

## Use Reliability Centered Maintenance on the Point Machine

Sahand Sebti<sup>1\*</sup>, AmirMasood Tirehkar<sup>2</sup>, Zahra Rajipour<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Manager of Maintenance and Repair Department of Itcen Consulting Engineer

<sup>2</sup> CEO of Itcen Consulting Engineers

<sup>3</sup> PMaintenance and repair expert of Itcen Consulting Engineers

Received:2020/06/09 Accepted:2020/08/01

### Abstract:

Point machine is one of the key equipments in the railway industry that the reliable performance of this electromechanical equipment plays a key role in increasing the level of performance safety and operational continuity. In this study, the method of reliability centered maintenance(RCM) was used to develop maintenance and repair programs for point machines.

Equipment manufacturers instructions or experiences of repair teams, regardless of the patterns and consequences of failure, or even the correct identification of the causes of failure, is often the basis for developing maintenance plans and preparing preventive repair checklists in urban train complexes. In this research, an attempt has been made to investigate and show the difference between maintenance programs in traditional methods, with structured and logical methods such as reliability centered maintenance techniques.

The results of this applied research show that the application of reliability centered maintenance analysis for point machine leads to increasing the effectiveness and efficiency of maintenance and repair activities, as well as reducing the cost and amount of repair activities.

In the present study, the field method (interviews with experts in operation, maintenance and repair of point machine in urban train complexes and review of operations and repair offices) has been used to collect relevant data. The technical managers of urban train complexes can use the results of this research to modify the contract of maintenance and repair contractors and to develop the use of reliability centered maintenance techniques at the level of urban train complexes.

**Key words: Reliability centered maintenance (RCM),cause of failure, preventive maintenance, hidden failure**

---

\* Corresponding author mail:s.sebti@itcen.ir

## بکارگیری آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در ماشین سوزن

سید سهیل سبئی<sup>۱\*</sup>، امیرمسعود تیره کار<sup>۲</sup>، زهرا راجی پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> مدیردپارتمان نگهداری و تعمیرات شرکت مهندسی مشاور ایتسن .

<sup>۲</sup> مدیرعامل شرکت مهندسی مشاور ایتسن.

<sup>۳</sup> کارشناس نگهداری و تعمیرات شرکت مهندسی مشاور ایتسن.

تاریخ دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۹/۰۵/۱۱

### چکیده:

ماشین سوزن یکی از تجهیزات کلیدی در صنایع ریلی است که عملکرد مطمئن و قابل اطمینان این تجهیز الکترومکانیکی نقشی اساسی در افزایش سطح ایمنی عملکرد و پیوستگی عملیاتی در این صنعت دارد. در این پژوهش از روش آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM<sup>۲</sup>) برای تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات ماشین سوزن استفاده شده است. دستورالعمل سازندگان تجهیز و یا تجربیات گروه‌های تعمیراتی، بدون در نظر گرفتن الگوها و پیامدهای خرابی اغلب مبنای تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات و تهیه چک لیستهای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در مجموعه‌های قطار شهری هستند. در این پژوهش تلاش شده وجه تمایز تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات به روش‌های سنتی، با روش‌های ساختاریافته و منطقی مانند تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان بررسی و نشان داده شود. نتایج این پژوهش کاربردی نشان می‌دهد، بکارگیری آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) برای ماشین سوزن منجر به افزایش میزان اثربخشی و کارآمدی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و همچنین کاهش هزینه‌ها و حجم فعالیت‌های تعمیراتی می‌شود.

در پژوهش حاضر، از روش میدانی (مصاحبه با خبرگان بهره‌بردار، نگهداری و تعمیرات ماشین سوزن در مجموعه‌های قطار شهری و بررسی دفاتر عملیات و تعمیرات) برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز استفاده شده است. مدیران فنی مجموعه‌های قطار شهری می‌توانند از نتایج این پژوهش برای اصلاح قراردادهای پیمانکاران نگهداری و تعمیرات و توسعه بکارگیری تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در سطح مجموعه‌های قطار شهری استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)، علت خرابی، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، خرابی پنهان.

\* ایمیل نویسنده مسئول [s.sebti@itcen.ir](mailto:s.sebti@itcen.ir)





## ۱- مقدمه

رشد روزافزون تقاضای خدمات و محصولات مختلف چه به لحاظ کمی و چه به لحاظ کیفی، جوامع بشری امروزی را بیش از پیش وابسته به تولیدات صنعتی، انرژی و خدمات ارزان، ایمن و بهنگام کرده است. در حالی که منابع در دسترس، هر روز محدودتر میگردند، پاسخ به این حجم از تقاضا بدون شک در گرو ارتقاء هر چه بیشتر سطح عملکردی صنایع و زیرساخت‌هایی است که استفاده بهینه و اقتصادی از منابع موجود را به صورت جدی در اولویت قرار داده است.

رقابتی‌تر شدن صنایع، افزایش انتظارات از صنایع در ارتقاء ایمنی کارکنان و مشتریان، رعایت الزامات زیست‌محیطی و همچنین تقاضای رو به رشد بازار، صاحبان صنایع را بر آن می‌دارد که با بهره‌گیری از روش‌های مدیریتی پیشرفته، کارآمد و اثربخش، هزینه‌های خود را به حداقل رسانده و با کاهش توقفات، کاهش حوادث با پیامدهای ایمنی و زیست محیطی و افزایش کیفیت خدمات و محصولات، توان رقابتی را در بازار حفظ نموده و یا ارتقاء دهند.

