شرایط عملیاتی و رعایت شرایط استفاده
- حذف یا کنترل منابع آلودگی عمده که موجب زوال سریع می‌شوند
- تنظیم استانداردهای کنترل و روانکاری روزانه
- معرفی کنترل بصری تا حد ممکن

بنابراین، لازم است یک برنامه مؤثر نگهداری پیشگیرانه ایجاد شود که به اثربخشی بالایی در تجهیزات دست یافت. RCM کلیدی در این مفهوم است. در واقع، وظایف مختلف در چارچوب نگهداری پیشگیرانه باید با هدف حفظ عملکرد سیستم با توجه به دانش عمیق ناشی از خرابی باشد. نگهداری پیشگیرانه اطلاعات لازم برای ایجاد اقدامات خاص مورد نیاز برای هر قطعه تجهیزات را به صورتی اولویت‌بندی می‌کند که زمان‌های نگهداری و تعمیرات مناسب برقرار شود، فعالیت‌های پیشگیرانه خاص برای تجهیزات با زوال بالا تعریف شوند و وظایف نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه بر اساس حساسیت و پیچیدگی تجهیزات انجام شوند.

به‌طور خاص، TPM از پذیرش ابزارهای تحلیل و ارزیابی که امکان شناسایی رابطه علت و معلولی را فراهم می‌کند سود می‌برد. این ابزارها یا روش‌ها به متخصص کمک می‌کنند تا کل سیستم را برجسته کند تا محرک‌های با هزینه بالا و ماهیت مشکلات خاص را شناسایی کند که منجر به اصلاح بهبود سیستم می‌شود. در جدول ۱ به بررسی تحقیقات پیشین در سال‌های اخیر که دو خط‌مشی RCM و TPM را مورد مطالعه قرار دادند، می‌پردازیم.





جدول ۱- مرور تحقیقات پیشین

ردیف	نویسندگان	سال	شرح یافته‌ها	منبع
۱	پرابهاکار و راج ^{۱۳}	۲۰۱۴	بررسی ویژگی‌های برجسته CBM ^{۱۲} ، TPM، RCM و A-RCM و مقایسه کیفی این خط‌مشی‌ها و ارائه راهکارهایی برای تصمیم‌گیری برای اتخاذ یک راهبرد	[۳۲]
۲	آچامو و همکاران ^{۱۴}	۲۰۱۸	اجرای سیستم یکپارچه TPM و RCM در یک شرکت نساجی از طریق ستون‌های نگهداری پیشگیرانه و نگهداری مستقل	[۱۹]
۳	رینا آلو و رومرو دلاکروز ^{۱۵}	۲۰۱۹	بهبود افزایش دسترسی مکانیکی ماشین‌آلات در یک شرکت ساختمانی با استفاده از TPM و RCM	[۶]
۴	هرناندز نووا و یاکولکا لوخا ^{۱۶}	۲۰۱۹	ارائه یک مدل مدیریتی در نگهداری و تعمیرات بر پایه ادغام خط‌مشی‌های TPM و RCM مبتنی بر نگهداری مستقل، پیشگیرانه و بهبود مستمر یک خط کارخانه تولید نان	[۷]
۵	آزید و همکاران ^{۱۷}	۲۰۱۹	بررسی رابطه TPM و RCM بر اساس تحلیل مفهومی Nāsi از طریق ستون‌های نگهداری پیشگیرانه و نگهداری مستقل	[۱۲]
۶	پالومینو والس و همکاران ^{۱۸}	۲۰۲۰	مطالعه خطی‌مشی‌های TPM و RCM بر پایه ارکان نگهداری پیشگیرانه و مستقل از TPM و تحلیل FMEA از RCM	[۲۵]
۷	موسکوسو و همکاران ^{۱۹}	۲۰۲۰	ارائه یک مدل برای مدیریت نگهداری و تعمیرات بر پایه خطی‌مشی‌های TPM و RCM مبتنی بر ستون‌های نگهداری پیشگیرانه و مستقل از TPM	[۱۵]
۸	کومتکار و همکاران ^{۲۰}	۲۰۲۲	پیشنهاد و ادغام خطی‌مشی‌های TPM، RCM و CBM در فعالیتهای نگهداری و تعمیرات سازمان کشتی‌رانی در مقیاس خاص	[۳۳]
۹	آیکیا ریورو و تورس اوجدا ^{۲۱}	۲۰۲۲	ایجاد یک رویکرد ناب بر اساس مؤلفه‌های TPM و RCM به منظور بهبود ظرفیت تولید ناب در یک پالایشگاه در پرو مبتنی بر نگهداری پیشگیرانه، مستقل، آموزش و یادگیری و تحلیل آنالیز FMEA از RCM	[۳۴]
۱۰	گیوریا فاریاس و همکاران ^{۲۲}	۲۰۲۲	پیشنهاد یک مدل مدیریتی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر TPM و RCM برای بهینه‌سازی زمان و هزینه در چرخه عمر دارایی‌های دریایی بر پایه تحلیل FMEA از RCM و ستون‌های نگهداری مستقل و آموزش و یادگیری	[۳۵]
۱۱	پژوهش حاضر	۲۰۲۳	تحلیل و بررسی یک رویکرد عملیاتی بر پایه ادغام خط‌مشی‌های TPM و RCM مبتنی بر چهار ستون نگهداری مستقل، پیشگیرانه، آموزش و یادگیری و بهبود مستمر از ارکان TPM و تحلیل FMECA از RCM برای یک سیستم عمومی	

در حالی که مدل‌ها، رویکردها و چارچوب‌های متعددی برای مدیریت فعالیتهای نگهداری و تعمیرات در دسترس هستند، TPM و RCM در میان مطالعات و پیاده‌سازی مهم‌تر هستند. با این حال، TPM و RCM به طور معمول به عنوان روش‌های مجزا تلقی می‌شوند، به این

^{۱۲} Condition-based maintenance

^{۱۳} Prabhakar and Raj

^{۱۴} Achamu et al

^{۱۵} Reyna Alva and Romero De la Cruz

^{۱۶} Hernández Novoa and Yacolca Loja

^{۱۷} Azid et al

^{۱۸} Palomino-Valles et al

^{۱۹} Moscoso et al

^{۲۰} Kumtekari et al

^{۲۱} Ayquipa Rivero and Torres Ojeda

^{۲۲} Giuria-Farías et al



معنا که معمولاً به عنوان روش‌های مستقل و جایگزین محسوب می‌شوند تا به‌طور بالقوه در توالی اجرا شوند. در واقع، ادغام بین RCM و TPM می‌تواند به مزایای متعددی مانند بهبودها در ایمنی، اثرات زیست‌محیطی، اثرات تولید، کاهش خرابی‌های ناشی از نگهداری و تعمیرات بیش از حد، بهبود برنامه نگهداری و تعمیرات و هزینه‌های مرتبط، آگاهی از تجهیزات و کاهش وابستگی فنی به تولید کنندگان منجر شود، زیرا ضعف یک مدل به طور بالقوه با قدرت مدل دیگر کاهش می‌یابد [۲]؛ به عبارت دیگر، RCM و TPM می‌توانند روش‌های مکمل در نظر گرفته شوند. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مطالعات با موضوع بررسی این دو رویکرد توجه محدودی به جنبه‌های عملیاتی دارند یا برای یک زمینه خاص توسعه یافته‌اند؛ اما در این تحقیق از ماهیت مکمل دو راهبرد برای ارائه یک رویکرد عملیاتی یکپارچه به‌منظور افزایش دسترسی تجهیزات با هدف طراحی و بهبود برنامه‌های نگهداری و تعمیرات برای یک سیستم عمومی استفاده می‌شود. همچنین بررسی چهار رکن نگهداری پیشگیرانه، مستقل، آموزش و یادگیری و بهبود مستمر و متمرکز دیگر موضوعی است که در این پژوهش به آن توجه شده است که نسبت به دیگر تحقیقات، ارکان بیشتری از TPM را مورد مطالعه قرار می‌دهد. نگهداری مستقل و پیشگیرانه دو رکن اساسی در TPM هستند که RCM نیز بر آن‌ها تأکید دارد، از طرفی برای ایجاد یک بستر مناسب برای اپراتورها نیاز به آموزش و یادگیری است. همچنین برای ایجاد یک رویکرد مثبت نیاز به توسعه، به‌روزرسانی و بهبود مستمر و متمرکز بین گروه‌ها و واحدهای مختلف در این چارچوب می‌باشد. به طور خلاصه، نتیجه تحلیل مفهومی که از طریق مرور ادبیات صورت گرفت در شکل ۱ [۱۲] نشان داده شده است.





