

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی



دانشگاه صنعتی شریف



هفتمین همایش حمل و نقل ریلی  
۹ و ۱۰ اردیبهشت ماه ۱۳۸۲ - دانشگاه صنعتی شریف



انجمن مهندسی حمل و نقل  
ریلی ایران

## نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان

علیرضا نوری

کارشناس ارشد مکانیک طراحی کاربردی

اداره کل تعمیرات و نگهداری شرکت قطارهای مسافری رجاء

تلفن ۴۸۱۸۱۹۱ و ۵۱۲۴۵۵۹ - ۰۲۱ شماره ۵۱۲۴۶۱۱ - ۰۲۱ ، Noori\_ar@Yahoo.Com

### چکیده

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) فرآیندی است که نیازهای نگهداری و تعمیرات تجهیزات و ماشین آلات را در شرایط کاری تعیین می‌کند تا هر یک از این تجهیزات به بهترین نحو وظایف اصلی خود را انجام دهند. بدون وجود RCM قابلیت اطمینان نت و بهره برداری کاهش پیدا می‌کند. این فرآیند با شناسایی ماشین‌آلات بحرانی، تجزیه و تحلیل عوامل موثر در قابلیت اطمینان، تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA) و تجزیه و تحلیل اثرات خرابی یک ماشین بر کل کارخانه، انجام می‌گیرد. RCM بیشترین تاثیر نت را برای ماشین‌آلات بر مبنای ایمنی، قابلیت دسترسی و بهینه کردن هزینه‌ها ایجاد می‌کند. Condition Monitoring نقش اساسی و مهم در این فرآیند و استراتژی بهبود دارد. در این مقاله تاریخچه، اجزاء، بخشها، طرز بکارگیری و روش اجراء، موانع اصلی و مزایای روش RCM مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**کلید واژه‌ها:** نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)، مراقبت وضعیت (CM)، نگهداری و تعمیرات (نت)، نت پیشگیرانه (PM)، نت پیش‌نگر (PdM)، نت پیش‌گستر (PaM)، تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA)

### ۱- مقدمه

استراتژی فعلی دنیای پیشرفته صنعتی بر پایه تولید و نت با عیوب صفر (Zero Defects)، از کارافتادگی صفر (Zero Breakdowns) و حوادث صفر (Zero Accidents) می‌باشد. برای رسیدن به این اهداف، دو استراتژی عمده نت وجود دارد. یکی از این روشها، بکارگیری استراتژی نت بهره‌ور فراگیر (TPM) می‌باشد. برای رسیدن به هدف مذکور از استراتژی RCM استفاده می‌شود.

اکثر کارخانجات تولیدی و خدماتی خط مشی و سیاست کلی خود را هر ساله تدوین و ارائه می‌نمایند، ولی عموماً برنامه خاص نت در راستای آن سیاستها، ارائه و به مورد اجراء نمی‌گذارند و کمتر به آن توجه

می نمایند. استراتژی RCM نتایج و دستاوردهای مختلفی بدنبال خود دارد که با اجراء ودستیابی به نتایج آن می توان در راستای اهداف و سیاست های کلی شرکت، حرکت نمود.

خط مشی و سیاست کلی در صنعت ریلی جابجایی حداکثر مسافر و بار، بالا بردن ایمنی، افزایش قابلیت دسترسی و آماده بکار ماشین آلات، کاهش تاخیرات، افزایش سرعت، بهبود کیفیت خدمات و کاهش هزینه ها می باشد. اجرای سیستم نت بر اساس این اهداف و سیاست کلی، احتیاج به استراتژی متمرکزی دارد که RCM پاسخگوی آن می باشد.

RCM مقدار نت مناسب برای رسیدن به حداکثر توانایی و قابلیت اطمینان ذاتی تجهیزات را براساس شرایط کاری مربوطه مشخص می کند. به عبارت دیگر برای تجهیزات مشابه و در شرایط کاری مختلف، نیازهای متفاوتی تعیین و مشخص می نماید، که این برخلاف روشی است که در حال حاضر در بسیاری از کارخانجات بکار گرفته می شود.

موانع اصلی اجراء و بکارگیری موفق RCM، زمان و تلاش مورد نیاز، طرز فکر نفرات نت و دیدگاه سنت گرایی آنها می باشد.