نگهداری و تعمیرات (نت) یکی از مهمترین شاخه‌های مدیریت دارایی‌های فیزیکی است که از اهمیتی راهبردی در افزایش توان رقابتی مجموعه‌های صنعتی برخوردار است. موارد زیر از جمله مشکلات و چالش‌های رایج در صنایع دنیا هستند که حل آن‌ها محتاج بهره‌گیری از دانشی نوین با رویکردی پیشرفته و مؤثر در زمینه نگهداری و تعمیرات است:

- توقفات متعدد در خطوط تولید
- مدیریت غیر اصولی نیروی انسانی، ابزار و قطعات یدکی مورد نیاز فعالیت‌های نت
- عدم بهره‌گیری از دستورالعملی استاندارد و جامع در انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات
- مدیریت نامناسب در تدوین برنامه نت استاندارد
- خرابی‌های مکرر با پیامدهای ایمنی و زیست محیطی
- غیره.

"نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان" یکی از قدرتمندترین رویکردها و تکنیکی کارآمد برای تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت دارایی‌های فیزیکی است. این روش، فرآیندی ساختاریافته، منطقی و نظام‌مند برای تعیین فعالیت‌های مورد نیاز جهت اطمینان از ادامه به کار دارایی‌های فیزیکی یک مجموعه، مطابق انتظار کاربران آن دارایی‌هاست [۱].

این ابزار که برای اولین بار در صنایع هوایی آمریکا با بهره‌گیری از برجسته‌ترین متخصصین نت و همچنین با صرف انرژی و هزینه زیادی توسعه یافت، طی مدت کوتاهی توانست میزان سقوط متاثر از نقص فنی هواپیماهای مسافربری را از حدود ۴۰ سقوط به کمتر از ۰٫۱ سقوط در یک میلیون پرواز کاهش دهد [۱].

بهره‌گیری مناسب از این روش با دستیابی سریع به بهبودی پایدار در زمینه‌های گوناگون همراه است. از جمله دستاوردهای مهم بکارگیری RCM است:

- افزایش دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان تجهیزات،
- بهبود وضعیت کیفی محصولات،
- کاهش سوانح با پیامدهای ایمنی و زیست‌محیطی و
- غیره.



از مهمترین خصوصیات روش RCM در تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات این است که اهمیت بیشتری برای پیامدهای خرابی نسبت به ویژگی‌های فنی آن قائل است. در این روش پرهیز و یا کاهش پیامدهای خرابی، و نه صرفاً جلوگیری از وقوع آن، دلیل اصلی انجام هر فعالیت نگهداری و تعمیراتی پیش‌اقدامی است. پیامدهای خرابی در این روش به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شوند [۱]:

- پیامدهای پنهان
- پیامدهای ایمنی و زیست محیطی
- پیامدهای عملیاتی
- پیامدهای غیر عملیاتی

این تقسیم‌بندی مبنای یک چارچوب راهبردی برای تصمیم‌گیری در خصوص فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در این روش است.

از سوی دیگر، ماشین سوزن یکی از تجهیزات کلیدی در صنایع ریلی است که عملکرد مطمئن و قابل اطمینان این تجهیز الکترومکانیکی، نقشی اساسی در افزایش سطح ایمنی عملکرد و پیوستگی عملیاتی در این صنعت دارد [۲]. دستورالعمل‌های سازندگان تجهیز و یا تجربیات گروه‌های تعمیراتی بدون در نظر گرفتن الگوها و پیامدهای خرابی و یا حتی شناسایی درست دلایل خرابی، اغلب مبنای تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات و تهیه چک لیستهای تعمیرات پیشگیرانه در مجموعه‌های قطار شهری هستند [۳]. در این پژوهش تلاش شده وجه تمایز تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات به روش‌های سنتی، با روش‌های ساختاریافته و منطقی مانند تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان بررسی و نشان داده شود.

بر طبق آمار ارائه شده توسط راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال‌های ۸۲ و ۸۳، ایستگاه تهران با ۳۱ مورد سانحه در ایستگاه‌های کشور دارای مقام اول است. ۹۰ درصد سوانح در ایستگاه تهران بر روی سوزن روی می‌دهد که ۲۵ درصد از موارد ناشی از خرابی سوزن بوده است. چنین آماری نشان دهنده اهمیت بهره‌گیری از روش‌های نوین نت در حفظ عملکرد صحیح و قابل قبول مجموعه سوزن و ماشین سوزن در صنایع ریلی می‌باشد [۴].

خط مشی صنعت ریلی جابجایی حداکثر مسافر و بار، بالا بردن ایمنی، افزایش میزان آماده‌به‌کاری ماشین‌آلات، کاهش تأخیر، افزایش سرعت، بهبود کیفیت خدمات و کاهش هزینه‌هاست. اجرای سیستم نت بر اساس این اهداف و سیاست‌های کلی، احتیاج به استراتژی متمرکزی دارد که RCM پاسخگوی آن است [۵].

خطوط و تأسیسات زیربنایی راه آهن نیز مانند سایر صنایع از ابتدای بهره‌برداری، نیاز به برنامه‌ریزی منظم برای نگهداری و تعمیرات داشته و لازم است رفتار اجزای مختلف خط، بطور پیوسته با روش‌ها و استانداردهای مربوطه، تحت کنترل و اندازه‌گیری دقیق باشد و به محض مشاهده نرخ خرابی غیرمعقول، تمهیدات لازم جهت کنترل رشد خرابی و حذف عوامل بروز آن و یا پیش‌بینی لازم جهت تعمیرات، بعمل آید. بطور کلی نگهداری شبکه و تعمیرات جاری و دوره‌ای، تأثیر بسزایی در افزایش سهم حمل و نقل ریلی، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش ایمنی سیر و حرکت دارد [۶].