۳- روش‌شناسی

پژوهش حاضر به شیوه آمیخته پرسشنامه‌ای و کتابخانه‌ای صورت گرفته است و از نوع تحلیل اسنادی می‌باشد. در این پژوهش کلیه منابع در دسترس شامل کتاب‌ها، مقالات، کتابچه‌های راهنما و گزارش‌ها در مورد نت بهره‌ور فراگیر و قابلیت اطمینان محور مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. به منظور تجزیه و تحلیل یافته‌ها نیز اقدام به طبقه‌بندی، استدلال و استنتاج منطقی شده است. ابزار گردآوری اطلاعات از طریق پرسشنامه (کاربرگ‌ها)، مصاحبه و مشاهده مستقیم و مشارکتی با کارشناسان ذی‌ربط در مورد سیستم مورد مطالعه صورت گرفت.

۳-۱- رویکرد یکپارچه

رویکرد پیشنهادی بر سطح تجهیزات تمرکز دارد، یعنی بر جنبه عملیاتی نگهداری و تعمیرات متمرکز است و اصول و روش‌های TPM و RCM را به طور کامل مورد استفاده قرار می‌دهد. اجرای آن به وضوح نیازمند شرایط سازمانی و مدیریتی خاصی است که تنها با استفاده از یک سیستم مدیریت نگهداری و تعمیرات جامع قابل دستیابی است؛ بنابراین، فرض می‌کنیم که روش‌شناسی ما بخشی از یک طرح گسترده‌تر از TPM خواهد بود. علاوه بر این، این روش، پیکربندی فعلی سیستم را با در نظر گرفتن شرایط عملیاتی و مسائل فنی، به منظور مقایسه گزینه‌های مداخله مختلف بررسی می‌کند. مناسب‌ترین اقدام نگهداری و تعمیرات با توجه به الزامات فنی، اقتصادی، قانونی و ایمنی شناسایی می‌شود. به همین شکل به ارزیابی مرتب و منظم وضعیت نگهداری و تعمیرات پرداخته و در صورت لزوم به بازنگری و توسعه برنامه و فعالیت‌های نت می‌پردازد تا بهبود به صورت مستمر صورت گیرد. این رویکرد این اهداف را به دنبال یک رویه متوالی در چهار مرحله اصلی انجام می‌دهد که توالی منطقی آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

مدل پیشنهادی، دو روش همسو با نگهداری و تعمیرات در صنعت تولید یعنی TPM و RCM را در بر می‌گیرد. در مدل ارائه شده در این مقاله از چهار اصل TPM، نگهداری و تعمیرات مستقل (AM) و نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده (PM)، آموزش و یادگیری و بهبود مستمر استفاده شده و به همین ترتیب از روش‌های کلی RCM به خصوص ابزار آنالیز FMECA استفاده می‌کند. این روش سه مرحله متوالی را توسعه می‌دهد. در اولین مرحله از شناسایی، تعیین اثرات و اولویت‌بندی بر اساس میزان بحرانی بودن خرابی‌های احتمالی در سیستم‌ها و تجهیزات (FMECA) برای دستیابی به تجزیه دقیق سیستم مورد نظر استفاده می‌کند. مرحله دوم خط‌مشی نگهداری مناسب برای هر حالت خرابی را با استفاده از یک نمودار جریان تصمیم‌گیری مناسب تعیین می‌کند. در نهایت، آخرین گام به برنامه‌ریزی و اجرای فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات مشخص شده بر اساس کاربرگ‌های عملیاتی خاص اختصاص دارد که از وظایف نت مستقل تا اقدامات بهبود قابلیت نگهداری و آموزش کارکنان را به صورت مستمر شامل می‌شود.

هدف از این رویکرد کمک به متخصصان از مرحله اولیه شناسایی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات مناسب با استفاده از کاربرگ‌های عملیاتی که از برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات نگهداری و تعمیرات پشتیبانی می‌کنند، می‌باشد. با توجه به ویژگی‌های ارائه شده اهداف این روش شامل موارد ذیل می‌باشد:

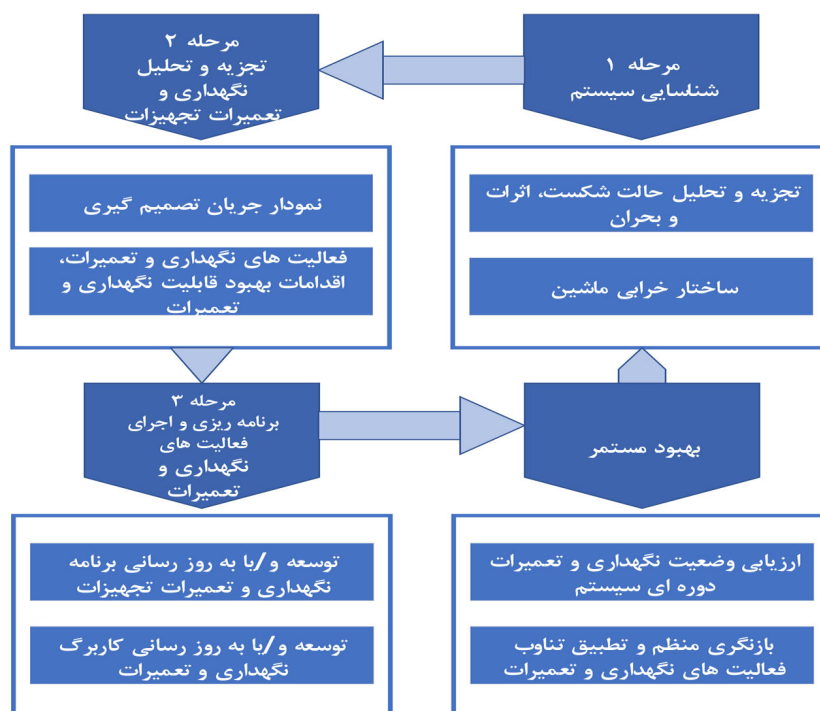
(۱) بررسی، شناسایی، تعیین اثرات و اولویت‌بندی بر اساس میزان بحرانی بودن خرابی‌های احتمالی در سیستم‌ها و تجهیزات از طریق یک FMECA گسترده

(۲) شناسایی مناسب‌ترین اقدامات نگهداری و تعمیرات، با هدف اولیه حذف، پیش‌گیری یا پیش‌بینی رخداد خرابی، ارتقا فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات مستقل توسط اپراتورها

(۳) ارتقا پیاده‌سازی عملی تحت یک چشم‌انداز عملیاتی با استفاده از کاربرگ‌هایی که برای کارکنان و اپراتورها توضیح داده شده‌اند

این روش قادر به تحقق این اهداف به دنبال یک روند متوالی در سه مرحله اصلی است که توالی منطقی آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.