## ۲- مروری بر تحقیقات گذشته

ایده و مفهوم RCM در مقاله گروه نگهداری و تعمیرات بوئینگ ۷۴۷ در سال ۱۹۶۸ تحت عنوان " برنامه ارزیابی نگهداری و توسعه " ارائه گردید. این برنامه بنام MSG1 نامگذاری گردید. در سال ۱۹۷۰ نسخه اصلاح شده این مقاله تحت عنوان MSG2 بنام " برنامه ریزی عملیات نگهداری و تعمیرات سازمان هوپیمایی و سازنده " منتشر شد. در سال ۱۹۷۹ سازمان حمل و نقل هوایی پس از بازنگری مقاله MSG2، آنرا در سال ۱۹۸۰ تحت عنوان " برنامه ریزی عملیات نگهداری و تعمیرات سازمان هوپیمایی و سازنده " بنام MSG3 ارائه نمود. برنامه MSG3 برای هوپیمایهای سری ۷۵۷ و ۷۶۷ بکار گرفته شد. در سال ۱۹۸۱ سازمان دفاع امریکا پس از مطالعه دقیق و بازنگری MSG2، آنرا تحت عنوان " نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان " ارائه نمود. از این روش در تولید محصولات نظامی در نیروی دریایی امریکا استفاده شد. [1]

روش RCM توسط ساندتروف (Sandtorv) و راسوند (Rausand) [2]، نولان (Nowlan) و هیپ (Heap) [3]، و موبری (Moubray) [4] تکامل پیدا نمود و کاربرد آن را از صنعت هوپیمایی فراتر بردند. RCM تاکنون در صنایع نیروگاهی و هسته ای، صنایع تولیدی، پالایشگاهی و حمل و نقل بکار گرفته شده است.

اجرای برنامه RCM و مهندسی قابلیت اطمینان از سال ۱۹۷۵ در راه آهن انگلیس آغاز و توسعه آن تابحال ادامه پیدا کرده است. هدف از اجرای این برنامه در راه آهن انگلیس بالابردن قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی (Availability)، قابلیت تعمیرپذیری (Maintainability) و ایمنی ماشین آلات بوده است. [5]

قطار زیرزمینی لندن بزرگترین مترو در دنیا می باشد. این مترو روزانه حدود دو میلیون نفر (۴/۹ مایل برای هر نفر) جابجا می کند. مرحله مطالعاتی اجرای برنامه RCM برای مترو لندن در سال ۱۹۹۳ و براساس سه دستورکار اصلی ذیل آغاز گردید. [6]

- بررسی سود دهی RCM برای مترو لندن
- شناسایی بهترین روش برای اجرای برنامه
- شناسایی صرفه جویی سالانه و قابلیت اطمینان مناسب

### ۳- مراحل اجرای RCM

جهت اجرای RCM بایستی با استفاده از یک قالب سازمان یافته در مورد تجهیزات موجود و شرایط کاری آنها، سوالات زیر بررسی و پاسخ داده شود. [7]

- ۱- عملکردها (Functions): عملکردها و استانداردهای اجرایی تجهیزات چه هستند؟
- ۲- خرابی های عملکردی (Functional Failures): کدام وجه یا وجوه عملکردی یک وسیله، دچار خرابی می شود؟
- ۳- صور مختلف خرابی (Failure Modes): چه نوع خرابی های عملکردی اتفاق می افتد؟
- ۴- اثرات خرابی (Failure Effects): وقتی هر خرابی بوقوع می پیوندد، چه اتفاقی می افتد؟  
چهار سوال فوق را می توان تحت عنوان تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA) مطرح نمود.
- ۵- پیامدها و نتایج خرابی (Consequences): هر خرابی از چه نظر اهمیت دارد؟
- ۶- عملیات پیشگیرانه (Preventive Tasks): جهت جلوگیری از خرابی، چه اقداماتی باید انجام داد؟
- ۷- ناکارآمدی عملیات (Default Tasks): در صورتی که عملیات پیشگیرانه وجود نداشت، چه اقداماتی جهت جلوگیری و حذف خرابی ها باید انجام داد؟  
دو سوال اخیر را می توان تحت عنوان تجزیه و تحلیل عملیات (Tasks Analysis) مطرح نمود.