از جمله سوابق پژوهشی و نتایج بکارگیری نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در صنایع مختلف می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

محمد شنگی قهی و همکاران در سال ۹۸ در مقاله "استفاده از روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان به منظور ارتقاء قابلیت اطمینان واحدهای خدماتی-مطالعه موردی در موتور لکوموتیو GM-۸۲۰" برای مشخص کردن





سیستم بحرانی در تجهیز، پرسشنامه‌ای تدوین کرده و فعالیت‌های مربوط به موتور لکوموتیو را با استفاده از رابطه نمره اولویت خطرپذیری برای تمام قسمت‌های موتور، مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سیستم روانکاری، بالاترین اولویت خطرپذیری را در موتور داشته و در نتیجه این سیستم در موتور لکوموتیو، بحرانی است. سپس با کمک فرآیند نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، عملکردها، خرابی‌های عملکردی، حالات خرابی، اثرات خرابی و پیامدهای خرابی این سیستم، تعیین و براساس اطلاعات بدست آمده نسبت به برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات در موتور لکوموتیو اقدام شده است [۷].

سید احمد رضوی آل هاشم و سعید رضانی در سال ۹۷ به بررسی ابعاد اقتصادی، امنیتی و زیست محیطی بکارگیری تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در تدوین برنامه‌های نگهداشت ساختمان و تأسیسات در یک بیمارستان پرداخته‌اند [۸].

سیدرحمان عبدالله پور و تبیل وایلی در پژوهشی میدانی اصول و شیوه‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان را در صنایع تولیدی مورد بررسی قرار داده‌اند [۹].

قاسم فرج پورخانپشتانی و نسیم زال زر، به بررسی خرابی‌های مدار تراک به عنوان یکی از تجهیزات کلیدی ارتباطات و علائم الکتریکی راه آهن با مدل پارتو و استخوان ماهی و با هدف تدوین برنامه‌های نت مبتنی بر قابلیت اطمینان پرداخته‌اند [۱۰].

حسین غضنفری و حسین محمدی شاخص‌های فنی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان مانند میانگین مدت زمان تعمیر، میانگین مدت زمان کارکرد تا خرابی و آماده به کاری عملیاتی در صنایع مختلف مانند پرسکاری را به منظور پایش وضعیت برنامه‌های نگهداری و تعمیرات تجزیه و تحلیل نموده‌اند [۱۱].

آقای اسماعیل حق جو به همراه سایر همکاران در پژوهشی که نتایج آن در مقاله "بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) برای تجهیزات فلر واحد ۱۴۰ فاز ۱۵ - ۱۶ عسلویه" منتشر شده است، تجهیزات فلر را به تفکیک، شناسایی و نسبت به تدوین برنامه نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای آن‌ها اقدام کرده‌اند [۱۲].

در مقاله "روش شناسی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان: مطالعه موردی حوزه انتقال برق شهر تهران" خانم زینب باقرنی و همکاران از طریق پرسشنامه که دارای روایی و پایایی مناسب است، میزان اثربخشی اجرای نت پیشگیرانه را تعیین و به راهکارهای بهبود شاخص‌های نت پرداخته‌اند. به منظور اجرای مطالعه موردی ابتدا الگوی توسعه داده شده‌ای بر اساس عوامل گوناگون حاکم، تعیین گردیده و سپس الگوی مربوطه به عنوان روش پیشنهادی اجرای نت مبتنی بر قابلیت اطمینان به کار گرفته شده است. به این منظور به تعیین شاخص‌هایی جهت تعیین تجهیزات بحرانی پرداخته شده و مطابق با الگوی توسعه داده شده کاربرگ اطلاعات و سپس کاربرگ تصمیم‌گیری نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان تکمیل شده و مطابق با آن به تعیین فعالیت‌های اثربخش نت، بازه زمانی اجرا و مجری اقدام شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که میزان آمادگی شرکت برق برای اجرای نت مبتنی بر قابلیت اطمینان و اثربخشی اجرای نت پیشگیرانه، مورد تردید است، لذا ضمن تعیین شاخص‌های اثربخشی نت، برنامه‌های بهبود جدیدی جهت ارتقای این شاخص‌ها تعیین گردید [۱۳].

در پژوهشی که توسط چنگیز والمحمدی و همکاران با هدف انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات با توجه به تأثیرگذاری نوع استراتژی بر بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری در یک شرکت تأمین کننده تجهیزات و ماشین‌آلات حوزه نفت و گاز صورت گرفته است، نشان داده می‌شود که استراتژی نت ترکیبی موجب بهبود شاخص‌های



ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری و افزایش بهره‌وری ماشین‌آلات و تجهیزات می‌شود [۱۴].

محمدباقر فخرزاد و همکاران در پژوهشی در خصوص مسئله "زمان‌بندی در محیط جریان کارگاهی با خطوط تولید موازی" به ارائه مدلی جهت بهره‌گیری بهینه از نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان با هدف کاهش هزینه‌های نت پرداخته‌اند [۱۵].

در مقاله "بکارگیری RCM در بهبود کارایی کابل‌های آبگرد کوره‌های قوس الکتریکی شرکت فولاد خوزستان"، نمونه‌ای از نتایج بکارگیری تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در صنعت فولاد ارائه گردیده است [۱۶].

صفر شاسفند و همکاران در سال ۱۳۹۵ با بهره‌گیری از تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان به مطالعه موردی توربین گازی در پتروشیمی تبریز پرداخته‌اند. نتایج کار ایشان حاکی از افزایش اثربخشی هزینه‌ها، قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و کنترل ریسک بهتر تجهیز پس از انجام آنالیز است [۱۷].

در پژوهش محمد حمید رنگانی و محمدرضا عسکری فر در خصوص "نگهداری و تعمیرات شبکه‌های توزیع برق مبتنی بر قابلیت اطمینان" به نقش تکنیک‌های پایش وضعیت مانند ترموگرافی و کروناگرافی در شناسایی عیوب قبل از وقوع حوادث و بروز خاموشی در صنعت برق اشاره شده است [۱۸]. همچنین به طور مشابه، سیدجواد هاشمی و همکاران در پژوهشی دیگر به "نقش مکمل تکنیک نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان RCM و تکنیک‌های پایش وضعیت (CM) مانند آنالیز ارتعاش سنجی" در تشخیص عیوب تجهیزات دوار در صنایع مختلف پرداخته شده است [۱۹].

محمدعلی حاج عباسی و افسانه امینایی در مقاله "نقش مدل‌سازی و آنالیز کمی در عیب‌یابی RCA و پایش وضعیت CM برخی تجهیزات خط تولید مجتمع مس سرچشمه"، موضوع استفاده از تکنیک نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات پیچیده صنعت مس را مورد بررسی قرار داده‌اند [۲۰]. نسرين باقري و زينب محمدی زاده نیز در مقاله "بهره‌گیری از CMMS برای پشتیبانی از RCM" نقش ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل درست داده‌های قابلیت اطمینان در سیستم‌های مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات را تحلیل کرده‌اند [۲۱].

کاظم حکمت و همکاران در سال ۸۹ به بررسی اهمیت و آثار نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در حفظ و ارتقاء سطح قابلیت اطمینان، دسترس‌پذیری، تعمیرپذیری و ایمنی تجهیزات پرداخته‌اند [۲۲].

حسن احمدی عقیده‌مند و همکاران الگویی جهت ارزیابی و استقرار RCM در سازمان‌های مختلف ارائه داده‌اند [۲۳]. همچنین فرزاد یوسفی نیازی و یداله ولیزاده پاشا با شناسایی خطاهای تصمیم‌گیری در نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، راهکارهایی جهت استفاده از این تکنیک در پلنت‌های تولید انرژی پیشنهاد نموده‌اند [۲۴].

علی شعاعی و رضا دشتی [۲۵]، مهدی بهاری و همکاران [۲۶] و الهه واعظی زاده و همکاران [۲۷] نیز مطالعات موردی مختلفی در خصوص بکارگیری تکنیک‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در صنعت توزیع برق داشته‌اند.

## ۲-اهداف تحقیق

- الف) بررسی امکان بهبود قابلیت اطمینان تجهیزات در صنایع ریلی با استفاده از آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان؛  
ب) بهینه‌سازی محتوای چک لیست‌های نت پیشگیرانه (PM).

## ۳-روش تحقیق

- الف) بازدید میدانی از تجهیزات و شرایط عملیاتی صنایع ریلی و بررسی جایگاه عملکردی ماشین سوزن در این صنعت؛





ب) مصاحبه با کارشناسان خبره شامل گروه‌های تعمیراتی، مهندسی و بهره برداری ماشین سوزن در صنایع ریلی؛

پ) بهره‌گیری از روش‌های تجربی و محک زنی؛

ت) اطلاعات ثبت شده در صنایع ریلی مورد بررسی به عنوان جامعه آماری شامل مواردی چون:

۱- تعداد خرابی (بدون بعد)

۲- متوسط زمان تعمیر (ساعت)

۳- متوسط خسارت وارده (ریال)

#### ۴- معرفی روش آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان

فضای صنعتی کنونی دستخوش تغییراتی سریعتر از گذشته بوده و با شتابی روزافزون در حال پیشرفت است. حفظ توان رقابتی در این فضا، نیاز به واکنش سریع و مناسب در برابر تغییرات و بهره‌گیری از مدل‌های بهبود مستمر و مهندسی قابلیت اطمینان دارد. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات در صنایع بزرگ معمولاً از جمله اصلی‌ترین مراکز هزینه‌ای مرتبط با راهبری به شمار می‌آیند. از طرف دیگر، هزینه‌های مربوط به توقفات تولید یا ارائه خدمات، ناشی از خرابی تجهیزات اصلی و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم مربوط به خرابی‌هایی با پیامدهای ایمنی و زیست‌محیطی نیز از دیگر هزینه‌های قابل توجه در چنین مجموعه‌هایی هستند. کاهش چنین هزینه‌هایی می‌تواند ضمن افزایش سودآوری مجموعه و کسب و کار، موجب افزایش توان رقابتی در آن‌ها شده و گهگاه برخی از این مجموعه‌ها را از تعطیلی و ورشکستگی نجات دهد.

با توجه به اینکه بخش بزرگی از عملکرد مطلوب مجموعه "صنایع ریلی" وابسته به عملکرد مناسب و صحیح دارایی‌ها و تجهیزات فیزیکی این صنعت است، این مجموعه در شمار مجموعه‌های "تجهیزمحور" قرار گرفته و ارتقاء و حفظ سطح کیفی نگهداری و تعمیرات تجهیزات یکی از مهمترین الزامات این مجموعه محسوب می‌شود. صنایع ریلی به صورت روزمره مسئولیت جابجایی طیف وسیعی از مسافران شهری و بین شهری را بر عهده دارند؛ بنابراین، ارتقاء سطح قابلیت اطمینان تجهیزات مجموعه و به حداقل رساندن حوادث با پیامدهای ایمنی با بهره‌گیری گسترده از آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)، به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین و به‌روزترین روش‌های تدوین برنامه‌های نگهداری و تعمیرات، برای چنین صنایعی بسیار راهگشا خواهد بود.