شکل ۲- توالی مراحل روش پیشنهادی

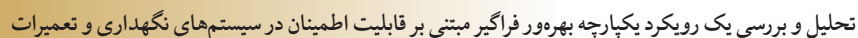
۲-۳- شرح تفصیلی رویکرد

ابتدا، یک FMECA گسترده با هدف شناسایی حالت‌های خرابی و حساسیت اثرات آن‌ها بر یک سیستم خاص انجام می‌شود. کاربرد FMECA مستلزم تقسیم سیستم به سلسله‌مراتب است که شامل زیر سیستم‌ها، واحدها، زیر مجموعه‌های فرعی و غیره تا پایین‌ترین سطح امکان‌پذیر است که اجزا یا تجهیزات (حتی قطعات یدکی که در معرض خطر هستند) را شناسایی می‌کند. این وظیفه اساساً نیازمند آماده‌سازی یک ساختار شکست ماشین خواهد بود که در کاربرگ جدول ۲ خلاصه شده است.

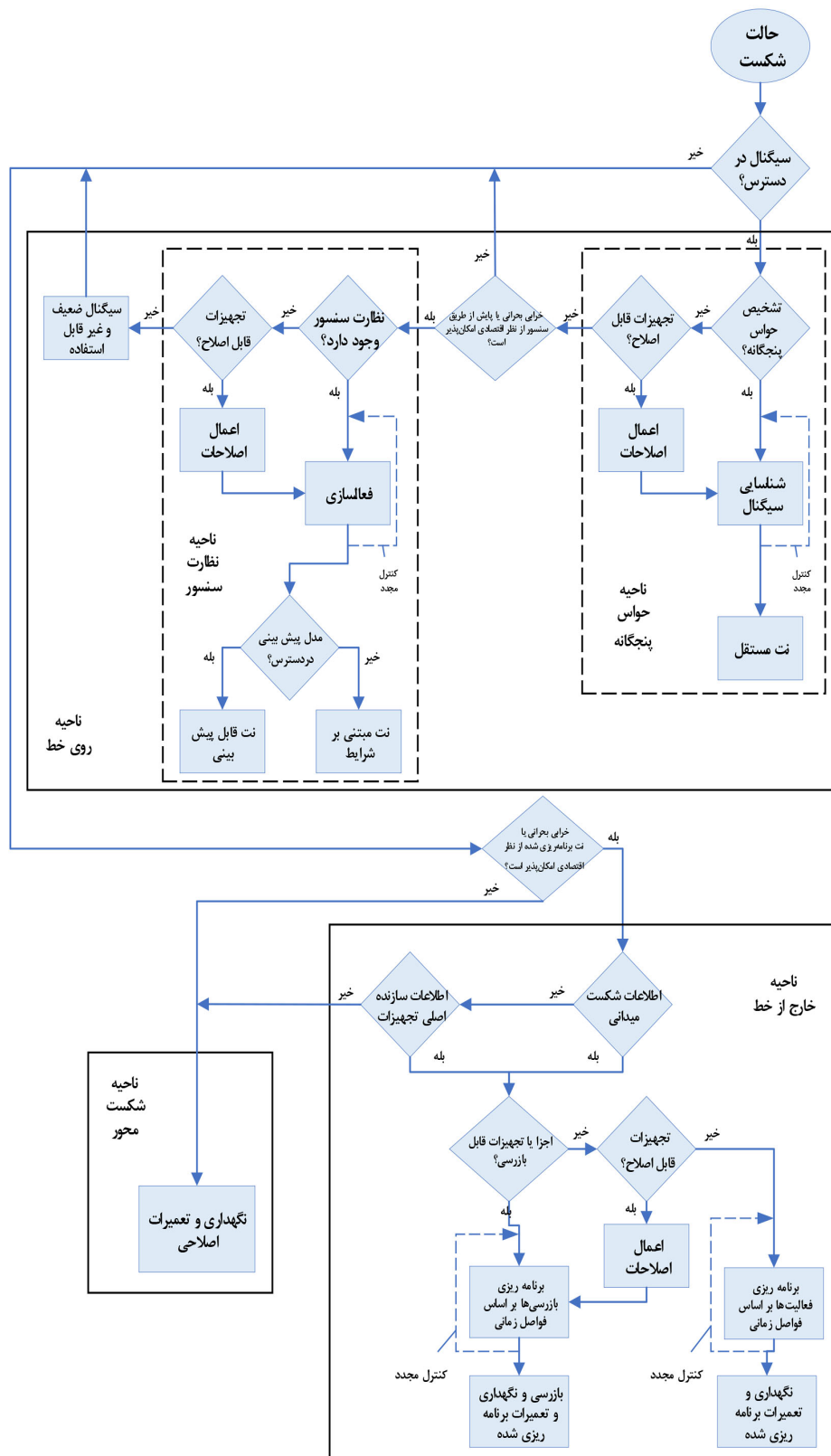
جدول ۲- کاربرگ ساختار شکست

کاربرگ ساختار شکست							
شرکت:		بخش:					
		واحد:					
		عملیات:					
ردیف	سیستم اصلی	ردیف	زیر سیستم (سطح ۱)	ردیف	زیر سیستم فرعی سطح (۲)	ردیف	قطعه
۱		۱-۱		۱-۱-۱			
		۲-۱		۱-۲-۱			
				۲-۲-۱		۲-۲-۱-۱	
						۲-۲-۱-۲	





Journals.ihuo.ac.ir



شکل ۳- نمودار جریان تصمیم‌گیری برای انتخاب فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات



سه حوزه اصلی را در نظر گرفتیم:

- ناحیه روی خط (نگهداری و تعمیرات مستقل) که در آن شرایط را می‌توان بدون قطع عملیات ارزیابی کرد
- ناحیه خارج از خط (نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده) که در آن پایش وضعیت روی خط عملی نیست و مداخلات (بازرسی و یا تعویض) نیاز است
- ناحیه شکست محور که در آن هیچ یک از اقدامات قبلی امکان‌پذیر نیستند و ماشین یا سیستم به شکست یا خرابی می‌رسد.

باید به خاطر داشته باشیم که در زمینه اصلی TPM، اپراتورها اولین خط دفاعی را تشکیل می‌دهند [۳]. اپراتورها می‌توانند به طور مستقل شرایط عملیاتی استاندارد را احیا کنند یا به طور متناوب به مداخله کارکنان نگهداری و تعمیرات نیاز داشته باشند. در مورد دوم، اپراتورها باید تمام اطلاعات لازم را برای متخصصان نگهداری و تعمیرات گزارش دهند تا اقدامات اصلاحی مربوطه را به طور مؤثر و کارآمد انجام دهند. برنامه‌های نگهداری و تعمیرات مستقل باید به درستی با شناسایی وظایف و تعداد دفعات تکرار آن‌ها توسعه داده شوند. همچنین، تعداد دفعات تکرار باید به صورت دوره‌ای با توجه به تغییرات در شرایط عملیاتی اصلاح و تنظیم شود.

در شکل ۳ مجدداً موردی را در نظر می‌گیریم که در آن سیگنال موجود است. اگر نگهداری و تعمیرات مستقل بر اساس تشخیص پنج حسی نمی‌تواند اتخاذ شود، تحلیلگر باید استفاده از روش‌های پایش سنسور را در نظر بگیرد. این ارزیابی بر اساس حساسیت به شکست و خرابی‌ها (مطابق با FMECA) و ارزیابی اقتصادی مداخله نگهداری و تعمیرات است. مشاهده می‌کنیم که نمودار جریان تصمیم‌گیری امکان انجام اصلاح به تجهیزات را در زمانی که سیگنال نمی‌تواند به طور مستقیم برای اجرای روش‌های پایش سنسور استفاده شود، در نظر می‌گیرد. این امر با توجه به مفهوم TPM در جهت بهبود قابلیت نگهداری و تعمیرات است.