### ۳-۱- تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA) Failure Modes and Effects Analysis

در این بخش موارد زیر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد:

۳-۱-۱- عملکردها ( Functions ): این بخش شامل شناسایی تجهیزات و ماشین‌آلات، تعیین عملکردها و تهیه استانداردهای اجرایی تجهیزات در شرایط کاری مربوطه می‌باشد. این شناسایی بایستی برای تمام بخش‌های مهم عملیاتی و قسمت‌ها انجام شود. RCM بر روی شناخت استانداردهای اجرایی مورد نیاز تجهیزات، تاکید دارد.

#### ۳-۱-۲- خرابی‌های عملکردی ( Functional Failures )

در این قسمت کلیه حالات خرابی‌های عملکردی برای کلیه تجهیزات و شرایط کاری مربوطه تعیین می‌شود. یک خرابی عملکردی بعنوان ناتوانی یک قسمت برای رسیدن به سطح استانداردهای مورد نیاز اجرایی و انجام عملکرد مربوطه در سطح مطلوب، تعریف می‌شود.

#### ۳-۱-۳- صور مختلف خرابی ( Failure Modes )

در این مرحله صور مختلف خرابی که سبب وقوع خرابی‌های عملکردی می‌شوند، شناسایی می‌شوند. حالت‌های خرابی انواع صورتهایی هستند که ممکن است یک وسیله به آن شکل خراب شوند.

#### ۳-۱-۴- اثرات خرابی ( Failure Effects )

در این مرحله اثرات خرابی برای هر حالت خرابی ثبت می‌شود. اثرات خرابی ایجاد شده بایستی در فرم‌های مربوط به FMEA، ثبت و در مدارک تجهیزات بایگانی گردد.

### ۳-۲- تجزیه و تحلیل پیامدها و نتایج خرابی ( Consequences Analysis )

پیامدها و نتایج هر حالت خرابی با بازبینی و بررسی مقدار اهمیت خرابی، طبقه بندی و تقسیم بندی می‌شود. RCM پیامدهای خرابی را در چهار گروه طبقه بندی می‌کند:

۱- خرابی‌های مخفی از نظر اقتصادی (Hidden Economic) HE: این نوع خرابی‌ها مخفی بوده و پیامد مستقیم برای راهبر ندارد. نتایج در این نوع خرابی‌ها، هزینه مربوط به خرابی، هزینه مربوط به سیستم، هزینه مربوط به بازسازی و تعمیرات می‌باشد.

۲- خرابی‌های قابل رویت از نظر اقتصادی (Evident Economic) EE: پیامدهای این نوع خرابی‌ها قابل رویت بوده و نتایج بر کیفیت محصول و خدمات ارائه شده به مشتری اثر می‌گذارد.

۳- خرابی‌های مخفی از نظر ایمنی (Hidden Safety) HS: این نوع خرابی‌ها، پیامد مستقیم ندارند ولی سیستم را در معرض خطر سایر خرابی‌ها که اغلب نیز شدید هستند، قرار می‌دهند.

۴- خرابی‌های قابل رویت از نظر ایمنی (Evident Safety) ES: این نوع خرابی‌ها سبب صدمه به افراد و حتی مرگ، نقص یک استاندارد و یا شرایط زیست محیطی می‌شوند.

### ۳-۳- تجزیه و تحلیل عملیات (Tasks Analysis)

هدف از تجزیه و تحلیل عملیات، شناسایی مناسبترین روش نت برای رفع هر حالت خرابی می‌باشد. برای این منظور مناسبترین عملیات پیشگیرانه و در صورت عدم وجود روش خاصی، عملیات بخش ۲-۳-۳ انجام می‌گردد.

#### ۳-۳-۱- عملیات پیشگیرانه (Preventive Tasks)

هر حالت خرابی با استفاده از "الگوریتم تصمیم" (Decision Algorithm) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مناسبترین روش نت تعیین می‌گردد. اجرای این برنامه در حقیقت از ترکیب روشهای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه (PM)، پیش‌نگر (PdM) (اجرای برنامه‌های مراقبت وضعیت (CM)) و پیش‌گستر (PaM) بصورت یک تکنولوژی واحد، صورت می‌گیرد. این برنامه زمانی موفقیت‌آمیز است که با هدف کسب بیشترین قابلیت اطمینان برای ماشین‌آلات، ادغام گردد. [8]

اجرای برنامه RCM نیازمند ایجاد تعادل در زمینه نت‌های یاد شده می‌باشد. اطلاعات دقیقی که از وضعیت موجود ماشین‌آلات از طریق CM و اجرای نت پیش‌نگر بدست می‌آید، تعادل مورد نظر را بین برنامه‌های نت پیشگیرانه و پیش‌گستر فراهم می‌سازد و موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود. [9]