مهم‌ترین اهداف و نتایج مورد انتظار از پیاده سازی RCM را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- افزایش قابلیت دسترس پذیری تجهیزات؛
- کاهش هزینه های نت، هزینه‌های عملیاتی و خرابی دستگاه‌ها؛
- کاهش چشمگیر در وقوع حوادث با پیامدهای ایمنی و زیست محیطی؛
- افزایش طول عمر تجهیزات؛
- کاهش قابل توجه فعالیت های اضطراری سازمان؛
- ایجاد فرهنگ همکاری در بین همه گروه ها و همچنین بهبود فضای برنامه ریزی و عملکردی پیش اقدام؛
- اثربخشی بیشتر فعالیت‌های نت؛
- ایجاد یک پایگاه جامع اطلاعاتی نت در مجموعه.



ساختار اصلی RCM مبتنی بر پاسخ به هفت پرسش کلیدی است. پاسخ به این هفت پرسش در واقع گام‌های اجرای RCM هستند. این هفت پرسش عبارتند از:

- (۱) کارکردها و استانداردهای عملکرد مربوطه تجهیز در شرایط عملیاتی موجود چیست؟
- (۲) به چه صورتی ممکن است تجهیز در انجام کارکردهایش ناتوان بشود؟ (خرابی کارکردی)
- (۳) چه چیزی باعث وقوع هر یک از خرابی‌های کارکردی می‌شود؟ (حالت (دلیل) خرابی)
- (۴) در زمان رخداد هر خرابی چه اتفاقاتی روی می‌دهند؟ (اثرات خرابی)
- (۵) اهمیت هر خرابی در ابعاد مختلف آن چگونه است؟ (پیامدهای خرابی)
- (۶) برای پیش‌بینی یا پیشگیری از هر یک از حالت‌های خرابی چه کاری می‌توان انجام داد؟ (فعالیت پیش‌اقدام)
- (۷) اگر نتوان از خرابی پیشگیری نمود، چه کاری می‌توان انجام داد؟

پرسش اول مشخص می‌نماید که در شرایط عملیاتی موجود، کاربران انتظار انجام چه کاری از تجهیز دارند و آیا تجهیز توانایی انجام خواسته‌های مورد نظر کاربران را دارد یا ندارد.

در پرسش دوم و سوم انواع خرابی‌های ممکن شناسایی می‌شود. که در فرآیند RCM این کار طی دو مرحله انجام می‌شود: مرحله اول: شناخت وضعیت خرابی یک تجهیز؛

مرحله دوم: شناخت حالات و دلایل مربوط به هر خرابی؛

با پاسخ به سوالات چهارم و پنجم، اثرات و پیامدهای هر خرابی مشخص و تعیین خواهد شد.

در پرسش ششم و هفتم پیامدهای خرابی به چهار دسته با عناوین پیامدهای ایمنی و زیست محیطی، پیامدهای عملیاتی، پیامدهای غیرعملیاتی و پیامدهای پنهان تقسیم‌بندی می‌شود. این تقسیم‌بندی مبنای یک چارچوب استراتژیک برای تصمیم‌گیری در خصوص فعالیت‌های نت در این روش است.

تمرکز فرآیند RCM متوجه آن دسته از فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات است که بیشترین تاثیر را بر عملکرد سازمان دارد. تکنیک‌های مدیریت خرابی در این روش به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

(الف) فعالیت‌های پیش‌اقدام شامل بازسازی زمان‌بندی شده، از رده خارج کردن زمان‌بندی شده و نت اقتضایی؛

(ب) اقدامات پیش فرض شامل جستجوی خرابی، بازطراحی و کارکرد تا خرابی.

که هر یک متناسب با ویژگی‌های هر خرابی و مسائل فنی مربوطه برای مدیریت خرابی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان تلفیقی از انواع راهبردها و سیاست‌های مختلف نگهداری و تعمیرات مانند نت پیشگیرانه و پیشگویانه، جستجوی خرابی و ... است که قابلیت اطمینان و میزان آماده‌بکاری مورد انتظار از تجهیز را با کمترین هزینه ممکن می‌سازد. هدف اصلی RCM انتخاب بهینه‌ترین روش مدیریت خرابی از نظر فنی و اقتصادی و دستیابی به وظایف مورد انتظار از یک تجهیز است [۱۰]. با توجه به اینکه هدف RCM کاهش هزینه‌ها و افزایش دسترس‌پذیری تجهیزات است، با تربیت متخصصان در این حوزه می‌توان پروژه‌های RCM را به صنایع مختلف گسترش داد و از روش‌های سنتی و قدیمی نگهداری و تعمیرات که دربردارنده هزینه‌های اضافی و اطمینان اندک است دوری جست [۲۸]. نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)، روشی است که قابلیت اطمینان را با حداقل هزینه افزایش می‌دهد [۲۱].







## ۵- نتایج حاصل از پیاده سازی آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین سوزن

به جهت پیاده‌سازی آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین سوزن، یکی از مجموعه‌های قطار شهری در سطح کشور انتخاب و طی بازدیدهای به عمل آمده از تجربه، دانش و اطلاعات خبرگان مجموعه در واحدهای نگهداری و تعمیرات، مهندسی و بهره‌بردار در سطح کارفرما و پیمانکار و اطلاعات و سوابق ثبت شده خرابی سوزن‌ها در دفاتر بهره‌برداری و تعمیرات بهره گرفته شد.

در ادامه، نمونه‌ای از پاسخ‌های مرتبط با هفت پرسش اصلی در فرآیند اجرای آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان ماشین سوزن و سپس نتایج حاصل از پیاده‌سازی آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین سوزن در مجموعه قطار شهری مورد بررسی در چهار بخش به شرح زیر آورده شده است:

۵-۱- نمونه‌ای از پاسخ‌های مرتبط با هفت پرسش اصلی در فرآیند اجرای آنالیز نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان ماشین سوزن

(۱) کارکردها و استانداردهای عملکرد مربوطه تجهیز در شرایط عملیاتی موجود چیست؟

- توانایی تغییر وضعیت مسیر به صورت کامل با فرمان "مرکز فرمان"
- توانایی نمایش وضعیت مسیر به مرکز فرمان
- توانایی قفل کردن وضعیت نهایی سوزن

(۲) به چه صورتی ممکن است تجهیز در انجام کارکردهایش ناتوان بشود؟ (خرابی کارکردی)

- عدم توانایی کلی در تغییر وضعیت مسیر
- عدم توانایی تغییر وضعیت مسیر به صورت کامل
- عدم توانایی نمایش وضعیت مسیر به صورت کلی
- عدم توانایی نمایش وضعیت مسیر به صورت صحیح
- عدم قفل کردن وضعیت نهایی سوزن

(۳) چه چیزی باعث وقوع هر یک از خرابی‌های کارکردی می‌شود؟ (حالت (دلیل) خرابی)

- سست شدن طبیعی اتصالات میله‌های محرک
- فرسایش طبیعی روغن
- عدم روانکاری

• سولفات‌شدن سر سیم اتصال جعبه ترمینال

(۴) در زمان رخداد هر خرابی چه اتفاقاتی روی می‌دهند؟ (اثرات خرابی)

(۵) اهمیت هر خرابی در ابعاد مختلف آن چگونه است؟ (پیامدهای خرابی)

کارکرد: توانایی تغییر وضعیت مسیر به صورت کامل با فرمان "مرکز فرمان"

شکست کارکردی: عدم توانایی کلی در تغییر وضعیت مسیر



حالت خرابی: سولفاته شدن سر سیم اتصال جعبه ترمینال

اثرات و پیامدهای خرابی مرتبط با علت خرابی:

"به مرور زمان و بعد از گذشت حداقل سه سال، اتصال سر سیم به دلیل وجود رطوبت و جریان، سولفاته شده و باعث قطع جریان سیگنالینگ به ماشین سوزن می‌شود. مرکز فرمان به صورت خودکار متوجه خرابی می‌شود (هر نوع اختلالی در مدار کنترل ۲۴ ولت مجموعه توسط مرکز فرمان احساس شده و سیستم به صورت خودکار فالت نشان می‌دهد)

در این حالت مرکز فرمان با تماس با نفر مستقر در ایستگاه از وی می‌خواهد موضوع را بررسی کند و گروه‌های تعمیراتی اقدام به رفع نقص نمایند. تا سه سال بعد از نصب ماشین سوزن هیچ ماشین سوزی دچار این خرابی نمی‌شود.

متصور است بعد از ۱۲ سال همه ماشین سوزن‌ها دچار این خرابی می‌شوند. (این خرابی در حال حاضر سالی دو مورد روی می‌دهد)

طی دو شب یک گروه تعمیرات سوزن می‌تواند سر سیم اتصال جعبه ترمینال، ۲۴ سوزن مستقر در خط را تعویض یا تعمیر نماید. این گروه شامل دو نفر نیرو و یک ماشین است که هزینه ای حدود ۳۰۰ هزار تومان روزانه دارند.

(۶) برای پیش‌بینی یا پیشگیری از هر یک از حالت‌های خرابی چه کاری می‌توان انجام داد؟ (فعالیت پیش‌اقدام)

(۷) اگر نتوان از خرابی پیشگیری نمود، چه کاری می‌توان انجام داد؟

حالت خرابی: سولفاته شدن سر سیم اتصال جعبه ترمینال

راهکار پیشنهادی: "نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه: تعویض یا سمباده زدن سر سیم هر سه سال یکبار - این فعالیت تنها با توجه دیگر وظایف تعمیراتی تعریف شده در مجموعه از توجیه‌پذیری اقتصادی برخوردار است"

۲-۵- افزایش کارآمدی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات

از جمله نتایج آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان ماشین سوزن، که طی جلسات آنالیز و طوفان فکری و همچنین از طریق بررسی سوابق خرابی ماشین سوزن حاصل گردید، برنامه‌های جدید نت پیش‌اقدام ماشین سوزن (نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه PM و نت پیشگویانه (PDM) است که آیت‌های این برنامه در قیاس با آیت‌های برنامه نت پیشین از کارآمدی بیشتری برخوردارند. نمونه‌ای از اینگونه آیت‌ها در جدول شماره (۱) آورده شده‌اند.

جدول (۱): نمونه‌ای از افزایش میزان کارآمدی برنامه نگهداری و تعمیرات جدید در مجموعه در قیاس با برنامه پیشین

ردیف	فعالیت	بازه زمانی جدید	تعداد خرابی در برنامه جدید	بازه زمانی پیشین	تعداد خرابی در برنامه پیشین
۱	انجام روانکاری و تمیزکاری ماشین سوزن	هر هفته برای خطوط رو باز هر دو هفته برای خط تونل	صفر	هفته ای دو بار و یا روزانه	صفر
۲	تمیزکاری پشت تیغه‌های سوزن	سه ماه یک بار	صفر	ماهانه	صفر
۳	فعالیت پیشگیرانه بازدید فنی، اندازه گیری قسمت‌های مختلف ماشین سوزن	جایگزین با چک کارکردی ماهیانه که بسیار ساده‌تر و ارزان‌تر است	تغییری نمی‌کند	ماهانه	تغییری نمی‌کند





### ۳-۵- کاهش خرابی تجهیزات و افزایش میزان اثربخشی برنامه نت پیش اقدام

کارگروه آنالیز نت مبتنی بر قابلیت ماشین سوزن طی جلسات آنالیز و طوفان فکری و همچنین بررسی سوابق خرابی ماشین سوزن، اقدام به شناسایی عللی از خرابی ماشین سوزن نمود که بیشتر در برنامه نگهداری و تعمیرات مجموعه به صورت پیش اقدام (نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه PM و پیشگویانه (PDM) مدیریت نمی شدند و برای جلوگیری از وقوع آن‌ها اقدامات فنی مناسب که از توجیه پذیری اقتصادی نیز بهره مند باشند تعریف نشده بود [۳]. نمونه از خرابی‌های ماشین سوزن که در برنامه نت پیشین در مجموعه به صورت پیش اقدام مدیریت نمی شدند در جدول شماره ۲ آورده شده است. جدول (۲): نمونه از خرابی‌های ماشین سوزن که در برنامه نت پیشین در مجموعه به صورت پیش اقدام مدیریت نمی شدند

ردیف	فعالیت	علت خرابی	در برنامه نت جدید	در برنامه نت پیشین
۱	تعویض یا بازبایی سیلیکا ژل نصب شده هر دو سال یکبار	رطوبت و پایان عمر سیلیکا ژل	به وسیله اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه از وقوع خرابی پیشگیری می شود.	پس از خرابی گروه تعمیرات می بایست اقدام به تعمیر خرابی کنند و هزینه تعمیر چند برابر هزینه پیشگیری است
۲	تعویض یا سمباده زدن سر سیم هر سه سال یکبار	سولفاته شدن سر سیم اتصال جعبه ترمینال	به وسیله اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه از وقوع خرابی پیشگیری می شود.	پس از خرابی گروه تعمیرات می بایست اقدام به تعمیر خرابی کنند و هزینه تعمیر چند برابر هزینه پیشگیری است
۳	آچار کشی هر ۵ سال یکبار	سست شدن طبیعی اتصالات میله‌های محرک	به وسیله اعمال نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه از وقوع خرابی پیشگیری می شود.	تا به حال اتفاق نیافته اما وقوع آن محتمل است و می تواند پیامدهای ایمنی جدی برای مسافری داشته باشد

### ۴-۵- کاهش حجم و هزینه‌های فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات

از جمله نتایج آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان ماشین سوزن که طی جلسات آنالیز و طوفان فکری و همچنین از طریق بررسی سوابق خرابی ماشین سوزن حاصل گردید، برنامه‌های جدید نت پیش اقدام ماشین سوزن بود که برخی از آیت‌های این برنامه جدید به لحاظ حجم تکرار و هزینه اجرا، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای با برنامه نت پیشین داشت. نمونه‌ای از این آیت‌ها در جدول شماره (۳) آورده شده‌اند. این در حالی است که برنامه جدید ضمن کاهش مؤثرتر پیامدهای مستقیم خرابی، از فرسایش بیش از حد تجهیز که می تواند ناشی از انجام بیش از حد فعالیت نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه باشد، جلوگیری می کند.

جدول (۳): نمونه ای از کاهش حجم و هزینه‌های فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در برنامه جدید نسبت به برنامه پیشین

ردیف	فعالیت	قیمت واحد	تعداد تکرار در برنامه جدید	تعداد تکرار در برنامه پیشین	حداکثر هزینه در برنامه جدید (سالانه)	حداقل هزینه در برنامه پیشین (سالانه)
۱	انجام روانکاری و تمیزکاری ماشین سوزن	۳۶۰۰ تومان	کمتر از ۶ هزار بار در سال هفتگی یا دوهفتگی	بیش از ۱۲ هزار بار در سال هفته ای دو بار یا روزانه	۲۰ میلیون تومان	۴۵ میلیون تومان
۲	فعالیت پیشگیرانه بازدید فنی، اندازه گیری قسمت‌های مختلف سوزن و ماشین سوزن	۳۷۷۰۰ تومان	با چک کارکردی پوشش داده می شود	ماهانه	کمتر از ۴۰ میلیون تومان	۸۷ میلیون تومان



ردیف	فعالیت	قیمت واحد	تعداد تکرار در برنامه جدید	تعداد تکرار در برنامه پیشین	حداکثر هزینه در برنامه جدید (سالانه)	حداقل هزینه در برنامه پیشین (سالانه)
۳	چک کارکردی ماشین سوزن توسط مرکز فرمان	عملا در قیاس با برنامه قبل صفر	ماهانه	---	با فرض ۱۰۰ ماشین سوزن سالانه به صورت نظری حداکثر برابر با ۲۴ میلیون تومان	توسط مرکز فرمان هر هفته انجام می‌شد (عملا بیش از ۸۰ میلیون تومان)

### ۶- نتیجه گیری

بعد از انجام آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان برای ماشین سوزن به عنوان یکی از تجهیزات کلیدی در صنایع ریلی، برنامه جامع و جدید نگهداری و تعمیرات برای این تجهیز تدوین گردید که منجر به افزایش میزان اثربخشی فعالیت‌های نت و شفاف‌سازی برنامه‌ها، کارآمدی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، پوشش گسترده‌تر علل خرابی، بستر سازی جهت اصلاح قراردادهای برون‌سپاری نت، افزایش طول عمر ماشین سوزن، دسته‌بندی استاندارد حالات و علل خرابی و همچنین کاهش هزینه‌ها و حجم فعالیت‌های تعمیراتی گردید.

در این پژوهش تلاش شد وجه تمایز تدوین برنامه‌های نت به روش‌های سنتی، با روش‌های ساختاریافته و منطقی مانند تکنیک نت مبتنی بر قابلیت اطمینان بررسی و نشان داده شود. بکارگیری نت مبتنی بر قابلیت اطمینان برای تجهیزاتی مانند ماشین سوزن که در حالت عادی در عملیات نبوده و به صورت موردی و بسته به نیاز، استفاده می‌شود و خرابی‌های آن به طور معمول پنهان است، توانمندی تکنیک‌های نوین تدوین برنامه‌های نت را در قیاس با روش‌های سنتی رایج آشکار می‌سازد.

بر اساس نتایج حاصل دو پیشنهاد زیر به مجموعه ریلی مورد بررسی نیز ارائه گردید:

- الف) توسعه بکارگیری آنالیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان برای دیگر تجهیزات به صورت گسترده  
ب) اصلاح قراردادهای برون‌سپاری نت بر اساس نتایج آنالیزهای نت مبتنی بر قابلیت اطمینان

### ۷- منابع:

- [۱] جان موبری، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، علی زواشکیانی و رضا آزادگان، چاپ سوم تابستان ۱۳۹۵، تهران، آریانا قلم، ۱۳۹۵.
- [۲] نجمه بلبل امیری و احمد میرآبادی، ۱۳۹۲، بررسی رویکردهای مختلف تشخیص و شناسایی خطای ماشین سوزن قطار زمانی، با توجه به طبقه بندی خطاهای سیستم سوزن، سومین کنفرانس بین‌المللی پیشرفتهای اخیر در مهندسی راه آهن، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۳] تحقیقات میدانی در خصوص خرابی‌های ماشین سوزن در سطح شرکت‌های قطار شهری کشور.
- [۴] خدیجه زراعی و احمد میرآبادی، ۱۳۸۸، مروری بر روش‌های شناسایی و تشخیص خرابی در صنعت ریلی و کاربرد FTA در تشخیص خرابی سیستم ماشین سوزن، اولین کنفرانس ملی تصادفات و سوانح جاده ای و ریلی، زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.





- [۵] علیرضا نوری، ۱۳۸۳، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، هفتمین همایش حمل و نقل ریلی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.
- [۶] سید مسعود نصر آزادانی، ۱۳۸۴، بررسی نقش نگهداری و تعمیرات خطوط بر راندمان صنعت حمل و نقل ریلی، کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۷] محمد شنگی قهی، امین اوحدی اصفهانی و روزبه قوسی و اصغر نصر، ۱۳۹۸، استفاده از روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان به منظور ارتقاء قابلیت اطمینان واحدهای خدماتی - مطالعه موردی در موتور لکوموتیو GM-۸۲۰، ششمین کنفرانس بین المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی راه آهن، تهران، دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۸] سید احمد رضوی آل هاشم و سعید رضانی، ۱۳۹۷، ارزیابی الگویی به منظور تدوین برنامه نگهداشت ساختمان با استفاده از رویکرد نگهداشت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)، دوازدهمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران، انجمن نگهداری و تعمیرات ایران.
- [۹] سیدرحمان عبدالله پور و تبیل وایلی، ۱۳۹۸، اصول و شیوه‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان در صنایع تولیدی - نفت و پتروشیمی، دومین کنفرانس ملی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی و علوم نوین، تهران، پژوهشگاه فرهنگ و هنر
- [۱۰] قاسم فرج پور خاناپشتانی و نسیم زال زر، ۱۳۹۴، تحلیل خرابی‌ها در سیستم نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، کنفرانس بین المللی مدیریت، اقتصاد و علوم انسانی، ترکیه - استانبول، شرکت مدیران ایده پردازان پایتخت
- [۱۱] حسین غضنفری و حسین محمدی، ۱۳۹۷، اولویت بندی شاخص‌های فنی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان با استفاده از تکنیک SAWARA به منظور پایش وضعیت برنامه‌های نگهداری و تعمیرات، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۱۲] اسماعیل حق جو، حامد کدیور، مهدی منفرد و عبدالعظیم امیدواری، ۱۳۹۷، بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) برای تجهیزات فلر واحد ۱۴۰ فاز ۱۵-۱۶ عسلویه، اولین همایش سراسری علم و فناوری هزاره سوم اقتصاد، مدیریت و حسابداری ایران، تهران، موسسه برگزار کننده همایش‌های توسعه محور دانش و فناوری سام ایرانیان.
- [۱۳] زینب باقرکنی، علی جهان و محمدعلی شریعت، ۱۳۹۵، روش شناسی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان: مطالعه موردی حوزه انتقال برق شهر تهران، کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت پایدار، اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لنجان.
- [۱۴] چنگیز والمحمدی، جواد صوفی آبادی و فخرالدین لطف زاده، ۱۳۹۶، انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات به منظور بهبود شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری، علمی - پژوهشی (وزارت علوم)/ISC
- [۱۵] محمدباقر فخرزاد، سبا جوان پور و فریبا گودرزیان، ۱۳۹۸، ارائه مسئله زمان‌بندی در محیط جریان کارگاهی با خطوط تولید موازی با در نظر گرفتن نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان، دوازدهمین کنفرانس بین المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، بابلسر، دانشگاه علوم و فنون مازندران.
- [۱۶] حمید کمالی، نورالدین ولی‌اللهی، مهران آمیغ و بهنام شفیعی، ۱۳۸۷، بکارگیری RCM در بهبود کارایی کابل‌های