اگر روش‌های نگهداری و تعمیرات مستقل و پایش سنسور قابل اجرا نباشند، تحلیلگر باید فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده یا خط‌مشی اجرا تا شکست را دنبال کند. این امر هم به حساسیت خرابی و هم ارزیابی اقتصادی وظایف نگهداری و تعمیرات چرخه‌ای بستگی دارد. با توجه به فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده، در دسترس بودن داده‌های خرابی از تولیدکننده اصلی تجهیزات یا از میدان (خط تولید)، زمانی که احتمال وقوع خرابی وجود دارد، فراهم می‌شود؛ بنابراین، تخمین بازه‌های نگهداری و تعمیرات مناسب را تعریف می‌کند. لازم به ذکر است که اقدامات برنامه‌ریزی شده می‌توانند به بازرسی و در صورت نیاز، جایگزینی بپردازند. در واقع، برخی از اجزا یا تجهیزات به دلیل مسائل فنی یا اقتصادی نمی‌توانند مورد بازرسی قرار گیرند. در این شرایط، جایگزینی تنها کار ممکن است. توجه داشته باشید که بر اساس اصل بهبود قابلیت نگهداری و تعمیرات، نمودار جریان تصمیم‌گیری تغییرات ممکن را برای تجهیزات پیشنهاد می‌کند تا وظایف بازرسی مجاز باشند. علاوه بر این برای تنظیم فواصل نگهداری و تعمیرات در رابطه با ایجاد تغییرات در شرایط عملیاتی، بازخورد لازم است. ما مشاهده می‌کنیم که فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده بر روی اجزا یا تجهیزات داده شده ممکن است فرصتی برای انجام بازرسی و یا تعمیر سایر اجزا یا تجهیزات را فراهم کند.

زمانی که تحلیلگر فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات را با پشتیبانی از نمودار جریان تصمیم‌گیری نشان داده شده در شکل ۳ تعریف کرد، امکان تصور و برنامه‌ریزی اقدام بهبوددهنده در نگهداری و تعمیرات وجود دارد؛ به عبارت دیگر، تحلیل تجهیزات تحت یک دیدگاه نگهداری و تعمیرات سازنده امکان‌پذیر است.

جدول ۳ یک برنامه تحلیل نگهداری و تعمیرات مفید را نشان می‌دهد. این سند شامل چندین ستون و بخش است که حاوی اطلاعات فنی در مورد تحلیل شکست و خرابی به کمک FMECA هستند:





جدول ۳- کار برگ تجزیه و تحلیل نگهداری و تعمیرات

تجزیه و تحلیل نگهداری و تعمیرات																				
																			شرکت:	
																			بخش:	
																			واحد:	
																			عملیات:	
سیستم (دستگاه)		تحلیل شکست					منبع اطلاعات		فعالیت‌های نت		تحلیل اصلاحات									
ردیف	شرح	حالت شکست	حساسیت	اجزا	حالت شکست	علت شکست	جایگزین شده	جداسازی شده/ قسمت	قطعه کمکی	اسناد فنی و	ضعیف	علامت‌های	اطلاعات شکست	فعلی	فعالیت‌های	شرح	اصلاحی	جایگزین‌ها	موانع اصلاحات	

بخش (سیستم): سیستم و حالت شکست آن را شناسایی می‌کند. این اطلاعات مستقیماً از جدول ۲ آمده است.

ستون (حالت شکست): حالت‌های شکست یا خرابی یا از کارافتادگی که در عملکرد سیستم رخ داده است را نشان می‌دهد.

ستون (حساسیت): تأثیر حالت شکست خاص بر عملکرد ماشین را گزارش می‌کند، این اطلاعات باید هنگام تعریف خط‌مشی‌های نگهداری و تعمیرات بر اساس نمودار جریان تصمیم‌گیری نشان داده شده در شکل ۳ در نظر گرفته شوند.

بخش (تحلیل شکست): گزارش علت خرابی، قطعات یدکی و مواد کمکی و اسناد فنی لازم برای مداخله نگهداری و تعمیرات را شرح می‌دهد.

ستون (حالت خرابی اجزا): اجزایی را که موجب حالت خرابی شده مشخص می‌کند و حالت خرابی مربوطه را توصیف می‌کند.

بخش (منبع اطلاعات): اطلاعات لازم برای تشخیص زودهنگام یا سریع شکست را جمع‌آوری می‌کند.

ستون (علامت‌های ضعیف): علامت‌هایی را گزارش می‌کند که مستقیم یا غیرمستقیم توسط اپراتور قابل درک هستند و به پیش‌بینی شکست کمک می‌کنند.

ستون (اطلاعات شکست): نشانه‌های غیرمستقیم یا نشانه‌های شکست را توصیف می‌کند که می‌تواند به رفع یا جلوگیری صحیح مداخله نگهداری و تعمیرات کمک کند.

بخش (فعالیت‌های نت): این بخش فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات که در حال حاضر باید اجرا شوند را نشان می‌دهد. این اطلاعات به وضوح در اصلاح عملیات نگهداری و تعمیرات مورد نیاز است.

بخش (تحلیل اصلاحات): اصلاح ممکن برای تجهیزات یا ماشین را ارائه می‌دهد تا خرابی یا بهبود قابلیت نگهداری و تعمیرات آن را رفع یا پیش‌بینی کند.



ستون (جایگزین‌های اصلاحی): اصلاح ممکن برای سیستم یا تجهیزات را پیشنهاد می‌کند. این اصلاحات باید با حساسیت حالت خرابی خاص سازگار باشند، یک اثر خرابی بزرگ‌تر ممکن است منجر به اصلاح مهم‌تر، پیچیده‌تر و گران‌قیمت‌تر شود. انتخاب بین مداخلات احتمالی ممکن است توسط تحلیل هزینه - سود بررسی شود. برای مثال، معیارهای کاهش هزینه‌های خرابی و نگهداری و تعمیرات، همچنین سرمایه‌گذاری‌های لازم و دوره بازگشت سرمایه و ارزیابی بهبود OEE^{۲۳} را می‌توان در نظر گرفت.

ستون (موانع اصلاحات): به مشکلات و موانع بالقوه‌ای اشاره می‌کند که ممکن است مانع اجرای اصلاحات شوند، مانند محدودیت‌های فنی، اقتصادی، زمانی، مسائل ایمنی و قانونی و حساسیت‌های اضافی.

اطلاعات در جدول‌های ۲ و ۳ برای توسعه برنامه نگهداری و تعمیرات سازنده که در جدول ۴ نشان داده شده مورد نیاز است. این برنامه به تحلیل‌گر اجازه می‌دهد:

- (۱) فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات را شناسایی نماید.
- (۲) امکان تعریف و تخصیص منابع انسانی درگیر در وظایف نگهداری و تعمیرات تولیدی داشته باشد. (مانند اپراتورها، کارشناسان فن‌آوری، کارکنان نگهداری و تعمیرات، مهندسان تولید و غیره)

جدول ۴- برنامه نگهداری و تعمیرات

برنامه نگهداری و تعمیرات																		
														شرکت:				
بخش:																		
واحد:																		
عملیات:																		
سیستم:																		
فعالیت‌های بهبود		فعالیت‌های شکست محور		فعالیت‌های خارج از خط				فعالیت‌های روی خط				شناسایی اجزا						
توضیحات		توضیحات		بازخورد فعالیت	علامت‌های ضعیف	مدت زمان فعالیت	دوره برنامه‌ریزی	شرح	افراد درگیر	بازخورد فعالیت	نحوه کنترل	مدت زمان فعالیت	دوره برنامه‌ریزی	شرح	سطح ۳	ردیف	سطح ۲	ردیف

به طور خاص، اگر یک چشم‌انداز نگهداری و تعمیرات سازنده دنبال شود، این برنامه باید برای هر گروه عملکردی سیستم توسعه داده شود و فعالیت‌های روزانه را توصیف و راهنمایی کند.

^{۲۳} Overall equipment effectiveness





بخش (شناسایی اجزا): اجازه شناسایی اجزا یا قسمت‌هایی را می‌دهد که در معرض نگهداری و تعمیرات قرار دارند. این اطلاعات از جدول ۲ گرفته شده است. تعداد سطرها و ستون‌ها به سیستم در نظر گرفته شده و به سطح جزئیات مورد استفاده در تجزیه سیستم بستگی دارد.

بخش (فعالیت‌های روی خط): تمام جنبه‌های عملیاتی (مانند شرح، مدت، دوره برنامه‌ریزی و نحوه کنترل) را گزارش می‌کند که مربوط به وظایف نگهداری و تعمیرات مستقل یا واحد نگهداری و تعمیرات است که از تکنیک‌های پایش سنسور استفاده می‌کند.

بخش (فعالیت‌های خارج از خط): تمام جنبه‌های عملیاتی (مانند شرح، مدت، دوره برنامه‌ریزی و نحوه کنترل) مربوط به وظایف نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده (برای مثال بازرسی‌های برنامه‌ریزی شده و یا تعمیرات) را گزارش می‌کند.

بخش (فعالیت‌های شکست محور): تمامی فعالیت‌های صورت گرفته در واکنش به شکست را توصیف می‌کند. این برنامه قطعات یدکی موردنیاز، تجهیزات، مواد اضافی، رویه‌های فنی و ایمنی و غیره را مشخص می‌کند تا در عملیات بازسازی یا تعمیر استفاده شوند.

بخش (فعالیت‌های بهبود): فعالیت‌هایی با هدف افزایش نگهداری و تعمیرات و یا دسترسی به سیستم که امکان بهبود یا پیشرفت در آن وجود دارد را بررسی می‌کند. این اقدامات ممکن است شامل اصلاح سیستم، جمع‌آوری داده‌ها، آموزش اپراتور یا تکنسین، بازبینی رویه‌های نگهداری و تعمیرات، استانداردهای طراحی و توصیه به تأمین‌کنندگان بخش یدکی تخصصی باشد.

فعالیت‌هایی که اپراتورها معمولاً تحت چارچوب نگهداری و تعمیرات خودمختار یا مستقل انجام می‌دهند شامل تمیز کردن، بازرسی، تأیید شرایط عملیاتی استاندارد، روغن‌کاری و تنظیم می‌باشند. برای انجام این وظایف، اپراتورها ممکن است به دستورالعمل‌های آموزشی و یا استفاده از تجهیزات کمکی، ابزارها و مواد نیاز داشته باشند. همچنین این موضوع نیز مهم است که اجرای برخی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات مستقل ممکن است نیازمند آموزش مناسب، تصویب قبلی توسط اتحادیه‌های کارگری یا حتی مذاکره مجدد قرارداد باشد. با این حال، بیشتر این فعالیت‌ها، یعنی تمیز کردن یا روغن‌کاری، از قبل به اپراتورها مربوط بوده‌اند. در نهایت مشاهده می‌کنیم که مقدار وظایف نگهداری و تعمیرات مستقل، منوط به بازبینی و در صورت لزوم تنظیم مطابق با تغییرات شرایط عملیاتی است.

بدین منظور، کاربرگی ارائه می‌گردد که از طریق آن می‌توان یک برنامه آموزشی برای کارکنان ترتیب داد که در جدول ۵ قابل مشاهده است. در ابتدا باید گروه کاری تعریف شود، مهندس ارشد پروژه منصوب شود و تعداد و نوع تکنسین‌های مورد نیاز برای انجام امور تصمیم‌گیری شود. به افراد سیستم‌ها، نوع عملکرد و مشخصات آن‌ها آموزش داده شود و در ادامه مذاکرات و جلسات برای توضیح روش و آنچه که انتظار می‌رود برای اجرا به آن نیاز است برگزار شود. بدین جهت اهداف و شاخص‌ها تعریف شوند. این موارد باید به اندازه کافی شفاف باشند تا همه اهداف نهایی خود را در فرآیند برنامه کاربردی درک کنند.

جدول ۵- کاربرگ برنامه آموزشی نگهداری و تعمیرات

کاربرگ برنامه آموزشی نگهداری و تعمیرات							
ردیف	مراحل آموزش	تاریخ شروع:			تاریخ پایان:		
		ساعت:	ساعت:	ساعت:	ساعت:	ساعت:	ساعت:
۱	تشکیل گروه و خط شرح نگهداری و تعمیرات						
۲	مشخصات سیستم هر دستگاه، قطعه و قسمت‌ها						
۳	آموزش و دستورالعمل فعالیت‌های نت						
۴	آشنایی تجهیزات و ابزارآلات کمکی						



علاوه بر این، ممکن است لازم باشد که اپراتورها بازخورد کارکنان نگهداری و تعمیرات را در فعالیتهای نگهداری و تعمیرات خود ارائه دهند. بدین منظور، برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی وظایف نگهداری و تعمیرات مستقل، یک کاربرگ ارائه می‌کنیم که جدول ۶ مثالی از این سند را نشان می‌دهد.

جدول ۶- کاربرگ نگهداری و تعمیرات مستقل

کاربرگ نگهداری و تعمیرات مستقل					
شرکت:			بخش:		
			واحد:		
			عملیات:		
ردیف	دستگاه (سیستم)	ردیف	شرح فعالیت	تعداد فعالیت	یادداشت عملیاتی
یادداشت اضافی:					

توجه داشته باشید که برنامه نگهداری و تعمیرات نیازمند مشخصات فعالیتهای خارج از خط (نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده) است. در واقع اپراتورها یا کارکنان نگهداری و تعمیرات ممکن است این وظایف را انجام دهند که شامل بازرسی و یا جایگزینی می‌باشد. باید در نظر داشت که یک جایگزین ممکن است بسته به شرایط یافت شده از انجام بازرسی در یک جزء صورت گیرد.

همچنین به منظور ارزیابی عملکرد کارکنان، برنامه حسابرسی برای نگهداری و تعمیرات مستقل که در جدول ۷ نشان داده شده، طراحی گردیده است. در این برنامه گام‌هایی که برای ارزیابی آموزش لازم است تفسیر می‌شود و مدیر پروژه را قادر می‌سازد دامنه فعالیت‌ها و همکاری گروه‌های نت مستقل را ارزیابی کند.

جدول ۷- کاربرگ برنامه حسابرسی نگهداری و تعمیرات مستقل

کاربرگ برنامه حسابرسی نگهداری و تعمیرات مستقل							
شماره تجهیزات:				زمینه: نگهداری و تعمیرات			
مسئول:				حسابرس:			
تاریخ شروع:				تاریخ پایان:			
موارد		امتیاز ارزیابی					بهبودی در عملکرد
		۱	۲	۳	۴	۵	
							بله
							خیر
درک اهداف برنامه گروه نت مستقل							
برنامه‌ریزی فعالیتهای گروه مدیریت نت مستقل							
اجرای فعالیتهای گروه نت مستقل							
مشارکت و همکاری بین گروه‌های نت مستقل							
ارتباط بین گروه‌های نت مستقل							





۴- اعتبارسنجی

۴-۱- شرح چگونگی عملکرد رویکرد

در این بخش یک مثال کاربردی از رویکرد نگهداری و تعمیرات پیشنهادی در بخش قبلی ارائه شده است. کاربرد توصیف شده در زیر بخشی از یک مطالعه موردی صنعتی است که عملکرد روش را نشان می‌دهد. سپس به اندازه‌گیری اثربخشی کلی (OEE) سیستم مورد بررسی پرداخته می‌شود تا اعتبار رویکرد پیشنهادی مشخص گردد.

سیستم تحت نگهداری، یک ماشین CNC VMC ۸۵۰ در مرکز بهینه‌سازی، ساخت و بازسازی قطعات زهرن است. ما چند بخش از آن را در نظر می‌گیریم که شامل چهار گروه اصلی عملکردی است: (۱) میز محور، (۲) اسپیندل، (۳) سیستم روانکاری گیربکس، (۴) واحد مراقبت. جدول ۸ یک برنامه تجزیه سه سطحی را در مورد دستگاه مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ۸- کاربرگ ساختار شکست

کاربرگ ساختار شکست							
بخش: سالن ۱۳						شرکت: کارخانجات زرهرن	
واحد: ساخت قطعات							
عملیات: -							
ردیف	سیستم اصلی	ردیف	زیر سیستم(سطح ۱)	ردیف	زیر سیستم فرعی سطح (۲)	ردیف	قطعه
۱	CNC VMC ۸۵۰	۱-۱	میز محور	۱-۱-۱	کاور تلسکوپی		
				۱-۱-۲	بال اسکرو		
				۱-۱-۳	لایزر گاید		
				۱-۱-۴	اسلاید گاید		
		۱-۲	اسپیندل	۱-۲-۱	گیربکس		
				۱-۲-۲	الکتروموتور		
				۱-۲-۳	کلمپ		
				۱-۲-۴	کولت		
		۱-۳	سیستم روانکاری گیربکس	۱-۳-۱	پمپ روغن		
				۱-۳-۲	مقسم روغن		
				۱-۳-۳	مخزن روغن		
				۱-۳-۴	پمپ هیدرولیک		
				۱-۳-۵	نازل های روانکاری		
				۱-۳-۶	فیلتر		
		۱-۴	واحد مراقبت	۱-۴-۱	فشارشکن		
				۱-۴-۲	گیج فشار		
				۱-۴-۳	شیر کنترل فشار		
				۱-۴-۴	کنترل جریان باد		

هنگامی که اقدامات نگهداری و تعمیرات بر اساس نمودار جریان تصمیم‌گیری در شکل ۳ تعریف شدند، توسعه بهبود نگهداری و تعمیرات ممکن است. این مداخلات در کاربرگ تجزیه و تحلیل نگهداری و تعمیرات، نشان داده شده در جدول ۹ گزارش شده است. این تحلیل ممکن است منجر به تغییر در سیستم فیزیکی و همچنین در فرآیند نگهداری شود. در نهایت جدول ۱۰ برنامه نگهداری و تعمیرات تولیدی مربوطه را برای سیستم مورد نظر در این برنامه پیشنهاد می‌کند.



جدول ۹- کاربرد تجزیه و تحلیل نگهداری و تعمیرات

[illegible]



جدول ۱۰- کاربرد برنامه نگهداری و تعمیرات

تجزیه و تحلیل نگهداری و تعمیرات														
شرکت: کارخانجات زهرن														
بخش: سالن ۱۳														
واحد: ساخت قطعات														
عملیات: -														
شناسایی اجزا		فعالیت‌های روی خط					فعالیت‌های خارج از خط					فعالیت‌های		فعالیت‌های بهبود
ردیف	نام	ردیف	نام	مدت زمان	تعداد	تکرار	ردیف	نام	مدت زمان	تعداد	تکرار	ردیف	نام	ردیف
۱-۱	میز محور	۱-۱-۱	کاور تلسمویی	نظافت	روژانه	۳۰ دقیقه	پاک کردن قسمت‌های فلزی و روغن‌زدایی دستگاه	گزارش به واحد نت	روغن کاری سطح کشویی	روژانه	۳۰ دقیقه	فرسودگی	گزارش و کنترل	آموزش اپراتور یا تکنسین
		۱-۱-۳	لایبر گاید				کنترل تراز دستگاه	واحد نت	کنترل تراز دستگاه	سالانه	۲ ساعت	گزارش و کنترل	آموزش اپراتور یا تکنسین	
۱-۲	اسپیندل	۱-۲-۱	گیربکس	صحت عملکرد فن	روژانه	۱۵ دقیقه	بررسی فن از نظر صدا و تمیز بودن	گزارش به واحد	روغن کاری پائالان‌های اسپیندل یا گریس عمر بالا	۶ ماهه	۱ ساعت	خرابی چرخ‌دندها، توقف اسپیندل	گزارش و کنترل	تعمیر یا تعویض چرخ‌دندها
		۱-۲-۲	الکتروموتور	بازدید فنی موتور	هر ۵۰۰ ساعت	۱ ساعت	اطمینان از محکم بودن اتصالات و تمیز کردن سطوح خارجی	گزارش به واحد	کنترل سلامت هد استوک یا کالگی و اسپیندل موتور	سالانه	۲ ساعت	صدای غیر عادی، لرزش	گزارش و کنترل	تعمیر یا تعویض بلبرینگ و پروانه خنک کننده
		۱-۲-۳	کلمپ					واحد نت	کنترل وضعیت نگهدارنده ابزار	هفتگی	۱ ساعت	شکستن ابزار	گزارش و کنترل	تعمیرات قطعات خراب
۱-۳	سیستم روانکاری گیربکس	۱-۳-۱	پمپ روغن	بازدید فنی پمپ	روژانه	۱۵ دقیقه	بررسی فشار هیدرولیک و مایعات	گزارش به واحد						تعمیرات کاسه‌بند
		۱-۳-۳	مخزن روغن	نظافت	ماهانه	۱ ساعت	پاک کردن داخل مخزن روغن	گزارش به واحد	کنترل مقدار روغن	روژانه	۱۵ دقیقه	افت فشار روغن، اختلال در عملکرد	گزارش و کنترل	تعمیرات در صورت نیاز
		۱-۳-۶	فیلتر	نظافت	هفتگی	۳۰ دقیقه	تمیز کردن فیلتر هوا	گزارش به واحد	پوینت سرویس					
۱-۴	واحد مراقبت	۱-۴-۲	گیج فشار					واحد نت	کنترل فشار گیج پموماتیک	روژانه	۱۵ دقیقه	نشستی	گزارش و کنترل	تعمیرات در صورت نیاز
		۱-۴-۳	شیر کنترل فشار					تعمیر کار مکانیک و نشستی فشار هوا	کنترل مقاومت آب‌بندی و نشستی فشار هوا	روژانه	۱۵ دقیقه	نشستی جزئی	گزارش و کنترل	تعمیر و تعویض قطعات تأمین کنندگان

۴-۲- محاسبه اثربخشی کلی (OEE)^{۲۴}

OEE یک ابزار اندازه‌گیری مستقل برای نشان دادن نسبت ظرفیت تولید واقعی تجهیزات به ظرفیت تولید نظری است. این یک شاخص مهم در عملکرد و سلامت ماشین در تولید است [۳۶]. ابزار مؤثری است که در اصول TPM و تولید ناب به عنوان یک شاخص کلیدی عملکرد استفاده می‌شود. درک مفهوم OEE بسیار آسان است و می‌تواند به راحتی توسط متخصصان و پرسنل مدیریت نگهداری و تعمیرات درک و تفسیر شود. OEE به جای کارایی، اثربخشی ماشین را به صورت جامع اندازه‌گیری می‌کند [۳۷]. مبنایی را برای تعیین اولویت‌های بهبود فراهم می‌کند، به تجزیه و تحلیل علت ریشه‌ای کمک می‌کند، به ظرفیت استفاده نشده در فرآیند تولید اشاره می‌کند و جریان متعادل را تضمین می‌کند.

OEE تابعی از قابلیت دسترسی، نرخ عملکرد و نرخ کیفیت است. استانداردهای در دسترس بودن، عملکرد و کیفیت برای OEE به ترتیب ۹۰٪، ۹۵٪ و ۱۰۰٪ تعیین شده است. معیار ۸۵٪ برای OEE به عنوان یک کیفیت در سطح جهانی در نظر گرفته می‌شود [۳۸]. روابط ۱ تا ۴ نحوه محاسبات را نشان می‌دهند [۳۹].

$$\text{OEE} = \text{نرخ کیفیت} \times \text{نرخ عملکرد} \times \text{در دسترس بودن} \quad (۱)$$

$$۱۰۰ \times (\text{زمان توقف برنامه‌ریزی شده} / \text{زمان عملیاتی}) = \text{در دسترس بودن} \quad (۲)$$

$$۱۰۰ \times [\text{چرخه زمان ایده‌آل زمان عملیاتی} / (\text{مقدار کل تولید})] = \text{نرخ عملکرد} \quad (۳)$$

$$\text{کل تولیدات} / \text{تولیدات سالم} = \text{نرخ کیفیت} \quad (۴)$$

نتایج محاسبات اثربخشی کلی سیستم ۸۵۰ CNC VMC قبل و بعد از پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی در یک دوره زمانی کوتاه مدت در جدول ۱۱ نشان داده شده است. اطلاعات مورد نیاز از طریق مصاحبه و ارائه کاربرگ‌ها به کارشناسان، مشاهده و بررسی دستگاه و خط تولید و اطلاعات مستند شده در واحد نگهداری و تعمیرات شرکت مورد مطالعه به دست آمد.

جدول ۱۱- نتایج محاسبات اثربخشی کلی ماشین

ردیف	شرح	قبل از پیاده‌سازی رویکرد	بعد از پیاده‌سازی رویکرد
۱	زمان شیفت	۷۲۰ دقیقه	۷۲۰ دقیقه
۲	مجموع زمان بیکاری برنامه‌ریزی شده	۱۰۰ دقیقه	۶۰ دقیقه
۴	میانگین زمان خرابی	۷۳ دقیقه	۳۸ دقیقه
۵	تعداد قطعات تولید شده	۲۳	۲۵
۶	تعداد قطعات معیوب	۳	۲
۷	میزان دسترس‌پذیری	۸۸٪	۹۴٪
۸	نرخ عملکرد	۸۶٪	۹۰٪
۹	نرخ کیفیت	۸۵٪	۹۲٪
۱۰	اثربخشی کلی	۶۴٪	۷۸٪

نتایج حاکی از آن است که اثربخشی کلی تجهیز از ۶۴٪ به ۷۸٪ بهبود یافته است که نشان دهنده بهبود در بهره‌وری و بهبود کیفیت محصول است. میزان دسترس‌پذیری به دستگاه از ۸۸٪ به ۹۴٪ افزایش داشته که نشان از سطح استاندارد آن پس از پیاده‌سازی رویکرد عملیاتی می‌باشد. هرچند اثربخشی کلی میزان قابل توجهی رشد کرده است اما هنوز با مقدار استاندارد کلاس جهانی فاصله دارد که این

^{۲۴} Overall equipment effectiveness





موضوع می‌تواند ناشی از نرخ کیفیت و عملکرد باشد که باید بیشتر افزایش داشته باشند. در مجموع رویکرد مورد بررسی نشان داد که به بهبود سیستم نگهداری و تعمیرات در فرایند تولید کمک خواهد کرد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به تحلیل مفهومی TPM و RCM، شباهت‌ها و تفاوت‌های بین دو راهبرد پرداخته شده است، همچنین رویکرد عملیاتی جدید برای نگهداری و تعمیرات تجهیزات ارائه شده است که اصول و روش‌های TPM و RCM را ادغام می‌کند. هدف این روش دو جنبه است: در ابتدا، بهره‌برداری از ماهیت مکمل TPM و RCM به منظور توسعه رویکردی که از نقاط قوت آن‌ها برای جبران ضعف‌های مربوطه سود می‌برد. سپس پیشنهاد ابزارهای عملیاتی که به انتخاب، برنامه‌ریزی و انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات برای پیاده‌سازی در یک سیستم صنعتی کمک می‌کند. بررسی ادبیات و توسعه مدل ارائه شده ثابت کرد که RCM اگر در چارچوب TPM توسعه یابد، نتایج بهتری را تقویت و تسهیل می‌کند، زیرا بر نگهداری پیشگیرانه تمرکز دارد. همچنین مکمل بودن بین اصول هر دو روش به میزان بالایی مشهود بود.

در این پژوهش یک نمودار جریان تصمیم‌گیری پیشنهاد شد که از تحلیل‌گر در هنگام تخصیص یک خط‌مشی نگهداری و تعمیرات به هر حالت خرابی پشتیبانی می‌کند. زمانی که یک علامت هشدار هم در دسترس و هم قابل تشخیص باشد مهمترین تفاوت، حضور نگهداری و تعمیرات مستقل که توسط اپراتورها و کارکنان آموزش دیده به عنوان اولین فعالیت است که باید در نظر گرفته شود. بررسی چهار رکن نگهداری پیشگیرانه، مستقل، آموزش و یادگیری و بهبود مستمر و متمرکز موضوعی است که در این پژوهش به آن توجه شده است که مطابق با اصول TPM است، وظایف نگهداری و تعمیرات مستقل برای حذف یا کاهش بخش بزرگی از تلفات، اساسی است. درحالی‌که هدف اصلی رویکرد پیشنهادی افزایش جنبه‌های عملی نگهداری و تعمیرات است، همچنین دارای مفاهیمی است که احتمالاً تصمیمات شرکت‌ها را در سطوح مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. اول اینکه، این کار نقش راهبردی که نگهداری و تعمیرات باید در سیستم‌های تولیدی پوشش دهد را بیشتر تأکید می‌کند. نگهداری و تعمیرات باید در خطی‌مشی‌های شرکت‌ها گنجانده شوند و مسائل مربوطه، زمانی که در مراحل اولیه تولید محصول و طراحی سیستم تولید هستیم، بهتر مورد بررسی قرار گیرند. همچنین، در سطح تاکتیکی، به خط‌مشی‌هایی که تاکنون به طور کامل مورد بهره‌برداری و بررسی قرار نگرفته‌اند به ویژه رویکردهای ترکیبی در نگهداری و تعمیرات، چراغ سبز نشان می‌دهد. همچنین با بهره‌گیری از کمک بصری (تشخیص پنج حسی) بر فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات برنامه‌ریزی شده روزانه توسط اپراتورها (نگهداری مستقل) تأکید می‌کند. فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات را می‌توان با اتخاذ کاربرگ‌های نگهداری و تعمیرات مستقل برنامه‌ریزی کرد. همچنین کاربرگ‌های دیگری ارائه شد که ممکن است برای تجزیه و تحلیل و برنامه‌ریزی فعالیت‌ها برای بهبود وضعیت نگهداری و تعمیرات با در نظر گرفتن اصلاحات در سیستم و همچنین رویه‌های عملیاتی و آموزشی مفید باشد. از طرفی به ارزیابی و بازنگری سیستم به صورت متناوب و منظم و تطبیق فعالیت‌ها و کاربرگ‌ها به منظور بهبود مستمر تأکید شد. سپس گزیده‌ای از یک مطالعه موردی صنعتی ارائه شد تا نشان داده شود این رویکرد چگونه عمل می‌کند. در این تحقیق، این روش برای یک ماشین ۸۵۰ CNC VMC اعمال شد. علاوه بر این، رویکرد پیشنهادی از چارچوب گسترده فعلی و انتشار تبادل اطلاعات در سیستم‌های تولیدی پشتیبانی می‌کند. در واقع، به طور کامل راه‌حل‌های فناورانه مختلف مربوط به پایش سنسور و مدیریت سلامت تجهیزات را تحلیل می‌کند. ارتباط بین TPM و RCM به سازمان‌ها در تسهیل فرآیند اجرای TPM و RCM کمک خواهد کرد. تجزیه و تحلیل این یافته‌ها، اساس توصیه‌ها و راهنمایی‌ها را برای سازمان‌هایی تشکیل می‌دهد که قصد دارند هم TPM و هم RCM را اجرا کنند. در سطح عملی، این تحقیق به شرکت‌ها این فرصت را می‌دهد تا از مزایای یک چارچوب عملیاتی بهره ببرند که به طور مؤثر رویکردها و روش‌های نگهداری و تعمیرات طولانی مدت را ادغام می‌کند. این رویه به کارشناسان و متخصصان نگهداری و تعمیرات و همچنین اپراتورها در طول عملیات روزانه خود کمک می‌کند.

برای مطالعات آتی یک فرصت مناسب می‌تواند بررسی پیاده‌سازی و ادغام رویکرد پیشنهادی با ابزارهای عملیاتی آن، در یک سیستم مدیریت نگهداری و تعمیرات کامپیوتری باشد که موجب نتایج مؤثرتری خواهد بود. علاوه بر این، بررسی دیگر ارکان و مؤلفه‌های TPM و RCM مانند TPM اداری می‌تواند به تکمیل‌تر شدن تحقیقات کمک کند. از طرفی تحقیقات ممکن است شامل توسعه ابزارهای عملیاتی برای پشتیبانی از متخصصان در تعریف برنامه‌های نگهداری و تعمیرات و در نظر گرفتن مسائل مربوط به هزینه - فایده باشد. پیشنهاد دیگر





پایاده سازی رویکرد پیشنهادی در یک واحد صنعتی بروی تجهیزات مختلف و با تعداد بالا و اندازه گیری عملکرد عملیاتی و اثربخشی کلی تجهیزات با شاخص های متفاوت در دوره زمانی طولانی مدت و مقایسه نتایج آن است که می تواند یک راه دیگر برای نشان دادن تأثیر واقعی تر مدل ارائه شده در صنعت باشد. همچنین ادغام و ترکیب راهبردهای دیگر نگهداری و تعمیرات مانند نت مبتنی بر شرایط با TPM و RCM می تواند یک خط تحقیقاتی دیگر باشد. از طرفی نگهداری و تعمیرات بهره ور فراگیر و مدیریت کیفیت جامع در ابعاد و سطوح مختلف با یکدیگر ارتباط دارند زیرا هر دو بر کیفیت تأکید دارند بررسی این دو راهبرد با RCM از منظرهای گوناگون نیز می تواند یک پیشنهاد تحقیقاتی دیگر برای پژوهشگران در آینده باشد.

۶- منابع و مآخذ

- [۱] Phogat, Sandeep, and Anil Kumar Gupta. "Identification of problems in maintenance operations and comparison with manufacturing operations: a review", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. ۲۲ No. ۲, PP. ۲۲۶-۲۳۸ (۲۰۱۷).
- [۲] Braglia, M., Castellano, D., and Gallo, M., "A novel operational approach to equipment maintenance: TPM and RCM jointly at work", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. ۲۴ No. ۴, PP. ۶۱۲-۶۳۴ (۲۰۱۹).
- [۳] Morales Méndez, J. D., and Rodriguez, R. S., "Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. ۹۲ No. ۱, PP. ۱۰۱۳-۱۰۲۶ (۲۰۱۷).
- [۴] Qarahasanlou, A. N., Barabadi, A., and Ayele, Y. Z., "Production performance analysis during operation phase: A case study", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, Vol. ۲۳۲ No. ۶, PP. ۵۵۹-۵۷۵ (۲۰۱۸).
- [۵] Jain, A., Bhatti, R., and Singh, H., "Total productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. ۵ No. ۳, PP. ۲۹۳-۳۲۳ (۲۰۱۴).
- [۶] Reyna Alva, A. H., and Romero De la Cruz, C. I., "Improvement proposal to increase the mechanical availability of construction machinery, in a construction company applying RCM and TPM", *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*, (۲۰۱۹).
- [۷] Hernández Novoa, R., and Yacolca Loja, R. R., "Improvement of the availability of a spiral oven in a bakery company based on the integration of RCM and TPM methodologies", *Peruvian University of Applied Sciences (UPC)*, (۲۰۱۹).
- [۸] Singh, Mahipal, and Rajeev Rathi. "A structured review of Lean Six Sigma in various industrial sectors", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. ۱۰ No. ۲, PP. ۲۲۲-۲۶۴ (۲۰۱۸).
- [۹] Singh, R. K., Gupta, A., Kumar, A., and Khan, T. A., "Ranking of barriers for effective maintenance by using TOPSIS approach", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. ۲۲ No. ۱, PP. ۱۸-۳۴ (۲۰۱۶).
- [۱۰] Hemmati, N., Galankashi, M. R., Imani, D. M., and Farughi, H., "Maintenance policy selection: a fuzzy-ANP approach", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. ۲۹ No. ۷, PP. ۱۲۵۳-۱۲۶۸ (۲۰۱۸).
- [۱۱] Pinto, H., Pimentel, C., and Cunha, M., "Implications of total productive maintenance in psychological sense of ownership", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. ۲۱۷, PP. ۱۰۷۶-۱۰۸۲ (۲۰۱۶).
- [۱۲] Azid, N. A. A., Shamsudin, S. N. A., Yusoff, M. S., and Samat, H. A., "Conceptual analysis and survey of total productive maintenance (TPM) and reliability centered maintenance (RCM) relationship", In *IOP Conference series: materials science and engineering*, IOP Publishing, Vol. ۵۳۰ No. ۱, P. ۰۱۲۰۵۰ (۲۰۱۹).
- [۱۳] Afefy, I. H., "Implementation of total productive maintenance and overall equipment effectiveness evaluation", *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, Vol. ۱۳ No. ۱, PP. ۶۹-۷۵ (۲۰۱۳).
- [۱۴] Nurprihatin, F., Angely, M., and Tannady, H., "Total productive maintenance policy to increase effectiveness and maintenance performance using overall equipment effectiveness", *J. Appl. Res. Ind. Eng.*, Vol. ۶ No. ۳, PP. ۱۸۴-۱۹۹ (۲۰۱۹).
- [۱۵] Moscoso, C., Fernandez, A., Viacava, G., and Raymundo, C., "Integral model of maintenance management based on TPM and RCM principles to increase machine availability in a manufacturing company", In *Human Interaction and Emerging Technologies: Proceedings of the 1st International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies*, Springer International Publishing, Nice, France, pp. ۸۷۸-۸۸۴ (۲۰۲۰).
- [۱۶] Fraser, K., Hvolby, H. H., and Tseng, T. L. B., "Maintenance management models: a study of the published literature to identify empirical evidence: A greater practical focus is needed", *International Journal of Quality & Reliability Management*, (۲۰۱۵).





The Study of a Total Productive Integrated Approach Based on Reliability in Maintenance Systems

Mahdi Khosronia ^{۱*}, Saeed Ramezani^۲

^۱- *PhD student, Faculty of Management and Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.*

^۲- *Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty and Research Institute of Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.*

Received: 2023/03/14 Accepted:2023/07/15

Abstract:

While the integration of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability-centered maintenance (RCM) is clearly a major issue in maintenance management. Unfortunately, limited attention has been paid to it in the literature. It lacks a structured approach to operational equipment. Therefore, this research uses the complementary nature of the two strategies to provide an integrated operational approach to increase equipment availability with the aim of designing and improving maintenance plans for a public system. It also includes specific operational worksheets, ranging from autonomous maintenance tasks to maintainability improvement measures and employee's education and training. This research is a mixed method of questionnaire and library and document analysis type. In order to analyze the findings, classification, reasoning and logical inference have been done. literature review and development of the proposed model proved that RCM if developed within the TPM framework improves better results, because it focuses on preventive maintenance. Also, both approaches with the same goals increase the quality, reliability, availability and performance of equipment by eliminating waste. This research gives companies the opportunity to reap the benefits of an operational framework that effectively integrates long-term maintenance methods, helping technicians and operators during their daily operations.

Key words: Total Productive Maintenance (TPM), Reliability- Centered Maintenance (RCM), Autonomous Maintenance, Preventive Maintenance.

* Corresponding Author mail: yourash74@gmail.com