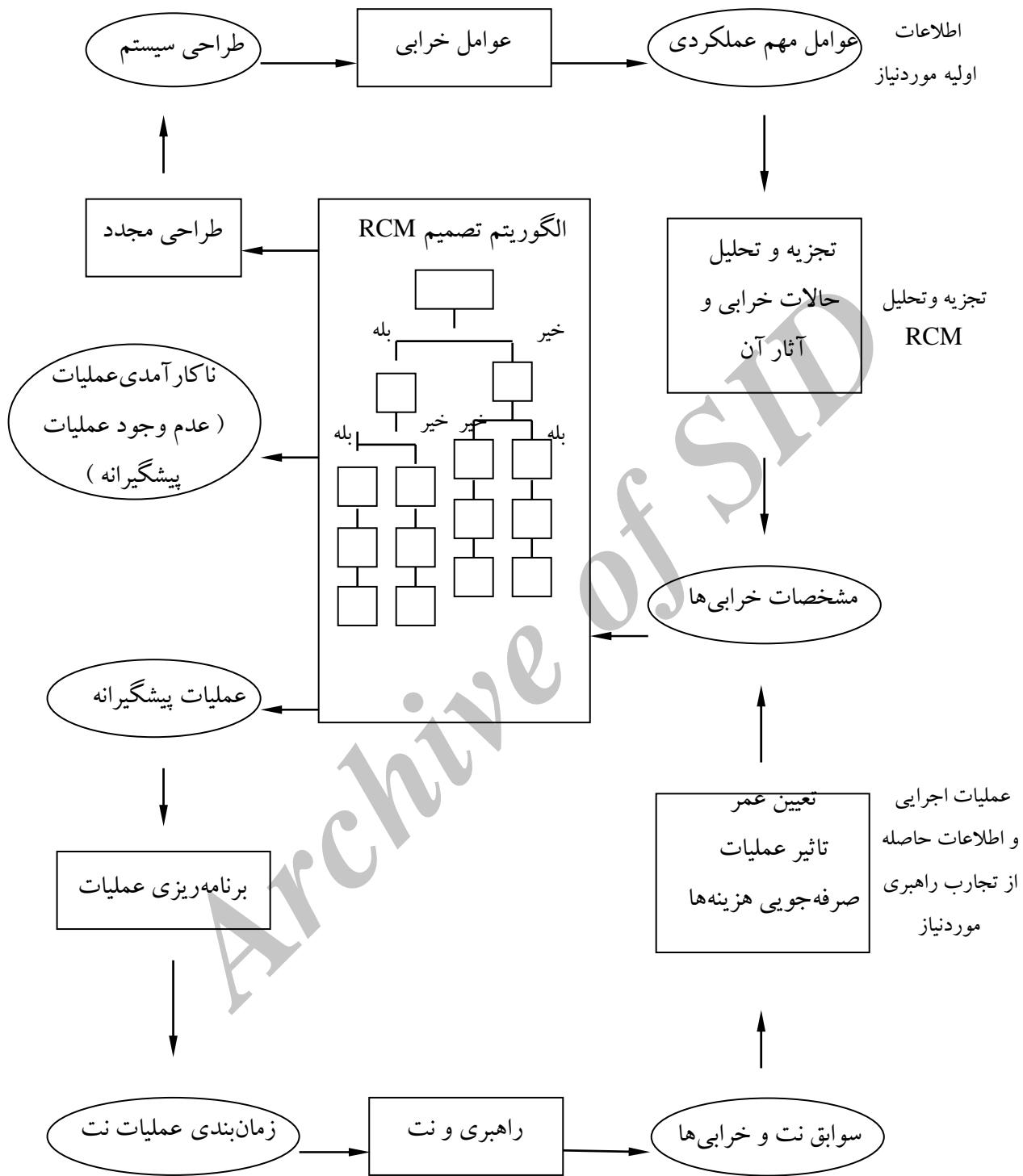
۲-۳-۳- ناکارآمدی عملیات (عدم وجود عملیات پیشگیرانه) (Default Tasks)

در صورتیکه با نت پیشگیرانه و یا پیش‌نگر مناسب نتوان از بروز عیوب جلوگیری کرد، RCM عملیات باقی‌مانده را تعیین می‌نماید. این عملیات عبارتند از:

- پیدا نمودن خرابیهایی که مستلزم بازبینی دوره‌ای از عملیات پنهان می‌باشد. (Detective M.) DM
- در صورتیکه هیچگونه عملیات پیشگیرانه (Preventive Tasks) وجود نداشته باشد و یا اینکه مشخص نمودن خرابی‌ها با مشکل روبرو بوده و نتایج و خطرات آنها غیرقابل قبول باشد، بایستی تجهیزات مجدداً طراحی شوند.
- زمانی که خرابی‌ها هیچگونه پیامد ایمنی و محیطی نداشته باشند و هزینه عملیات پیشگیرانه بیشتر از اصلاح خرابی و یا عواقب آن باشد، احتیاجی به نت برنامه ریزی شده وجود ندارد.

BM (Breakdown Maintenance) مطابق مراحل ارائه شده، فرآیند RCM را می‌توان بر اساس شکل شماره ۱ ارائه نمود. هر حالت خرابی از طریق این فرآیند دنبال شده و از این طریق می‌توان نتایج خرابی و مناسبترین روش نت را تعیین نمود.

Archive of SID



شکل ۱: فرآیند RCM



## ۴- نحوه اجرای RCM

جهت اجراء و توسعه RCM در يك كارخانه سه مرحله وجود دارد. موفقيت در هر مرحله، موفقيت در مراحل بعدي را بدنبال خواهد داشت [10]. اين مراحل عبارتند از:

### ۱- مرحله شروع كار، آموزش و كسب موفقيت‌هاي اوليه

معمولاً "سال اول اجراء RCM به عنوان سال بررسي و آزمون مفاهيم تلقى مي‌شود. عموماً" اين برنامه در كارخانه‌اي كه فقط داراي برنامه BM و PM با موفقيت نسبي است، شروع مي‌شود. اولين قدم در اجراء موفق RCM ايجاد دو گروه كاري اصلي "برنامه ريزي نت" و "بهبود قابليت اطمينان" است. گروه "برنامه ريزي نت" مي‌تواند همان گروه "نت پيشگيرانه" باشد ولي هدف اصلي آن بايد از صدور دستور كار محض به برنامه ريزي همه جانبه (فراگير) نت تغيير يابد. گروه "بهبود قابليت اطمينان" ابتدا به اجراء برنامه نت پيش‌نگر كارخانه تمرکز كرده و سپس به تدريج با افزايش تجربه افراد گروه، بسوي برنامه نت پيش‌گستر حرکت مي‌كند.

### ۲- مرحله اجراء و توسعه نت پيش‌نگر و شروع نت پيش‌گستر

معمولاً "در سالهاي دوم و سوم اجراء برنامه، روشهاي جديد CM و نت پيش‌نگر افزوده مي‌شود. در اين مرحله اطلاعات مربوط به شرايط كاري ماشين‌آلات بصورت كامل با نت پيشگيرانه و نت پيش‌گستر از جمله هم‌محور نمودن دقيق، بالانس كردن و تجزيه و تحليل علل اصلي خرابي‌ها ادغام مي‌شود. در مراحل پيشرفته اجراء RCM، كارخانه منحصرأ به حذف توقفهاي بي‌برنامه بهره‌برداري (توليد)، حذف دائمي اشكالات مربوط به ماشين‌آلات، بالا بردن كيفيت بهره‌برداري و رسيدن به حداكثر بهره‌وري تمايل دارد.

### ۳- مرحله ارزيابي مراحل RCM اجراء شده

به منظور حفظ پشيباني مديريت از اجراء اين برنامه لازم است كه نتايج برنامه RCM مورد ارزيابي واقع شده و بصورت مکتوب ثبت شود. شاخص‌هاي مهم ارزيابي عملکرد RCM عبارتند از:

هزينه بخش نت در هر ماه، هزينه نت بر واحد مسافت طی شده يا انرژي توليدي، مقدار مسافت طی شده بدون مشكل در هر ماه، تعداد خرابي‌ها و توقفات در هر ماه، درصد خرابي و توقفات بازای مسافت طی شده يا انرژي توليدي، ميزان اضافه كاري بخش نت، تعداد نت اضطراري در مقايسه با كل دستور كارهاي انجام شده يا مقدار ساعت نت اضطراري در مقايسه با تعداد كل ساعات نت، درصد زمان توقف ماشين‌آلات به دليل فعاليت‌هاي تعميراتي در مقايسه با كل زمان آماده بكاربودن آنها، درصد زمان بكارگيري تجهيزات از كل زمان آماده بكار بودن آنها، تعداد عيوب كشف شده توسط برنامه RCM در هر ماه، تعداد اصلاحات پيشهاد شده توسط برنامه RCM در هر ماه، كل سود حاصل از اجراء روشهاي نت پيش‌نگر، در صد ماشين‌آلات كارخانه كه تحت پوشش نت پيش‌نگر قرار گرفته است.

## ۵- دستاوردها و نتایج RCM

کارخانجات مختلف جهت دستیابی به نتایج و دستاوردهای گوناگون، برنامه RCM را اجراء می کنند.

اما عموماً "دستاوردها و نتایج حاصله از RCM بطور خلاصه عبارتست از:

- افزایش ایمنی ( Safety )
- افزایش راندمان و کارایی ( Performance )
- کیفیت بهتر ( Quality )
- بهینه کردن هزینه‌ها ( Cost Effectiveness )
- برآورد و کاهش هزینه‌ها در یک دوره عمر کاری ماشین آلات ( Life - Cycle Cost )
- افزایش عمر تجهیزات ( Equipment Life )
- برنامه ریزی بر اساس اطلاعات نت ( Maintenance Data )
- ایجاد انگیزه و کار گروهی ( Motivation and Teamwork )
- پیش‌بینی سریع و دقیق نیازهای نت
- حذف توقف ماشین آلات
- ارزیابی و تعیین ساعات کاری قابل قبول پرسنل نت
- حفظ سطح مطلوب ظرفیت و زمان بهره‌برداری توسط قسمت‌های نت و بهره‌برداری

## ۶- نتیجه‌گیری

استراتژی و سیاست RCM بالا بردن ایمنی، قابلیت دسترسی ماشین آلات و بهینه کردن هزینه‌ها می‌باشد و آن را میتوان در راستای سیاست‌ها و خط‌مشی کلی سازمان به مورد اجرا گذاشت. با اجرای RCM کلیه اطلاعات کارخانه شامل مشخصات فنی و آموزشی پرسنل نت، نحوه و کیفیت نت و بهره‌برداری، برنامه‌ریزی در ابعاد گوناگون و هزینه‌ها، قابل ارزیابی و تجزیه و تحلیل می‌باشد. در این استراتژی روشهای مختلف CM و نت پیش‌نگر نقش محوری ایفا نموده و تعادل مورد نیاز بین نت پیشگیرانه و پیش‌گستر را برقرار می‌کند.

## ۷ - منابع و مراجع

- [1] Bulmer, L. C., "Maintaining for the future", Design, Reliability, and Maintenance for Railways ImechE Seminar, 6, London, 1996.
- [2] Sandtorv, H. and Rausand, M., "RCM-Closing the loop between Design Reliability and operational Reliability, Maintenance", 1991, pp.13-21.
- [3] Nowlan, F. S. and Heap, H., "Reliability Centred Maintenance", National Technical Information Service, Springfield, 1978, pp.26-35.
- [4] Moubray, J., "Reliability Centred Maintenance", Butterworth-Heinemann, 1991.
- [5] Walley, D. M., "Development of reliability engineering on Britain's railways", Design, Reliability, and Maintenance for Railways ImechE Seminar, 3, London, 1996.
- [6] Dallaway, G. J., "Introduction of Reliability-Centred Maintenance (RCM) to London Underground", Design, Reliability, and Maintenance for Railways ImechE Seminar, 5, London, 1996.
- [7] Deakin, S. N., "An introduction to Reliability-Centred Maintenance (RCM)", Design, Reliability, and Maintenance for Railways ImechE Seminar, 4, London, 1996.
- [۸] نوری، علیرضا، "روشهای نگهداری و تعمیرات در صنعت و مروری بر روشهای مراقبت وضعیت (CM)", کارخانه تعمیرات برق واگنها و مولدهای برق شرکت قطارهای مسافری رجا، ۱۳۸۲.
- [9] "How you can improve your plant performance while reducing downtime and maintenance costs", CSI Reliability -Based Maintenance Seminar, Yeosu-South Korea, 2001.
- [10] Heinz, P. B., "Maintenance Strategies Increase Reliability", Hydrocarbon Processing, V.75, No.5, 1996.

Archive of SID

# SID



سرویس های  
ویژه



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



عضویت در  
خبرنامه



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی