

دانشكده مهندسي راه‌آهن

عنوان سمینار

روش­­های نوین تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه ریلی

نام دانشجو

کریم شادی

401635111

استاد راهنما:

دكتر حبیب الله ملاطفی

دی ماه 1402

دانشكده مهندسي راه‌آهن



مجوز بهره‌برداري از سمینار

بهره‌برداري از اين سمیناردر چهارچوب مقررات كتابخانه و با توجه به محدوديتي كه توسط استاد راهنما به شرح زير تعيين مي‌شود، بلامانع است:

🞎 بهره‌برداري از اين سمینار براي همگان بلامانع است.

🞎 بهره‌برداري از اين سمینار با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

🞎 بهره‌برداري از اين سمینار تا تاريخ .................................... ممنوع است.

نام استاد يا اساتيد راهنما:

تاريخ:

امضا:

تشكر و قدرداني: (اختياري)

با تشکر فراوان از جناب آقای دکتر حبیب الله ملاطفی.

چکيده

در این تحقیق به بررس روش های نوین تعمیر و نگهداری وسایل ریلی مورد استفاده در سیستم های ریلی، پرداخته شده است. این روش ها مبتنی بر بهینه سازی شاخص های مهم تعمیر و نگهداری مانند قابلت دسترسی، قابلیت اطمینان و ... می باشند. در ابتدا، این مفاهیم باید دارای تعاریف یکسانی باشند لذا اتحادیه اروپا استاندارد خاصی را برای واژه شناسی جامع تعمیر و نگهداری ارایه نموده است.

روشهای نوین با استفاده از ابزارها و تکنینک های نوین توسعه یافته و کارایی بیشتری ارایه نموده اند. دامنه روشهای ارایه شده با توجه گستردگی مفهوم تعمیر و نگهداری و موضوعات و ابعاد مختلف آن، بسیار وسیع است.

این دامنه از برنامه زمانی قطارها تا روشهای نظارتی بر خط بر اجزا و تجهیزات وسایل ریلی را شامل می­شود. یکی از ویژگی های بیشتر روشهای نوین مورد استفاده، داده کاوی مداوم و ارایه راه حل های پویا هستند که بطور مداوم در حال بروز رسانی و بهینه سازی روش مورد نظر می باشند. در این میان، تعمیر و نگهداری بوژی بعنوان کلیدی ترین تجهیز یک وسیله نقلیه ریلی، مورد توجه ویژه ای است.

در شبکه ریلی کشور شامل سیستمهای ریلی بین شهری و درون شهری، تعمیر و نگهداری به صورت ایستا و غالباً به روش تعمیرات پیشگرانه مبتنی بر برنامه زمانی ثابت می باشد. لذا توجه به بهینه سازی روشهای تعمیر و نگهداری وسایل ریلی در کشور و خصوصاً بر تجهیز بسیار مهم وسیله ریلی، یعنی بوژی، بسیار ضروری است. روش تعمیر ونگهداری فرصت طلبانه می تواند یک روش مناسب برای بهبود تعمیر و نگهداری وسایل ریلی در کشور باشد و استفاده از ابزارها و تکنیکهای نوین مانند نظارت بر خط و یا داده کاوی و یادگیری ماشین می توانند کارآیی آن را افزایش دهد.

واژه‌هاي كليدي: **تعمیر و نگهداری، بهینه سازی، وسایل ریلی، بوژی، ایمنی، قابلیت اطمینان**

فهرست مطالب

[فصل 1: مبانی و تعاریف تعمیر و نگهداری وسایل ریلی 1](#_Toc155778681)

[1-1- مقدمه 2](#_Toc155778682)

[1-2- اهمیت حمل و نقل ریلی و استراتژی‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی 2](#_Toc155778683)

[1-3- مبانی و تعاریف پایه تعمیر و نگهداری 5](#_Toc155778684)

[1-3-1- جدول زمانی قطار 5](#_Toc155778685)

[1-3-2- اختصاص قطار برای تعمیر و نگهداری 5](#_Toc155778686)

[1-3-3- تعمیر و نگهداری وسایل ریلی 6](#_Toc155778687)

[1-3-4- برنامه تعمیر و نگهداری وسایل ریلی 7](#_Toc155778688)

[1-3-5- مکان‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی 8](#_Toc155778689)

[1-3-6- RAMS در راه آهن 8](#_Toc155778690)

[1-3-7- عناصر RAMS در راه آهن 9](#_Toc155778691)

[1-3-8- مدیریت RAMS راه‌آهن - الزامات عمومی 10](#_Toc155778692)

[1-3-9- هزینه یابی چرخه عمر (LCC) 13](#_Toc155778693)

[1-3-10- تنزیل و محاسبات ارزش فعلی در LCC 13](#_Toc155778694)

[1-3-11- عدم قطعیت در LCC 14](#_Toc155778695)

[1-3-12- LCC در صنعت راه آهن 15](#_Toc155778696)

[1-3-13- مدیریت تعمیر و نگهداری، RAMS و LCC 15](#_Toc155778697)

[1-3-14- الزامات FMEA برای راه آهن 16](#_Toc155778698)

[1-3-15- خط مشی نگهداری عمومی 16](#_Toc155778699)

[1-3-16- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، مهمترین رکن تعمیرات 17](#_Toc155778700)

[1-3-17- خطاهای انسانی 18](#_Toc155778701)

[1-3-18- تعاریف اصطلاحات و واژه شناسی تعمیر و نگهداری 18](#_Toc155778702)

[فصل 2: روش‌های نوین تعمیر و نگهداری وسایل ریل مورد استفاده در سیستم‌های ریلی شهری و بین شهری 29](#_Toc155778703)

[2-1- مقدمه 30](#_Toc155778704)

[2-2- برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری راه آهن 30](#_Toc155778705)

[2-3- تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط 31](#_Toc155778706)

[2-3-1- نگهداری بر اساس شرایط (CBM) در وسایل ریلی 35](#_Toc155778707)

[2-3-2- تشخیص خرابی‌های احتمالی (پایش وضعیت) 38](#_Toc155778708)

[2-4- تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) 44](#_Toc155778709)

[2-4-1- چارچوب RCM 47](#_Toc155778710)

[2-5- مدل‌های بهینه سازی تعمیر و نگهداری فرصت طلبانه 48](#_Toc155778711)

[2-6- تعمیر و نگهداری فرصت طلب پویا مبتنی بر قابلیت اطمینان 51](#_Toc155778712)

[2-7- تعمیر و نگهداری پیشگویانه با استفاده از یادگیری ماشین و داده کاوی 53](#_Toc155778713)

[2-8- استراتژی تعمیر و نگهداری اصلاحی با استفاده از داده کاوی برای تدوین اقدامات پیش نیاز 55](#_Toc155778714)

[2-9- داده کاوی و یادگیری ماشین برای کاهش قطعات پر مصرف 56](#_Toc155778715)

[2-10- زمان بندی تعمیرات پیشگیرانه با استفاده از مدل نظریه بازی 56](#_Toc155778716)

[2-11- استراتژی تعمیرات (نوسازی) نیمه عمر 59](#_Toc155778717)

[2-11-1- سیاست تعمیر و نگهداری نوسازی 60](#_Toc155778718)

[2-11-2- بازسازی قطار 61](#_Toc155778719)

[2-11-3- مدیریت زنجیره تامین 61](#_Toc155778720)

[2-11-4- قطعات منسوخ 61](#_Toc155778721)

[2-11-5- محدودیت در صنایع ریلی 62](#_Toc155778722)

[2-11-6- FMEA برای شناسایی خرابی بالقوه 64](#_Toc155778723)

[2-12- کاربرد نظارت از راه دور در تعمیر و نگهداری 64](#_Toc155778724)

[2-13- تحلیل خطای انسانی برای بهبود تعمیر و نگهداری 65](#_Toc155778725)

[فصل 3: روش‌های نوین تعمیر و نگهداری بوژی و اجزای آن 67](#_Toc155778726)

[3-1- اهمیت تعمیر و نگهداری بوژی در وسایل نقلیه ریلی 68](#_Toc155778727)

[3-1-1- ویژگی‌های فنر 70](#_Toc155778728)

[3-1-2- استراتژی فعلی راه‌آهن آلمان DB برای تعمیر و نگهداری بوژی 72](#_Toc155778729)

[3-2- بهینه‌سازی استراتژی تعمیر و نگهداری چرخ بوژی 74](#_Toc155778730)

[3-2-1- بررسی تحلیلی تئوری تماس هرتز 79](#_Toc155778731)

[3-2-2- نقطه تماس 80](#_Toc155778732)

[3-3- تعمیر و نگهداری اجزای بوژی از طریق بازرسی ارتعاش با سنسورهای بی سیم هوشمند 81](#_Toc155778733)

[3-4- پیش‌بینی عمر چرخ و ریل مبتنی بر MBS 82](#_Toc155778734)

[3-4-1- مدل سازی عمر چرخ و ریل 84](#_Toc155778735)

[3-4-2- مدل‌های آسیب 84](#_Toc155778736)

[3-4-3- چارچوب مدل سازی آسیب 85](#_Toc155778737)

[3-4-4- محدودیت عمر 86](#_Toc155778738)

[3-5- پایش وضعیت یاتاقان سرمحور با مدلسازی خطرات متناسب (PH) 87](#_Toc155778739)

[فصل 4: نتيجه گیری و پیشنهادات 90](#_Toc155778740)

[4-1- نتیجه‌گیری 91](#_Toc155778741)

[4-2- پیشنهادات 93](#_Toc155778742)

[مراجع 95](#_Toc155778743)

[پيوست‌ها 98](#_Toc155778744)

فهرست اشکال

[شکل1‑1- نمودار ارتباط قابلیت دسترسی و ایمنی با عناصر قابلیت تعمیر و نگهداری، بهره برداری و قابلیت اطمینان 9](#_Toc155687260)

[شکل 1‑2- عوامل موثر بر RAMS راه‌آهن 10](#_Toc155687261)

[شکل 1‑3- رابطه متقابل فرآیند مدیریت RAMS و چرخه عمر سیستم 11](#_Toc155687262)

[شکل 1‑4- قابلیت دسترسی و عوامل مرتبط 12](#_Toc155687263)

[شکل 1‑5- انواع تعمیر و نگهداری 26](#_Toc155687264)

[شکل 1‑6- تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده در مقابل برنامه‌ریزی نشده 26](#_Toc155687265)

[شکل 1‑7- فعالیت‌های تعمیر و نگهداری 27](#_Toc155687266)

[شکل 1‑8- وضعیت یک آیتم 27](#_Toc155687267)

[شکل 1-9- تفکیک زمان‌های مربوط به بهره برداری و نگهداری 28](#_Toc155687268)

[شکل 1-10- زمان تعمیر و نگهداری 28](#_Toc155687269)

شکل 2-1- منحنی پتانسیل خرابی 34

شکل 2-2- مراحل یک برنامه CBM (نگهداری مبتنی بر شرایط) 35

شکل 2-3- سیستم RailBAM برای نظارت صوتی بلبرینگ‌ها 39

شکل 2-4- مجموعه یاتاقان سرمحور با حسگر 40

شکل 2-5- نظارت توسط دوربین مادون قرمز 41

شکل 2-6- مثالی از معماری یک سیستم تشخیص از راه دور "TrainTracer WCML" 43

شکل 2-7- مجموعه یاتاقان سرمحور با حسگر 49

شکل 2-8- رویکرد تعمیر و نگهداری فرصت طلب پویا 52

شکل 2-9- روش نگهداری فعلی قطارهای مترو 57

شکل 2-10- نمایش سیستم فعلی تعمیر و نگهداری قطار 58

شکل 2-11- سیستم بهره برداری و نگهداری هوشمند قطار با در نظر گرفتن خطرات و مزایای بخش‌ها 59

شکل 2-12- رویکرد تعمیر و نگهداری فرصت طلب پویا 63

شکل 2-10- نمایش سیستم فعلی تعمیر و نگهداری قطار 58

شکل 2-11- سیستم بهره برداری و نگهداری هوشمند قطار با در نظر گرفتن خطرات و مزایای بخش‌ها 59

شکل 2-12- رویکرد تعمیر و نگهداری فرصت طلب پویا 63

شکل 3-1- نمایش سیستم فعلی تعمیر و نگهداری قطار 68

شکل 3-2- ساختار بوژی قطار مسافری 69

شکل 3-3- بوژی Y25 70

شکل 3-4- جزئیات فنرها در بوژی Y25 71

شکل 3-5- ویژگی‌های فنر بیرونی تعلیق در بوژی Y25 71

شکل 3-6- ویژگی‌های فنر داخلی تعلیق در بوژی Y25 72

شکل 3-7- الف) شماتیک تماس چرخ و ریل ب) شماتیک پروفیل چرخ و ریل و مناطق سایش یافته 76

شکل 3-8- شعاع انحناءهای اصلی و عرضی چرخ و ریل 80

شکل 3-9- پروفیل استاندارد 1002S برای چرخهای دارای ارتفاع فلنج 30 میلیمتر 80

شکل 3-10- بارگذاری بر روی پروفیل چرخ بر اساس استاندارد UIC 510-5 81

شکل 3-11- پیکربندی ایده آل یک راه‌آهن دوقلو دیجیتال در زمینه نظارت و بهینه سازی خسارت طولانی مدت 83

شکل 3-9- پروفیل استاندارد 1002S برای چرخهای دارای ارتفاع فلنج 30 میلیمتر 80

فهرست جداول

[جدول1-1- مثالهایی برای عوامل قابلیت تعمیر و نگهداری 11](#_Toc215371272)

[جدول1-2- مثال‌هایی برای عوامل قابلیت دسترسی 12](#_Toc215371273)

فهرست علائم اختصاري

|  |  |
| --- | --- |
| RAMS | Reliability, Availability, Maintainability and Safety |
| RSM | Rolling Stock Management |
| MTTF | Mean Time to Failure |
| MUT | Mean Up Time |
| MDT | Mean Down Time |
| MTTR | Mean Time to Repair |
| LCC | Life Cycle Cost |
| NPV | Net Present Value |
| FMEA | Failure Mode and Effects Analysis |
| FMECA | Failure Mode and Effects Critical Analysis |
| MLR | Mid-Life Repair |
| UT | Up Time |
| DT | Down Time |
| OT | Operating Time |
| TTR | Time to Repair |
| RCM | Reliability Centered Maintenance |
| IoT | Internet of Thing |
| CBM | Condition Based Maintenance |
| TBPM | Time Based Preventive Maintenance |
| GSM-R | Global System for Mobile Communications – Railway |
| AAR | American Association of Railroad |
| DB | Deutsche Bahn |
| EN | European Norm |
| RSSB | Rail Safety and Standards Board |
| FTA | Failure Tree Analysis |
| LTA | Logical Tree Analysis |
| TPM | Total Productive Maintenance |
| OM | Opportunistic Maintenance |
| RUL | Residual Useful Life |
| CMS | Condition Monitoring System |
| SRT | Static Reliability Threshold |
| DRT | Dynamic Reliability Threshold |
| RPN | Risk Priority Number |
| OEM | Origin Equipment Maintenance |
| LLM | Low Level Maintenance |
| DI | Daily Inspection |
| MI | Monthly Inspection |
| SCM | Supply Chain Management |
| HRA | Human Reliability Analysis |
| RCF | Rolling Contact Fatigue |
| MBS | Multi-Body Simulation |
| FEM | Finite Element Method |
| MGT | Mileage Gross Tons |
| PH | Proportional Hazard |

1. مبانی و تعاریف تعمیر و نگهداری وسایل ریلی
   1. مقدمه

در این بخش به مبانی و تعاریف مرتبط با تعمیر و نگهداری راه‌آهن و خصوصاً وسایل ریلی می‌پردازیم. این تعاریف شامل عوامل و شاخص‌های مرتبط با اندازه گیری و شناسایی اهداف و کیفیت تعمیر و نگهداری نیز می‌گردد. بعنوان مثال مباحث RAMS یکی از مهمترین و جامع ترین شاخص‌ها در این زمینه هستند که از جهات مختلف می‌توانند در خصوص کیفیت و سطح ایمنی و قابلیت دسترسی از طریق بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری و افزایش قابلیت اطمینان می‌باشند که بطور مفصل توضیح داده شده اند. در ادامه تعاریف و واژه‌شناسی استاندارد ارایه شده اند. دانش تعاریف استاندارد بسیار مهم است تا از اختلاف نظر و فهم متفاوت از مفاهیم پرهیز گردد. بعنوان مثال بسیاری از کارشناسان ریلی، موضوع قابلیت دسترسی را فقط در مفهوم قالبیت دسترسی تفسیر می‌کنند در حالی که هنگام اندازه گیری و انجام محاسبات مربوطه از روابط قابلیت دسترسی مبتنی بر زمان استفاده می‌کنند.

* 1. اهمیت حمل و نقل ریلی و استراتژی‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی

حمل و نقل ریلی از جمله شیوه­های مرسوم حمل و نقل زمینی است که واجد مزیتهای قابل توجه از جمله، کاهش آلودگی هوا، بهبود شاخصهای اقتصادی، قابلیت حمل حجم انبوه کالا و مسافر، ایمنی بسیار بالاتر در مقایسه با سایر شیوه­های حمل و نقل است. ]29[

راه‌آهن جهان از آغاز قرن بیست و یکم وارد مرحله جدیدی شده است. بیش از 500 شهر در 77 کشور و منطقه تا پایان سال 2020 راه‌آهن شهری را راه اندازی کرده اند. ]25[

در اروپا حمل و نقل ریلی برای دستیابی به نقاط عطف کربن زدایی در آینده نزدیک و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی در صنعت حمل و نقل، سرمایه‌گذاری قابل توجهی برای دستیابی به خدمات رقابتی و کارآمدتر داشته است. متعاقباً، برای برآورده ساختن این نیازها، صنعت راه‌آهن بر توسعه برنامه‌های تعمیر و نگهداری کافی تمرکز کرده است که نه تنها قابلیت اطمینان و عملکرد سیستم راه‌آهن را بهبود می‌بخشد، بلکه هزینه‌های چرخه عمر آن را نیز کاهش می‌دهد. این امر با ارزیابی و توسعه روش‌های پیش بینی مؤلفه بر اساس ابزارهای پیش بینی به دست می‌آید. علاوه بر این، استراتژی‌های تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط و پیش‌بینی‌کننده نقش اساسی در یک سیستم متمرکز ترافیک ریلی اروپا ایفا می‌کنند، جایی که راه‌حل‌های نظارتی پیشرفته مشترک دارایی‌های راه‌آهن به عنوان معیارهای عملکرد برای توسعه قوانین نگهداری دیجیتال عمل می‌کنند. بنابراین، بسیار مهم است که به منظور دستیابی به چنین اهدافی، ابزارهای مناسب مبتنی بر شرایط و پیش‌بینی توسعه داده شوند که علاقه آشکاری به تحقیق آنها وجود دارد. ]28[

با توسعه پایدار سیستم‌های حمل و نقل شهری، ایمنی و اقتصاد قطارهای مترو به معیارهای مهم تبدیل شده است. با این حال، در فرآیند تدوین استراتژی بهره برداری و نگهداری قطارهای مترو، همیشه تضاد منافع بین اپراتور، که هدفش بهبود قابلیت اطمینان بهره برداری است، و نگهدارنده، که هدفش کاهش هزینه تعمیر و نگهداری است، وجود دارد. ]27[

در جامعه کنونی، حمل و نقل ريلی يكی از عوام مهم و حياتی است که در رشد و توسعه روزافزون اقتصاد کشورها، نقش بسزايی داشته است. از اين سو، شرکتهاي حمل و نقل ريلی همواره در تلاش هستند تا علاوه بر افزايش ظرفيت خطوط ريلی، خرابی ناوگان را به حداقل برسانند. از سوي ديگر، دانش تحليل مهندسی اين اهم را به اثبات رسانده است که هر قطعه مصرفی، با توجه به شرايطی که در آن قرار دارد، فرسايش آنها متغير است. علاوه بر آن، توقف ناگهانی ناوگان ريلی بخاطر امور تعمير و نگهداري از جمله تعويض قطعات فرسايشی، میتواند در عملكرد شرکتهاي حمل و نقل ريلی تاثير بسزايی داشته باشد. ]23[

لذا توسعه استراتژی‌های تعمیر و نگهداری جدید و انعطاف‌پذیرتر در سطوح مناسب به بهبود قابلیت اطمینان و در دسترس بودن وسایل ریلی سبک در طول مرحله بهره‌برداری و همچنین کاهش هزینه چرخه عمر آن کمک می‌کند. ]3[

وسایل ریلی دارای ویژگی و مزیت خاصی برای حمل مسافر و کالا به صورت انبوه، وقت شناسی، صرفه جویی در ایمنی انرژی و دارای سطح آلودگی پایین و کارایی بیشتری برای مسافت‌های طولانی و در حمل و نقل شهری دارد. وسایل نقلیه ای که به حمل و نقل عمومی خدمت می­کنند باید در بهره برداری ایمن باشند. دستیابی به سطحی از کیفیت خدمات ترافیکی ریلی که در بازه زمانی معینی به صورت ایمن تعیین می‌شود، هدف سیستم ریلی است. بنابراین، تکنولوژی پیشرفته تر و سیستم راه‌آهن مدرن تر برای دستیابی به اهداف بکار می‌روند. همچنین، صنایع راه‌آهن می‌خواهند عملکرد سیستم را برای ارائه خدمات راه‌آهن با کیفیت بالا و در عین حال بهره‌برداری کارآمد از سیستم راه‌آهن بهبود بخشند. ]4[

کسب و کارها از طریق فعالیت‌های خاص می‌توانند ارزش و مزیت رقابتی ایجاد کنند. تعمیر و نگهداری یک فرآیند تجاری است که می‌تواند سودآوری، بهره وری و امنیت را به هر کسب و کاری نسبت دهد. ]5[

یک مسئله کلیدی در برنامه‌ریزی، پوشش مجموعه‌ای از امور تعمیر و نگهداری با تعداد ناوگان محدود است. مدیریت ناوگان (RSM) عامل اصلی هزینه برای شرکت‌های ریلی است. به منظور کاهش هزینه‌های ناشی از عملیات راه‌آهن، هر شرکتی باید به مشکل برنامه‌ریزی مشترک بهره برداری و تعمیر و نگهداری ناوگان بپردازد. بهینه سازی تعمیر و نگهداری می‌تواند یک عامل کلیدی برای افزایش بهره وری شرکت‌های ریلی باشد. ]1 [

در زمینه حمل و نقل ریلی شهری نیز با شتاب شهرنشینی در جهان، تقاضا برای حمل و نقل شهری به طور چشمگیری افزایش یافته است و حمل و نقل ریلی شهری وارد دوره توسعه سریع شده است. در بهره برداری روزانه مترو، الزامات ایمنی مسافر و کیفیت عملیات قطار بسیار بالا است، که نیازمند ارتقا و تغییر حالت تعمیر و نگهداری برای ارائه سیستم تعمیر و نگهداری حمل و نقل ریلی شهری هوشمندتر، ایمن تر، کارآمدتر و اقتصادی تر است. امروزه سفرهای سبز و کم کربن، بهره برداری پایدار و قابلیت اطمینان حمل و نقل ریلی شهری توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. ]20 [

هدف اصلی معمولاً به حداقل رساندن تعداد ناوگان است، در حالی که اهداف ثانویه به حداقل رساندن تعداد سیرهای خالی و به حداکثر رساندن مسافت طی شده توسط هر قطار بین دو عملیات یکسان تعمیر و نگهداری است. محدودیت‌های مسئله بهینه سازی تعمیر و نگهداری مستلزم آن است که انواع مختلف عملیات تعمیر و نگهداری برای هر قطار به صورت دوره ای انجام شود.

صنعت ریلی منبع عظیمی از مشکلات است که می‌توان با استفاده از تکنیک‌های تحقیق در عملیات مدل سازی و حل کرد. بسیاری از این موارد هنوز بدون اتوماسیون و بهینه سازی مدیریت می‌شوند. چنین مشکلاتی به اشکال مختلف وجود دارد و در سطوح مختلف در فرآیند برنامه‌ریزی برای یک شرکت راه‌آهن به وجود می‌آید. مدیریت کامل سیستم راه‌آهن بسیار پیچیده است و اغلب به مشکلات فرعی زیادی تقسیم می­شود که به هم مرتبط هستند. با توجه به هدفی که باید به آن دست یافت، یک کار بسیار دشوار این است که بفهمیم چه مشکلاتی درگیر هستند و چگونه مرتبط هستند. ]1 [

مزایای هزینه تعمیر و نگهداری به طور مستقیم با اهمیت سیستم‌های مورد مطالعه مرتبط است. سیستم‌هایی که برای بهره برداری اهمیت چندانی ندارند، باید منابع نگهداری و تعمیرات پایینی، مانند یک برنامه بهره برداری تا خرابی، داشته باشند در حالی که سیستم‌های فوق‌العاده بحرانی ممکن است بازگشت سرمایه را در نظارت بر خط یا روال‌های بازرسی فشرده ارایه دهند. ]2 [

علاوه بر این، به منظور ارائه خدمات ایمن و قابل اعتماد، اجزای موجود در انبار نیز باید تحت نظارت کافی نگهداری شوند. همچنین ناوگان به عنوان یک سیستم نمی‌تواند به طور قابل اعتماد عمل کند مگر اینکه خدمه تعمیر و نگهداری موجود و امکانات برای مجموعه قطار موجود تدارک شده شوند. ]13 [

* 1. مبانی و تعاریف پایه تعمیر و نگهداری
     1. جدول زمانی قطار

جدول زمانی قطار اساس سازمان حمل و نقل است. زمان حرکت و رسیدن قطارها در هر ایستگاه بازدید شده را مشخص می‌کند و برای شرکت‌های راه‌آهن بسیار ارزشمند است زیرا عملکرد ایمن قطارها و هماهنگی مؤثر بین تمام بخش‌های مرتبط در سیستم ریلی را تضمین می‌کند. علاوه بر این، از آنجایی که بر کارایی حمل و نقل و کیفیت خدمات مسافرتی تأثیر می‌گذارد، تعیین می‌کند که آیا مسافران تصمیم به سفر با قطار دارند یا خیر. بهینه‌سازی زمان‌بندی قطار نه تنها به کاهش هزینه‌های عملیاتی شرکت راه‌آهن کمک می‌کند، بلکه به ارائه خدمات سفر با کیفیت بالا برای مسافران کمک می‌کند. به عبارت دیگر جذب مسافر بیشتر و افزایش مزایای شرکت راه‌آهن سودمند است. از آنجایی که تقاضا برای خدمات ریلی با افزایش تعداد مسافران افزایش می‌یابد، رفع مشکل برنامه‌ریزی قطار در بهره برداری و مدیریت راه‌آهن پرسرعت بسیار مهم است. ]7 [

* + 1. اختصاص قطار برای تعمیر و نگهداری

در حمل و نقل ریلی مسافری، از یک فرآیند برنامه‌ریزی گسترده برای توسعه یک گردش قطار رضایت بخش استفاده می‌شود. ابتدا، در مرحله برنامه‌ریزی استراتژیک، خرید وسایل ریلی انجام می‌شود و مجموعه قطارهای خاصی توسعه می‌یابد. در مرحله برنامه ریزی، جدول زمانی ایجاد می‌شود و واحدهای قطار به تمام سفرهای داخل جدول زمانی اختصاص داده می‌شوند. این منجر به یک گردش وسایل ریلی می­شود که معمولاً شامل وظایف بی نام است، یعنی هنوز هیچ واحد قطار فیزیکی مشخص به وظایف وسایل ریلی اختصاص داده نشده است.

در مرحله برنامه‌ریزی عملیاتی، واحدهای قطار فیزیکی به وظایف مذکور اختصاص می‌یابند. علاوه بر این، گردش وسایل ریلی با در نظر گرفتن جنبه‌های عملیاتی خاص، مانند تعمیر و نگهداری کوتاه مدت که توسط واحدهای قطار مشخص مورد نیاز است، اصلاح می‌شود. یک واحد قطار پس از سیر مسافت مشخصی یا مدت زمان معینی از زمان قرار قبلی تعمیر و نگهداری نیاز به تعمیر و نگهداری دارد. واحد قطاری که نیاز به تعمیر و نگهداری دارد، در یک زمان و مکان معین، یک قرار تعمیر و نگهداری ثابت دریافت می‌کند که توسط شرکت تعمیر و نگهداری تعیین می‌شود. در مرحله برنامه‌ریزی عملیاتی، گردش وسایل ریلی به دست آمده در مرحله برنامه‌ریزی تاکتیکی به گونه ای اصلاح می‌شود که قرارهای تعمیر و نگهداری توسط واحدهای قطار فیزیکی مربوطه برآورده می‌شود که به این معنی است که آنها به موقع به مکان‌های مناسب می‌رسند.

در فاز بلادرنگ، شبکه راه‌آهن ناگزیر دچار اختلال می‌شود و بنابراین برنامه‌ریزی مجدد سریع مورد نیاز است. سه برنامه اصلی منابع وجود دارد که به دلیل اختلال باید دوباره برنامه‌ریزی شود: جدول زمانی، گردش وسایل حمل و نقل و برنامه خدمه. سپس، با جدول زمانی تغییر زمان‌بندی شده به‌عنوان ورودی، وسایل ریلی مجدداً برنامه‌ریزی می‌شوند، و در نهایت، با هر دو جدول زمانی تغییر زمان‌بندی‌شده و گردش وسایل ریلی به عنوان ورودی، خدمه مجدداً برنامه‌ریزی می‌شوند.

با این حال، مدل‌های برنامه‌ریزی مجدد انبارهای حرکتی فعلی، واحدهای قطار ناشناس را به سفرها در طول یک اختلال اختصاص می‌دهند و فرض می‌کنند که تمام واحدهای قطار از یک نوع قابل تعویض هستند. به عنوان مثال، این بدان معناست که هیچ تمایزی بین واحدهای قطاری که نیاز به تعمیر و نگهداری دارند و واحدهای قطاری که نیاز به تعمیر ندارند، وجود ندارد. در نتیجه، اگر قرارهای تعمیر و نگهداری در نظر گرفته نشود، احتمالاً واحدهای قطار برنامه‌ریزی شده برای تعمیر و نگهداری به موقع برای قرارهای تعمیر و نگهداری خود نخواهند رسید. بنابراین، هنگام تغییر زمان بندی وسایل ریلی، برنامه‌های تعمیر و نگهداری واحدهای قطار باید در نظر گرفته شود. ]17 [

* + 1. تعمیر و نگهداری وسایل ریلی

صنایع راه‌آهن به‌عنوان یک روش حمل‌ونقل دوست‌دار محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته‌اند و تقاضای آن در طول سال‌ها افزایش یافته است. نیاز به حفظ سطح بالایی از قابلیت اطمینان، ایمنی، در دسترس بودن و نگهداری در یک سیستم ریلی وجود دارد. با این حال، با توجه به دو زیرسیستم اصلی که سیستم راه‌آهن را تشکیل می‌دهند، یعنی وسایل ریلی و زیرساخت، این یک کار چالش برانگیز است. زیرساخت شامل سیگنال، منبع تغذیه و خطوط ریلی است، در حالی که وسایل ریلی به تمام وسایل نقلیه ای اطلاق می‌شود که در مسیر ریلی حرکت می‌کنند که می‌تواند واگن مسافری، واگن باری و لوکوموتیو باشد. از بین این دو، می‌توان وسایل ریلی را به عنوان مهم ترین و آسیب پذیرترین آنها طبقه بندی کرد.

وسایل حمل و نقل تاثیر زیادی بر سطح خدمات سیستم دارد زیرا سطح خدمات سیستم ریلی با ایمنی و راحتی مسافران نسبت مستقیم دارد. برای دستیابی به سطح خدمات مورد نیاز، کیفیت عملکرد وسایل ریلی نیاز به بهبود مستمر دارد و این امر با نگهداری مناسب قابل دستیابی است. یک قطار نیز به عنوان وسایل ریلی طبقه بندی می‌شود و شامل چندین وسیله نقلیه ریلی است که به صورت سری به هم متصل شده اند. ترکیبی از این وسایل نقلیه پیچیده است، اما می‌توان آن‌ها را مجدداً توزیع و پیکربندی کرد تا شامل سیستم‌های تعبیه‌شده باشد که با هم ترکیب می‌شوند تا خدمات حمل‌ونقل با کیفیت بالا ارائه کنند.

* + 1. برنامه تعمیر و نگهداری وسایل ریلی

دارایی‌های وسایل ریلی در شرکت‌های ریلی سرمایه بر هستند، بنابراین اگر قرار است یک سرویس راه‌آهن قابل اعتماد باشد، تجهیزات باید در شرایط کار خوب نگهداری شوند. این بدان معنی است که یک برنامه تعمیر و نگهداری کارآمد یک عامل اساسی برای دستیابی به یک سیستم وسایل ریلی قابل اعتماد است. سیستم‌های راه‌آهن از اجزای مکانیکی و الکتریکی تشکیل شده‌اند که در چندین سیستم حاوی تعداد زیادی قطعات متحرک ترکیب شده‌اند. برای دستیابی به سطح قابل قبول خدمات ریلی، هر سیستم باید عملیاتی بماند و تعمیر و نگهداری منظم عامل اساسی برای دستیابی به این امر است. یک سیستم راه‌آهن را می‌توان به دو زیرسیستم تقسیم کرد که عبارتند از: وسایل و زیرساخت. این وسایل نقلیه می‌توانند موتوردار یا بدون موتور یا ترکیبی از هر دو باشند، برخی از نمونه‌های وسایل ریلی شامل لوکوموتیو، واگن‌های راه‌آهن، واگن‌های مسافری و باری هستند. وسایل ریلی فشرده ترین بخش تعمیر و نگهداری سیستم راه‌آهن است و بنابراین در صورت غفلت از تعمیر و نگهداری آسیب پذیرترین آنهاست. اهمیت عملکردهای تعمیر و نگهداری و مدیریت نگهداری در تمام بخش‌های سازمان‌های تولیدی و خدماتی به شدت افزایش یافته است. دلیل اصلی این رشد، گسترش مستمر موجودی سرمایه، الزامات عملکرد سیستم‌ها و برون‌سپاری تعمیر و نگهداری است. ]15 [

* + 1. مکان‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی

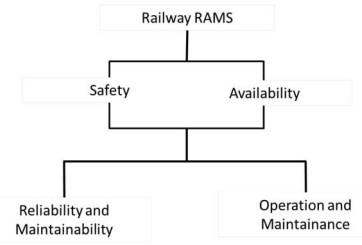
با توجه به افزایش استفاده از راه‌آهن، ظرفیت در محوطه‌های راه‌آهن و مکان‌های تعمیر و نگهداری در حال محدود شدن برای گنجاندن وسایل ریلی موجود است. برای کاهش مسائل مربوط به ظرفیت در مکان‌های تعمیر و نگهداری در طول شب، شرکت‌های راه‌آهن انجام تعمیرات روزانه بیشتری را در نظر می‌گیرند، اما انتخاب مکان‌هایی که پرسنل برای تعمیر و نگهداری در طول روز باید در آن مستقر شوند، ساده نیست. در میان چیزهای دیگر، این بستگی به گردش وسایل ریلی برنامه‌ریزی شده و فعالیت‌های تعمیر و نگهداری دارد که باید انجام شوند.

به طور کلی، حداکثر فاصله بین فعالیت‌های تعمیر و نگهداری متوالی توسط قوانین سختگیرانه‌ای که توسط مقامات راه‌آهن تحمیل می‌شود کنترل می‌شود. فعالیت‌های تعمیر و نگهداری در مکان‌های به اصطلاح تعمیر و نگهداری انجام می‌شود که محوطه‌های راه‌آهن با امکانات تعمیر و نگهداری هستند که در شبکه گسترده شده‌اند. برای عملیاتی شدن یک مکان تعمیر و نگهداری، لازم است که پرسنل در محل نگهداری مستقر شوند. تعداد پرسنل مستقر در هر مکان، تصمیم شرکت راه‌آهن است و به همراه طراحی مکان تعمیر و نگهداری، در دسترس بودن محل نگهداری را تعیین می‌کند. اپراتور می‌تواند انتخاب کند که یک تاسیسات را در لحظات خاصی از روز یا شب توسط پرسنل مستقر در این مکان باز کند. به طور خاص، می‌توان بین عملیات روزانه (به این معنی که یک مکان در روز باز می‌شود) و عملیات شبانه (به این معنی که یک مکان در طول شب باز می‌شود) تفاوت قائل شد.

با توجه به استفاده روزافزون از شبکه راه‌آهن، ظرفیت مکان‌های نگهداری در شب تحت فشار قرار گرفته و به محدودیت‌های خود می‌رسد. ]16 [

* + 1. RAMS در راه آهن

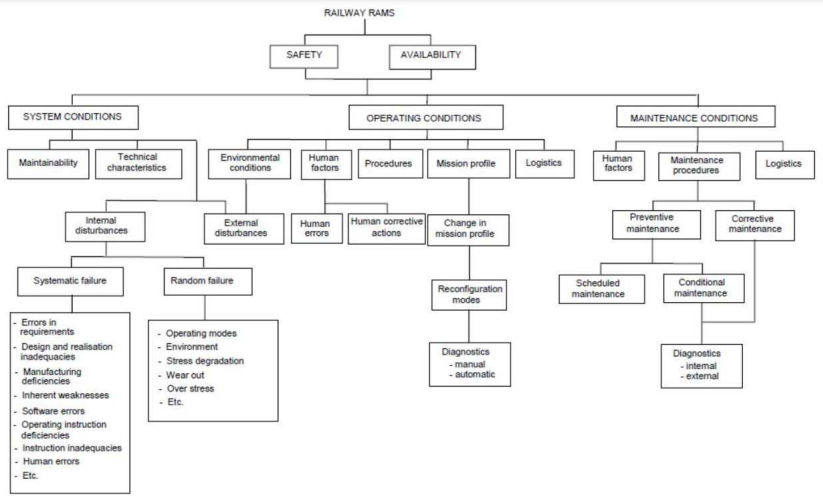
ایمنی و جلوگیری از از دست دادن ارزش خدمات زمانی به دست می‌آید که به جای افزودن سیستم‌های اصلاحی در مراحل بعدی، عوامل RAMS به طور مداوم در سراسر پروژه از ابتدای شروع تا عملیات کنترل شوند. RAMS راه‌آهن سهم عمده ای در ارزش خدمات ارائه شده توسط دارندگان وظیفه راه‌آهن است. رفتار و وضعیت سیستم ممکن است در صورت تغییر در عملکرد یا در تعامل یک زیرسیستم یا جزء تغییر کند. یک سیستم به ورودی‌ها پاسخ می‌دهد تا خروجی‌های مشخصی را تولید کند، در حالی که با یک محیط کار می‌کند. استفاده از اصطلاحات سیستم و زیرسیستم می‌تواند به دیدگاه مورد نظر بستگی داشته باشد. چیزی که توسط افرادی که آن را توسعه داده اند به عنوان یک سیستم در نظر گرفته می‌شود، ممکن است توسط افرادی که از آن به عنوان بخشی از سیستم خود استفاده می‌کنند به عنوان یک زیرسیستم در نظر گرفته شود. با توجه به مفهوم سیستم‌های تودرتو، سیستم‌ها خود از سیستم‌های کوچکتر ساخته شده اند که خود از سیستم‌های حتی کوچکتر و غیره ساخته شده اند. برای راحتی، سیستم‌های تو در تو چند سطحی معمولاً بر اساس گروه بندی سیستم‌ها در سطوح متوالی یک سلسله مراتب مدیریت می‌شوند. ]8 [



شکل1‑1- نمودار ارتباط قابلیت دسترسی و ایمنی با عناصر قابلیت تعمیر و نگهداری، بهره برداری و قابلیت اطمینان ]8[

* + 1. عناصر RAMS در راه آهن

عناصر RAMS به این معنا به هم مرتبط هستند که ضعف در هر یک از آنها یا سوء مدیریت تضاد بین الزامات آنها می‌تواند از دستیابی به یک سیستم قابل اعتماد جلوگیری کند. وضعیت ایمن تعریف شده می‌تواند به زمینه عملیاتی/نگهداری بستگی داشته باشد (مثلاً یک قطار در حال توقف در سکو به جای تونل). اگر شرایطی وجود داشته باشد که وضعیت ایمن تأثیر نامطلوب قابل توجهی بر قابلیت اطمینان / در دسترس بودن داشته باشد، ممکن است برای دستیابی به اهداف RAM بدون به خطر انداختن ایمنی، راه حل متفاوت و بهینه مورد نیاز باشد. دستیابی به اهداف در دسترس بودن در سرویس با بهینه سازی قابلیت اطمینان و نگهداری و در عین حال در نظر گرفتن تأثیر حفظ ایمنی به دست خواهد آمد. الزامات مربوطه را می‌توان با ترکیبی از اقدامات طراحی و اجرا و از طریق نگهداری مداوم و طولانی مدت و فعالیت‌های عملیاتی مطابق با محیط سیستم برآورده و کنترل کرد. امنیت ویژگی انعطاف پذیری یک سیستم راه‌آهن در برابر خرابکاری، بدخواهی و رفتارهای عمدی مضر انسانی است. ]8 [



شکل 1‑2- عوامل موثر بر RAMS راه‌آهن ]8[

* + 1. مدیریت RAMS راه‌آهن - الزامات عمومی

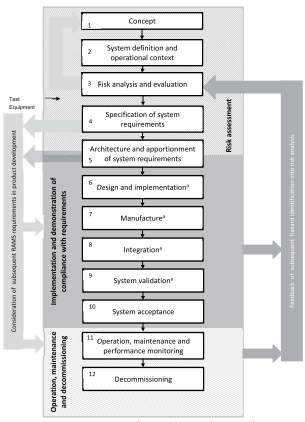
مدل چرخه عمر برای سیستم مورد بررسی به عنوان مبنایی برای مدیریت RAMS از جمله قوانین سازگاری تعریف می‌شود. رویکرد چرخه عمر ساختاری را برای برنامه ریزی، مدیریت، کنترل و نظارت بر تمام جنبه‌های یک سیستم، از جمله RAMS، در حالی که سیستم مورد بررسی در مراحل چرخه عمر پیشرفت می‌کند، فراهم می‌کند. تمرکز فرآیند RAMS کاهش بروز خرابی‌ها و یا پیامدهای آن در طول چرخه عمر و در نتیجه به حداقل رساندن ریسک باقیمانده ناشی از این خطاها است. فرآیند کلی RAMS از 3 بلوک اصلی تشکیل شده است:

* ارزیابی ریسک (بر اساس تعریف سیستم)، از جمله مشخصات الزامات RAMS،
* پیاده سازی و نشان دادن اینکه سیستم الزامات RAMS مشخص شده را برآورده می‌کند و
* بهره برداری، نگهداری و از کار انداختن.

علاوه بر جریان اسمی فرآیند بین مراحل چرخه زندگی، فرآیند کلی شامل موارد زیر است:

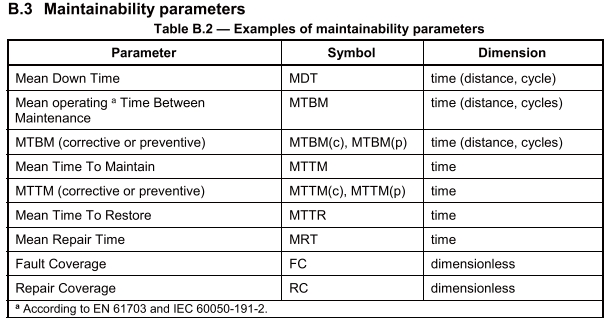
یک حلقه بازخورد (در سمت راست شکل 1-3)

حلقه‌های بعدی برای کنترل الزامات RAMS (در سمت چپ شکل 1-3)

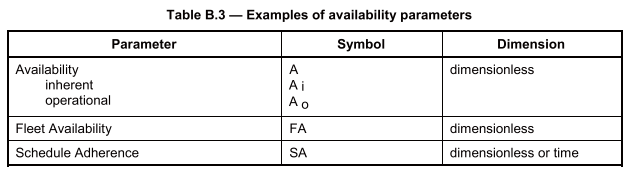


شکل 1‑3- رابطه متقابل فرآیند مدیریت RAMS و چرخه عمر سیستم ]8[

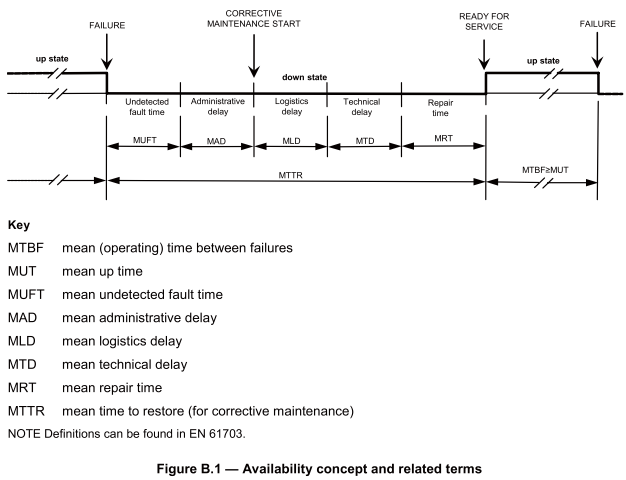
جدول1-1- مثالهایی برای عوامل قابلیت تعمیر و نگهداری ]8[



جدول 1‑1- مثال‌هایی برای عوامل قابلیت دسترسی ]8[



برای وسیله یا سیستمی که دائماً در حالت عملیاتی است و هیچ تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برنامه‌ریزی شده ای اعمال نمی‌شود، MUT=MTTF می‌باشد. در این مورد MUT و MTTF می‌توانند به جای یکدیگر برای محاسبه در دسترس بودن عملیاتی (حالت پایدار) استفاده شوند.



شکل 1‑4- قابلیت دسترسی و عوامل مرتبط ]8[

* + 1. هزینه یابی چرخه عمر (LCC)

داشتن یک چارچوب چرخه حیات برای پشتیبانی از قابلیت اطمینان، در دسترس بودن، قابلیت نگهداری و ایمنی همه دارایی‌های حیاتی ماموریت، به بخشی جدایی ناپذیر از تصمیم گیری در محیط راه‌آهن تبدیل شده است. مدیریت نگهداری همچنین به عنوان یک راه ضروری برای اطمینان از دستیابی به مدیریت چرخه عمر توصیف شده است. وجود تکنیک‌های مدیریت نگهداری و تعمیرات موثر در مرحله عملیاتی چرخه عمر یک محصول یا سیستم می‌تواند تفاوت بین سود و زیان یک سازمان را ایجاد کند. با بدتر شدن وضعیت محصول یا سیستم با افزایش سن، این امر حتی حیاتی‌تر می‌شود.

هزینه یابی چرخه عمر (LCC) یک نیاز اصلی مدیریت چرخه عمر است و به تکنیکی اشاره دارد که برای "ارائه افزایش مشاهده کل هزینه‌های انجام تجارت" استفاده می‌شود. هزینه‌های چرخه عمر، برآورد هزینه‌ها را از زمان آغاز به کار تا دفع تجهیزات یا پروژه‌ها که توسط یک مطالعه تحلیلی تعیین می‌شود برآوردی از کل هزینه‌های تجربه شده در طول عمر تجهیزات یا پروژه‌ها را در نظر می‌گیرد. این مطالعه تحلیلی از هزینه‌های چرخه عمر معمولاً به عنوان "تحلیل هزینه چرخه عمر" نامیده می‌شود و بیشتر برای ارزیابی جایگزین‌های طراحی ساختمان و سایر تصمیمات سرمایه‌گذاری مورد استفاده قرار گرفته است. نسبت به سایر روش‌های تحلیل اقتصادی، مانند روش بازپرداخت، که بیشتر نگران بازگشت سرمایه در کوتاه‌ترین زمان ممکن است، دید بسیار طولانی‌تری دارد. گاهی اوقات می‌توان هزینه‌های چرخه عمر را به عنوان "هزینه کل مالکیت" نامید، مفهومی که شامل شناسایی تمام هزینه‌های آتی و کاهش آنها به ارزش فعلی با استفاده از تکنیک‌های تنزیل است. این تکنیک‌های تخفیف به ارزیابی ارزش محصولات یا گزینه‌های محصول قبل از سرمایه‌گذاری واقعی کمک می‌کنند. ]6 [

* + 1. تنزیل و محاسبات ارزش فعلی در LCC

تجزیه و تحلیل هزینه چرخه عمر هزینه‌هایی را در نظر می‌گیرد که در آینده متحمل می‌شوند و بنابراین لازم است تمام هزینه‌ها به یک نقطه تصمیم گیری یا ارزش خاص تنزیل شود. نقطه تصمیم یا ارزش فعلی مورد نظر به عنوان "ارزش فعلی خالص" (NPV) شناخته می‌شود و به شکل زیر محاسبه می‌شود:

جریان نقدی اسمی در سال 𝑛 است،

𝑛 سالی خاص در دوره هزینه یابی چرخه عمر است،

𝑥 نرخ افت ارزش است و

𝑇 طول دوره زمانی مورد بررسی است.

نرخ‌های افت ارزش از سازمانی به سازمان دیگر متفاوت است و به شدت به مشخصات هزینه مورد نظر بستگی دارد. همچنین شایان ذکر است که نرخ‌های افت ارزش بالا به نفع گزینه‌هایی با هزینه سرمایه کم، عمر کوتاه و هزینه تکرارشونده بالا است. در حالی که نرخ‌های افت ارزش پایین اثر معکوس دارند. ]6 [

* + 1. عدم قطعیت در LCC

عواملی مانند عمر پروژه، نرخ تنزیل، مالیات و غیره همیشه به راحتی قابل تعیین و پیش بینی آینده نیستند. همیشه سطحی از عدم قطعیت مرتبط با چنین پیش بینی‌هایی وجود دارد، به خصوص اگر اطلاعات کافی وجود نداشته باشد. این یک چالش برای تصمیم گیرنده است، که اکنون باید راه‌هایی را برای کاهش این عدم اطمینان و اعتبار بیشتر به تصمیم نهایی بیابد. رویکردهای مختلف برای عدم قطعیت در LCC وجود دارند. اینها را می‌توان به رویکردهای قطعی و احتمالی تقسیم کرد. رویکرد اول یک مقدار کلیدی نامشخص یا ترکیبی از مقادیر را در یک زمان تغییر می‌دهد، در حالی که دومی تعداد زیادی از نتایج ممکن را با امکان پذیری همراه با احتمال مرتبط در نظر می‌گیرد.

رویکردهای منتخب برای ارزیابی عدم قطعیت در تحلیل LCC

رویکردهای قطعی:

1. برآورد سود و هزینه محافظه کارانه
2. تجزیه و تحلیل سربه سر
3. تجزیه و تحلیل میزان حساسیت
4. نرخ تنزیل تعدیل شده بر اساس ریسک
5. تکنیک معادل قطعیت
6. برآوردهای ورودی با استفاده از مقادیر مورد انتظار

رویکردهای احتمالی:

1. تخمین‌های ورودی با استفاده از توزیع‌های احتمال
2. معیار میانگین انحراف معیار و ضریب تغییرات
3. تجزیه و تحلیل تصمیم
4. شبیه سازی
5. تکنیک ریاضی/تحلیلی

تجزیه و تحلیل حساسیت تأثیر تغییر یک یا چند مقدار ورودی کلیدی را که در مورد آنها عدم اطمینان وجود دارد، بر نتایج پروژه اندازه گیری می‌کند. تجزیه و تحلیل حساسیت چندین مزیت دارد:

1. نشان می‌دهد که یک متغیر ورودی واحد چقدر در تعیین نتایج پروژه مهم است.
2. عدم قطعیت مرتبط با ورودی را تشخیص می‌دهد.
3. زمانی می‌توان آن را اجرا کرد که اطلاعات کمی، منابع کم یا زمان کمی برای استفاده از تکنیک‌های پیچیده‌تر وجود داشته باشد.

این تجزیه و تحلیل دو نقطه ضعف اصلی دارد: هیچ معیار احتمالی صریحی برای قرار گرفتن در معرض خطر ارائه نمی‌کند، و شامل هیچ درمان صریحی برای ارزیابی ریسک نمی‌شود. ]6 [

* + 1. LCC در صنعت راه آهن

تصمیم گیرندگان در راه‌آهن اخیراً از اصول هزینه یابی چرخه عمر در تصمیمات سرمایه‌گذاری خود استفاده کرده اند. توزیعی که از مطالعات LCC وجود دارد هم زیرساخت‌های راه‌آهن و هم وسایل ریلی را پوشش می‌دهد (وسایل نقلیه خدمات مسافری که در راه‌آهن کار می‌کنند). LCC عمدتاً در تصمیم گیری اکتساب سرمایه و مشکلات تصمیم گیری استراتژی نگهداری تعریف می‌شود. ]6 [

* + 1. مدیریت تعمیر و نگهداری، RAMS و LCC

داشتن یک برنامه تعمیر و نگهداری با ساختار مناسب می‌تواند به دستیابی به LCC پایین بدون افزایش هزینه خرید کمک کند. شاخص‌های عملکرد برای بررسی اهداف یا اهداف مورد نظر در طول مرحله عملیات و تعمیر و نگهداری یک محصول یا سیستم را می‌توان با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان، در دسترس بودن، نگهداری و ایمنی (RAMS) ارائه کرد. RAMS یک شاخص کیفی و کمی است که نشان می‌دهد تا چه حد می‌توان به یک سیستم یا اجزای آن برای عملکرد مشخص شده و هم در دسترس بودن و هم ایمن بودن مطابق با استاندارد اروپایی EN 50126-1:1999 اعتماد کرد. این استاندارد در ادامه توضیح می‌دهد که RAMS یک ویژگی عملکرد طولانی مدت یک سیستم است و با استفاده از مفاهیم، روش‌ها، ابزارها و تکنیک‌های مهندسی در طول چرخه عمر سیستم به دست می‌آید. تعیین اهداف RAMS بیش از حد می­تواند هزینه‌های خرید، عملیات و نگهداری را به شدت بالا ببرد، اما از طرف دیگر، تعیین اهداف RAMS پایین بر کیفیت خدمات محصول یا سیستم تأثیر می‌گذارد. ]6 [

* + 1. الزامات FMEA برای راه آهن

حالت‌های خرابی و تحلیل اثر (FMEA) یک رویکرد معمولی است که برای شناسایی خرابی‌های بالقوه در طرح‌ها، محصولات یا خدمات استفاده می‌شود. حالت‌های خرابی همچنین به راه‌ها یا حالت‌هایی اشاره دارند که می‌توانند باعث خرابی چیزی شوند. اصطلاح شکست به خطاها یا عیوب واقعی یا بالقوه اشاره دارد. خرابی بر اساس جدیت و شدت آسیب، میزان قابل تشخیص و تعداد دفعات وقوع آن اولویت بندی یا رتبه بندی می­شود. بنابراین از FMEA برای حذف یا کاهش خرابی‌ها با تمرکز بر بالاترین اولویت استفاده می‌شود. بنابراین، اهمیت FMEA شناسایی و تعیین علل و اثرات بالقوه شکست است و همچنین می‌تواند برای راهنمایی محققان، مدیریت یا افرادی که در شناسایی علت اصلی در مورد کارهایی که به منظور کاهش علت و معلول از طریق کارهای نوسازی نیمه عمر.مورد نیاز هستند تصمیم گیری می‌کنند، استفاده شود. همچنین برای از بین بردن علل خرابی و به حداقل رساندن تأثیر برای افزایش در دسترس بودن و قابلیت اطمینان قطار استفاده می‌شود. حتی با برنامه­ریزی و استراتژی نگهداری مناسب، طول عمر قطار می‌تواند تا 45 سال افزایش یابد. دامنه کارهای MLR معمولاً انجام کارهای تعمیرات اساسی، کارهای ارتقاء و نوسازی یا تنها بخشی از آن است.

* + 1. خط مشی نگهداری عمومی

1. تعمیر و نگهداری اصلاحی: وظیفه تعمیر و نگهداری برای شناسایی و اصلاح یک سیستم یا زیرسیستم انجام می‌شود. قطعه و تجهیزات را می‌توان بر اساس معیارهای پذیرش و محدودیت‌های تعیین شده یا شناخته شده به عنوان حداقل لیست تجهیزات برای عملیات در سرویس به وضعیت عملیاتی بازگرداند.
2. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه: تعمیر و نگهداری پیشگیرانه یک تنظیم سیاست تعمیر و نگهداری است که تضمین می‌کند تمام سیستمها، زیرسیستم‌ها، قطعات و تجهیزات نگهداری می‌شوند تا احتمال خرابی آن کاهش یابد. این سیاست تعمیر و نگهداری زمانی انجام می‌شود که سیستم هنوز در شرایط کار قرار دارد، بنابراین به طور غیرمنتظره ای خراب نمی‌شود و سیستم عملیات قطار را به خطر نمی‌اندازد.
3. تعمیرات اساسی: تعمیرات اساسی یک خط مشی تعمیر و نگهداری است که به فرآیند تعمیر و نگهداری اشاره دارد که قطار را پس از سال‌ها عملیات بدون هیچ گونه کار ارتقایی به مشخصات پذیرش یا به سطح کامل عملیاتی خود باز می‌گرداند. این سیاست تعمیر و نگهداری معمولاً با فواصل زمانی بسیار زیاد مانند هر پنج، هفت یا ده سال یکبار تحت شرایط سیستم انجام می‌شود.
4. تعمیر و نگهداری نوسازی: نوسازی یک سیاست تعمیر و نگهداری است که برای بهبود و بازسازی قطارها شامل تعمیرات اساسی، ارتقاء و اصلاح کار به منظور بازگرداندن وضعیت قطار و همچنین ارتقای سیستم با مفهوم کشش فناوری انجام می‌شود. معمولاً بازسازی در میانسالی دارایی یا قطار انجام می‌شود. ]14 [
   * 1. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، مهمترین رکن تعمیرات

تعمیر و نگهداری پیشگیرانه وسایل نقلیه راه‌آهن نه تنها از منظر قابلیت اطمینان وسایل ریلی مهم است، بلکه مقررات مختلف آنها را اجباری می‌سازد. معمولاً این فعالیت‌ها به صورت دوره­ای انجام می‌شود که شامل چرخه­های تعمیر و نگهداری مبتنی بر زمان و فاصله است. از نظر اقتصادی منطقی است که فعالیتهای تعمیر و نگهداری به دلیل هزینه مالی بالای آنها در آخرین تاریخ ممکن، یعنی بر اساس دوره‌های زمانی انجام شود. از سوی دیگر، وسایل ریلی کارهای چرخه­ای مختلفی را انجام می‌دهند که توسط سفارشات حمل و نقل مشخص شده و مشخصه آن مسافت پیموده شده روزانه است. آنها ممکن است تحت تعمیرات زودتر از موعدی که توسط مسافت پیموده شده بیشتر و سیاست مبتنی بر مسافت مربوطه تعیین شده، قرار گیرند. با این وجود، برنامه تعمیر و نگهداری هر وسیله ریلی تحت تأثیر حجم کاری مشاغل را می‌توان در یک محدوده معین توسط برنامه زمانی آنها کنترل کرد.

فعالیت‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای کشورهای اتحادیه اروپا اجباری است تا از خرابی جلوگیری کنند و اثرات آنها را بر سیستم راه‌آهن و محیط زیست محدود کنند. تقسیم مسئولیت در این زمینه باید روشن باشد زیرا به ایمنی در ترافیک زمینی مربوط می‌شود. از این رو، در تمام کشورهای اتحادیه اروپا، به این گونه نهادها Entity in Charge of Maintenance گفته می‌شود. در طول سال‌ها، هزینه‌های نگهداری به دلیل افزایش قیمت قطعات، قطعات وسایل ریلی و هزینه نیروی کار افزایش یافته است. بنابراین، بهینه سازی تعمیر و نگهداری می‌تواند یک عامل کلیدی در افزایش بهره وری شرکت‌های راه‌آهن باشد. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه وسایل ریلی معمولاً جنبه‌های اضافی مسیریابی وسیله نقلیه، مشکل تخصیص لوکوموتیو یا مشکل گردش وسایل ریلی را تشکیل می‌دهد، در حالی که هزینه محبوب ترین معیار در ارزیابی راه حل‌های پیشنهادی است. ]11 [

* + 1. خطاهای انسانی

خطاهای انسانی که در طول فعالیت‌های تعمیر و نگهداری راه‌آهن رخ می‌دهد می‌تواند به طور قابل توجهی در دسترس بودن تجهیزات را کاهش دهد. شناسایی خطاهای انسانی بالقوه، علل آنها و پیش‌بینی احتمالات مرتبط، مراحل مهمی برای مدیریت چنین خطاهایی است.

برای همه ذینفعان دارای شبکه راه‌آهن در سراسر جهان ضروری است که سیستم ریلی ایمن، بسیار قابل اعتماد و با کیفیت عالی را هدف قرار دهند. در حالی که ایمنی عملیات راه‌آهن در این سیستم به عوامل متعددی بستگی دارد، نقش انسان حیاتی است و به طور فزاینده ای به این عنوان شناخته می‌شود. ]21 [

* + 1. تعاریف اصطلاحات و واژه شناسی تعمیر و نگهداری

توجه به معانی و مفاهیم درست لغات و اصطلاحات کاربردی در تعمیر و نگهداری وسایل ریلی، از اهمیت بالایی در تعیین اهداف و استراتژی‌های تعمیر و نگهداری و نیز پایش شاخص‌های کلیدی دارد. متاسفانه اشتباه در تفسیر موارد فوق رایج است و گاهی اوقات موجب بروز اختلافات بین سازمان‌های مرتبط با تعمیر و نگهداری، بهره برداری، پشتیبانی و تامین کنندگان وسایل ریلی و تجهیزات می‌گردد. لذا در این بخش برخی از تعاریف واژه‌های مهم از استاندارد اروپایی BS EN 13306:2017 که رایج ترین استاندارد نه تنها در اروپا بلکه در سراسر دنیا می‌باشد، آورده شده است:

**تعمیر و نگهداری:** ترکیبی از کلیه اقدامات فنی، اداری و مدیریتی در طول چرخه عمر یک آیتم با هدف حفظ یا بازگرداندن آن به حالتی که بتواند عملکرد مورد نیاز را انجام دهد. اقدامات تعمیر و نگهداری فنی شامل مشاهده و تجزیه و تحلیل وضعیت آیتم (مانند بازرسی، نظارت، آزمایش، تشخیص، پیش آگهی و غیره) و اقدامات تعمیر و نگهداری فعال (مانند تعمیر، نوسازی).

**مدیریت تعمیر و نگهداری:** کلیه فعالیت‌های مدیریت که الزامات، اهداف، استراتژی‌ها و مسئولیت‌های تعمیر و نگهداری را تعیین می‌کنند و اجرای آن‌ها را با ابزارهایی مانند برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری، کنترل تعمیر و نگهداری و بهبود فعالیت‌های تعمیر و نگهداری و اقتصادی انجام می‌دهند.

**اهداف تعمیر و نگهداری**

اهداف تعیین شده و پذیرفته شده برای فعالیت‌های تعمیر و نگهداری. این اهداف ممکن است به عنوان مثال در دسترس بودن، کاهش هزینه، کیفیت محصول، حفظ محیط زیست، ایمنی، عمر مفید، حفظ ارزش دارایی باشد.

**استراتژی نگهداری:** روش مدیریتی مورد استفاده برای دستیابی به اهداف تعمیر و نگهداری، مثال برون سپاری تعمیر و نگهداری، تخصیص منابع و غیره.

**برنامه تعمیر و نگهداری:** مجموعه ای ساختار یافته و مستند از وظایف که شامل فعالیت‌ها، رویه‌ها، منابع و مقیاس زمانی مورد نیاز برای انجام تعمیرات 10 ساله است.

**عملکرد مورد نیاز:** تابع، ترکیبی از توابع، یا ترکیب کل توابع یک آیتم که برای برآوردن یک نیاز معین ضروری تلقی می‌شود. «لازم برای انجام یک الزام معین» ممکن است شامل حفظ ارزش دارایی نیز باشد. الزام داده شده ممکن است بیان یا ضمنی باشد و در مواردی کمتر از مشخصات طرح اولیه باشد. تابع مورد نیاز، به طور ضمنی، کارهایی را که مورد نباید انجام دهد نیز پوشش می‌دهد.

**قابل اعتماد بودن:** توانایی انجام کار در صورت لزوم، قابلیت اطمینان شامل در دسترس بودن، ایمنی، امنیت، دوام، اقتصادی و عوامل مؤثر بر آنها (قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری، عملکرد پشتیبانی تعمیر و نگهداری، شرایط استفاده و تأثیر اپراتور) است. قابلیت اطمینان به عنوان یک اصطلاح جمعی برای ویژگی‌های کیفی مربوط به زمان یک کالا استفاده می‌شود.

**عملکرد پشتیبانی تعمیر و نگهداری / قابلیت پشتیبانی تعمیر و نگهداری:** توانایی یک سازمان تعمیر و نگهداری برای داشتن پشتیبانی تعمیر و نگهداری صحیح در محل لازم برای انجام فعالیت تعمیر و نگهداری مورد نیاز در صورت لزوم

**عملکرد / بهره برداری:** ترکیبی از کلیه اقدامات فنی، اداری و مدیریتی، به غیر از اقدامات تعمیر و نگهداری، که منجر به استفاده از آیتم می‌شود. اقدامات نگهداری انجام شده توسط اپراتورها شامل عملیات نمی‌شود.

**قابلیت اطمینان:** توانایی یک آیتم برای انجام یک عملکرد مورد نیاز در شرایط معین برای یک بازه زمانی معین. قابلیت اطمینان یک آیتم را می‌توان از روی خرابی‌های مشاهده شده آن یا / و مجموعه ای از اقلام قابل مقایسه در یک بازه زمانی معین محاسبه کرد. پایایی پیش‌بینی‌شده یک اقلام بیانگر میزان اطمینان به آن است که از پایایی مشاهده شده اقلام قابل مقایسه و آگاهی از وضعیت واقعی آن برآورد می‌شود. در برخی موارد می‌توان به جای یک بازه زمانی معین، تعداد واحد استفاده معینی را در نظر گرفت (تعداد چرخه، تعداد ساعات دویدن، تعداد کیلومتر و ...). شرایط داده شده ممکن است شامل اقدامات نگهداری پیشگیرانه و حالت‌ها و شرایط عملیاتی باشد.

**قابلیت اطمینان ذاتی:** قابلیت اطمینان یک مورد توسط طراحی و ساخت تحت شرایط مورد انتظار عملیات تعیین می‌شود، با این فرض که هیچ وظیفه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه انجام نمی‌شود، به جز تعمیر و نگهداری معمول.

**قابلیت اطمینان مورد انتظار:** قابلیت اطمینان یک مورد توسط طراحی و ساخت تحت شرایط مورد انتظار بهره برداری و نگهداری تعیین می‌شود.

**قابلیت اطمینان عملیاتی (بهره برداری):** قابلیت اطمینان واقعی یک آیتم با در نظر گرفتن حالت‌های عملیاتی، شرایط عملیاتی و اقدامات احتمالی نگهداری پیشگیرانه انجام شده

**قابلیت نگهداری:** توانایی یک آیتم تحت شرایط استفاده معین، نگهداری یا بازیابی در حالتی که می‌تواند عملکرد مورد نیاز را انجام دهد، زمانی که تعمیر و نگهداری تحت شرایط معین و با استفاده از روش‌ها و منابع اعلام شده انجام می‌شود. قابلیت نگهداری ممکن است با استفاده از معیارها یا شاخص‌های مناسب اندازه‌گیری شود و سپس به عنوان عملکرد نگهداری از آن یاد می‌شود.

**قابلیت نگهداری ذاتی:** قابلیت نگهداری یک آیتم که توسط طراحی در شرایط مورد انتظار نگهداری و پشتیبانی لجستیک تعیین می‌شود.

**قابلیت دسترسی:** توانایی یک اقلام برای قرار گرفتن در وضعیتی برای عملکرد در صورت لزوم، در شرایط معین، با این فرض که منابع خارجی لازم فراهم شده است. منابع خارجی مورد نیاز، به غیر از منابع تعمیر و نگهداری، بر قابلیت دسترسی آیتم تأثیری نمی‌گذارد، اگرچه ممکن است مورد از نظر کاربر در دسترس نباشد. این توانایی به جنبه‌های ترکیبی قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری کالا، قابلیت پشتیبانی تعمیر و نگهداری و اقدامات تعمیر و نگهداری انجام شده بر روی کالا بستگی دارد. قابلیت دسترسی را می‌توان با استفاده از معیارها یا شاخص‌های مناسب اندازه گیری کرد و سپس به عنوان عملکرد در دسترس بودن نامیده می‌شود.

**قابلیت دسترسی آنی:** احتمال اینکه یک آیتم در شرایطی قرار دارد که در یک لحظه معین مطابق با شرایط مورد نیاز عمل کند، با فرض اینکه منابع خارجی لازم فراهم شده باشد.

**قابلیت دسترسی بر اساس زمان:** در طول یک دوره زمانی معین، درصدی از زمانی که در طی آن یک آیتم قادر به انجام در صورت نیاز بوده است. با توجه به زمان مورد نیاز، می‌توان از نسبت‌های مختلفی برای محاسبه در دسترس بودن بر اساس زمان استفاده کرد، به عنوان مثال:

* نسبت زمان بالا (UT) به کل زمان یک دوره معین (UT+DT): این نسبت، در طول یک دوره زمانی معین، درصدی از زمانی را که در طی آن یک آیتم می‌توانست در مواقع لزوم کار کند، با فرض اینکه منابع خارجی لازم فراهم شده بود، اندازه‌گیری می‌شود.
* نسبت، در طول یک دوره معین، زمان عملیات (OT) به مجموع زمان کارکرد و زمان بازیابی (OT+TTR): این نسبت، در طول یک دوره زمانی معین، درصد زمانی را که در طی آن یک آیتم در صورت لزوم انجام می‌شود، به استثنای مواردی که به دلایلی غیر از نقص، کار نمی‌کند، اندازه‌گیری می‌کند.
* نسبت زمان کارکرد (OT) به مجموع زمان کارکرد و زمان خاموشی (OT+DT) در طول یک دوره معین: این نسبت، در طول یک دوره زمانی معین، درصد زمانی را که در طی آن یک آیتم در صورت لزوم انجام می‌شود، به استثنای مواردی که به دلایلی غیر از تعمیر و نگهداری یا نقص انجام نشده است، اندازه‌گیری می‌کند.

**در دسترس بودن بر اساس تولید**

نسبت تولید واقعی به تولید مورد نیاز یا هر سطح مرجع دیگری در یک دوره زمانی مشخص. سایر سطوح مرجع می‌تواند باشد:

* کل تولید به ظرفیت اسمی در طول دوره زمانی؛
* کل تولید به ظرفیت اسمی در طول دوره زمانی به استثنای مواقعی که منابع خارجی لازم وجود نداشته باشد:
* کل تولید به ظرفیت اسمی در طول دوره زمانی به استثنای مواقعی که منابع خارجی لازم وجود نداشته باشد و در دسترس نبودن تولید برنامه‌ریزی شده باشد:
* و غیره.

برای هدف تعمیر و نگهداری، سطح مرجع شامل تلفات تولید ناشی از اپراتورها نمی‌شود (مانند تغییر محصول، تغییر ابزار، تنظیمات).

**دوام**

توانایی یک کالا برای انجام عملکرد مورد نیاز تحت شرایط استفاده و نگهداری معین، تا پایان عمر مفید

ا**فزونگی**

در یک آیتم، وجود بیش از یک وسیله برای انجام یک عملکرد مورد نیاز در صورت نیاز در یک آیتم، وجود بیش از یک وسیله برای انجام یک عملکرد مورد نیاز در صورت نیاز در یک آیتم

**افزونگی فعال**

افزونگی که در آن بیش از یک وسیله برای انجام یک عملکرد مورد نیاز به طور همزمان کار می‌کنند

**افزونگی آماده به کار**

افزونگی که در آن یک وسیله جایگزین برای انجام عملکرد خاص تنها زمانی فعال می‌شود که وسیله فعال در دسترس نباشد. افزونگی آماده به کار اغلب به عنوان افزونگی غیرفعال شناخته می‌شود.

**میانگین میزان خرابی / شکست**

تعداد خرابی‌های یک آیتم در یک بازه زمانی معین تقسیم بر بازه زمانی. در برخی موارد می‌توان واحد زمان را با واحدهای استفاده جایگزین کرد.

**چرخه عمر**

سلسله مراحلی که یک کالا طی می‌کند، از زمان تصور تا دفع. مثال یک چرخه عمر سیستم معمولی شامل اکتساب، بهره برداری، نگهداری، نوسازی، از کار انداختن و/یا دفع است. مراحل مشخص شده با برنامه متفاوت خواهد بود.

**منسوخ شدن (برای اهداف نگهداری)**

عدم امکان نگهداری یک کالا به دلیل در دسترس نبودن منابع لازم در بازار در شرایط فنی و/یا اقتصادی قابل قبول. کهنگی معادل پیری نیست. منابع لازم می‌تواند عبارت باشد از:

* یک (یا چند مورد) فرعی برای بازیابی مورد نیاز است.
* ابزارهایی برای نظارت یا آزمایش دستگاه‌ها؛
* منابع مستند؛
* مهارت‌ها؛
* و غیره.

در دسترس نبودن منابع می‌تواند به دلایل زیر باشد:

* توسعه فناوری؛
* وضعیت بازار؛
* عدم وجود تامین کننده؛
* آئین نامه.

**شرایط عملیاتی:** بارهای فیزیکی و شرایط محیطی که کالا در طول یک دوره معین تجربه کرده است. شرایط عملیاتی می­تواند در طول چرخه عمر مورد متفاوت باشد.

**شکست / خرابی:** از دست دادن توانایی یک آیتم برای انجام یک عملکرد مورد نیاز. پس از خرابی، مورد دارای ایراد است که ممکن است کامل یا جزئی باشد. «خرابی» رویدادی است که از «عیب» که حالتی دیگر است، متمایز می‌شود. مفهوم تعریف شده فقط در مورد موارد متشکل از نرم افزار صدق نمی‌کند.

**حالت شکست / خرابی:** روشی که در آن ناتوانی یک آیتم در انجام یک عملکرد مورد نیاز رخ می‌دهد. یک حالت خرابی ممکن است توسط عملکرد از دست رفته یا انتقال حالت رخ داده تعریف شود.

**تنزل:** تغییر مضر در وضعیت فیزیکی، با گذشت زمان، استفاده یا به علت خارجی. تخریب ممکن است منجر به شکست شود. در یک زمینه سیستم، تخریب نیز ممکن است در اثر خرابی در سیستم ایجاد شود.

**عیب / خطا:** وضعیت یک کالا که با ناتوانی در انجام یک عملکرد مورد نیاز مشخص می‌شود، به استثنای ناتوانی در حین نگهداری پیشگیرانه یا سایر اقدامات برنامه‌ریزی شده، یا به دلیل کمبود منابع خارجی. عیب معمولاً از خرابی ناشی می‌شود، اما در برخی شرایط، مانند مشخصات، طراحی، ساخت یا نگهداری، ممکن است یک خطای قبلی باشد.

**عیب / خطای پنهان:** عیب موجود که آشکار نشده است.

**عیب / خطای جزئی:** خطا با این واقعیت مشخص می‌شود که یک آیتم فقط می‌تواند برخی از عملکردهای مورد نیاز را انجام دهد اما نه همه. در برخی موارد ممکن است بتوان از آیتم با کارایی کمتر استفاده کرد.

**تعمیر و نگهداری پیشگیرانه:** تعمیر و نگهداری انجام شده با هدف ارزیابی و/یا کاهش تخریب و کاهش احتمال خرابی یک مورد

**نگهداری از پیش تعیین شده:** نگهداری پیشگیرانه مطابق با فواصل زمانی مشخص یا تعداد واحدهای استفاده اما بدون بررسی شرایط قبلی انجام می‌شود. فواصل زمانی یا تعداد واحد استفاده ممکن است با آگاهی از مکانیسم‌های خرابی کالا تعیین شود.

**نگهداری مبتنی بر شرایط:** تعمیر و نگهداری پیشگیرانه که شامل ارزیابی شرایط فیزیکی، تجزیه و تحلیل و اقدامات احتمالی نگهداری متعاقب آن است. ارزیابی وضعیت ممکن است با مشاهده اپراتور، و/یا بازرسی و/یا آزمایش و/یا پایش وضعیت پارامترهای سیستم و غیره بر اساس برنامه زمانبندی، بنا به درخواست یا مستمر انجام شود.

**تعمیرات قابل پیش بینی:** تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط به دنبال یک پیش‌بینی حاصل از تجزیه و تحلیل مکرر یا ویژگی‌های شناخته شده و ارزیابی پارامترهای مهم تخریب کالا انجام می‌شود.

**نگهداری فعال:** بخشی از تعمیر و نگهداری که در آن اقدامات مستقیماً بر روی یک کالا به منظور حفظ آن یا بازگرداندن آن به حالتی که بتواند عملکرد مورد نیاز را انجام دهد انجام می‌شود. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه فعال بخشی از نگهداری پیشگیرانه است که در آن اقداماتی برای بازیابی یک کالا به طور مستقیم یا پس از تخریب مشاهده شده از طریق نظارت بر وضعیت، بازرسی یا آزمایش انجام می‌شود. تعمیر و نگهداری اصلاحی فعال بخشی از نگهداری اصلاحی است که در آن اقداماتی برای بازیابی یک مورد انجام می‌شود.

**تعمیر و نگهداری اصلاحی:** تعمیر و نگهداری پس از تشخیص عیب انجام شده و قصد دارد یک مورد را به حالتی بازگرداند که در آن بتواند عملکرد مورد نیاز را انجام دهد.

**تعمیر و نگهداری اصلاحی معوق:** تعمیر و نگهداری اصلاحی که بلافاصله پس از تشخیص عیب انجام نمی‌شود، اما مطابق با قوانین داده شده به تأخیر می‌افتد.

**تعمیر و نگهداری اصلاحی فوری:** تعمیر و نگهداری اصلاحی که بدون تاخیر پس از تشخیص عیب انجام می‌شود تا از عواقب غیر قابل قبول جلوگیری شود.

**نگهداری برنامه‌ریزی شده:** تعمیر و نگهداری مطابق با برنامه زمانی مشخص یا تعداد مشخصی از واحدهای استفاده انجام می‌شود. تعمیر و نگهداری اصلاحی معوق نیز ممکن است برنامه‌ریزی شود.

**نگهداری فرصت طلب:** تعمیر و نگهداری پیشگیرانه یا تعمیر و نگهداری اصلاحی به تعویق افتاده که بدون برنامه‌ریزی همزمان با سایر اقدامات نگهداری یا رویدادهای خاص برای کاهش هزینه‌ها، در دسترس نبودن و غیره انجام می‌شود.

**نگهداری از راه دور:** نگهداری از یک مورد بدون دسترسی فیزیکی مستقیم پرسنل به کالا انجام می‌شود

**تعمیر و نگهداری بر خط (در سیر):** تعمیر و نگهداری در حین کار و بدون تأثیر بر عملکرد آن بر روی آن انجام می‌شود. در این نوع نگهداری رعایت کلیه مراحل ایمنی حائز اهمیت است.

**تعمیر و نگهداری در محل:** تعمیر و نگهداری در محلی که کالا به طور معمول استفاده یا ذخیره می‌شود انجام می‌شود

**بازرسی:** بررسی انطباق با اندازه‌گیری، مشاهده یا آزمایش ویژگی‌های مربوطه یک آیتم

**نظارت بر وضعیت:** فعالیتی که به صورت دستی یا خودکار انجام می‌شود، با هدف اندازه گیری در فواصل از پیش تعیین شده ویژگی‌ها و پارامترهای وضعیت واقعی فیزیکی یک کالا. نظارت از بازرسی متمایز است زیرا برای ارزیابی هرگونه تغییر در پارامترهای کالا با گذشت زمان استفاده می‌شود. نظارت ممکن است مستمر، در بازه زمانی یا پس از تعداد معینی از عملیات باشد. نظارت معمولاً در حالت عملیاتی انجام می‌شود.

**تعمیر و نگهداری روال:** فعالیت‌های نگهداری پیشگیرانه ساده منظم یا مکرر. تعمیر و نگهداری معمول ممکن است شامل تمیز کردن، سفت کردن اتصالات، تعویض کانکتورها، بررسی سطح مایع، روغن کاری و غیره باشد.

**تعمیرات اساسی:** مجموعه ای جامع از اقدامات نگهداری پیشگیرانه انجام شده، به منظور حفظ سطح مورد نیاز عملکرد یک مورد. تعمیرات اساسی ممکن است در فواصل زمانی یا تعداد عملیات تعیین شده انجام شود. تعمیرات اساسی ممکن است نیاز به برچیدن کامل یا جزئی کالا داشته باشد.

**تشخیص عیب / خطا:** اقدامات انجام شده برای شناسایی خطا، محلی سازی خطا و شناسایی علل

**مرمت / اصلاح:** اقدامات فیزیکی انجام شده برای بازگرداندن عملکرد مورد نیاز یک مورد معیوب. تعمیر همچنین شامل محلی سازی خطا و بررسی عملکرد است. تصحیح عیب به معنای تعمیر است

**مرمت / اصلاح موقت:** اقدامات فیزیکی انجام شده برای اجازه دادن به یک مورد معیوب برای انجام عملکرد مورد نیاز خود برای یک بازه زمانی محدود و تا زمانی که تعمیر انجام شود.

**تعمیر و نگهداری استثنایی:** تعمیر و نگهداری پیشگیرانه که به ندرت انجام می‌شود و تأثیر قابل توجهی از نظر کل هزینه‌های چرخه عمر دارد. تعمیر و نگهداری استثنایی شامل اقدامات تعمیر و نگهداری بزرگ است که ممکن است عبارتند از:

* اجتناب ناپذیر و برنامه‌ریزی شده، در نتیجه منجر به توسعه استراتژی‌های جایگزین (مانند تمدید عمر) می‌شود.
* غیر منتظره، در نتیجه خطاهای طراحی، ساخت، نصب، بهره برداری یا تعمیر و نگهداری یا موقعیت‌های تصادفی (آتش سوزی، سیل و غیره).

هزینه نگهداری استثنایی عموماً به عنوان سرمایه‌گذاری در نظر گرفته می‌شود. تعمیر و نگهداری استثنایی را گاهی اوقات سرمایه‌گذاری جایگزین می‌گویند.

**برنامه / جدول زمانی تعمیر و نگهداری:** طرحی که از قبل تهیه شده و جزئیات مربوط به زمان انجام یک کار تعمیر و نگهداری خاص را مشخص می­کند.

**زمان بالا (کارآیی) UT:** بازه زمانی که در آن یک آیتم در حالت بالا قرار دارد.

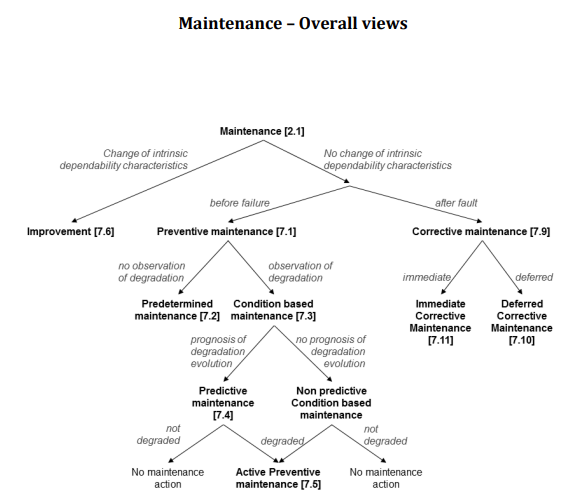
**زمان از کار افتادن DT:** بازه زمانی که در آن یک آیتم در حالت پایین (کار افتاده) است.

**زمان عملیات OT:** فاصله زمانی که یک آیتم در حالت عملیاتی قرار دارد.

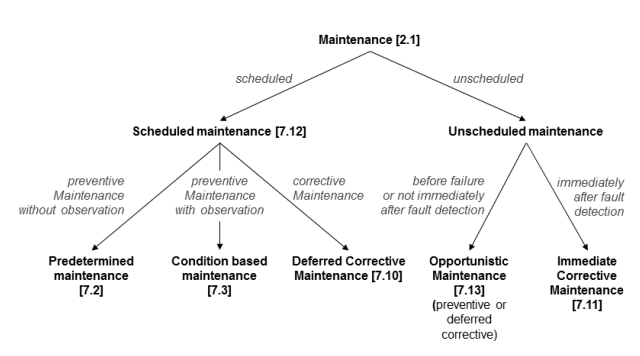
**تجزیه و تحلیل شکست / خرابی:** بررسی منطقی و سیستماتیک حالت‌ها و علل خرابی اقلام قبل یا بعد از شکست برای شناسایی پیامدهای خرابی و همچنین احتمال وقوع آن. تجزیه و تحلیل شکست به طور کلی برای بهبود قابلیت اطمینان انجام می‌شود.

**هزینه چرخه عمر:** مجموع هزینه‌های تولید شده در طول چرخه عمر کالا. برای یک کاربر یا مالک یک کالا، کل هزینه چرخه عمر ممکن است فقط شامل هزینه‌های مربوط به اکتساب، بهره برداری، نگهداری و دفع باشد.

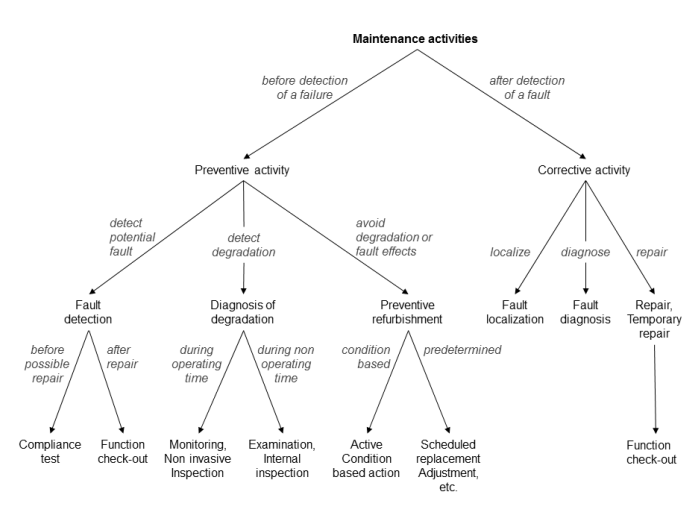
**میانگین زمان عملیات بین خرابی‌ها:** میانگین زمان‌های عملیاتی بین خرابی‌ها. در زمینه قابلیت اطمینان، میانگین زمان عملیات بین خرابی‌ها به عنوان انتظار ریاضی از زمان عملیات بین خرابی‌ها تعریف می‌شود. این عبارت در مورد اقلام قابل تعمیر اطلاق می‌شود.



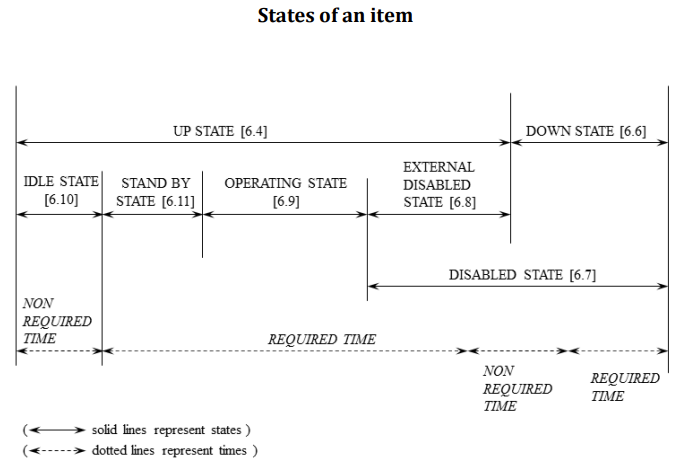
شکل 1‑5- انواع تعمیر و نگهداری ]26[



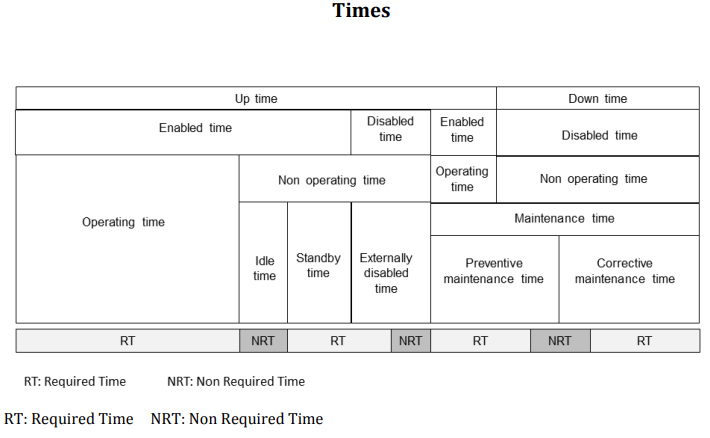
شکل 1‑6- تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده در مقابل برنامه‌ریزی نشده ]26[



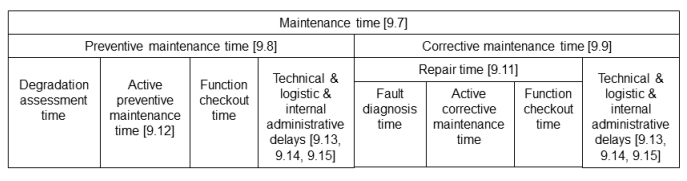
شکل 1‑7- فعالیت‌های تعمیر و نگهداری ]26[



شکل 1‑8- وضعیت یک آیتم]26[



شکل 1-9- تفکیک زمان‌های مربوط به بهره برداری و نگهداری ]26[



شکل 1-10- زمان تعمیر و نگهداری ]26[

1. روش‌های نوین تعمیر و نگهداری وسایل ریل مورد استفاده در سیستم‌های ریلی شهری و بین شهری
   1. مقدمه

در این بخش روش‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی و در ادامه نوآوری‌های مختلف در این زمینه توضیح داده شده اند. در واقع تعمیر و نگهداری وسایل ریلی بسیار مفصل است و لذا رویکردهای متفاوتی برای بهینه سازی از طریق ارایه روش‌های نوین وجود دارند. برخی از این روش‌ها بطور اساسی موجود بوده و در حال استفاده می‌باشند اما با استفاده از ابزارهای نوین، بهینه سازی شده و در صنعت امروزه تعمیر و نگهداری وسایل ریلی مورد استفاده قرار گرفته اند. توسعه نرم افزارها و سخت افزارهای یارانه­ای و نیز ابزارهای مشاهداتی، مخابراتی و تبادل اطلاعات نیز جنبه دیگر بروز روش‌های نوین تعمیر و نگهداری است. بعنوان مثال پایش از راه دور و انتقال اطلاعات خرابی‌ها و وضعیت سیستم‌ها به مراکز تعمیر و نگهداری، داده­کاوی و یادگیری ماشین روشهای نوینی هستند که با توسعه ابزارهای فناورانه شکل گرفته اند.

* 1. برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری راه آهن

مدیریت نگهداری از وظایف مهم اکثر سازمان‌های صنعتی و خدماتی است. در مورد خاص قطارهای سریع‌السیر، مقدار قابل توجهی از هزینه‌های چرخه عمر صرف عملیات تعمیر و نگهداری می‌شود. برای افزایش بهره‌وری، شرکت‌های راه ریلی تلاش زیادی برای بهینه سازی تعمیر و نگهداری انجام می‌دهند. نگهداری پیشگیرانه برای نگهداری تجهیزات در شرایط مشخص انجام می‌شود. زمان‌بندی فعالیت‌های تعمیر و نگهداری موضوع مهمی است زیرا برنامه‌ریزی هوشمند امکان کاهش بودجه کل برای نگهداری را فراهم می‌کند. فعالیت‌های تعمیر و نگهداری شامل جنبه‌های ایمنی است و برای حفظ شرایط اولیه هر منبع برای مثال با جبران فرسودگی دارایی‌های راه‌آهن یا زیرساخت راه‌آهن، لازم است. تعمیر و نگهداری ناوگان حوزه اصلی مدیریت راه‌آهن است که در آن بهینه سازی می‌تواند برای افزایش بهره وری و کیفیت خدمات و رقابت در بازار مفید باشد. ]1[

* 1. تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط

بحرانی بودن سیستم‌ها سطح و فرکانس تعمیر و نگهداری که باید انجام شود را الزام می‌کند، برای مثال، دارایی‌های بسیار حیاتی از بازرسی و نظارت بر خط با فرکانس بالا بهره‌مند می‌شوند، در حالی که دارایی‌های بحرانی پایین را می‌توان بدون هیچ گونه منبع تعمیر و نگهداری به کار برد تا خراب شوند. با این حال، برای به دست آوردن ارزش افزوده از شیوه‌هایی که اغلب با هزینه بالایی دارند، باید به درستی بر روی دارایی‌های مناسب و در زمان یا فرکانس مناسب اعمال شوند.

برخی از مزایای تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط که مرتبط با کارکرد قطار است عبارتند از:

* تشخیص زودهنگام شرایط خطای احتمالی که منجر به:
  + بهبود در دسترس بودن و قابلیت اطمینان دارایی
  + کاهش خرابی‌های غیر منتظره
  + کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری اصلاحی و جانبی
  + استفاده حداکثری از فرصت‌ها برای نگهداری
  + کاهش هزینه‌های مواد
* بهبود روش‌های راه‌اندازی و نصب:
  + تنظیم دقیق روی تجهیزات دوار
  + کاهش عمر اولیه و خرابی‌های ناشی از تعمیر و نگهداری
* دانش مبتنی بر شرایط که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد برای:
  + تمدید دوره‌های عملیاتی بین تعمیرات اساسی
  + استفاده حداکثری از فرصت‌ها برای نگهداری
  + درک عملکرد قطعات تحت شرایط عملیاتی
* روند دقیق و ثبت اطلاعات مربوط به خرابی منجر به:
  + درک بهتر از علت اصلی شکست
  + بازخورد و تجزیه و تحلیل بهبود یافته RCM
  + بهبود هزینه LCC برای پروژه‌های آینده
  + بهبود مشخصات طراحی آینده

نظارت بر شرایط یک ابزاری محوری برای درک نیازهای کلی تعمیر و نگهداری اجزای کلیدی بوژی و زمان‌بندی کار برای همسویی با فرصت‌های تعمیر و نگهداری است. به عنوان مثال، سایش در حال توسعه بر روی یاتاقان گیربکس یا چرخ دنده‌ها را می‌توان تا زمانی که فرصتی پیش بیاید نظارت کرد و مثلاً هنگام تعویض دیسک‌های ترمز بعنوان یک مورد بحرانی ایمنی، می‌توان تعمیرات گیربکس را انجام داد. این موضوع به عنوان فرصت تعمیر و نگهداری شناخته می‌شود.

استفاده از نظارت بر شرایط می‌تواند برای محدود کردن تعداد دفعاتی که بوژی از قطار خارج می‌شود و در دراز مدت می‌تواند به نشانگر حاکم بر برنامه تعمیراتی برنامه­ای بوژی و تمدید دوره تعمیرات اساسی تبدیل شود. ]2 [

برای وسایل ریلی، نسل جدید قطارهای بسیار پیچیده و دارای سیستم ارتباطی، اساساً چشم انداز و صنعت ریلی را در چند سال آینده متحول خواهد کرد. همانطور که وسایل ریلی در حال تغییر است، تعمیر و نگهداری آن باید برای مقابله با چالش‌های جدید تکامل یابد. امروزه، سیستم تعمیر و نگهداری عمدتاً با ترکیبی از چندین نوع و استراتژی نگهداری مشخص می‌شود که از نگهداری سیستماتیک پیشگیرانه به تعمیر و نگهداری اصلاحی می‌رسد. معرفی سیستم‌های عیب یاب نصب شده روی قطار و یا کنار خطی، فرصت قابل توجهی برای کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری ارائه می‌کند، در حالی که تأثیر مثبت قوی بر قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و کیفیت خدمات دارد.

برای وسایل ریلی، ظهور فناوری‌های اطلاعاتی جدید مانند اینترنت اشیا (IoTs) و نسل جدید قطار، کاملاً مجهز به حسگرها، چشم‌انداز فعلی و بخش صنعتی را در چند سال آینده به طور اساسی متحول خواهد کرد. ]18 [

در رابطه با قطعات مکانیکی که تحت تأثیر سطح بالایی از بحران قرار می‌گیرند، مانند بوش‌ها، گیربکس‌ها و مجموعه چرخ‌ها، رویکردی که اخیراً آشکار شده است بر اجازه دادن به تشخیص وضعیت قطعه با استفاده از "تعمیر و نگهداری در شرایط" تمرکز دارد، یعنی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر اساس نظارت بر عملکرد یک واحد یا آن دسته از پارامترهایی که برای عملکرد آن مهم هستند و همچنین بر اساس تأیید اقداماتی که متعاقباً انجام می‌شود. تعمیر و نگهداری در شرایط بر اساس پارامترهایی تعریف می‌شود که امکان درک وضعیت واقعی ماشین آلات را فراهم می‌کند، پارامترهای مذکور از طریق یک مجموعه برنامه‌ریزی شده و مدون از اندازه گیری‌ها، بازرسی‌های بصری، بررسی‌های غیر مخرب، آزمایش‌های عملیاتی یا عملکردی به طور کلی بدون نیاز به حذف قطعات از سیستم، شناسایی می‌شوند.

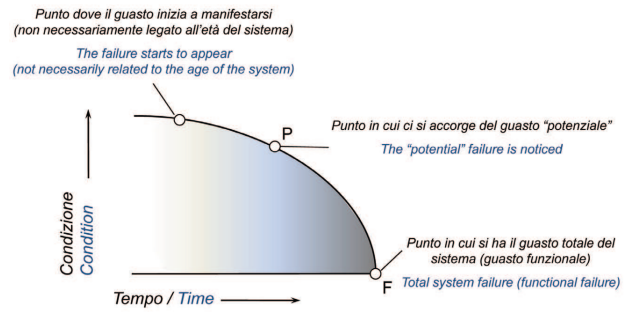
این استراتژی نگهداری به هیچ روش احتمالی برای ایجاد نوعی پیش آگهی متوسل نمی‌شود، بلکه از روند قبلی پارامترهای نظارت شده برای پیش بینی خرابی‌های احتمالی آتی استفاده می‌کند. بنابراین، تعمیر و نگهداری در شرایط باید به عنوان یک فرآیند تشخیصی در نظر گرفته شود که ارائه نشانه‌هایی در مورد وضعیت "سلامت" ماشین آلات، امکان برنامه‌ریزی اقدامات تعمیرات اساسی را بر اساس شرایط واقعی قطعات و نه بر اساس طول مدت خدمات آنها فراهم می‌کند.

این یک فلسفه تعمیر و نگهداری است که علاوه بر صرفه جویی آشکار و مزایای عملیاتی، تأثیر قابل توجهی بر مهندسی نیز دارد: برای به حداقل رساندن زمان از کار افتادگی ناشی از بررسی‌های معمولاً مکرر، سیستم باید با دسترسی‌های مورد نیاز برای تعیین وضعیت کارایی قطعات فراهم شود. متعاقباً، شناسایی قطعاتی که قرار است تعمیر اساسی شوند و همچنین تعریف فرکانس‌های بازرسی، فعالیت‌هایی هستند که باید به موازات پیشرفت طراحی مهندسی توسعه یابند.

در نتیجه، طراحی باید به گونه ای توسعه یابد که اجزای مختلف به راحتی قابل دسترسی و اندازه گیری باشند. سپس فرآیند تعمیر و نگهداری می‌تواند با تکیه بر سیستم‌های "خواندن" و "نظارت" در زمان واقعی اجزا به صورت مداوم و خودکار اصلاح شود. این اجازه می‌دهد تا حاشیه خطر افزایش یافته را که تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط در مقابل تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده معمولی به همراه داشته باشد، محدود می‌کند.

همچنین بدیهی است که چنین استراتژی‌های تعمیر و نگهداری جدید باید روی یک شی خاص عمل کنند، و این مستلزم ردیابی بخش‌های مختلف است. با این وجود، این تغییر مزیت‌های بلندمدتی را در رابطه با کاهش تاخیرهای ایجاد شده توسط لجستیک، بهینه سازی موجودی، کاهش ضایعات و خرابی‌های تصادفی ایجاد خواهد کرد. ]9 [

فرض اولیه تعمیر و نگهداری در شرایط این است که به ندرت یک قطعه به طور ناگهانی از کار می‌افتد، در بیشتر موارد - عمدتاً برای سیستم‌های مکانیکی، هیدرولیک و پنوماتیک - خرابی نقطه ورود خرابی تدریجی است که می‌تواند از طریق منحنی P-F (شکل 2) تعیین شود.



شکل 2-1- منحنی پتانسیل خرابی ]9[

این منحنی نشان می‌دهد که یک شکست شروع و تکامل می‌یابد تا جایی که بتوان آن را تشخیص داد: نقطه P یکی از نقاط خرابی بالقوه است. سپس، اگر خرابی تشخیص داده نشود و اقدامات متقابل مناسب برای متوقف کردن آن انجام نشود، به تکامل خود ادامه می‌دهد، در نتیجه وخامت بیشتری ایجاد می‌کند: شرایط در طول زمان معمولاً سریع‌تر از زمان گذشته، تا شکست عملکردی رو به زوال (نقطه F) می‌رود.

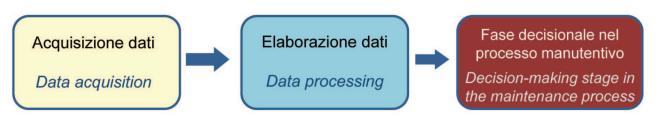
در عمل، چندین راه برای تعیین اینکه آیا خرابی در شرف وقوع است وجود دارد: به عنوان مثال، ارتعاشاتی که ممکن است نشان دهنده سقوط قریب الوقوع یاتاقان‌ها باشد، افزایش سطح آلاینده‌ها در روغن روانکاری که باعث خرابی قریب الوقوع قطعات روغن کاری شده و غیره می‌شود. اقداماتی که با هدف شناسایی چنین خرابی‌های بالقوه ای انجام می‌شود به عنوان نظارت بر شرایط شناخته می‌شود.

اگر یک شکست بالقوه بین نقاط P و F تشخیص داده شود، باز هم می‌توان از خرابی عملکردی جلوگیری کرد یا حداقل آسیبی که ممکن است ایجاد کند محدود می‌شود.

فاصله P-F بر فرکانسی که باید تعمیر و نگهداری پیش بینی شده انجام شود، تأثیر می‌گذارد. فاصله بازرسی تعمیر و نگهداری در شرایط باید به طور قابل توجهی کوتاهتر از فاصله P-F باشد، به طوری که قبل از تبدیل شدن به یک خرابی عملکردی، بتوان خرابی احتمالی را تشخیص داد.

یک برنامه CBM (نگهداری مبتنی بر شرایط) از سه مرحله ضروری تشکیل شده است، یعنی (شکل 2-2):

* اکتساب داده (جمع آوری اطلاعات)، به منظور به دست آوردن داده‌های مربوطه برای عملکرد صحیح سیستم، از طریق سنسورهای ماهیت متفاوت با رعایت پارامترهای نظارت شده انجام می‌شود.
* پردازش داده (مدیریت اطلاعات)، برای مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌ها یا سیگنال‌های جمع آوری شده در مرحله 1 برای درک و تفسیر بهتر داده‌ها، که توسط اپراتورها با پشتیبانی از تکنیک‌های هوش مصنوعی (مانند شبکه‌های عصبی، سیستم‌های خبره، ...)
* تصمیم گیری در فرآیند تعمیر و نگهداری، که شامل توصیه کارآمدترین سیاست‌ها، همچنین از طریق تعمیر و نگهداری پیش بینی شده است.



شکل 2-2- مراحل یک برنامه CBM (نگهداری مبتنی بر شرایط) ]9[

اتخاذ چنین استراتژی مطمئناً امکان انجام تعمیر و نگهداری را تنها در صورت نیاز می‌دهد، بنابراین سیستم مدیریت مناسب‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌تری هم در مورد موجودی و هم فعالیت‌های لجستیکی به‌دست می‌آید، علاوه بر این، نظارت بر وضعیت "سلامت" قطعات، تغییرات شرایط عملیاتی سیستم و بار کاری آن در انطباق با الزامات واقعی، با افزایش متعاقب عمر خود سیستم را امکان پذیر می‌سازد. این مزیت‌های غیرقابل انکار ناگزیر مستلزم هزینه‌ای برای پیاده‌سازی سیستم نظارت است که احتمالاً اگر مربوط به هزینه تولید باشد، بالا خواهد بود و نیاز به دانش عمیق‌تر از این موضوع توسط اپراتورها که باید در صورت لزوم آموزش ببینند. ]9 [

* + 1. نگهداری بر اساس شرایط (CBM) در وسایل ریلی

هنگامی که سعی شد از تعمیر و نگهداری در شرایط بر روی وسایل متحرک مانند وسایل ریلی استفاده شود، مشکلاتی مشاهده شد، زیرا بر خلاف ماشین آلات معمولی یک کارخانه صنعتی، در معرض شرایط مختلف عملیاتی هستند که عمدتاً به آب و هوا مربوط می‌شود. علاوه بر این، خرابی احتمالی و نگهداری بعدی، در مورد وسالی ریلی هم به موقعیت جغرافیایی و هم به روش‌های ذخیره‌سازی بستگی دارد.

از آنجایی که سیستم ثابت نیست، در صنعت راه‌آهن (در رابطه با ساخت وسایل و سرویس آنها در خطوط)، داده‌های ارائه شده به صورت بلادرنگ برای تجزیه و تحلیل و تشخیص اجزاء باید از وسیله مورد بررسی به یک مرکز تعمیر و نگهداری ارسال شود. حداقل دو روش مختلف وجود دارد: در داخل وسایل ریلی یا روی زمین. گزینه بهتر می‌تواند تجزیه و تحلیل و انجام تشخیص‌ها در قطار باشد، و داده‌ها را فقط با اطلاعات روشن و قاطع در مورد شرایط سیر و بهره برداری ارائه کند. روش دیگر جمع آوری در زمان واقعی تمام داده‌های مربوط به وضعیت وسایل ریلی و ارسال آنها به عنوان یک بلوک به مرکز تعمیر و نگهداری است که باید تشخیص دهد چه داده‌هایی واقعاً مهم هستند.

در هر صورت، چنین انتقال داده ای می‌تواند با استفاده از تکنیک‌های بی سیم در بردهای کوتاه و بلند انجام شود. برای پیش‌بینی عمر مفید باقی‌مانده، عوامل متعددی باید در نظر گرفته شوند از جمله: سری‌های تاریخی داده‌های مربوط به شرایط اجرای گزارش‌های مأموریت‌ها و خرابی‌ها از مدل اطلاعاتی اقدامات تعمیر و نگهداری انجام‌شده و قطعات یدکی جایگزین شده. سیستم‌های هوشمند را می‌توان برنامه‌ریزی کرد و دارای توابعی هستند که می‌توانند به سوالات زیر پاسخ دهند:

* در کدام جزء، سیستم یا زیرسیستم خرابی تکرار شونده شناسایی می‌شود؟
* علل علامت خرابی تکرار شونده چیست؟
* چه مقدار زمان ممکن است تا خرابی غیر قابل برگشت نهایی باقی بماند؟
* عواقب خرابی قطعه برای وسایل ریلی چیست؟
* اقدامات تعمیر و نگهداری باید انجام شود، در صورتی که بتوان آنها را به طور کامل شناسایی کرد.

به منظور دستیابی به این هدف، وسایل ریلی باید با حسگرها و سایر تجهیزات اندازه گیری و یک یا چند پایگاه داده موقت برای پایش شرایط فراهم شود که بتواند داده‌های به دست آمده در زمان واقعی را با سری‌های تاریخی خرابی‌ها برای بررسی آسانتر و سریعتر مقایسه کند. توابع تجزیه و تحلیل و پیش بینی در بیشتر موارد در مرکز تعمیر و نگهداری قرار دارند و در وسایل ریلی نیستند زیرا تکنیک انتقال حجم زیادی از داده‌های اندازه گیری شده در زمان واقعی دیگر مشکل نیست و در صورت بروز باند وجود GSM-R در شبکه راه آهن، هزینه‌های انتقال داده نیز سنگین نخواهد بود. این چیدمان یعنی رایانه‌های بزرگ و سیستم‌های پیچیده تشخیص از راه دور روی زمین به جای روی وسایل ریلی ممکن است به کاهش قابل توجهی از قدرت مصرفی و در نتیجه هزینه رایانه‌های داخل وسایل ریلی کمک کند، زیرا آنها انجام عملکردهای تحلیل و پیش‌بینی خرابی‌ها که طولانی، مفصل و اغلب در یک نوع از ناوگان، مشترک هستند، از حوزه کاری آنها حذف می‌گردد. ]9 [

هرچند که امروزه وسایل ریلی یک سیستم پیچیده است و به این دلیل نظارت بر هر جزء عملاً غیرممکن است. از این رو نیاز به تمرکز بر سیستمهای خاص و به تعویق انداختن ایده نظارت کامل که تا به امرزو هنوز قابل انجام نیست، ناگزیر می‌باشد. امروزه قطعاتی که به طور گسترده مورد نظارت قرار می‌گیرند، مطمئناً آنهایی هستند که عملکرد آنها برای ایمنی هم در فعالیتهای آنها و هم برای کاربران، بسیار مهم است، مانند:

* چرخ‌ها
* بلبرینگ
* ترمز
* سیستم درب
* فیلترها
* سیستم‌هایی با آب و/یا هوا تحت فشار
* قطعات با جریان یا ولتاژی که می‌تواند خطرناک باشد
* قطعات چرخان به طور کلی

استفاده مناسب از CBM یا هر برنامه تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده می‌تواند تضمین کند که برای یک وسیله ریلی در فرکانس استفاده یکسان، از 8% تا 12% در مقایسه با تعمیر و نگهداری معمول برنامه‌ریزی‌شده (فقط بر اساس کیلومتر، ساعت و/یا چرخه) صرفه‌جویی می‌شود. بررسی‌های مستقل از مطالعه فوق‌الذکر نتایج متوسط نشان‌دهنده زیر را نشان می‌دهد که از اجرای یک برنامه تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده بر روی انواع ماشین‌آلات و تجهیزات به‌دست می‌آید:

* کاهش هزینه نگهداری: 25 تا 30 درصد
* حذف خرابی: 70 تا 75 درصد.
* کاهش زمان توقف: 35 تا 45 درصد
* افزایش تولید: 20 تا 25 درصد
* افزایش عمر عملیاتی و در دسترس بودن قطعه
* کاهش هزینه مواد و کار
* ​کیفیت بهتر محصول
* افزایش ایمنی برای کارکنان
* بهبود ایمنی محیط زیست
* بهبود روحیه در بین کارکنان
* صرفه جویی انرژی

معایب فعلی عبارتند از:

* تجهیزات تشخیصی گران قیمت، با لزوم افزایش سرمایه‌گذاری در آینده
* آموزش پرسنل باید در سطحی بالاتری و با معیار شایستگی باشد، به همراه افزایش در سرمایه‌گذاری لازم
* بازده سرمایه گذاری، از نظر پس انداز قابل اندازه گیری، که در بلندمدت، متوسط فرض می‌شود، به جز در مورد سیاست‌های حمل و نقل ریلی که باید برای تعمیر و نگهداری بیشتر باشد، به عنوان مثال در مورد هواپیماها، قطارهای زیرزمینی با رانندگی خودکار و وسایل نقلیه جاده ای.
  + 1. تشخیص خرابی‌های احتمالی (پایش وضعیت)

همانطور که بیان شد، CBM مبتنی بر نظارت بر وضعیت است، که می‌تواند به عنوان مجموعه ای از رویه‌های مورد نیاز برای ارزیابی شرایط فعلی یک سیستم یا یک دستگاه در نظر گرفته شود که بر اساس آن تغییرات در خود سیستم‌های برنامه تعمیر و نگهداری باید انجام شود. چنین ارزیابی از طریق تکنیک‌هایی حاصل می‌شود که با استفاده از ابزارهای با دامنه وسیع از ایزارهای کامپیوتری پیچیده تا حساسیت انسانی، اندازه‌گیری‌های مقایسه‌ای دوره‌ای یا مستمر از پارامترهایی که به طور قابل اعتمادی شرایط جزء یا سیستم مورد تجزیه و تحلیل را نشان می‌دهند، ارزیابی وضعیت فعلی و روند آتی آن را از منظر وخامت احتمالی آن امکان پذیر می‌سازند. این امر به منظور جلوگیری از خرابی‌ها و انجام تعمیر و نگهداری فقط در صورت بروز خرابی احتمالی و زمانی که بر اساس برنامه زمانبندی تولید و سرویس وسایل ریلی مناسب تر باشد، انجام می‌شود. ]9 [

تکنیک‌های مورد استفاده برای سیستم‌های مکانیکی را می‌توان به دسته‌های اصلی زیر طبقه بندی کرد:

* نظارت بصری
* نظارت بر عملکرد و وظایف
* نظارت بر نویز و ارتعاش
* نظارت بر قطعات سایش
* نظارت بر حرارت

در صنعت راه‌آهن، چنین سیستم‌های نظارتی عملکردی یا تشخیصی از دهه نوزدهم (مانند موردهایی در شرکتهای فیات و سپس آلستوم) برای وسایل حمل‌ونقل استفاده شده است.

در مورد نظارت دیداری، تکنیک‌هایی برای نظارت بر مشخصات و سایش چرخ‌ها از طریق فناوری‌های لیزری و دوربین‌ها (استرالیا، هلند و انگلیس) و استفاده از تکنیک‌های عکاسی و بینایی مصنوعی (بطور مثال سیستم سوئدی به نام KIKA) بکار برده می‌شوند.

نظارت بر عملکرد هنگام حرکت از یک خرابی اولیه ایجاد می‌شود، یعنی جایی که مثلاً اولین نشانه‌های پوسیدگی یاتاقان بدون اینکه کاربر متوجه هیچ تغییری در عملکرد به یک خرابی قریب‌الوقوع شود (یعنی شرایط پوسیدگی محسوس در حضور روال بدتر شدن عملکرد). در این مورد، نظارت باید بر روی آن دسته از پارامترهایی انجام شود که نشان دهنده بدتر شدن عملکرد آنها باشد (مانند فشار غیرعادی یک روانکار یا ندر تبادلات حرارت نامناسب). یک مثال سیستم T/BOGI سوئدی است که می‌تواند عملکرد بوژی (نیروهای مبادله شده با مسیر، موقعیت،...) را نظارت کند و مثال دیگر سیستم‌های مشابه توسعه یافته توسط انجمن راه‌آهن آمریکا (AAR) می‌باشد. ]9 [

نظارت بر انتشار آکوستیک به لطف انتشارات صوتی که در نتیجه تنش وارده به مواد ایجاد می‌شود، امکان کنترل پیشرفت خرابی‌ها در برخی از انواع اجزا را در طول کار آنها ارایه می‌دهد. این فناوری از میکروفون‌ها برای ضبط صداهای تولید شده توسط وسایل نقلیه ای که از کنار نصب در کنار مسیر عبور می‌کنند استفاده می‌کند، به عنوان مثال سیستم نظارت بر یاتاقان (RailBAMTM، اعمال شده در غرب Sussex) است که از فرکانس نویز منشا به عنوان نشانگر تشخیص نوع شکست (شکل 2-3)، استفاده می‌کند.



شکل 2-3- سیستم RailBAM برای نظارت صوتی بلبرینگ‌ها ]9[

تمام عناصر هر سیستم در حال حرکت به دلیل نقص در سطوح تماس، در تراز و تعادل قطعات تمایل به ارتعاش دارند. این پدیده‌ها به طور طبیعی با فعالیت عملیاتی مرتبط هستند، اما اگر از برخی مقادیر استاندارد که توسط تجربه پیشنهاد شده است فراتر روند، نشانه ای غیر قابل انکار از شکست هستند. تجزیه و تحلیل ارتعاشات به ویژه برای مطالعه حرکت اجسام دوار اعمال می‌شود که در آن انواع اصلی خرابی‌هایی که باعث ایجاد ارتعاش می‌شوند عبارتند از: عدم تعادل اندام‌های چرخشی، سایش یاتاقان‌ها و/یا چرخ دنده‌ها، خروج از مرکز با طبیعت متفرقه، ناهماهنگی مکانیکی، گیربکس معیوب و پدیده کاویتاسیون در سیالات. نمونه‌هایی در صنعت راه‌آهن عبارتند از:

1. نظارت بر ارتعاشات در بوشینگ‌ها با استفاده از یاتاقان‌های مجهز به سنسور (SKF، شکل 2-4).
2. نظارت بر ارتعاشات بدن با استفاده از حسگرهای فیبر نوری (دانشگاه مهندسی هنگ کنگ).
3. نظارت بر ارتعاشات بوژی.



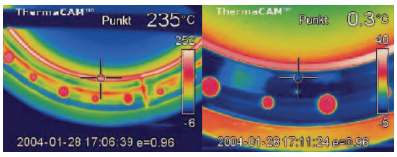
شکل 2- 4 مجموعه یاتاقان سرمحور با حسگر ]9[

آنالیز روغن از یک سو این امکان را فراهم می‌کند تا کیفیت روان کننده ارزیابی شود (حفظ خواص سیال روانکار) و بنابراین زمانی که روغن با هدف روغن کاری مناسب ماشین آلات به منظور افزایش طول عمر آن، واقعاً نیاز به تعویض دارد، ارزیابی گردد. این امر همچنین امکان تجزیه و تحلیل محتویات فلز در روغن را فراهم می‌کند، زیرا تجزیه و تحلیل سایش ایجاد شده و پخش شدن آنها در داخل روغن روانکاری، شدت سایش را نشان می‌دهد.

هنگامی که سطوح تحت تنش بیش از حد قرار می‌گیرند، مواد تغییر شکل می‌دهند، نیروهای اصطکاک افزایش می‌یابد و پدیده‌های سایش سطح (چسبندگی، سایش) تسریع می‌شود. در چنین شرایطی، تولید گرمای بیش از حد به افزایش موضعی دما تبدیل می‌شود که می‌توان آن را با ابزارهای مناسب (با یا بدون تماس) اندازه‌گیری کرد.

کاهش راندمان یک جزء به طور کلی با افزایش انتشار گرما مطابقت دارد و متعاقباً یک دستگاه خراب دمای افزایش سریع را نشان می‌دهد که نشانه خرابی اولیه است و در اینجاست که دستگاه‌های نظارت بر حرارت معرفی می‌شوند، یعنی:

1. کاوشگر حرارتی، واقع در یک جعبه ضد آب، که به طور مداوم دمای داخل موتور را بررسی می‌کند تا از گرم شدن بیش از حد در حین کار، که به دلیل عملکرد غیرعادی است، جلوگیری کند.
2. نظارت بر دمای بوشینگ‌ها بصورت نصب شده در وسیله ریلی و یا کنار خط راه‌آهن.
3. نظارت بر چرخ‌ها توسط اشعه‌های مادون قرمز به منظور ارزیابی وضعیت غلتیدن یا لغزش آنها (که به طور تجربی در برخی از بخشهای راه‌آهن ConRail در استان فیلادلفیا، شکل 2-5 اعمال می‌شود).



شکل 2- 5 نظارت توسط دوربین مادون قرمز ]9[

داده‌ها را می‌توان پس از به دست آوردن آنها با استفاده از یک سیستم حسگر و سایر تجهیزات ارزیابی کرد که به طور کلی به عنوان یک سیستم نظارت بر وضعیت نشان داده می‌شود.

در مرحله اول، چنین داده‌هایی باید از طریق تکنیک‌هایی پردازش شوند که نمونه‌ای از آنالیز سیگنال هستند (تبدیل فوریه، تحلیل زمان-فرکانس، طیف توان، ...)، پس از تقویت و فیلتر شدن در صورت لزوم. چنین مرحله ای اغلب در فرآیند نظارت بر وضعیت گنجانده شده است و بنابراین دیگر مرحله صرف جمع آوری داده‌ها نیست، بلکه اولین تجزیه و تحلیل آنها است که اغلب می‌تواند حتی در داخل وسایل ریلی انجام شود.

با این وجود، آنچه در مرحله تصمیم گیری ضروری است، تجزیه و تحلیل واقعی داده‌ها است. تجزیه و تحلیلی که باید ابزارهای تصمیم گیری را برای اجرای فعالیت‌های تعمیر و نگهداری مناسب در زمان بندی مناسب فراهم کند، از طریق تکنیک‌های محاسباتی نرم توسعه یافته است و هدف آن نه تنها تجزیه و تحلیل تکامل یافته داده‌ها و نیز پشتیبانی تصمیم‌گیری توسط اپراتور تعمیر و نگهداری است.

محاسبات نرم افزاری از سه خط اصلی پیروی می‌کند:

* شبکه‌های عصبی
* منطق فازی
* الگوریتم‌های ژنتیک

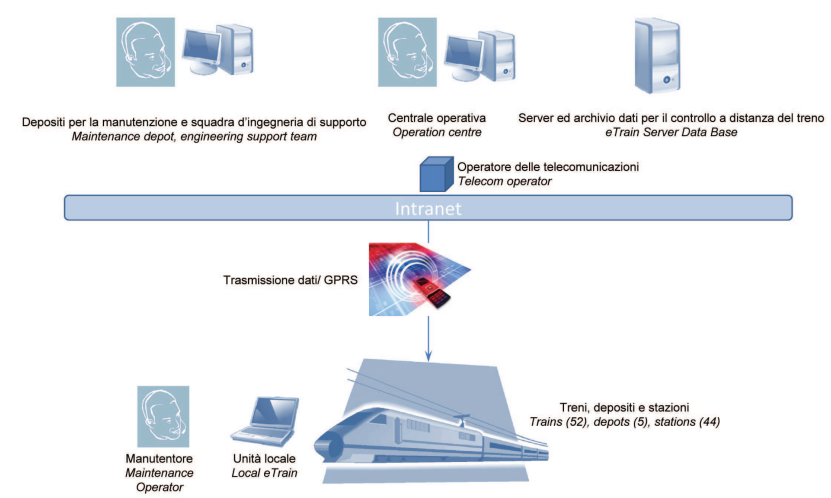
تشخیص از راه دور:

با دستیابی به خطوط نظارتی برای CBM که توضیح داده شد، یک تحول در تعمیر و نگهداری اصلاحی با تمرکز بر تنوع بین مکان‌هایی که در آن تشخیص انجام می‌شود، طور فزاینده ای در تشخیص از راه دور استفاده می‌گردد که در آن اطلاعات تشخیصی و جایی که چنین اطلاعاتی تولید می‌شوند را می‌توان مورد مشخص نمود.

به منظور قابلیت اطمینان کلی راه آهن، افزایش قابل توجه در دسترس بودن خود وسیله ریلی برای دستیابی به بهبود خدمات تجاری و راحتی مسافران مورد نیاز است. علاوه بر این، در مرحله تعمیر و نگهداری، پرسنلی که بر عملیات کارگاه نظارت می‌کنند نیز باید مقدار قابل توجهی از داده‌ها را در دست داشته باشند تا نه تنها برای شناسایی قطعه خراب، بلکه برای ردیابی علل ایجاد چنین خرابی‌ها نیز استفاده کنند. به منظور دستیابی به این هدف، باید به تدریج وسایل الکترونیکی در وسایل ریلی فراهم می‌شد تا بتوانند عملکرد مناسب وسایل ریلی را کنترل کنند و با اطمینان موقعیت عیوب که باعث خرابی می‌شدند را شناسایی کنند، و همچنین به‌موقع وضعیت آن را از طریق کابل سراسری قطار به تمام دستگاه‌های آن اعلام کنند. به عبارت دیگر، یک زیر سیستم عیب یابی داخلی وسایل ریلی باید ایجاد می‌شد.

هدف اصلی سیستم عیب یاب نصب شده در وسایل ریلی، تولید یک سیگنال خطای فوری به محض تشخیص خرابی است، به منظور هدایت پرسنل در عملیات با هدف از سرگیری شرایط عادی. یک هدف ثانویه و نه کم اهمیت، فرصت به خاطر سپردن پی در پی خرابی‌های رخ داده است، به طوری که چنین اطلاعاتی باید برای عملیات تعمیر و نگهداری در اختیار پرسنل کارگاه قرار گیرد. در چند سال گذشته یک گام بیشتر به جلو انجام شده است، یعنی انتقال سیگنال خرابی نه تنها به راننده، بلکه به یک مرکز عملیات، به طوری که وسیله ریلی بتواند به سمت مناسبترین سایت تعمیر و نگهداری که قبلاً ورود قطار و همچنین خرابی‌های شناسایی شده به آن اعلام شده، هدایت شود. بدین ترتیب زمان تعمیر و نگهداری می‌تواند تا 30٪ کاهش یابد.

این تکامل که توسط چندین سازنده و اپراتورهای تعمیر و نگهداری وسایل ریلی انجام می‌شود، می‌تواند به عنوان تشخیص از راه دور توصیف شود، زیرا این یک سیستم تشخیصی نصب شده روی وسیله ریلی است و علاوه بر آن در مرکز تعمیراتی نیز اطلاعات جمع آوری می‌شوند (شکل 2-6)



شکل 2- 6- مثالی از معماری یک سیستم تشخیص از راه دور بر اساس "TrainTracer WCML" ]9[

بنابراین شاهد تولد سیستم‌های تشخیص از راه دور هستیم که نوعی حوضه بین ابزارهای تشخیص مرسوم‌ و سیستم‌های پیش‌آگهی پیشرفته‌تر هستند.

آنها ابزاری هستند که از طریق آنها می‌توان اطلاعات پردازش شده در مورد شرایط وسایل ریلی را به دست آورد. چنین فناوری‌هایی نه تنها سیستم‌های انتقال داده هستند، بلکه از طریق تجزیه و تحلیل این داده‌ها، می‌توانند نشانه‌های مفیدی در مورد علل خرابی، محل وقوع چنین خرابی و سایر خرابی‌هایی که ممکن است در نتیجه اولین مورد رخ دهد ارائه دهند.

در چنین حالتی، داده‌های مربوط به وضعیت «سلامتی» تجهیزات را می‌توان مستقیماً در قطار در طول سرویس آنالیز کرد و سپس از طریق یک سیستم ارتباطی بی‌سیم به یک سرور ارسال کرد که نوعی پایگاه داده این معماری را تشکیل می‌دهد. این در همه این سیستم‌ها با برخی تفاوت‌های جزئی بین توسعه دهندگان مختلف مشترک است.

این رویکرد، دیدگاهی را که مدتی پیش حتی تصورش را هم نمی‌شد، در مورد «سلامت» و شرایط عملیاتی یک قطار در زمان واقعی، در حین خدمت در دسترس قرار می‌دهد. این امر بدیهی است که امکان تعمیر و نگهداری اصلاحی بسیار سریعتر، پشتیبانی بهتر و بیشتر از تیم تعمیر و نگهداری را فراهم می‌کند و همچنین امکان جلوگیری از وقوع برخی از خرابی‌ها را فراهم می‌کند. ]9 [

* 1. تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)

تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) یکی از رویکردهای بهینه‌سازی شیوه‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی است زیرا چندین مؤلفه حیاتی برای دوره‌های معینی کار می‌کنند. مفهوم تعمیر و نگهداری که بر قابلیت اطمینان تمرکز دارد، در تعیین تصمیمات اصلاحی یا استراتژی‌های نگهداری مفید است. همچنین با دانستن حالت خرابی آن، مشکل فنی در بهره برداری به حداقل می‌رسد. برای داشتن وسایل ریلی با قابلیت اطمینان بالا، استفاده از روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان و شاخص‌های مدیریتی جدید که تأثیر خطاها بر عملکرد حمل‌ونقل و هزینه را در نظر می‌گیرند، مهم است. ]4 [

تعمیر و نگهداری وسایل ریلی نقش اساسی در ارائه حمل و نقل ایمن و قابل اعتماد به مشتریان با اطمینان از اینکه وسایل ریلی همیشه در نظم هستند ایفا می‌کند. به عبارت دیگر، تعمیرات و نگهداری قبل از اینکه تجهیزات برای اطمینان از ادامه عملیات به طور عادی شکست بخورند، انجام می‌شود. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه از بخش‌های زیر تشکیل شده است: جلوگیری از سایش و پارگی، وسایل ریلی و تجهیزات در طول عملیات معمولی دچار ساییدگی و پارگی طبیعی می‌شوند. تعمیر و نگهداری منظم وسایل ریلی، از جمله روغن کاری، پر کردن و جایگزینی مواد مصرفی، تمیز کردن، تنظیم و غیره، به بهبود این سایش و پارگی کمک می‌کند. تعمیر و نگهداری وسایل ریلی شامل بازرسی، تعویض و تعمیر قطعات فرسوده نقش مهمی در پیشگیری از خطا و تصادف دارد. هنگامی که تعمیر و نگهداری وسایل ریلی در طولانی مدت انجام می‌شود، مقادیر زیادی داده در مورد انواع مختلف انبار و قطعات وسایل ریل جمع آوری می‌شود. تجزیه و تحلیل این داده‌ها از دیدگاه‌های مختلف اطلاعاتی را در مورد روش‌های اندازه گیری، ارزیابی و ترمیم فرسودگی فراهم می‌کند. علاوه بر این، چنین اطلاعاتی در طراحی و توسعه وسایل ریلی جدید بسیار مفید است. اگرچه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه اساس تعمیر و نگهداری وسایل ریلی است، اما متأسفانه باز هم گاهی اوقات خطاها و حوادث رخ می‌دهد. ]4 [

تعمیر و نگهداری وسایل ریلی را می‌توان به دو نوع تقسیم کرد: تعمیر و نگهداری مبتنی بر خرابی (تعمیر و نگهداری اصلاحی) و تعمیر و نگهداری مبتنی بر عمر (نگهداری پیشگیرانه). فاصله زمانی در نگهداری پیشگیرانه را می‌توان برنامه‌ریزی کرد به هزینه کل در فعالیت تعمیر و نگهداری و توزیع عمر قطعات بستگی دارد. با این حال، هنگامی که خرابی تصادفی در برخی از اجزا رخ می‌دهد، تعمیر و نگهداری اصلاحی اجتناب ناپذیر است. کل هزینه نگهداری بستگی به درصدهایی در انجام تعمیرات اصلاحی و نگهداری پیشگیرانه دارد. خرابی در سرویس می‌تواند باعث تاخیر در خدمات و نارضایتی مسافران شود، بنابراین تعمیر و نگهداری وسایل ریلی ضروری است. علاوه بر این، باعث افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیز می‌شود. کلیه تاسیسات راه­آهن ویژه جابجایی افراد اعم از قطارهای مسافری، ترنست برقی، ترنست دیزلی و ترنست دیزلی-برقی مورد بهره­برداری باید طبق برنامه زمانبندی مقرر بازرسی شود. این برای حمایت از بهره­برداری راه­آهن و اطمینان از ایمنی سفر است. کیفیت نگهداری توسط چندین جنبه تعیین می­شود، برخی از آنها استراتژی تعمیر و نگهداری، مکان، قطعات یدکی، روش کار، مهارت، تجهیزات بازرسی و امکانات پشتیبانی هستند. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه راه‌آهن کاری است که به صورت دوره­ای برای حفظ وضعیت یا نظارت بر تجهیزات وسایل ریلی در حین به حداقل رساندن احتمال خرابی انجام می­شود. می­توان آن را بر اساس داده‌های به دست آمده در طول فرآیند نظارت تجزیه و تحلیل کرد، که برای تعیین پیشگیری مناسب استفاده می­شود. چالش عملکرد تعمیر و نگهداری برای اثبات قابلیت اطمینان با مدیریت مدیریت تجهیزات و تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری یکی از مطالب مهم مدیریت روزانه شرکت بوده است. استراتژی نگهداری پیشگیرانه بر اساس تعمیر و نگهداری متمرکز بر قابلیت اطمینان (RCM) می­باشد. شاخص‌های کلیدی قابلیت اطمینان تجهیزات، مانند میانگین زمان تعمیر (MTTR)، میانگین زمان بین خرابی (MTBF) و در دسترس بودن، تجزیه و تحلیل خطا انجام شد و نتایج مربوطه محاسبه می­شود. سپس، تجزیه و تحلیل حالت شکست فرآیند و اثر (PFMEA) دستگاه پرکننده پیاده‌سازی شده و تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA) حالت‌های شکست بالقوه با اعداد اولویت پرخطر نیز تکمیل می­شود. سپس استراتژی پیشگیری و نگهداری تجهیزات پر کردن بر اساس RCM ایجاد می‌شود. تعمیر و نگهداری اصلاحی وظیفه­ای است که معمولاً برای شناسایی، جداسازی و رفع عیوب انجام می­شود. در حالی که تکنیک­های تعمیر و نگهداری پیش بینی به طور کلی برای تعیین و پیش بینی شرایط خرابی طراحی شده­اند. ]4 [

بهینه سازی برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه که به طور گسترده به عنوان تعمیر و نگهداری متمرکز بر قابلیت اطمینان (RCM) شناخته می‌شود. اولین گامی که برای شناسایی حیاتی ترین آیتم از نظر ایمنی و قابلیت اطمینان استفاده می‌شود، تجزیه و تحلیل با استفاده از حالت‌های شکست و تجزیه و تحلیل اثرات (FMEA) است. پس از به دست آوردن موارد حیاتی که بر قابلیت اطمینان وسایل ریلی تأثیر می‌گذارد، وظایف تعمیر و نگهداری باید به دلیل جلوگیری از حالت‌های خرابی بهینه انتخاب شوند. RCM یک فناوری کلیدی در تکامل قطارهای هوشمند است که امکان افزایش قابلیت اطمینان با هزینه‌های کمتر را فراهم می‌کند. رویکرد مدیریت هزینه مرتبط با اجرای RCM در راه‌آهن به توافقات تجاری خاص تجاری و کارمزدهای از پیش تعیین شده متکی است. در ابتدا تعیین اقدامات تعمیر و نگهداری بر اساس اصل ایمنی مورد استفاده قرار گرفت و با بازرسی با دقت بالا از طریق استاندارد نگهداری ترکیب شد. در این زمینه، نظارت مستمر مبتنی بر شرایط برای اطلاع‌رسانی به تصمیم‌گیری بر اساس تجزیه و تحلیل وسایل ریلی در طول عملیات آنها استفاده می‌شود. با توسعه فن آوری برای انجام نظارت و اندازه گیری در زمان واقعی در تعمیر و نگهداری وسایل ریلی توسط مهندسان تعمیر و نگهداری برای تصمیم گیری در مورد تعمیر و نگهداری استفاده می­شود. بهبود مقرون به صرفه بودن تعمیر و نگهداری را می‌توان با کاهش حوادث برنامه‌ریزی نشده عمده و پرهزینه به دست آورد. اجرای تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و تعمیرات اصلاحی گاهی اوقات در یک شرکت به خوبی اجرا نمی‌شود. بنابراین، یک سیستم تعمیر و نگهداری برای افزایش قابلیت اطمینان دستگاه توسعه داده شد. روش مورد استفاده، تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) با هدف تعیین فواصل زمانی تعمیر و نگهداری و برآورد هزینه‌های تعمیر و نگهداری است. RCM با تجزیه و تحلیل شکست با FMECA انجام می‌شود. ]4 [

تعمیر و نگهداری وسایل ریلی با فاصله زمانی ثابت دارای معایبی به شرح زیر است:

* عملکرد وسایل ریلی قابل محاسبه نیست.
* اثربخشی کم‌هزینه، به‌ویژه زمانی که از وسایل ریلی به ندرت استفاده می‌شود.
* در صورت استفاده کامل از وسایل ریلی، ممکن است خیلی زود به حداقل شرایط مجاز برسد.

بنابراین، تعمیر و نگهداری وسایل ریلی مستلزم تجزیه و تحلیل انتخاب وظایف و برنامه تعمیر و نگهداری است، در حالی که ایمنی مهمترین عامل و تمرکز در حفظ رضایت مسافران در صنعت حمل و نقل است. در حال حاضر موثرترین و پرکاربردترین راهبرد بهینه سازی تعمیر و نگهداری وسایل ریلی RCM است. مزایای استفاده از روش RCM که مستقیماً بر وضعیت وسایل ریلی تأثیر می‌گذارد که ارائه آن به اثبات رسیده است. مزایای قابل توجهی در افزایش قابلیت اطمینان و در دسترس بودن که می‌تواند بهره وری را با کاهش خرابی وسایل ریلی یادآوری کند. هنگامی که شکست‌ها تشخیص داده می‌شوند، عواقب آن باید در نظر گرفته شود. تمرکز اجرای RCM حذف عیوب است که ممکن است باعث حوادث جدی شود مانند: آتش سوزی قطار، خارج شدن از ریل، جدا شدن، باز شدن درهای اتوماتیک در حین کار، از دست دادن کنترل. اقدامات متقابل تعمیر و نگهداری از هر دو جنبه سخت افزاری و نرم افزاری با هدف از بین بردن این نوع خطاها انجام می‌شود. به طور کلی قابلیت اطمینان وسایل ریلی به این معنی است که در طول دوره مشخص شده، وسایل ریلی به کیفیت عملکردی نیاز دارد. از آنجایی که وسایل ریلی از تجهیزات و قطعات مختلفی تشکیل شده است، این قطعات نیز مشمول الزامات قابلیت اطمینان هستند. عملکرد طبیعی تجهیزات و قطعات در حین استفاده به دلیل سایش، تغییر شکل، فرسودگی و غیره مربوط به سن کاهش می‌یابد و در نهایت منجر به بروز خطا و کاهش قابلیت اطمینان می‌شود. کاهش قابلیت اطمینان در نهایت منجر به نامناسب شدن وسایل ریلی برای عملیات یا غیرقابل استفاده شدن می‌شود. تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) ترکیبی بهینه از شیوه‌های تعمیر و نگهداری واکنشی، مبتنی بر زمان، یا مبتنی بر بازه، مبتنی بر شرایط و پیشگیرانه است. این استراتژی‌های تعمیر و نگهداری کلیدی، به جای اینکه به طور مستقل اجرا شوند، برای استفاده از نقاط قوت یکدیگر برای به حداکثر رساندن قابلیت اطمینان تاسیسات و تجهیزات و در عین حال به حداقل رساندن هزینه‌های چرخه عمر یکپارچه شده‌اند. نگهداری کل مولد (TPM)، تضمین نگهداری کل، تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، تعمیر و نگهداری متمرکز بر قابلیت اطمینان (RCM)، و بسیاری از رویکردهای نوآورانه دیگر برای مسائل تعمیر و نگهداری، همگی با هدف افزایش کارایی ماشین و در نهایت افزایش بهره وری هستند. ]4 [

* + 1. چارچوب RCM

استفاده از چارچوب RCM به متخصص در تعیین برنامه اصلاحی کمک می‌کند. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر اساس فواصل زمانی ثابت، برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری ساده را انجام می‌دهد، با این حال، در صورتی که وسایل ریلی در مصارف مختلف باشد، اطمینان از بهره وری مطلوب تعمیر و نگهداری بسیار دشوار خواهد بود. بنابراین، هر گونه نقص در وسایل ریلی بسته به تأثیر آن بر کل سیستم، به وظایف تعمیر و نگهداری خاصی نیاز دارد. RCM برای تمام واحدهای تعمیر و نگهداری و پیچیدگی کار باید طی مراحل زیر استفاده شود:

مرحله 1. اولین رویکرد سیستماتیک RCM که برای پیاده سازی عملکردهای سیستم حفظ شده، شناسایی حالت‌های خرابی، اولویت بندی خرابی‌های مورد استفاده برای اجرای عملکردهای حفظ شده سیستم، شناسایی حالت‌های خرابی، اولویت بندی حالت‌های خرابی، و انجام وظایف PM استفاده می‌شود.

مرحله 2. مرحله دوم این است که با دانستن عملکرد سیستم و خرابی‌های عملکردی، اندازه گیری شود که خرابی در وسایل ریلی دارای مشکل جدی است که بر استاندارد مدیریت تأثیر می‌گذارد:

1. میانگین زمان بین خرابی‌ها (MTBF).
2. کل هزینه نگهداری
3. مدت زمان تعمیر (MTTR).
4. در دسترس بودن

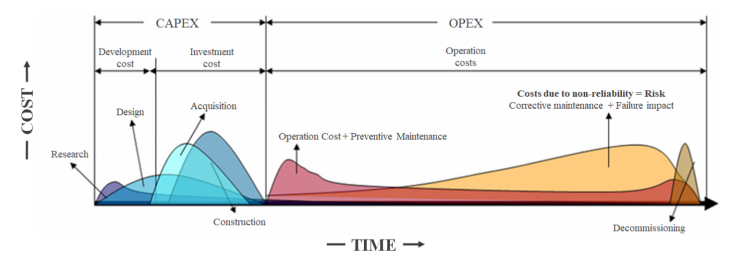
​مرحله 3. مرحله بعدی تجزیه و تحلیل عامل بحرانی پتانسیل رخ دادن در هر جزء وسایل ریلی است که تأثیر زیادی بر ایمنی، خرابی عملیاتی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری دارد. خرابی تجهیزاتی که بر عملکرد وسایل ریلی تأثیر می‌گذارد، نیازمند تجزیه و تحلیل با در نظر گرفتن ایجاد تحلیل بحرانی به اولویت کاری (شماره اولویت ریسک) است. به طور کلی، حالت شکست، اثر، و تجزیه و تحلیل بحرانی (FMEA/FMECA) نیاز به شناسایی اطلاعات اساسی زیر دارد، الگوریتم محاسبه بحرانی تجهیزات ارائه شده است. چندین رویکرد در ادبیات برای یافتن مقدار آستانه­ای که حالت شکست بحرانی را از حالت ناچیز پس از انجام روش FMECA متمایز می‌کند، پیشنهاد شده است. برخی از آنها نادقیق و ناکارآمد هستند در حالی که برخی دیگر فقط رویه‌های کیفی برای شناسایی دو مجموعه داده هستند.

مرحله 4. درخت تجزیه و تحلیل منطقی (LTA) یک ساختار درختی تصمیم گیری برای تعیین وظیفه نگهداری مناسب است که از آن، قابلیت اطمینان و ایمنی بهره برداری، راحتی عملیاتی و کارایی هزینه. برای انتخاب کار تعمیر و نگهداری بهینه، هر حالت خرابی از طریق برخی سوالات کیفیت که توسط تخصص تعمیر و نگهداری یا مدیریت ارشد تعیین می‌شود، ارزیابی می‌شود. اولین سوال پرسیده می‌شود: آیا خرابی بر ایمنی تأثیر گذاشته و به دنبال آن آیا اپراتور می‌تواند حالت خرابی را در عملکرد عادی تشخیص داده یا نظارت کند، می‌داند که اتفاق غیرعادی یا مضری رخ داده است؟ اپراتور لازم نیست دقیقاً بداند که چه چیزی اشتباه است تا پاسخ مثبت باشد. ]4 [

* 1. مدل‌های بهینه سازی تعمیر و نگهداری فرصت طلبانه

در این زمینه، توسعه استراتژی‌های مدیریت دارایی و نگهداری مناسب برای رویارویی با چالش‌های پایداری و رقابتی حیاتی می‌شود. با این وجود، تا به امروز، استراتژی‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر زمان (TBPM)، بر اساس بازرسی‌های دوره‌ای و تعویض‌های فاصله‌ای (یعنی هر 15 روز، 3 ماه، 1 سال، و غیره)، تمایل به بقای خود در این بخش دارند. این برنامه‌های تعمیر و نگهداری، که عمدتاً مبتنی بر تجربه و اطلاعات تأمین‌کنندگان هستند، کاملاً محافظه‌کارانه هستند و اجزاء را قبل از پایان چرخه عمر خود جایگزین می‌کنند. در نتیجه، آنها معمولاً منجر به راه‌حل‌های تعمیر و نگهداری غیربهینه و ناکارآمد می‌شوند که منابع را صرف فعالیت‌های تعمیر و نگهداری غیر حیاتی می‌کند. بنابراین، بهبود استراتژی‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی از طریق مدل‌های بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری، فرصت مهمی برای ایجاد ارزش بیشتر در بخش راه‌آهن فراهم می‌کند. با این حال، با توجه به ادبیات، تحقیقات مربوط به بخش راه‌آهن عمدتاً بر تعمیر و نگهداری زیرساخت راه‌آهن و حالت بهینه‌سازی گردش وسایل ریلی متمرکز است، در حالی که مدل‌های بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری برای انبارهای حمل‌ونقل خودرو هنوز کمیاب هستند. در واقع، هم ادبیات و هم کارشناسان موردی که نویسندگان با آنها کار کرده‌اند، بر نیاز به مدل‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی انعطاف‌پذیرتر و کارآمدتر، با توانایی تصمیم‌گیری پویا در مورد تعمیر و نگهداری تاکید کرده‌اند.

برای این هدف، مدیریت کارآمد کل زنجیره ارزش راه آهن، از طراحی تا مراحل پایان عمر، با توجه به (1) مخارج سرمایه (CAPEX)، مانند هزینه‌های توسعه و سرمایه‌گذاری و (2) مخارج عملیاتی (OPEX) مهم است. ]3[



شکل 2-7- ساختار هزینه در چرخه عمر دارایی‌ها ]3 [

به خصوص هنگام بهینه سازی مخارج عملیاتی و در دسترس بودن دارایی‌های وسایل ریلی، قابلیت اطمینان یکی از عوامل کلیدی است که باید در نظر گرفته شود. این منبع اصلی برای هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری اصلاحی، دوره‌های توقف، جریمه‌ها، و همچنین سایر اثرات غیراقتصادی و در عین حال حیاتی، مانند اثرات زیست محیطی یا ایمنی است. بر این اساس، در صورت عدم اطمینان از قابلیت اطمینان دارایی‌ها، هزینه‌های عملیاتی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. با این حال، اگر دارایی‌ها بیش از حد حفظ شود تا این قابلیت اطمینان افزایش یابد، هزینه‌های عملیاتی نیز افزایش می‌یابد. در هر دو مورد، تصمیم‌گیری‌ها از منظر چرخه عمر ‌بهینه نمی‌باشد. در این زمینه، مدیریت نگهداری، زمانی که قابلیت اطمینان دارایی‌ها باید به طور موثر از دیدگاه چرخه عمر تضمین شود (EN، 1664)، برای بهینه سازی مخارج عملیاتی و به حداکثر رساندن در دسترس بودن دارایی‌های وسایل ریلی حیاتی می‌شود. قابل ذکر است که دارایی‌های وسایل ریلی دارایی‌های چند واحدی هستند که از چندین سیستم، زیر سیستم و اجزا تشکیل شده است. بنابراین، وابستگی‌های نگهداری در میان سیستم‌های مختلف ظاهر می‌شوند که پیچیدگی بهینه‌سازی تعمیر و نگهداری وسایل ریلی را افزایش می‌دهد. این وابستگی‌ها را می‌توان به موارد زیر طبقه بندی کرد: اقتصادی، زمانی که انجام فعالیت‌های تعمیر و نگهداری در چندین سیستم به طور همزمان منجر به صرفه جویی در هزینه‌های بالقوه در مقایسه با انجام جداگانه آنها می‌شود، ساختاری، هنگام انجام یک فعالیت تعمیر و نگهداری در یک سیستم مستلزم فعالیت‌های تعمیر و نگهداری بیشتر در سیستم‌های دیگر است و تصادفی، زمانی که خطر شکست دو سیستم مختلف مستقل نباشد. در چنین مواقعی، راهکارهای نگهداری چند واحدی به دلیل ظرفیت تصمیم‌گیری در افق برنامه‌ریزی در حال تغییر، با توجه به اطلاعات کوتاه‌مدت در مورد وضعیت دارایی‌ها و زمینه محیطی آن‌ها ضروری است. با این وجود، تا به امروز، معدود مدل‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی موجود، که عمدتاً با به حداقل رساندن هزینه‌ها از طریق فواصل بهینه نگهداری پیشگیرانه و تامین قطعات یدکی مرتبط هستند، عمدتاً مدل‌های تعمیر و نگهداری تک واحدی را توسعه می‌دهند. با این حال، به عنوان یک سیستم چند واحدی، مدل‌های تعمیر و نگهداری وسایل ریلی باید در کوتاه‌مدت در شکل‌گیری کل دارایی‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری یکپارچه شوند. بر این اساس، استفاده، مدل‌سازی و بهینه‌سازی خط‌مشی‌های تعمیر و نگهداری فرصت طلبانه OM، که می‌تواند به نفع یا ضرر تعمیر و نگهداری انجام شده با توجه به نیازهای خاص دارایی‌ها باشد، در این بخش اهمیت بالایی پیدا می‌کند. در واقع، به دلیل پیچیدگی ساختاری دارایی‌های جدید، علاقه تحقیقاتی فزاینده ای به استفاده از OM در بخش‌های مختلف وجود داشته است. در اصل، پارادایم OM به دنبال استفاده از رویدادهای ناشی از عوامل داخلی یا خارجی است که به طور بالقوه برای تعمیر و نگهداری مطلوب هستند و منجر به یک فرآیند تصمیم سازی پویا می‌شود. از یک سو، فرصت‌های داخلی به طور مستقیم با تصمیمات نگهداری مرتبط است و توسط وابستگی‌های ذکر شده در بین سیستم‌های دارایی تحریک می‌شود. از سوی دیگر، عوامل خارجی به موقعیت‌های محیطی یا زمینه‌ای مرتبط هستند که رسیدن فرصت‌ها را تقویت می‌کنند، بدون اینکه مستقیماً تحت تأثیر نگهداری قرار گیرند، مانند نیازهای مشتری یا برنامه تولید. زمانی که این فرصت‌ها، چه در داخل یا چه در خارج، به وجود می‌آیند، تصمیم تعمیر و نگهداری معمولاً با توجه به متغیرهای تعمیر و نگهداری سنتی، مانند فواصل زمانی، سن، قابلیت اطمینان، وضعیت (مثلاً فرسوده شدن) یا تعداد تعمیرات گرفته می‌شود. به طور خاص، در مدل‌های بهینه‌سازی OM، تصمیم تعمیر و نگهداری معمولاً با توجه به آستانه‌های خاصی - که به عنوان متغیرهای تصمیم (DV) عمل می‌کنند - مربوط به این متغیرهای تعمیر و نگهداری گرفته می‌شود. ]3[

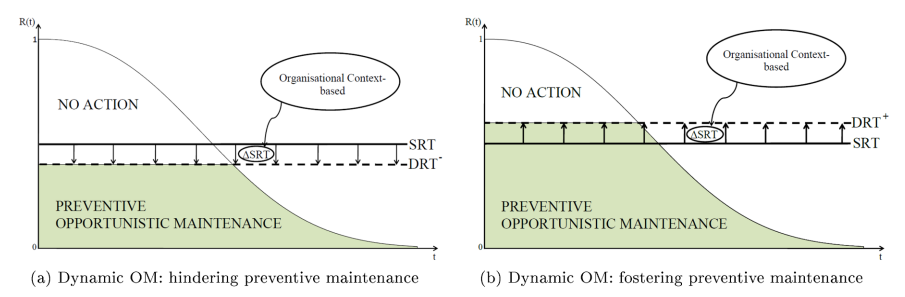
طبقه بندی زیر به تشخیص آخرین مدل‌های OM کمک می‌کند:

* OM مبتنی بر سن. آنها فرض می‌کنند که خطر خرابی متناسب با سن اجزا است. بنابراین، اگر فرصت نگهداری پیش بیاید و سن هر جزء از آستانه سنی تعیین شده خود بیشتر باشد، تحت تعمیر و نگهداری قرار می‌گیرد. مطالعات OM مبتنی بر سن تأثیر عوامل مختلف را بر این سیاست بررسی کرده‌اند، یعنی: عدم قطعیت ناشی از فقدان داده‌های خرابی، تأثیر تعمیر و نگهداری ناقص، پیش‌بینی ناقص خرابی‌ها، بهینه‌سازی چند معیاره یا ادغام آن با کنترل تولید.
* OM مبتنی بر قابلیت اطمینان. قابلیت اطمینان سیستم‌ها بر اساس روش‌های مختلف، مانند تحلیل داده‌های خرابی یا مدل‌های تخریب تخمین زده می‌شود. سپس این قابلیت اطمینان با آستانه قابلیت اطمینان مقایسه می‌شود و تصمیم می‌گیرد که آیا وظیفه تعمیر و نگهداری باید آغاز شود یا خیر. مدل‌های OM مبتنی بر قابلیت اطمینان بررسی‌شده با موضوعات مختلفی سروکار دارند: وابستگی‌های اقتصادی و ساختاری، تعمیر و نگهداری چند سطحی، بهینه‌سازی چند هدفه با در نظر گرفتن محدودیت‌های نگهداری و ظرفیت ناقص، افزونگی‌ها و غیره.
* OM مبتنی بر وضعیت. تصمیم تعمیر و نگهداری مستقیماً با توجه به وضعیت سلامت یا عمر مفید باقیمانده (RUL) سیستم‌ها گرفته می‌شود که می‌تواند از طریق سیستم‌های نظارت بر وضعیت (CMS) یا بازرسی‌ها شناسایی شود. مدل‌های OM مبتنی بر وضعیت بررسی‌شده به چندین زمینه تحقیقاتی، مانند سیستم‌های سری-موازی چند حالته، بررسی همزمان وابستگی‌های ساختاری، تصادفی و اقتصادی، سیستم‌های چند واحدی تنزل‌دهنده، افزونگی‌ها، تأثیر رفتار تأمین‌کنندگان نامشخص و نیز ادغام OM و پیش‌بینی شکست بر اساس شبکه‌های عصبی. ]3 [
  1. تعمیر و نگهداری فرصت طلب پویا مبتنی بر قابلیت اطمینان

مدل‌های تعمیر و نگهداری فرصت طلبانه OM معمولاً فرآیند تصمیم‌گیری تعمیر و نگهداری را بر آستانه‌هایی استوار می‌کنند که امکان مدیریت مؤثر ریسک اقتصادی و خرابی سیستم‌ها را فراهم می‌کند. با این حال، اکثر مدل‌ها این تصمیم را بر اساس یک مجموعه ایستا از آستانه‌ها قرار می‌دهند. در چنین مواقعی، مجموعه آستانه‌های ایستا ارائه شده توسط مدل‌های OM یک زمینه سازمانی منحصر به فرد را در نظر می‌گیرد که مدل برای آن توسعه و حل می‌شود. بنابراین، از آنجایی که فرصت‌های ناشی از تغییرات خاص در بافت سازمانی در طول زمان (نیازهای مشتری جدید، اهداف خاص، برنامه تولید و غیره) در نظر گرفته نمی‌شوند، OM ایستا ممکن است منجر به راه‌حل‌های غیربهینه شود که مستلزم ناهماهنگی بین تعمیر و نگهداری و اهداف سازمانی است. اگر همسویی اهداف نگهداری و سازمانی در مدل‌های OM جستجو شود، دو تضاد اصلی در مورد هر دو زمینه باید در نظر گرفته شود:

1. قابلیت اطمینان یک سیستم در حال کم شدن است (ریسک خرابی بیشتر) و بنابراین از منظر تعمیر و نگهداری انحصاری، باید حفظ شود. با این حال، زمینه سازمانی خاص برای نگهداری مطلوب نیست.
2. قابلیت اطمینان یک سیستم بسیار بالا است (ریسک خرابی کمتر) و بنابراین از منظر تعمیر و نگهداری انحصاری، نباید آن را حفظ کرد. با این حال، زمینه سازمانی خاص برای نگهداری مطلوب است.

برخلاف OM ایستا، OM پویا پیشنهاد می‌کند که آستانه‌هایی که فعالیت‌های تعمیر و نگهداری را به ‌منظور استفاده از فرصت‌های ناشی از تغییرات بافت سازمانی آغاز می‌کنند، به صورت پویا تغییر دهند. بر این اساس، تعادلی بین اهداف نگهداری و سازمانی پیدا می‌کند. هنگامی که علاقه خاصی به حفظ یک سیستم به دلیل بافت سازمانی وجود نداشته باشد، آستانه‌های قابلیت اطمینان کاهش می‌یابد (DRT- = SRT - ΔSRT) که تا حدودی مانع از نگهداری می‌شود. در مقابل، اگر زمینه سازمانی مطلوب باشد، آستانه‌های قابلیت اطمینان افزایش می‌یابد (DRT+ = SRT + ΔSRT)، که باعث تقویت نگهداری پیشگیرانه می­شود. ]3 [



شکل 2-8- رویکرد تعمیر و نگهداری فرصت طلب پویا ]3 [

مدلسازی آستانه قابلیت اطمینان پویا از سه بلوک ساختمانی تشکیل شده است:

1. آستانه قابلیت اطمینان استاتیک (SRT, [0,1]). خط مشی نگهداری پایه را تعیین می‌کند.
2. وزن تراز زمینه (w, [0,1]). تعیین می‌کند که آستانه‌های نگهداری با توجه به تغییرات بافت سازمانی تا چه اندازه باید متفاوت باشد.
3. عملکرد ارزیابی زمینه (f (external variables, t), [0,1]). تعیین می‌کند که آیا فرصت مطلوب است یا نامطلوب (افزایش یا کاهش آستانه) و چقدر مطلوب است یا غیر مطلوب است (شیب آستانه).

DRTt =SRT + SRT.w.f(ext var t)

آستانه‌های پویا منجر به برنامه‌های تعمیر و نگهداری انعطاف پذیر می‌شود که قادر به استفاده از زمینه‌های سازمانی مطلوب تر هستند، بنابراین اهداف تعمیر و نگهداری و سازمان را همسو می‌کنند. با این حال، توجه ویژه ای باید به مدل سازی DRT شود، زیرا وابستگی بیش از حد آستانه­ها به تغییرات بافت سازمانی ممکن است منجر به برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری بیش از حد و یا ناکافی شود. ]3 [

* 1. تعمیر و نگهداری پیشگویانه با استفاده از یادگیری ماشین و داده کاوی

در هر کسب و کاری، تولید دانش ناشی از فرآیند اطلاعات موثر، به عنوان یک دارایی استراتژیک و منبع مزیت رقابتی شناخته می‌شود. در حوزه راه‌آهن حجم وسیعی از داده‌ها تولید می‌شود که نیاز به ارزیابی، استقرار بهینه و استفاده به عنوان مکانیزمی دارد که منجر به تصمیم‌گیری درست با هدف صرفه‌جویی در منابع و حفظ اصول اساسی راه‌آهن که ایمنی مسافران است، می‌شود. این روش ابتکاری می‌تواند به عنوان ابزاری برای بهینه سازی عملکرد مدیریت قطارها برای ارائه اطلاعات مناسب برای اجرای برنامه‌ریزی و توانایی فنی قطارها به منظور دستیابی به مهمترین هدف برای راه‌آهن که امنیت مسافران است، مورد استفاده قرار گیرد. ]5 [

هر شرکتی که از فناوری‌های قبلی، جمع آوری داده‌های ذخیره شده و پردازش شده و عناصر دقیق استفاده می‌کند، قادر به پیش بینی اختلالات و جلوگیری از خرابی تجهیزات مورد استفاده است. استفاده از داده‌های تولید و تجهیزات شرکت‌ها می‌تواند اثربخشی تولید و برنامه زمان بندی تعمیر و نگهداری را بهبود بخشد. استفاده از داده‌های گسترده و استفاده از یادگیری ماشینی-داده کاوی با درختان تصمیم برای نگهداری و عملکرد تجهیزات می‌تواند باعث افزایش بهره وری و کاهش هزینه‌های نگهداری شود. یادگیری ماشینی الگوریتم‌هایی را مطالعه و می‌سازد که می‌تواند از داده‌ها و اطلاعاتی که در هر صورت ارائه می‌شود بیاموزد و بر اساس آنها پیش بینی کند. داده کاوی بر تجزیه و تحلیل اکتشافی داده‌ها برای کشف دانش متمرکز است. این شامل پایگاه‌های داده عظیم با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی گرفته تا هر سیستمی است که از تصمیم‌هایی با هدف تجزیه و تحلیل تشخیص و طبقه‌بندی حجم عظیمی از اطلاعات پشتیبانی می‌کند که برای تصمیم‌گیری درست مفید خواهد بود. در این تحقیق، از الگوریتم درخت تصمیم برای ایجاد مدل‌های داده‌ای استفاده خواهیم کرد که برچسب‌ها یا مقادیر کلاس را برای فرآیند تصمیم‌گیری پیش‌بینی می‌کنند. با استفاده از درخت تصمیم، می‌توانیم تصمیماتی را تجسم کنیم که درک آن را آسان می‌کند و بنابراین یک تکنیک داده کاوی محبوب است. تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط به عنوان تعمیر و نگهداری پیش بینی شده عمدتاً مبتنی بر داده است. داده‌ها برای ارزیابی وضعیت تجهیزات و ارزیابی زمان بندی وظایف تعمیر و نگهداری استفاده می‌شود. تصمیمات مربوط به تعمیر و نگهداری منحصراً از داده‌ها نشأت نمی‌گیرد، زیرا شخص قوانین تصمیمات را تعریف می‌کند و به احتمال زیاد منجر به نتیجه‌گیری اشتباه اغلب و در فواصل منظم تعمیر و نگهداری می‌شود. علاوه بر این، هزینه‌های سرمایه‌گذاری معمولا بالا بوده و نصب و استفاده از تجهیزات مانیتورینگ ضروری است. تعمیر و نگهداری پیش‌بینی شده مبتنی بر روش‌های پیشرفته مانند یادگیری ماشین است و می‌تواند به صورت پویا تعریف کند که چه زمانی تجهیزات باید نگهداری شوند. تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده می‌تواند شواهد پیچیده‌ای از نقص‌ها پیدا کند، که تقریباً برای انسان غیرممکن است. روش‌های تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌شده برای تخمین وضعیت تجهیزات برنامه‌ریزی شده‌اند تا مشخص شود که تعمیر و نگهداری دقیقاً چه زمانی و برای کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری تنها در صورت نیاز باید انجام شود. ترکیب پیش‌بینی با بهره‌برداری از فناوری‌های جدید بر روی داده‌ها با استخراج قوانین بر مبنای درک انسان از شرایط تجهیزات، بر افزایش اثربخشی تولید و رقابت پذیری در اتخاذ تصمیم‌های بهینه برای برنامه‌ریزی استراتژیک تعمیر و نگهداری، اصرار دارد. ]5 [

سازمان راه‌آهن به منظور تركيب بهره‌وري و سود با خدمات با كيفيت بالا با هدف خدمات بهينه مسافران، ملزم است که مدرن و مؤثر باشد. اگر راه‌آهن به دلیل عدم تعمیر و نگهداری ناایمن شود، به عنوان یک عملکرد پایدار برای مدت طولانی دوام نخواهد آورد. قطارها آسیب‌پذیرترین بخش در سیستم راه‌آهن است و نیاز به رعایت کلی تعمیر و نگهداری دارد، زیرا قطار بی‌حرکت کل شبکه را مسدود می‌کند و در نتیجه در دسترس بودن مجموعه‌ قطارها کاهش می‌یابد، برنامه‌های زمانی تغییر می‌کند، و هرج و مرج بی‌سابقه را ایجاد می‌کند. ]5 [

با استفاده از داده‌کاوی و اطلاعات یادگیری ماشین، نتایجی تولید می‌شود که ابزارهای مفیدی هستند که با ایجاد تکنیک‌های نوین نوآورانه منجر به ارتقا و به‌روزرسانی رویه‌های زیربنایی می‌شوند و زمان مجموعه‌های قطار غیرقابل دسترس و همچنین هزینه تجهیزات و قطعات یدکی که باید سرویس شوند را کاهش می‌دهند.

در تجزیه و تحلیل تصمیم می‌توان از درخت تصمیم گیری برای نمایش تصمیمات به صورت بصری و صریح استفاده کرد. این یک ابزار پرکاربرد در داده کاوی برای ایجاد یک استراتژی است و همچنین به طور گسترده در یادگیری ماشین استفاده می‌شود. ]5 [

استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم به دلیل سادگی و ظاهری که دارند یک تکنیک بسیار محبوب در داده کاوی است.

ساخت درخت‌های تصمیم یک مدل پیش بینی با ساختار یک درخت معکوس ایجاد می‌کند و شامل ریشه (در بالای درخت که مشخصه اصلی است)، اتصالات (در سطوح پایین تر با کنترل داده‌ها و شکافتن موارد مربوطه است)، برگ‌ها (در پایین ترین سطوح با تصمیمات نهایی، بدون تداوم) و شاخه‌ها (اتصالات ریشه، اتصالات، برگ‌ها با نتایج کنترل) می‌باشد. روش درخت تصمیم مستلزم حداقل آماده سازی داده‌ها است، ویژگی‌های ورودی اسمی و عددی را مدیریت می‌کند، ارائه دانش به راحتی خوانده می‌شود و خروجی قوانین قابل درک است. ایجاد یک درخت با جنبه‌های پیچیده دیگر نیز تعریف نمی‌شود و می‌تواند داده‌هایی با مقادیر ناقص را مدیریت کند. داده‌ها را سیستم می‌کند، توانایی مدیریت را برای تجزیه و تحلیل بهبود می‌بخشد و چشم انداز تصمیم گیری منطقی را فراهم می‌کند. داده‌ها را دارای سیستم می‌کند، توانایی مدیریت را برای تجزیه و تحلیل بهبود می‌بخشد و چشم انداز تصمیم گیری منطقی را فراهم می‌کند. تا آنجا که به داده کاوی مربوط می‌شود، درخت تصمیم یک مدل پیش بینی است که می‌تواند برای نمایش طبقه بندی کننده‌ها و همچنین مدل‌های رگرسیون استفاده شود. پاسخ سریعی که آنها ارائه می­دهند و تفسیر قابل دسترس آنها حتی از سوی کاربران غیر حرفه ای برای کار خاص ایده آل در نظر گرفته می‌شود.

* درخت‌های طبقه‌بندی زمانی استفاده می‌شوند که متغیر وابسته باشد - هدف اسمی است که چندین دسته را نسبت می‌دهد و تلاش برای پیش‌بینی برای هر دسته (خروجی) که با تصمیم‌های نهایی (برگ‌های) درخت مطابقت دارد، صورت می‌گیرد.
* از درختان تحلیل رگرسیون زمانی استفاده می‌شود که متغیر هدف وابسته پیوسته باشد و پیش بینی به میانگین حسابی برای کنترل داده‌ها (اتصالات) و تصمیمات نهایی (برگ) درخت اشاره دارد. ]5 [
  1. استراتژی تعمیر و نگهداری اصلاحی با استفاده از داده کاوی برای تدوین اقدامات پیش نیاز

پیش‌بینی خرابی راه‌آهن به دلیل عدم دسترسی به پایگاه داده در زمان واقعی، چالش برانگیز است و اهداف بهره برداری را کاهش می‌دهد.

وسایل ریلی تحت نظارت هفتگی تعمیر و نگهداری و بررسی عملکردی قرار می‌گیرند. تعمیر و نگهداری وسایل حمل و نقل بسیار ضروری است زیرا با سطح راحتی و ایمنی مسافران رابطه مستقیم دارد. برنامه نگهداری بر اساس ظرفیت ناوگان داخلی و در دسترس بودن خطوط جانبی برای اهداف بازرسی، سیگنالینگ و شستشو برنامه‌ریزی شده است.

پیدایش اینترنت اشیا و فناوری ارتباطات بی سیم پیشرفت‌های مختلفی را در زمینه صنعت راه‌آهن به ویژه در راه‌آهن مترو ایجاد کرده است که به اتوماسیون بسیار سیستماتیک نیاز دارد. بستر ارتباطی بر اساس نیازهای عملیاتی بهینه و بهبود یافته است. بدین ترتیب و با استفاده از داده کاوی و یادگیری ماشین، بستر تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری اصلاحی بصورت بهینه فراهم می‌باشد. ]13[

* 1. داده کاوی و یادگیری ماشین برای کاهش قطعات پر مصرف

بكارگيري هوش مصنوعی در اين صنعت، مخصوصا حوزه يادگيري ماشين و در کنار آن هوشمند سازي برنامه تعمير و نگهداري واگنها، اين امكان را فراهم می‌سازد تا عيوب پرتكرار و پر هزينه را مشخص کند و از وقوع احتمالی آنها، به موقع جلوگيري شود.

با توجه به اينكه داده‌هاي تعمير و نگهداري با مرور زمان افزايش پيدا می‌کنند، از سال 1990 ميلادي تا کنون، دانشمندان زيادي بر روي تعمير و نگهداري قطعات و سيستمهاي گوناگون از جمله سيستمهاي راه‌آهن مطالعه، تحقيق و آزمايشهاي زيادي را به عمل آورده اند، تا با استفاده از اين داده‌ها سيستم‌هاي هوشمند طراحی کنند. ]30 [

* 1. زمان بندی تعمیرات پیشگیرانه با استفاده از مدل نظریه بازی

قضیه اساسی نظریه بازی جان فون نویمان بیان می‌کند که در دسته وسیعی از بازی‌ها همیشه می­توان تعادلی را یافت که هیچ یک از بازیکنان نباید به طور یک طرفه از آن منحرف شوند.

خرابی‌های مکرر ناشی از سازه‌ها و تجهیزات پیچیده مترو، خطرات متعدد ناشی از شبکه‌های متراکم ریلی، مشکلات نجات ناشی از محیط‌های بهره برداری خاص و تضاد منافع بین بخش‌های بهره برداری و تعمیر و نگهداری که مستقیماً بر ایمنی و مدیریت بهره برداری و نگهداری تأثیر می‌گذارد. پس از خرابی قطار، هنگام تنظیم برنامه عملیاتی قطار، عوامل زیادی مانند ریسک نگهداری و به موقع بودن باید در نظر گرفته شوند. این عوامل بر طرح دیسپاچینگ قطار‌ها تأثیر می‌گذارد.

برای رفع این چالش‌ها، فناوری بهره برداری و نگهداری هوشمند ترانزیت ریلی می‌تواند راه حلی جایگزین برای رفع نیازهای شبکه‌های بهره برداری ریلی شهری باشد. بنابراین، نیاز به تحقیق در مورد تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری و فناوری راه حل بهینه سازی وجود دارد.

شکل 2-3، در عمل، تعمیر و نگهداری منظم و نگهداری مبتنی بر شرایط به طور گسترده استفاده می‌شود.



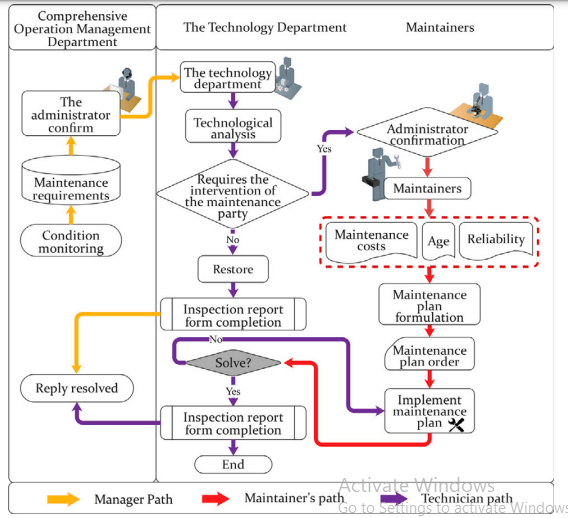
شکل 2- 9- روش نگهداری فعلی قطارهای مترو ]27 [

تعمیر و نگهداری منظم معمولاً باعث تعمیر و نگهداری بیش از حد یا کمتر از میزان مناسب می‌شود. به طور مشابه، تعمیر و نگهداری پس از خطا نه تنها باعث خسارات اقتصادی زیادی می‌شود، بلکه روند مداوم عملکرد عادی سیستم‌های مکانیکی را مختل می‌کند. به طور کلی به نگهداری پیشگیرانه و تعمیر و نگهداری پس از خرابی تقسیم می‌شود. اگرچه این دو استراتژی تعمیر و نگهداری نیاز به وقفه در عملکرد سیستم دارند، اما پیامدهای خرابی استراتژی دوم معمولاً جدی‌تر از موارد قبلی است. بنابراین لازم است در نهایت یک استراتژی تعمیر و نگهداری مناسب برای کاهش و جلوگیری از خسارات و زیان‌های ناشی از خرابی بر اساس داده‌های نظارت بر عملکرد قطار مترو و سایر اطلاعات تعیین شود.

در فرآیند تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری، نه تنها باید زیان ناشی از خرابی و هزینه نگهداری در نظر گرفته شود، بلکه باید به انتخاب تصمیم گیرنده نیز توجه شود. رابطه نزدیکی بین برنامه استراتژی تعمیر و نگهداری قطار و برنامه عملیاتی وجود دارد. همانطور که در شکل 2-3 نشان داده شده است، نیازهای اپراتور و نگهدارنده متناقض و جدایی ناپذیر هستند. بنابراین، دستیابی به بهینه سازی مشارکتی بین این دو، اساس اعزام مشترک عملیات مترو است که اهمیت راهبری مهمی برای بهره برداری واقعی قطارهای مترو دارد.

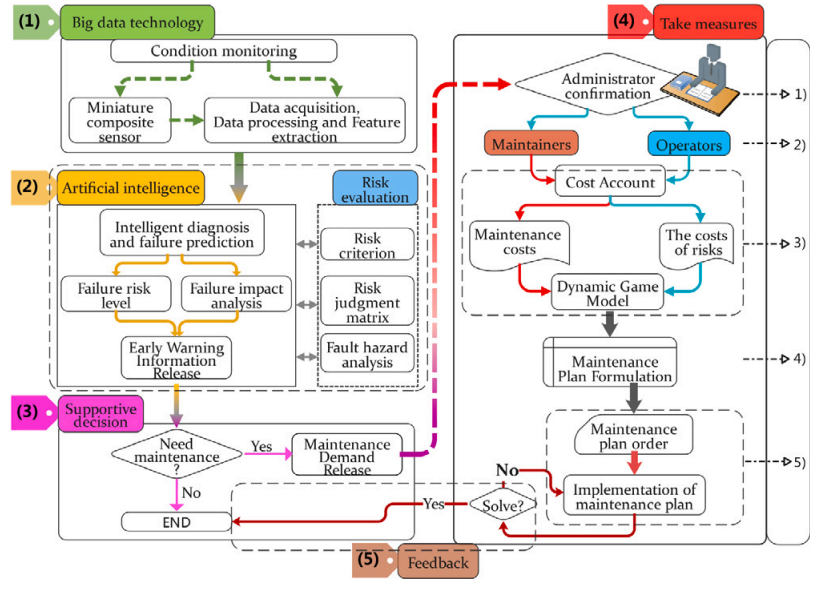
تعمیر و نگهداری ترکیبی از تمام اقدامات فنی، اداری و مدیریتی در چرخه عمر پروژه است که هدف آن حفظ پروژه یا بازگرداندن آن به حالتی است که در آن عملکردهای مورد نیاز می‌توانند انجام شود. اگرچه تئوری بهینه‌سازی یک روش تصمیم‌گیری مهم برای به حداکثر رساندن منافع است، اما تضاد منافع ناشی از رابطه رقابتی بالقوه بخش‌های مختلف را به دلیل تأثیر عملکرد خود نادیده می‌گیرد. خوشبختانه، تئوری بازی فون نویمان راه حل موثری برای مشکل ایجاد تعادل بین منافع رقیب در میان شرکت کنندگان در تصمیم گیری ارائه می‌دهد.

ترکیبی از محاسبه هزینه، سن تجهیزات و قابلیت اطمینان برای تدوین استراتژی‌های تعمیر و نگهداری استفاده شد که سیستم تعمیر و نگهداری قطار مترو را تشکیل می‌دهد که در شکل 2-4 نشان داده شده است.



شکل 2-10- نمایش سیستم فعلی تعمیر و نگهداری قطار ]27 [

ایمنی و قابلیت اطمینان از فناوری‌های پشتیبانی برای توسعه پایدار صنعت مدرن هستند. از طریق یک استراتژی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه اقتصادی و مؤثر، یعنی از طریق پیشگیری و افزایش عمر تجهیزات، می‌توان از حوادث جلوگیری کرد، مصرف منابع را کاهش داد، و تولید ضایعات را کاهش داد تا از عملکرد مداوم سیستم‌های تجهیزات صنعتی با عملکرد بالا اطمینان، مصرف کم منابع، تاثیر منفی کم و هزینه زیست محیطی کم حاصل شود. قطار واحد عملیاتی کلیدی عملیات است و تلفات خطا زیاد است. ایجاد استراتژی‌های تعمیر و نگهداری علمی و مؤثر برای قطارها برای اطمینان از عملکرد ایمن و پایدار قطارها، افزایش نرخ بهره‌برداری از قطارها و ارتقای توسعه پایدار سیستم‌های حمل‌ونقل شهری مهم است. ]27 [



شکل 2- 11- سیستم بهره برداری و نگهداری هوشمند قطار با در نظر گرفتن خطرات و مزایای بخش‌ها ]27[

* 1. استراتژی تعمیرات (نوسازی) نیمه عمر

نوسازی نیمه عمر (MLR) فرآیندی است که در بسیاری از صنایع برای بهبود یا افزایش طول عمر دارایی‌هایی مانند ماشین آلات، زیرساخت‌ها و سیستم‌ها انجام می‌شود. هدف از اجرای MLR افزایش طول عمر، حفظ عملکرد قطار و دستیابی به قابلیت اطمینان سیستم است. به طور معمول، محدوده بازسازی شامل تعمیرات اساسی، ارتقاء و اصلاح است. بزرگترین چالش تعیین محدوده کارهای نوسازی و ایجاد تعادل بین امکان سنجی و قابلیت اجرای پروژه است. استفاده از FMEA در تعیین محدوده کار بازسازی قطار بسیار مهم است. در مراحل اولیه فرآیند به منظور تعیین شماره اولویت ریسک (RPN) برای اولویت‌بندی نوع طرح‌های نوسازی و محدوده انجام شد. طراحی کاربرگ‌های FMEA، طراحی معیارهای ارزیابی شدت FMEA، طراحی معیارهای ارزیابی وقوع و طراحی معیارهای پیشگیری و تشخیص FMEA از قالب عمومی اتخاذ و اقتباس شدند تا با صنایع راه‌آهن منسجم باشد. نتایج بر اساس چارچوب تحول، طرح و محدوده تعمیرات اساسی، ارتقاء و اصلاح با استفاده از FMEA تعریف شد. ]14 [

* + 1. سیاست تعمیر و نگهداری نوسازی

مفهوم متداول نشان داد که هر قطار باید پس از ساعات معینی یا مسافت پیموده شده از زمان یا مسافت سفر، تحت بازرسی تعمیر و نگهداری قرار گیرد. با این حال، سیاست‌های تعمیر و نگهداری بسته به سطح آنها، مشروط به حداکثر مسافت طی شده و مسافت‌های تعیین شده توسط سازنده تجهیزات اصلی (OEM) یا مقررات تقسیم می‌شوند. این فعالیت تعمیر و نگهداری معمولاً در تأسیسات نگهداری اختصاصی جدا از شبکه عملیاتی انجام می‌شود. تعمیر و نگهداری سطح پایین (LLM) را می‌توان در انبارهای تعمیر و نگهداری انجام داد، و این تحت Maintenance Time Windows (MTW) از پیش تعریف شده است. LLM شامل بازرسی روزانه (DI) و بازرسی ماهانه (MI)، بازرسی سطح بالا شامل بازرسی بزرگ (LI) و بازرسی بیش از حد حمل و نقل (OI) است. DI پس از عملیات روزانه انجام می‌شود و بازرسی تنها به طور متوسط یک یا دو ساعت طول می‌کشد.

در همین حال، MI تنها پس از دو یا سه هفته کارکردن یا پس از طی مسافت چند هزار کیلومتری قبل از اینکه بتواند دوباره به گردش درآید، قابل انجام است. واقعیت این است که پارامتر تعمیر و نگهداری (MP) بسته به مشکلات و چالش‌های اپراتورهای مختلف یا مقررات از پیش تعریف شده در سایر راه آهن‌ها نیز می‌تواند متفاوت باشد. تعمیر و نگهداری در سطح بالا مانند LI و OI برای هر واحد قطار از قبل برنامه‌ریزی می‌شود. این برنامه‌ریزی باید زودتر به عنوان بخشی از نگهداری برنامه‌ریزی شده مدیریت شود.

* + 1. بازسازی قطار

اهمیت کارهای MLR به خوبی توجیه شده است و مورد مرجع بعدی اطلاعات مربوط به کارهای MLR انجام شده توسط اپراتورهای مختلف از کشورهای سراسر جهان را ارائه می‌دهد.

سرمایه‌گذاری برای کارهای MLR فرصتی برای تقویت سیستم قطارها در عین مدیریت موضوع کهنگی به عنوان هدف اصلی است. معمولاً وضعیت پشتیبانی OEM برای تجهیزات قطار وقتی به سن 15 سالگی برسد متوقف می‌شود. همچنین برنامه‌های کاهش برای غلبه بر موضوع کهنگی شامل دریافت مولفه معادل در صورت وجود فناوری‌ها، طراحی واحد معادل و مدیریت یکپارچه‌سازی با تامین قطعات دست دوم است.

* + 1. مدیریت زنجیره تامین

مدیریت وسایل ریلی به احتمال زیاد دشوارترین مرحله در فرآیند برنامه‌ریزی متوالی استاندارد راه‌آهن است و نقش کلیدی در تضمین کارایی هزینه عملیات شبکه راه‌آهن ایفا می‌کند. سرمایه‌گذاری عمده در راه‌آهن خرید وسایل ریلی است. واقعیت این است که موجودی انبار و سیستم پیش راه اندازی را نمی‌توان مرتباً تغییر داد.

بنابراین، سیاست تعمیر و نگهداری وسایل ریلی به یک تصمیم استراتژیک تبدیل شد که نتایج اقتصادی شرکت را برای چندین دهه در آینده تحت تأثیر قرار داد. این برای تأکید بر چالش‌های مدیریت زنجیره تأمین (SCM) صنایع راه‌آهن است و نشان می‌دهد که چگونه SCM بر تعمیر و نگهداری قطار از نظر منسوخ شدن تأثیر می‌گذارد.

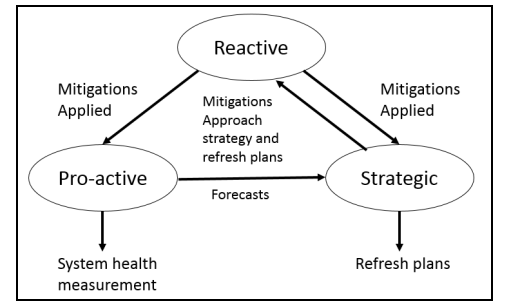
* + 1. قطعات منسوخ

امروزه موضوع منسوخ شدن قطعات در سراسر صنایع در دنیای تجارت، از تجهیزات اویونیک و نظامی گرفته تا اکثر سازندگان تجهیزات اصلی به دلیل پیشرفت سریع فناوری، رایج شده است. به طور معمول، هنگامی که یک تامین کننده یا فروشنده اعلام می‌کند که یک قطعه منسوخ شده است، OEM و همچنین کاربر نهایی می‌توانند از چندین گزینه منبع انتخاب کنند. راهبردهای جایگزین برای کاهش مشکلات منسوخ شدن عبارتند از: (1) مادام العمر یا عمر زمانی (LOT) که از تامین کننده اصلی با توافق نامه بلند مدت خریداری می‌شود (2) جایگزینی قطعات، که عبارت است از یافتن جایگزینی برای بخشی از نظر مشخصات و فناوری (3) طراحی مجدد خط، که اصلاح خط تولید یا سیستم برای تطبیق قطعات یا تغییرات جایگزین است.

* + 1. محدودیت در صنایع ریلی

برعکس، برای صنعت ریلی، استراتژی ذکر شده در بالا فقط برای شماره گزینه قابل اجرا است. دلیل این امر این است که صنعت ریلی یک بازار خاص است و به دلیل منحصر به فرد بودن سیستم و جزء، یافتن جایگزینی دشوار است. در عمل، OEM فقط سیستم یا قطعات را بر اساس مبنای تحویل پروژه می‌سازد. معمولاً، قرارداد فقط می‌تواند از در دسترس بودن قطعات تا ده سال محافظت کند، و این یک مشکل اساسی خواهد بود، به ویژه به دلیل اینکه سیستم‌های قطار باید تا 30 سال یا بیشتر نگهداری شوند. این دلیلی برای اپراتورها خواهد بود که به بازسازی Mid-Life Refurbishment ادامه دهند. با این کار می‌توان موضوع فرسودگی را حل کرد و چرخه عمر سیستم را حداقل تا 20 سال دیگر افزایش داد.

بنابراین، بسیاری از سیستم‌هایی که از نظر در دسترس بودن قطعه نیاز به پشتیبانی طولانی مدت دارند، نگهداری آسانی ندارند و معمولاً کاربران کنترلی بر زنجیره تامین آن ندارند. علاوه بر این، منسوخ شدن قطعه یک سناریوی رایج برای صنایع نظامی، کنترل صنعتی، ریل و هوایی است. علاوه بر این، زمانی که محصولی با قطعه و فناوری منسوخ مورد تقاضا باشد، به شرایط کمک می‌کند. این وضعیت را می‌توان با استفاده از مدیریت منسوخ همکاری از طریق مدل هزینه عمر آن کاهش داد. برای اقدامات مدیریتی آینده همراه با موارد تجاری پشتیبانی برای ایجاد مدیریت استراتژی برای آیتم‌های منسوخ استفاده می‌شود. شکل 2-3 سه سطح مدیریت منسوخ سازی را نشان می‌دهد. ]14 [



شکل 2-12- رویکرد تعمیر و نگهداری فرصت طلب پویا ]14[

یکی از دلایلی که تامین‌کننده یا سازنده تولید را متوقف می‌کند یا قطعه را ناسازگار یا تا حدی با نسخه قبلی سازگار می‌کند، مجبور کردن مشتریان به ارتقاء تجهیزات فعلی خود است. این استراتژی معمولا برای افزایش قدرت چانه زنی تامین کنندگان و حفظ تجارت آنها استفاده می‌شود.

با این حال، چندین طرح یا استراتژی کاهش توسط مشاور و همچنین محقق به منظور کاهش این مسائل کهنگی ارائه شده است. یکی از گزینه­ها تکنیک تقلید (رقابتی) نام دارد. تکنیک تقلید شامل استفاده از یک دستگاه جایگزین یا ترکیبی از دستگاه‌های دیگر برای ارائه عملکرد مشابه و ارائه شکلی مناسب برای استفاده است. وی همچنین تاکید می‌کند که از طریق اجرای طراحی مناسب، می‌توان تست‌های عملکردی، مکانیکی و محیطی مناسب را بدون برنامه‌های گسترده و گران قیمت تست رگرسیون معرفی و بر روی سیستم آزمایش کرد.

سازندگان ادعا می‌کنند که منسوخ شدن آیتم‌ها برای تداوم کسب و کار مورد نیاز است و نام آن را Planned Obsolescence گذاشته اند و این به چندین عامل مربوط می‌شود. با توجه به منسوخ شدن برنامه‌ریزی شده، پایداری از نظر سود، تولید و اشتغال و همچنین رضایت مصرف کننده تضمین می‌شود. این ممکن است به عنوان یک مبادله بر اساس هزینه در برابر کیفیت و دوام برای برآوردن خواسته‌های مصرف کننده در نظر گرفته شود.

* + 1. FMEA برای شناسایی خرابی بالقوه

حالت‌های خرابی و تحلیل اثر (FMEA) رویکردی است که برای شناسایی خرابی‌های بالقوه در طراحی، محصولات یا خدمات استفاده می‌شود. علاوه بر آن، حالت‌های خرابی به راه‌ها یا حالت‌هایی اشاره دارند که می‌توانند باعث خرابی چیزی شوند. اصطلاح شکست به خطا یا نقص بالفعل یا بالقوه اشاره دارد.

علاوه بر این، شکست بسته به اینکه چقدر جدی است و شدت آسیب، به راحتی قابل تشخیص است و هر چند وقت یکبار ممکن است رخ دهد، اولویت بندی یا رتبه بندی می‌شود. بنابراین از FMEA برای حذف یا کاهش خرابی‌ها با تمرکز بر بالاترین اولویت استفاده می‌شود

بنابراین، اهمیت این FMEA برای شناسایی و تعیین علل و اثرات بالقوه شکست است و می‌تواند برای راهنمایی محققان، مدیریت یا افراد درگیر برای شناسایی علت اصلی، کار کاهش سخت مورد نیاز به منظور کاهش علت و معلول از طریق کارهای بازسازی Mid-Life. استفاده شود. همچنین برای از بین بردن علت خرابی و به حداقل رساندن تأثیر برای افزایش در دسترس بودن و قابلیت اطمینان قطار استفاده می‌شود.

استفاده از حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثر (FMEA) می‌تواند به مدیریت کمک کند تا قبل از اقدام با هر گونه طرح تعمیر و نگهداری مانند کارهای بازسازی نیمه عمر، در مورد علت اصلی خرابی تصمیم گیری کند. FMEA با دادن ارزش اولویت ریسک (RPN) برای فرآیند یا محصول به مدیریت و همچنین سازمان کمک می‌کند و تعیین می‌کند که چه کاری باید ابتدا انجام شود به نحوی که به نفع سازمان باشد. FMEA همچنین می‌تواند برای شناسایی قطعات یا سیستم‌هایی که نیاز به تعمیرات اساسی، ارتقاء و اصلاح دارند استفاده شود. ]14 [

* 1. کاربرد نظارت از راه دور در تعمیر و نگهداری

استفاده از نظارت بر شرایط از راه دور در سال‌های اخیر برای کاهش هزینه چرخه عمر (سرمایه‌گذاری و نگهداری) و افزایش عملکرد عملیاتی افزایش یافته است.

یک رویکرد تعمیر و نگهداری پویاتر و فعال تر دارای مزایای زیر است:

* افزایش نیازهای عملکردی منجر به افزایش پیچیدگی و افزایش شدید استفاده از الکترونیک و نرم‌افزار می‌شود که منجر به الگوی سایش و خرابی کمتر قابل پیش‌بینی می‌شود.
* سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری وسایل ریلی تقریباً یک سوم هزینه راه‌آهن را تشکیل می‌دهد، یک دوره پیک نسبتاً کوتاه صبح و عصر باعث افزایش تعداد واگن‌های مورد نیاز می‌شود، فواصل کوتاه تعمیر و نگهداری بین قله‌ها می‌تواند تعداد واگن‌های یدکی مورد نیاز برای تعمیر و نگهداری را کاهش دهد.
* افزایش انتظارات مشتری مستلزم کیفیت ثابت خدمات نیز برای سیستم‌های ثانویه مانند توالت، اطلاعات سفر، تهویه مطبوع و غیره است. در نتیجه میانگین زمان تعمیر باید کوتاهتر باشد. ]19 [
  1. تحلیل خطای انسانی برای بهبود تعمیر و نگهداری

تعداد زیادی از سوانح ریلی، چه در فرآیندهای عملیاتی و چه در فرآیندهای تعمیر و نگهداری، به دلیل عملکرد ضعیف انسان رخ می‌دهد که به عنوان توانایی‌ها و محدودیت‌های انسانی توصیف می‌شود که بر ایمنی و کارایی عملیات تأثیر می‌گذارد. در واقع، پرسنلی که وظایف تعمیر و نگهداری را انجام می‌دهند با مجموعه ای از شرایط تولید خطا (EPC) در سیستم‌های تعمیر و نگهداری دقیق راه‌آهن مواجه می‌شوند که می‌تواند عملکرد آنها را کاهش دهد. چنین EPCهایی عبارتند از: فشار زمان، بازخورد ناچیز، فضاهای کاری محدود، موقعیت‌های بدن نامناسب (به عنوان مثال پشت خم شده و/یا پیچ خورده، هر دو دست بالای شانه)، روش‌های ضعیف نوشته شده و عدم دسترسی به تجهیزات مورد نیاز. این شرایط معمولاً به صورت ترکیبی منجر به اشکال مختلف خطا و در نتیجه خرابی و حوادث می‌شود. با کمال تعجب، خطای انسانی در تعمیر و نگهداری راه‌آهن به اندازه کافی در تحقیقات مورد توجه قرار نگرفته است در حالی که خطای انسانی عامل 20 تا 50 درصد خرابی تجهیزات است. یکی از پیامدها تعدادی از سوانح ریلی پرمخاطب به دلیل مشکلات نگهداری مرتبط با عوامل انسانی بوده است. ]21 [

در حالی که ریشه کن کردن خطای انسانی تقریباً غیرممکن است، می‌توان آن را از طریق یک برنامه مدیریت نگهداری خوب و درک مسائلی که بر خطاها تأثیر می‌گذارد به حداقل رساند. داشتن چنین طرح موثری یک پیش نیاز برای شناسایی تمام خطاهای انسانی بالقوه و سپس کمی کردن احتمال وقوع آنها با رویکرد آماری مناسب است. تکنیک‌های تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی (HRA) فرصتی برای انجام این کار فراهم می‌کند زیرا هدف آنها شناسایی، تعیین کمیت و کاهش احتمال وقوع خطا در یک سیستم و در نتیجه بهبود سطح کلی ایمنی در این سیستم است. چنین تکنیک‌هایی در طیف گسترده ای از صنایع از جمله مراقبت‌های بهداشتی، مهندسی، هسته ای، حمل و نقل و بخش‌های تجاری استفاده شده است. رویکردهای مختلف HRA مانند THERP (تکنیک پیش‌بینی میزان خطای انسانی)، ASEP (برنامه ارزیابی توالی تصادف) و HEART (تکنیک ارزیابی و کاهش خطای انسانی) برای پیش‌بینی احتمال خطای انسانی توسعه یافته‌اند. HEART که منشا آن در صنعت ایمنی هسته ای است، بسیار انعطاف پذیر است. به طور خاص، این یک تجزیه و تحلیل مبتنی بر وظیفه است نه یک رویکرد تجزیه­ای که بر انواع خطاها متمرکز است. هیئت استاندارد و ایمنی راه‌آهن (RSSB، 2012) ارزیابی قابلیت اطمینان اقدام راه‌آهن را برای تخمین احتمالات خطای انسانی برای عملیات راه آهن، بر اساس HEART معرفی کرده است. با این حال، این تکنیک برای تعمیر و نگهداری راه‌آهن اعمال نشده است، ارائه فهرستی دقیق از عواملی که بر عملکرد اپراتورها تأثیر می‌گذارند، خارج از محدوده این تکنیک است، به عنوان مثال فرهنگ ایمنی یا مدیریت ایمنی یک سازمان را نادیده می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین اجزای ایمنی وسایل ریلی، بوژی است که از دیسک ترمز، چرخ و چارچوب تشکیل شده است. این اجزای مهم باید قوانین ایمنی سختگیرانه را از نظر فاصله توقف مرتبط با حداکثر میانگین کاهش سرعت در همه شرایط محیطی رعایت کنند. ممیزی‌های تعمیر و نگهداری منظم چنین قطعاتی انجام می‌شود، اما این موارد معمولاً جنبه‌های خطای انسانی وظایف تعمیر و نگهداری را نادیده می‌گیرند.

راه‌آهن به بخشی جدایی ناپذیر از اقتصاد یک کشور تبدیل شده است و رشد آینده یک کشور به طور فزاینده ای بر یک شبکه راه‌آهن ایمن و کارآمد متکی است. اهمیت عملکرد انسانی و خطای انسانی در تضمین ایمنی عملیات راه‌آهن به طور فزاینده ای شناخته شده است. این امر منجر به تلاش‌های قابل‌توجهی برای درک عوامل زمینه‌ساز خطای انسانی برای رانندگان قطار، سیگنال‌دهنده‌ها و اعزام‌کنندگان به منظور کاهش آن‌ها شده است. با این حال، در حالی که تصادفات همچنین می‌توانند از خطای انسانی در فعالیت‌های تعمیر و نگهداری راه‌آهن ایجاد شوند، تحقیقات کمی برای کمک به شناسایی این عوامل و ارزیابی احتمال خطای انسانی متعاقباً وجود دارد. برای حداکثر قابلیت اطمینان، تجهیزات باید در شرایط کاری خوب نگهداری شوند و برای این کار، تعمیر و نگهداری منظم بسیار مهم است. تعدادی از عوامل به طور مستقیم یا غیرمستقیم منجر به کاهش عملکرد انسان شده و منجر به خطا در وظایف تعمیر و نگهداری می‌شود. به طور معمول، کارگاه‌های تعمیر و نگهداری برای وسایل ریلی برای اطمینان از ایمنی تعمیر و نگهداری به ممیزی‌های نگهداری دوره ای متکی هستند، اما چنین ممیزی‌ها به صراحت عملکرد انسانی و خطای انسانی را در نظر نمی‌گیرند. ]21 [

1. روش‌های نوین تعمیر و نگهداری بوژی و اجزای آن
   1. اهمیت تعمیر و نگهداری بوژی در وسایل نقلیه ریلی

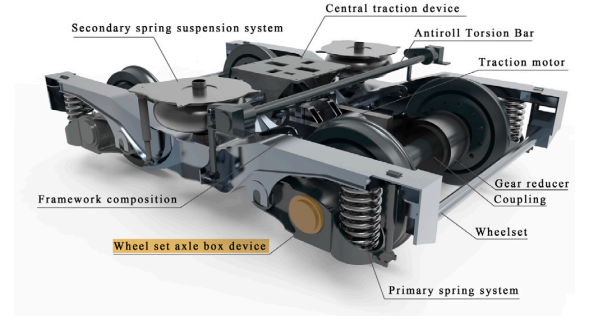
با شتاب شهرنشینی، تعداد قطارهای ترانزیت ریلی شهری به طور چشمگیری افزایش یافته است و اقتصاد و ایمنی قطارهای مترو به استانداردهای مهم تبدیل شده است. بوژی به عنوان یک زیرسیستم ضروری قطار مترو، فرآیند تعمیر و نگهداری طولانی و پیامدهای خرابی جدی دارد. بنابراین، تدوین یک استراتژی تعمیر و نگهداری معقول برای اطمینان از عملکرد آن ضروری است.

سیستم حمل و نقل ریلی شهری پیچیده است و قابلیت اطمینان کل تجهیزات سیستم نسبتاً بالا است. به عنوان یک زیرسیستم ضروری قطار، سیستم بوژی وسیله محرکی است که بار قطار را پشتیبانی می‌کند و وسیله نقلیه را هدایت می‌کند که مستقیماً قابلیت اطمینان و ایمنی وسیله نقلیه راه‌آهن را تعیین می‌کند. بوژی قطار در شکل 3-1 نشان داده شده است که در آن دستگاه جعبه محور جزء مهمی است که چرخ و قاب را به هم متصل می‌کند. ]20 [



شکل 3-1 قطار ترانزیت ریلی شهری: وسیله نقلیه، بوژی زیر وسیله نقلیه و بوژی بازسازی شده ]20 [

بوژی‌ها "پاهای" قطارهای مترو هستند و وسایلی را به حرکت در می‌آورند که بدنه وسیله نقلیه و بار آن را پشتیبانی می‌کنند و وسیله نقلیه را برای حرکت در مسیر هدایت می‌کنند. شکل 3-2 یک نمودار ساختاری از بوژی قطار مترو را نشان می‌دهد. ]27 [



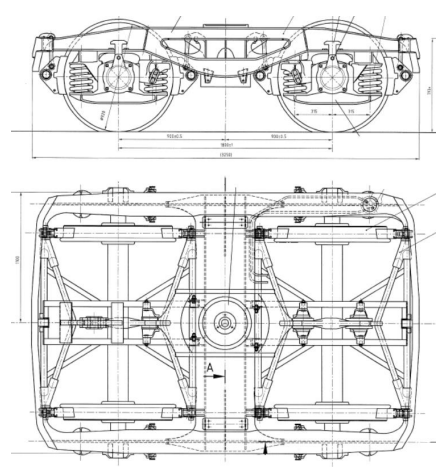
شکل 3-2 ساختار بوژی قطار مسافری ]27 [

بوژی قطار مترو، واحد نیرو، سیستم ترمز و سیستم تعلیق قطار مترو را که یکی از مهم ترین اجزای وسایل نقلیه مترو است، یکپارچه می‌کند و تاثیر نامنظمی مسیر بر وسایل نقلیه را کاهش می‌دهد. سلامت بوژی به طور قابل توجهی بر شاخص‌های عملکرد تأثیر می‌گذارد، به عنوان مثال، ایمنی و قابلیت اطمینان عملیات و راحتی مسافران قطار در سیر. به طور کلی، پس از به دست آوردن وضعیت عملیاتی، باید اقدامات تعمیر و نگهداری برای قطعات معیوب انجام شود. ]27 [

هرچند بوژی‌های قطار باری ساده تر و دارای قطعات کمتری بنظر می‌رسند اما بدلیل بار محوری بیشتر و همچنین از مسیرهای دارای قوس تندتر، برنامه‌های تعمیرات پیچیده ای هستند.

ویژگی‌های بوژی Y25

بوژی Y25 یک محصول فرانسوی است که در دهه 1960 ساخته شده است. به دلیل تولید ارزان و نگهداری آسان، بیشترین استفاده را در اروپا دارد. فاصله محوری این دو چرخ 1.80 متر است و به دلیل استفاده از فنرهای مارپیچ قابل تشخیص است. شعاع چرخ معمولی 920 میلی متر است. برای تثبیت حرکت از سیستم میرایی Lenoir استفاده می‌کند. می‌توان آن را با سیستم ترمز مختلف مجهز کرد، اگرچه ترمزهای بلوک بیشترین استفاده را دارند. بسته به مهندسی سیستم ترمز، می‌توان به سرعت 120 کیلومتر در ساعت رسید. حداکثر بار محوری معمولی 22.5 تن است، اما بارهای محوری بالاتر مثلاً 25 تن موجود است. بوژی Y25 توسط یک یاتاقان محور مرکزی و قطعات کشویی در هر طرف به زیر قاب متصل می‌شود. ]22 [

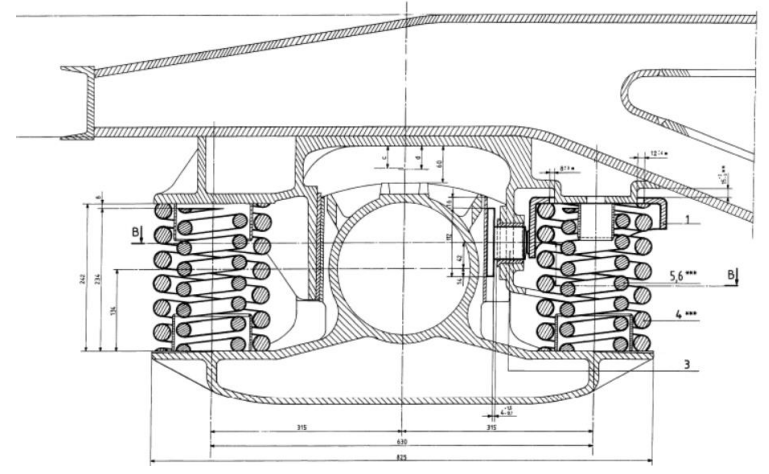


شکل 3-3 بوژی Y25 ]22 [

* + 1. ویژگی‌های فنر

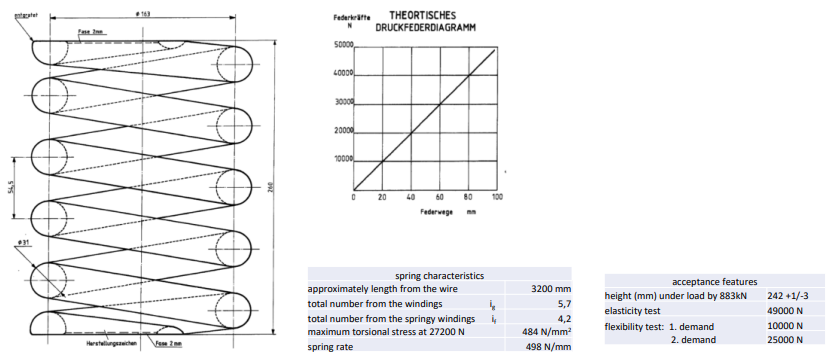
16 فنر در بوژی تعبیه شده است. دو نوع فنر وجود دارد: هشت فنر داخلی و هشت فنر بیرونی. همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است، هر چرخ دارای دو فنر بیرونی و دو فنر داخلی است.

از آنجایی که فنر داخلی کوتاهتر از فنر بیرونی است، اگر واگن‌های خاصی بارگیری شوند، فقط زیر بار است. در صورت خالی بودن این واگن‌ها، فنرهای داخلی تخلیه می‌شوند. ]22 [



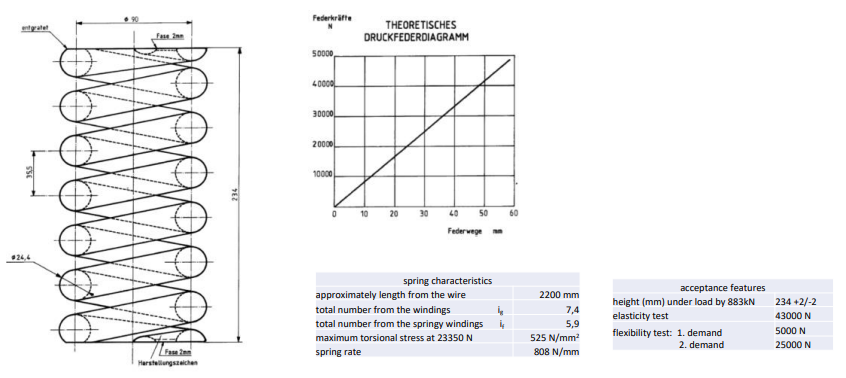
شکل 3-4- جزئیات فنرها در بوژی Y25 ]22 [

ویژگی‌های فنر بیرونی:



شکل 3-5- ویژگی‌های فنر بیرونی تعلیق در بوژی Y25 ]22 [

ویژگی‌های فنر داخلی:



شکل 3-6- ویژگی‌های فنر داخلی تعلیق در بوژی Y25 ]22 [

* + 1. استراتژی فعلی راه‌آهن آلمان DB برای تعمیر و نگهداری بوژی

در حال حاضر وضعیت بوژی و هر یک از اجزای آن به صورت پیشگیرانه انجام می‌شود. به طور معمول، هر 6 سال یک واگن برای نگهداری وارد کارگاه می‌شود و همه چیز با استفاده از بازرسی چشمی بررسی می­شود. استراتژی فعلی در DB برای نگهداری از بوژهای نوع Y25 در این بخش توضیح داده شده است. ]22 [

ضمن اطمینان از عملکرد چرخ، می‌تواند در تمام جهات نسبت به قاب حرکت کند، به طوری که مجموعه چرخ می‌تواند با شرایط مختلف عملیاتی سازگار شود. قطار مترو در محیط‌های بیرونی پیچیده و قابل تغییر برای طولانی مدت مانند دما و رطوبت بالا، لرزش و شوک و غیره است. دستگاه جعبه یاتاقان در حین کار فرسوده و خورده می‌شود که باعث کاهش طول عمر و راندمان کاری آن و در نتیجه خرابی بوژی و عملکرد غیرعادی قطار مترو می‌شود. بنابراین، نظارت بر وضعیت سلامت دستگاه جعبه یاتاقان و تدوین یک استراتژی تعمیر و نگهداری معقول برای بهبود قابلیت اطمینان و پایداری کل سیستم بوژی، که برای اطمینان از عملکرد عادی قطار بسیار مهم است، ضروری است. نگهداری پیشگیرانه (PM) بخش مهمی از تصمیمات مدیریت تجهیزات است. این یک روش تعمیر و نگهداری پیشرفته است که برای بهبود قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم با مداخله قبل از وقوع خرابی واقعی طراحی شده است. PM مبتنی بر قابلیت اطمینان یک روش تعمیر و نگهداری رایج در حال حاضر است. در عین حال، استراتژی PM بر اساس اطلاعات وضعیت نیز توجه محققان را به خود جلب کرده است. علاوه بر این، روش‌های PM مانند استراتژی‌های نگهداری فرصت‌طلب چند وجهی و بهینه‌سازی مشترک استراتژی سفارش قطعات یدکی نیز توسعه یافته‌اند. اکثر مطالعات بر این باورند که تنها خطر خرابی تجهیزات در حین کار، از دست دادن زمان خرابی است که با وضعیت واقعی ناسازگار است. به خصوص برای قطارهای سریع‌السیر مترو، خطرات خرابی بسیاری از جمله حرکت با سرعت بالا، شروع و توقف مکرر، خطوط لوله متراکم زیرزمینی، شلوغی مسافران و حتی خروج از ریل وجود دارد. بنابراین، برای محیط عملیاتی قطار مترو، ضمن اطمینان از عملکرد پایدار قطار، باید خطر خرابی در نظر گرفته شود.

استراتژی تعمیر و نگهداری فعلی قطارهای حمل و نقل ریلی شهری عمدتاً مبتنی بر تعمیر و نگهداری منظم و بازرسی قابلیت اطمینان است که دقت ارزیابی قابلیت اطمینان را به چالش می‌کشد. پیش‌بینی نادرست عمر برای اجزای کلیدی قطار منجر به تعمیر و نگهداری بیش از حد یا عدم نگهداری می‌شود که بر عملکرد ایمن و قابل اعتماد قطار تأثیر می‌گذارد. به عنوان پیش نیاز برای تعیین شرایط نگهداری، روش ارزیابی پارامترهای مدل قابلیت اطمینان باید در نظر گرفته شود تا میزان خرابی قطعات را با دقت بیشتری قضاوت کند. در حال حاضر، روش‌های تحقیق قابلیت اطمینان برای اجزای کلیدی قطار ترانزیت ریلی شهری دارای مشکلات دقت کم، تطبیق پذیری ضعیف و مقدار زیادی محاسبه است. در عین حال، الگوریتم‌های موجود فاقد قضاوت عینی در مورد بازه و وزن ویژگی‌های پارامتر هستند، که به راحتی در عیوب همگرایی بهینه و نابالغ محلی قرار می‌گیرد.

هنوز مشکلاتی در PM قطارهای مترو وجود دارد که باید حل شود:

1. انتخاب داده‌های خرابی اجزای قطار غیر منطقی است. برخی از محققان به طور مستقیم داده‌های خرابی قطارها را در خطوط مختلف به عنوان نمونه ترکیب می‌کنند، اما محیط خارجی پیچیده و متغیر بر زمان خرابی اجزای قطار تأثیر می‌گذارد و قابلیت اطمینان داده‌ها را کاهش می‌دهد. در عین حال، زمان بهره برداری سالانه و طول عمر کل قطار بر زمان خرابی قطعات تأثیر می‌گذارد. بنابراین مطالعه قطارهای با خط یکسان، در دسته خدمات و زمان‌های عملیاتی سالانه مشابه ضروری است.
2. فرکانس خرابی و سطح خرابی اجزای قطار نادیده گرفته می‌شود. سیستم بوژی یک سیستم پیچیده است که از اجزای فرعی زیادی تشکیل شده است. بنابراین دلایل زیادی برای خرابی اجزای قطار وجود دارد، اما قطعات با فرکانس خرابی بالا نسبتاً کم هستند. در عین حال، سطح خرابی قطعات نیز بر عملکرد عادی قطارهای مترو تأثیر خواهد گذاشت. مطالعه اجزای کلیدی بوژی و تنظیم استراتژی‌های تعمیر و نگهداری معقول مهم است.
3. مطالعات عمیق در مورد پارامترهای مدل قابلیت اطمینان وجود ندارد. به عنوان پیش فرض تعیین شرایط نگهداری، مدل قابلیت اطمینان یک مبنای نظری مهم برای بهینه سازی تصمیم تعمیر و نگهداری فراهم می‌کند. بنابراین، هنگام تدوین بهترین استراتژی تعمیر و نگهداری، روش ارزیابی پارامترهای مدل قابلیت اطمینان باید در نظر گرفته شود تا دقت تخمین نرخ شکست و درجه برازش توزیع نرخ شکست واقعی را بهبود بخشد. با این حال، در تحقیق فوق، تعداد کمی از محققان این پارامترها را تحلیل می‌کنند. ]20 [
   1. بهینه‌سازی استراتژی تعمیر و نگهداری چرخ بوژی

چرخ و محور یکی از اجزای بوژی است که همواره در حال سایش است. وضعیت سلامت آن تأثیر بسزایی بر ایمنی و راحتی قطارهای راه‌آهن دارد. علاوه بر این، هزینه‌های تعمیر و نگهداری چرخ‌ها بخش قابل توجهی از شرکت راه‌آهن را تشکیل می‌دهد. بنابراین، بررسی استراتژی‌های تعمیر و نگهداری قابل اجرا برای مجموعه چرخ‌ها ضروری است.

رونق راه‌آهن الزامات بالاتری را برای ایمنی عملیاتی ایجاد کرد. تحقیقات زیادی در مورد جنبه‌های مختلف تجهیزات و زیرساخت‌های راه‌آهن انجام شده است، مانند طراحی ایمنی قوی سیستم‌های وسایل نقلیه ریلی، مدیریت زیرساخت‌های راه‌آهن، تحلیل‌های RAM سازگار، پیش‌بینی پیشرفت خرابی گردش‌های زیرساخت‌های راه‌آهن و تعامل بین چرخ‌های وسیله نقلیه و ریل. چرخ چرخ یک جزء مهم برای اطمینان از عملکرد و ایمنی وسیله نقلیه راه‌آهن است. همچنین لازم است نحوه نگهداری از چرخ‌ها نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

به عنوان جزء اصلی بوژی، چرخ چرخ تماس بین وسیله نقلیه و ریل است که بار کامل وسیله ریلی را حمل می‌کند و برای اطمینان از حرکت و فرمان به ریل منتقل می‌کند. به دلیل شرایط نامناسب سرویس، چرخ‌ها اغلب دارای عیوب مانند خراش، ترک، پوسته پوسته شدن و خوردگی هستند. عملکرد چرخ‌ها تأثیر مهمی بر ایمنی و راحتی دویدن دارد. فلنج چرخ و تاج عوامل حیاتی موثر بر عملکرد چرخ هستند. هنگامی که فلنج چرخ بیش از حد فرسوده می‌شود، استحکام چرخ کاهش می‌یابد و حتی در موارد شدید باعث خارج شدن از ریل می‌شود و ایمنی دویدن را به خطر می‌اندازد. قطارها به دلیل سایش آج در معرض لرزش شدید شوک و تمرکز استرس قرار می‌گیرند. این امر باعث کاهش پایداری عملیات وسیله نقلیه، تسریع آسیب به اجزای خودرو، آسیب به ریل و ضرر و زیان به عملیات راه‌آهن می‌شود. پروفیل مجدد روش اصلی نگهداری چرخ است که شکل چرخ را بازیابی می‌کند. به ازای هر 1 میلی متر افزایش ضخامت فلنج چرخ، قطر چرخ حدود 4.2 میلی متر کاهش می‌یابد. فواصل بازرسی معقول و استراتژی‌های تغییر شکل چرخ می‌تواند از نگهداری بیش از حد جلوگیری کند. هزینه تعمیر و نگهداری چرخ‌ها درصد زیادی از بودجه تعمیر و نگهداری تمام شرکت‌های راه‌آهن را شامل می‌شود. بهبود استراتژی‌های تعمیر و نگهداری چرخ‌ها نه تنها می‌تواند سطح ایمنی حمل و نقل ریلی را بهبود بخشد، بلکه می‌تواند هزینه‌های تعمیر و نگهداری را نیز کاهش دهد. ]25 [

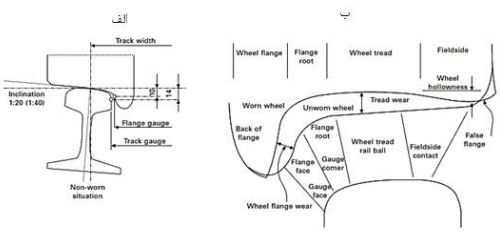
با اتخاذ استراتژی مناسب و افزایش عمر چرخ، کاهش زمان انفصال واگن و در نتیجه کاهش هزینه­های تعمیر و نگهداری می‌توان به مقدار سرویس دهی و ظرفیت حمل و نقل ریلی افزود.

سایش در قطعات متحرك قطار همچون چرخ به عنوان یکی از هزینه­های غیر قابل اجتناب در حمل و نقل ریلی اهمیت زیادی دارد. سایش چرخ و ریل موجب کاهش پایداری، کاهش راحتی مسافران، کاهش ایمنی، کاهش دوره زمانی تعمیرات و در نتیجه کاهش بهره وری و افزایش هزینه­ها شده و در بدترین شرایط میتواند موجب خروج از ریل شود. هندسه مخروطی شکل چرخ و به ویژه فلنج چرخ در لبة داخلی چرخ مانند شکل3-7-الف از خروج چرخ از ریل جلوگیری می‌کند و با اعمال یک نیرو به سمت مرکز بر مجموعه چرخ و محور، به برگشتن چرخ جابجا شده به محل اولیه خود کمک می‌کند.

در اثر تماس فلنج چرخ و ریل، سایش شدیدی بوجود می‌آید که سایش خراشان پیوسته نام دارد. علامت ویژه ای که برای جدا کردن این نوع سایش از انواع دیگر وجود دارد، ذرات کوچک سایش می‌باشد، بدون اینکه زیانهای شدیدی در سطح بوجود آمده باشد. چنانچه جسم ساینده حرکتی در مقابل جسم نرم داشته باشد، سایش خراشان ملایم را پدید می‌آورد. از طرف دیگر چنانچه ماده ساینده به عنوان جسم سوم بین دو سطح درگیر عمل نموده و خراشهایی را در سطوح مقابل ایجاد نماید، سایش خراشان از نوع سه جسمی تلقی می‌شود. اگر سطح ساینده بخشی از سطح مقابل باشد و حرکت مستقلی نیز نداشته باشد، سایش خراشان از نوع دو جسمی است.

مهمترین عامل در مورد تعیین عمر ریل و چرخ، سایش جانبی در قوسها میباشد که سبب سایش شدید فلنج چرخ از یکسو و لبه داخلی تاج ریل از سوی دیگر می‌شود. از آنجا که تماس ریل و چرخ در این محل دارای سطح بسیار کمی است، تنشهای بسیاری همراه با ایجاد گرمای زیاد در محل تماس، مشاهده می‌شود. این نوع سایش سالانه هزینه‌های بسیاری را بر سیستمهای حمل و نقل ریلی تحمیل می‌کند. یکی از فاکتورهای مهم سایش جانبی در قوسها، نیروی جانب مرکز می‌باشد. عامل واسطه جهت انتقال حرکت از ریل به چرخ همان فلنج تعبیه شده در چرخ می‌باشد. در قوسها، شعاع انحنای خط از یک سو و تاثیر نیروی جانب مرکز از سوی دیگر نحوه تماس بین ریل و چرخ را مشخص می‌کند. سایش جانبی بستگی به نیروی اصطکاك بین دو سطح دارد و نیروی اصطکاك خود تابع ضریب اصطکاك و نیروی عمودی فشارنده دو سطح بر روی هم می‌باشد. این نیروی عمودی فشارنده از نظر کمی تابع نیروی جانب مرکز می‌باشد. برای کم کردن میزان سایش، کاهش ضریب اصطکاك توسط روغنکاری و همچنین کاهش نیروی عمدی توسط شیب عرضی خط لازم می‌باشد.

اهمیت و هزینه‌های ناشی از سایش در خطوط ریلی و تاثیر آن بر طول عمر چرخ همواره مورد توجه متخصصین مرتبط با این صنعت از نقطه نظر تئوری و عملی بوده است. بنابراین مطالعه بر روی سیر تکامل پروفیل چرخ ناشی از فرآیند سایش می‌تواند از نظر اقتصادی فواید زیادی داشته باشد، زیرا علاوه بر بهبود شرایط تعمیر و نگهداری، برای بهینه سازی پروفیلهای چرخ و ریل برحسب سایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در خطوط ریلی معمول، سایش در تمام نواحی سطح چرخ در تماس با ریل (که به صورت شماتیک در شکل3-7-ب نشان داده شده است) رخ می‌دهد. اما تماس چرخ و ریل در قوس‌ها به خاطر تمایل یکجانبه قطار به سمت یکی از ریلها باعث افزایش سایش چرخ و ریل به ویژه سایش نامتقارن فلنج چرخ و در نتیجه تاثیر منفی بر دینامیک حرکت قطار می‌شود. ]29 [



شکل 3-7- الف) شماتیک تماس چرخ و ریل ب) شماتیک پروفیل چرخ و ریل و مناطق سایش یافته ]29 [

پروفیلهای مربوط به چرخها در هنگام بکارگیری، و داده برداری‌های میدانی و آزمایشگاهی می‌توانند داده‌های مناسبی برای تحلیلهای بعدی توسط روشهای تحلیلی و عددی در اختیار ما قرار دهند. نیروهای دینامیکی عمل کننده و توزیع تنشها در تماس بین چرخ و ریل را می‌توان با استفاده از روشهای تحلیلی و شبیه سازیهای عددی و همچنین می‌توان این نیروها را به طور ضمنی با استفاده از اندازه گیریهای تجربی پروفیل چرخ محاسبه کرده یا تخمین زد. بر مبنای اندازه گیریهای تجربی و بررسیهای تحلیلی و عددی مذکور می‌توان استراتژیهای مناسبی برای بهبود عمر چرخ و کاهش هزینه‌های ناشی از آن ارائه داد.

مطالعات تجربی مربوط به سایش چرخ و ریل به دو صورت آزمایشگاهی و در مقیاس واقعی صورت می‌گیرد که معمولا به دلیل دشواری و هزینه بالا، بیشتر محققان تمایل به استفاده از مدل آزمایشگاهی دارند. در مدلهای آزمایشگاهی، مدلسازی حالت واقعی عملاً امکان پذیر نیست و امکان نادیده گرفتن برخی از پارامترهای حالت واقعی مثل توزیع بار، شرایط حرکتی، عوامل محیطی و غیره بسیار زیاد است. اما از طریق اندازه گیری در مقیاس و شرایط کاملاً واقعی، بدون نیاز به انواع ضرایب تصحیح جهت اعمال روی نتایج آزمایشگاهی میتوان یافته‌های مهمی را استنباط کرد که نمی‌تواند در مدلهای آزمایشگاهی حاصل شود.

مشکلات و هزینه‌های مرتبط در آزمایشات میدانی محققان را مجبور به استفاده از تستهای آزمایشگاهی و شبیه سازی، هر زمان که ممکن باشد، می‌کند.

تریبولوژی شاخه ای از مهندسی است که با بر­هم­کنش سطوح در حرکت نسبی سر و کار دارد شامل طراحی، اصطکاك، سایش و روغنکاری سطوح. رفتار تریبولوژیکی ریل و چرخ متاثر از علل مختلف می‌باشد. یکی از این عوامل شرایط فیزیکی حرکت چرخشی چرخ روی ریل و یا نحوه قرار گرفتن چرخ روی خط آهن می‌باشد. با توجه به اینکه سطوح ریل و چرخ نقش بسیار مهمی در نحوه اعمال نیرو به یکدیگر ایفا می­کنند، رفتار تریبولوژیکی ریل و چرخ ارتباط شدیدی با شرایط هندسی و هندسه تماس چرخ و ریل دارد. ناحیه کوچک تماس بین چرخ و ریل تحت شدیدترین تنشها و فشارهای تماسی قرار دارد. در نتیجه سایش، توزیع نیروی عمودی و در نتیجه آن ماکزیمم تنش تماسی تغییر می‌نماید که این تغییر در توزیع تنش، روند سایش چرخ را دچار تغییر می‌کند. بنابراین، بهبود شرایط تماس چرخ و ریل می‌تواند تا حدود زیادی تنشهای اعمال شده به چرخ و ریل را کاهش داده و از خرابی‌های شدید سطحی از جمله سایش و خستگی جلوگیری کند.

کالکر اثر تقارنهای هندسی و الاستیسیته بین اجسام در تماس با یکدیگر را بر روی کوپلینگ بین مسائل عمودی و مماسی به صورت مفصل بحث کرده است. او نتیجه گرفت که هنگامی که اجسام در تماس با یکدیگر دارای ثابتهای الاستیک یکسان هستند، که معمولاً برای تماس چرخ و ریل صادق است، تنشهای مماسی اثری بر روی فشار عمودی ندارند.

شکل و اندازه ناحیه تماس بین دو جسم الاستیک در حالت تماس استاتیکی توسط هرتز شناسایی شده است. تئوری هرتز حاکی از این است که تغییر شکل الاستیک فولاد چرخ و ریل، سطح تماس بیضی شکلی را خلق می‌کند.

برای تحلیل تنشها در منطقه تماس دو روش را می‌توان در نظر گرفت. روش اول محاسبه تنشهای تماسی به کمک روش تحلیلی(تئوری هرتز یا روشهای غیرهرتزی شامل مدل غیرهرتزی کالکر مدلهای تقریبی چندهرتزی و مدلهای تقریبی نفوذ مجازی) است. عمده تفاوت بین روشهای تحلیلی هرتزی و غیر هرتزی در مدل کردن تماس تک نقطهای یا چند نقطهای و ورود اثرات، تنش پلاستیک در محاسبات است. روش دیگر استفاده از روش اجزاء محدود بعدی بیان می‌شود. البته مزیت روش تئوری هرتز ارائه حل دقیق (تحلیلی) ریاضی می‌باشد. بر این اساس فرض می‌گردد رفتار چرخ و ریل در منطقه تماس کاملاً الاستیک باشد تا بتوان به کمک تئوری هرتز تنشهای تماسی را محاسبه نمود. در این رساله با استفاده از نتایج داده برداری میدانی، تنش بر اساس مدل هرتز به دست می‌آید.

روش تحلیلی تئوری تماس هرتز در سال 1881 ارائه شد و به طور گسترده در بسیاری از زمینه‌های مهندسی که با مسائل تماس سر و کار دارد برای محاسبه تنشهای عمودی و مماسی تماس مورد استفاده قرار گرفت. این تئوری در کارهای اخیر مانند بررسی رشد عیوب نوع پوسته در سر ریل خط راه، مدل عمر خستگی برای توصیف آسیب چرخها، مدل سه بعدی خستگی ریل فونیکس برای توصیف شروع خستگی در سطح زیرین ریل، و غیره مورد استفاده قرار گرفته است.

امروزه با استفاده از قدرت پردازش رایانه‌ها، موسسات تحقیقاتی بر اساس تئوریهای ریاضی نرم افزارهای مختلف توسعه داده اند که توان شبیه سازی رفتار ریل و چرخ را با جزییات بیشتری دارد از جمله Solidworks، Ansys، Abaq. مزیتی که روش عددی در مقایسه با روش تحلیل تئوری هرتز دارد آن است که در صورتی که رفتار مواد در منطقه تماس در محدودهی الاستیک-پلاستیک باشد، پاسخ دقیق تری خواهد داشت در حالیکه فرض روش تئوری هرتز آن است که تنشها در محدوده الاستیک می‌باشند.

تعیین نیروهای بین چرخ و ریل در سطح تماس آنها از مهمترین موضوعات مربوط به دینامیک حرکت قطار می‌باشد. از طریق این نیروها است که اثر متقابل دینامیکی بین خط و وسائل نقلیه ریلی تعیین می‌گردند.

نیروهای تماس چرخ و ریل به دو دسته کلی مماسی و نرمال (در سطح تماس) تقسیم می‌شوند. در نیروهای تماسی بین چرخ و ریل تنشهای بزرگ ایجاد شده سبب هدایت رفتار ماده از سطح الاستیک به پلاستیک است. نیروهای تماسی از دلایل اصلی برای آسیبهای چرخ از جمله سایش و خستگی است.

فرایند خروج از خط وسیله نقلیه ریلی، نتیجه خروج چرخها از ریل‌هایی است که نقش نگهداری و هدایت چرخها را برعهده دارند. دلیل خروج چرخها از خط می‌تواند بسیار پیچیده باشد، با این حال، آخرین سناریوی فرایند خروج از خط می‌تواند به فرآیندهایی مثل بلند شدن چرخها از ریل و یا پهن شدن عرض ریل مربوط شود که باعث قرار گرفتن چرخها بین دو ریل می‌گردد. بدین ترتیب، هر وضعیتی که بتواند از ویژگی هدایت جانبی ریل بکاهد، می‌تواند در افزایش خطر فرآیند خروج از خط موثر باشد. شایان توجه است که فرآیندهای خروج از خط که در اینجا مورد بحث و بررسی قرار گرفته، تنها به دلیل از دست رفتن قیود جانبی در اندرکنش چرخ و ریل مربوط است. در این راستا معمولاً از نرم افزار Rail/Adams برای تحلیل سایش و خروج از خط و استانداردهای مربوطه استفاده می‌شود. در مطالعات صورت گرفته در گذشته، با ثبت پارامترهای چرخهای ساییده شده و استخراج پروفیل جدید ناشی از سایش، پارامتر شاخص سایش تعریف شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالعه پدیده سایش چرخ و ریل منجر به استفاده از پروفیل بهینه چرخ می‌گردد که این خود به افزایش پایداری دینامیکی و راحتی سفر و ایمنی در برابر خروج از خط به ویژه در قوسها می‌انجامد.

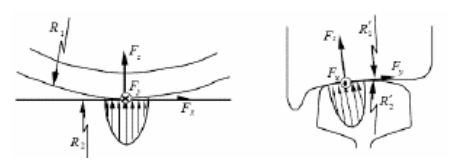
* + 1. بررسی تحلیلی تئوری تماس هرتز

هرتز از تئوری‌های اولیه الاستیک که به طور ویژه با محاسبه کشش و انقباض‌های سطحی ریل-چرخ در یک مسیر ریلی مرتبط بوده استفاده کرد. او روابط مربوط به سطح تماس را به صورت پیش بینی یک بیضی با محاسبه قطرهای کوچک و بزرگ آن ارائه کرد. هرتز در نهایت محاسبات مربوط به نیرو و تنش وارد شده در نقطه یا سطح تماس را به صورت تحلیلی بدست آورد. تئوری تماس هرتز دارای فرضیات زیر است:

1. سطوح تماس هموار هستند.
2. تماس بین اجسام الاستیک باید بدون اصطکاك باشد.
3. تماس فرض می‌شود که دارای شکل بیضوی است.
4. ابعاد مهم ناحیه تماس بسیار کوچکتر از ابعاد و شعاع‌های انحنای اجسامی که با هم در تماسند.

اما به خاطر ساده سازی تخمین‌ها، بسیاری از محققان از تئوری هرتز به روشهای مختلف برای مدل کردن تماس غیرهرتزی و یا از یک مدل به عنوان ابزاری برای کمک به ایجاد تصمیمات عملیاتی یا نگهداری یا تغییرات طراحی مانند بهینه سازی پروفیل ریل-چرخ استفاده می‌کنند.

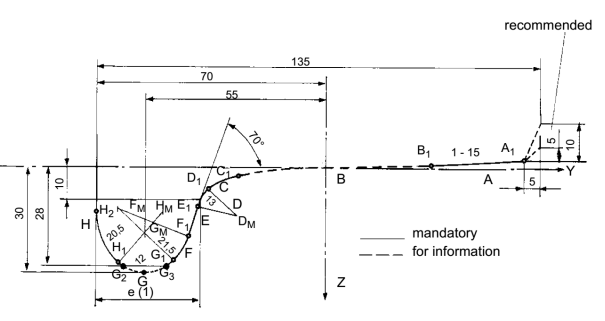
تعیین نیروهای بین چرخ و ریل در سطح تماس آنها از مهمترین موضوعات مربوط به دینامیک حرکت قطار می‌باشد. از طریق این نیروهاست که اثر متقابل دینامیکی بین خط و وسائل نقلیه ریلی تعیین می‌گردد. نیروهای تماس چرخ و ریل به دو دسته کلی نیروی مماسی و نیروی نرمال (در سطح تماس) تقسیم می‌شوند. در شکل 3-8 نیروهای وارد به سطح تماس نشان داده شده است. نیروهای تماسی از دلایل اصلی برای آسیبهای چرخ از جمله سایش و خستگی است. ]29 [



شکل 3-8- شعاع انحناءهای اصلی و عرضی چرخ و ریل ]29 [

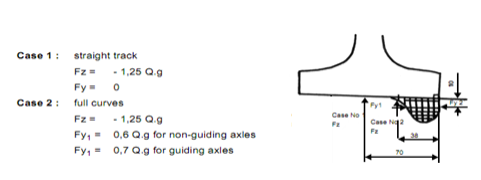
* + 1. نقطه تماس

هرگاه دو جسم صلب (چرخ و ریل) به وسیله یک نیروی عمودی به هم فشرده شوند، یک ناحیه تماس در نقطهای که آنها با هم تماس دارند شکل می‌گیرد. نقاط تماس با استفاده از اندازه گیریهای پروفیلهای چرخ و ریل تعیین می‌شود. در شکل3-9 پروفیل استاندارد نشان داده شده است. ]29 [



شکل 3-9- پروفیل استاندارد 1002S برای چرخهای دارای ارتفاع فلنج 30 میلیمتر ]29 [

تئوری هرتز با فرض الاستیک بودن رفتار مواد در منطقه تماس در حالت استاتیکی و بدون در نظر گرفتن ضریب اصطکاك می‌باشد. اگر در منطقه تماس تنش فشاری از حد الاستیک (تنش تسلیم) فولاد چرخ بیشتر باشد، رفتار الاستیک پاسخگو نخواهد بود. در این حالت تئوری االستیک-پلاستیک مطرح می‌شود. باتوجه به اینکه مسیر انتخاب شده برای حرکت قطار در این رساله بهگونه ای است که در بسیاری از نقاط دارای قوس‌های تند است، عمال وضعیت بارگذاری غالب، بارگذاری نوع دوم است که در شکل 3-10 به آن اشاره شد. برای شبیه سازی و تحلیل تنش و به دست آوردن درك بهتر از رفتار متقابل چرخ و ریل در حالت بارگذاری نوع دوم، باید از روش اجزای محدود استفاده کرد. ]29 [



شکل 3-10- بارگذاری بر روی پروفیل چرخ بر اساس استاندارد UIC 510-5 ]29 [

* 1. تعمیر و نگهداری اجزای بوژی از طریق بازرسی ارتعاش با سنسورهای بی سیم هوشمند

تعمیر و نگهداری اجزای بوژی، یک جنبه حیاتی از تعمیر و نگهداری راه آهن، به دلیل فضای محدود زیر شاسی دشوار است. این کار نصب تجهیزات مانیتورینگ سنتی را دشوار می‌کند و در نتیجه فرآیند کار فشرده را به همراه دارد. بنابراین، زمان زیادی برای انجام این آزمایش‌ها باید صرف شود، که این فرآیند را خسته کننده و گران می‌کند. علاوه بر این، این رویکرد تا حدودی ناکافی است، زیرا آزمایش‌ها را فقط می‌توان در تعمیرگاه انجام داد و بنابراین فقط زمانی که قطارها از سرویس خارج می‌شوند.

در میان تمام متغیرهای فیزیکی که می‌توان به راحتی از یک جزء تحت تجزیه و تحلیل به دست آورد، نظارت بر ارتعاش جامع ترین نشانه مشکلات احتمالی را به دست می‌دهد. بازرسی ارتعاشی تکنیکی است که کارکنان تعمیر و نگهداری را قادر می‌سازد تا آزمایش‌هایی را روی طیف گسترده‌ای از عناصر، از جمله زیرساخت‌های قطار و راه‌آهن انجام دهند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل ارتعاشات می‌تواند برای تجزیه و تحلیل عیوب اجزا تحت طیف گسترده ای از شرایط آزمایش مانند سرعت متغیر قطار استفاده شود. این ویژگی‌ها، کسب اطلاعات ارتعاش با استفاده از شتاب‌سنج‌ها را به یکی از قدرتمندترین و راحت‌ترین روش‌ها برای هدایت اقدامات تعمیر و نگهداری پیش‌بینی می‌کند.

فناوری سنتی برای انجام فرآیند بازرسی ارتعاش مبتنی بر تجهیزات گران قیمت است و به تنظیمات کابلی متکی است، که معمولاً چندین مشکل در اجرا ایجاد می‌کند: فضای کمی در زیر قاب برای نصب کابل‌ها وجود دارد، نصب و راه اندازی و مدیریت کابل‌ها و ماشین‌های جمع‌آوری داده زمان زیادی را صرف می‌کند، کابل‌هامکن است قطع و غیرقابل اعتماد می‌شوند و غیره. به طور کلی، این منجر به افزایش هزینه خدمات تعمیر و نگهداری می‌شود که مشکلات چالش برانگیز زیادی را در بازار رقابتی کنونی ایجاد می‌کند. شبکه کوچکی از حسگرهای بی سیم هوشمند با توجه به رویکرد کلاسیک بازرسی ارتعاش دارای مزایای بسیاری است، از جمله فناوری بی سیم جلوگیری از مشکل مواجهه با کابل‌های نامطمئن و سرعت بخشیدن به عملیات کلی آزمایش، که منجر به افزایش کلی کیفیت و صرفه جویی در هزینه (کاهش هزینه زمانی یک سوم با این رویکرد به دست آمده است) می‌شود. علاوه بر این، برخی عملیات تعمیر و نگهداری از نظر زمانبندی پیچیده هستند (فقط زمانی که قطارها در ساعات شلوغ از سرویس خارج می‌شوند امکان پذیر است) و نیاز به یک تست بازرسی سریع دارند.

آخرین مسئله ای که باید در نظر گرفت این است که تعداد زیادی از سنسورها هم هزینه اقتصادی (سخت افزار بیشتر استفاده می‌شود) و هم هزینه زمانی (زمان بیشتری برای نصب آنها در قطار) آزمایش را افزایش می‌دهند. برای هدف مورد نظر، اتصال مغناطیسی شتاب سنج‌ها بر روی پوشش محور یا قاب بوژی اطراف آن راحت است.

استفاده از شبکه کوچکی از حسگرهای بی‌سیم هوشمند در وسایل ریلی، کارکنان تعمیر و نگهداری را قادر می‌سازد تا جعبه‌های محور و چرخ‌ها را تنها با چند منبع داده ارتعاشی نظارت کنند. بنابراین، زمان تست و تجزیه و تحلیل کاهش می‌یابد و همچنین هزینه اقدامات تعمیر و نگهداری کاهش می‌یابد. ]24 [

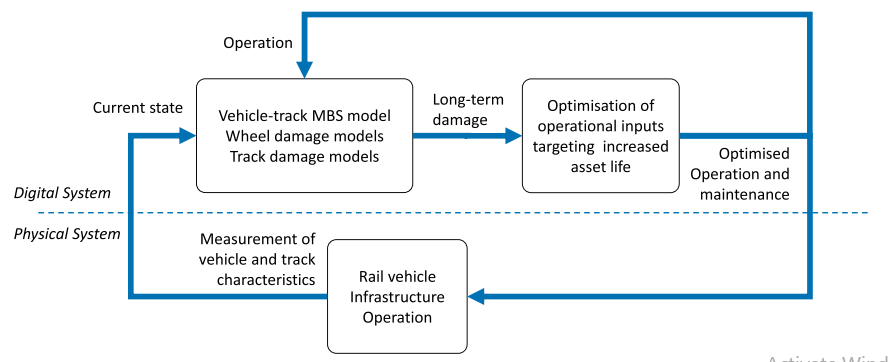
* 1. پیش‌بینی عمر چرخ و ریل مبتنی بر MBS

یک استراتژی تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده موفقیت‌آمیز برای چرخ‌ها و ریل‌ها به مدل‌سازی دقیق و قوی تکامل آسیب، عمدتاً سایش یکنواخت و خستگی تماس غلتشی (RCF) بستگی دارد.

تعمیر و نگهداری چرخ و ریل یکی از محرک‌های اصلی هزینه برای اپراتورهای راه‌آهن و مدیران ریل در سراسر جهان است. نیاز به افزایش رقابت‌پذیری سیستم راه‌آهن به منظور دستیابی به اهداف چالش‌برانگیز تغییر حالت پیشنهادی در برگه سفید اتحادیه اروپا 2011، تلاش‌ها برای معرفی طرح‌های نگهداری پیشگیرانه و پیش‌بینی‌کننده را افزایش داده است.

تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده به شبیه‌سازی تکامل آسیب در چرخ‌ها و ریل‌ها برای پیش‌بینی، بر اساس وضعیت فعلی، زمانی که به اقدام بعدی تعمیر و نگهداری نیاز است، دلالت دارد. یکی از چالش‌های اصلی تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌شده این است که به دلیل مقررات‌زدایی بخش راه‌آهن، شبیه‌سازی آسیب چرخ‌ها و ریل‌ها به اطلاعات ذینفعان مختلف، یعنی اپراتورها، نگهبانان وسایل نقلیه، نگهبانان مسیر و صاحبان خطوط نیاز دارد. در حالت ایده‌آل، داده‌های سیستم راه‌آهن باید در یک مجموعه باز و مشارکتی در دسترس باشد، اما در حال حاضر شرایط اقتصادی سخت اکثر ذینفعان در این بخش، محدود کردن مقدار داده‌های عمومی را برای حفظ منافع تجاری آنها تشویق می‌کند. این منجر به امکانات محدودی در هنگام مطالعه تغییرات بهینه در سراسر سیستم می‌شود.

تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌کننده، جایی که اقدامات تعمیر و نگهداری خاص از داده‌های تاریخی یا شبیه‌سازی‌های دینامیک چند جسمی (MBS) مسیر- وسیله ریلی پیش‌بینی می‌شود، مسلماً عملی‌ترین راه برای بهینه‌سازی اجزای حیاتی است که نیاز به تعمیر و نگهداری دارند. این معمولاً به روش ناهمزمان انجام می‌شود. با این حال، در دهه گذشته، Digital Twins (DT) به عنوان ابزاری قدرتمند برای نظارت و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های فنی مطرح شده‌اند. DTها یک نمایش ریاضی از دارایی‌ها در یک مدل معتبر است که به نیاز به یک جفت بین دارایی واقعی و مدل اشاره دارد، یعنی حسگرهایی که ویژگی‌های مهم را نظارت می‌کنند و یک ارتباط پیوسته یا نیمه پیوسته بین دارایی و مدل. سپس DT می‌تواند به عنوان مدل تعمیر و نگهداری پیش بینی مبتنی بر شبیه سازی همزمان تعریف شود، که در آن محدودیت‌های تعمیر و نگهداری دائماً با داده‌های عملیاتی و عملکرد واقعی از دارایی مجدداً محاسبه می‌شوند (شکل 3-11). ]23[



شکل 3-11- پیکربندی ایده آل یک راه‌آهن دوقلو دیجیتال در زمینه نظارت و بهینه سازی خسارت طولانی مدت ]23 [

ترکیب موضوعات نگهداری پیش‌بینی‌کننده و نظارت بر وضعیت با مدل‌سازی و شبیه‌سازی آسیب و دوقلوهای دیجیتال، زمینه امیدوارکننده‌ای است که در آن حداقل تحقیقات در بخش راه‌آهن انجام شده است. نظارت بر وضعیت هواپیما (OCM) برای تشخیص وضعیت بهبود یافته، موضوع پررونقی در وسایل نقلیه ریلی است که به دلیل جهش فناوری که برق رسانی و افزایش قدرت محاسباتی سایر وسایل حمل و نقل به ارمغان آورده است.

* + 1. مدل سازی عمر چرخ و ریل

عمر چرخ و ریل به عوامل زیادی بستگی دارد که به هم مرتبط هستند، زیرا رابط تماس مشترک دارند، اما لزوماً یکسان نیستند. برای شروع با تعریف «عمر» برای هر دو یکسان است: زمان از یک اقدام تعمیر و نگهداری تا اقدام بعدی. برای چرخ‌ها، مسافت پیموده شده است که مجموعه چرخ قبل از عملیات تعمیر و نگهداری طی کرده است، در حالی که برای یک بخش مسیر مشخص، تناژ ناخالص کل (MGT) است که روی آن بخش خاص می‌چرخد. این دوباره به همان مفهوم برای هر دو طرف باز می‌گردد، زیرا در هر دو مورد به تعداد معینی از چرخه‌های بار اشاره دارد.

در عمل، چرخ‌ها برای شرایط آسیب‌دیده مختلف، که بیشتر به شکل‌های نامناسب مشخصات برای اجزای در تماس (سایش یکنواخت)، ترک‌های خستگی تماس غلتشی (RCF) و آسیب‌های موضعی ناشی از رفتار ضعیف ترمز (زدگی چرخ‌ها) اشاره دارد. برای زیرساخت، سنگ زنی ریل به دلایل مشابه انجام می‌شود: پروفیل‌های نامناسب، ترک‌های سطحی، یا عیوب موضعی.

* + 1. مدل‌های آسیب

اولین گام برای روش پیش‌بینی عمر، مدل‌سازی خسارات موجود در دارایی‌ها است. برای این کار، RCF و لباس یکنواخت شبیه سازی شده اند تا بتوان روند آنها را پیش بینی کرد و حد عملیاتی دارایی‌ها را پیدا کرد. محدودیت‌های سایش در استانداردهایی مانند استاندارد EN15313:2016 طبقه‌بندی می‌شوند، اما موضوع برای RCF پیچیده‌تر است و تعریف طبقه‌بندی دقیق‌تر و محدودیت‌های بازپروفایل هنوز در حال انجام است. در ادبیات، می‌توان سطوح مختلفی از دقت را برای مدل‌سازی RCF پیدا کرد، از مکانیک جامدات بسیار دقیق یا تکنیک‌های FEM تا محرک‌های کیفی شروع ترک بر اساس نمودار لرزش.

روش محاسبه عمر RCF پیشنهادی مبتنی بر استفاده از خروجی شبیه‌سازی‌های چند جسمی (MBS) به منظور محاسبه نمونه‌های محلی خزش سیکلی در محیط تماسی است که مشارکت‌کننده اصلی RCF است. خزش سیکلی پدیده‌ای است که در آن موادی که تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار می‌گیرند، دچار تغییر شکل چرخه‌ای خزش می‌شوند، یعنی تغییر شکل پلاستیکی کوچک و آهسته. خزش سیکلی همیشه در شرایط بالاتر از حد بازده ماده رخ نمی‌دهد. در واقع، پس از چند چرخه اول، ماده سخت می‌شود و با کمک تنش‌های پسماند، پاسخ ماده می‌تواند کاملاً الاستیک باشد. این رفتار ماده Shakedown نامیده می‌شود زیرا ماده به حالت تغییر شکل پایین تری تکان می‌خورد. تنها چیزی که به شروع ترک RCF کمک می‌کند، تفاوت تنش برشی بین نمونه خزش سیکلی و حد لرزش است که بدین وسیله تنش لرزشی نامیده می­شود. بنابراین، در این مدل، تنش Shakedown در کل مسافت پیمایش جمع می‌شود و شروع ترک RCF می‌تواند مستقیماً به این تجمع مرتبط باشد.

* + 1. چارچوب مدل سازی آسیب

روش تکراری برای محاسبات آسیب مورد استفاده در بسیاری از کارهای تحقیقاتی مرتبط با سایش در این مطالعه برای ارائه اعتبار برای تجزیه و تحلیل آسیب چرخ و ریل استفاده می‌شود. در هر مرحله تکراری، سایش انباشته شده و RCF محاسبه می‌شود و روی پروفیل‌ها اعمال می‌شود تا شبیه‌سازی‌های تکرار بعدی با یک پروفیل نیمه آسیب دیده شروع شود. تکرارها تا رسیدن به محدودیت‌های شبیه سازی مورد نظر که به حروف کوچک و بزرگ بستگی دارد ادامه می‌یابد. خروجی نهایی یک محرک پیش‌بینی‌شده برای یک عملیات تعمیر و نگهداری به دلیل RCF یا فرسودگی بیش از حد است، که می‌تواند مسافت پیموده شده مشخصی باشد قبل از اینکه پروفیل‌های چرخ‌ها نیاز به پروفیل کردن مجدد داشته باشند، یا تعداد معینی از تناژ محور قبل از اینکه ریل‌ها نیاز به آسیاب شدن داشته باشند، بسته به مورد مطالعه عبور کند.

سایش با استفاده از روش آرچارد محاسبه می‌شود. این یک روش محلی است، به این معنی که توزیع تنش‌های مماسی و سرعت لغزش بر روی لکه تماس باید تعیین شود تا بر این اساس سایش محاسبه شود.

* برای سایش چرخ، سایش محاسبه شده برای هر وصله در هر چرخش چرخ در جهت طولی در امتداد فاصله دویدن شبیه‌سازی شده ادغام می‌شود، و عمق ساییدگی را به عنوان تابعی از مختصات چرخ جانبی برای یک فاصله معین به دست می‌آورد.
* برای سایش ریل، یک بخش مسیر که در آن گذرگاه‌های چرخ‌های مختلف شبیه سازی شده است، تجزیه و تحلیل می‌شود. سپس اثر هر عبور به همان روشی که برای چرخ‌ها انجام می‌شود جمع‌آوری می‌شود و یک تکامل پروفایل برای تعداد معینی از MGT به دست می‌آید.

برای پیش‌بینی خستگی تماس غلتشی، در قیاس با محاسبه ساییدگی، تنش‌های برشی در قسمت تماس محاسبه می‌شوند، و تنش‌های لرزش برای هر عنصر شبکه محلی بررسی می‌شوند و سپس برای مسافت دویدن جمع می‌شوند تا اندازه‌گیری کلی برای RCF داشته باشیم.

در نهایت، تعامل بین سایش و خستگی باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا یک نمایه به شدت فرسوده معمولاً زمانی برای ایجاد ترک‌های خستگی قبل از برداشتن مواد ندارد.

* + 1. محدودیت عمر

محدودیت عمر برای یک دارایی خاص، در مورد پیش‌بینی با استفاده از شبیه‌سازی‌های دینامیکی، سایش یکنواخت یا خستگی تماس غلتشی، به حالت آسیب غالب بستگی دارد. برای شبیه‌سازی‌های سایش، جایی که تکامل پروفایل واقعی شبیه‌سازی می‌شود، این محدودیت‌ها بر اساس قوانین و مقررات موجود آسان است. با این حال، محدودیت‌های عمر برای RCF چندان ساده نیست. از نقطه نظر عملی، این مورد زمانی است که ترک‌های خستگی به اندازه کافی برای نیاز به حذف مشکل ساز می‌شوند. این یک معیار کیفی است که از تجربه ناشی می‌شود، که سیستم مدل سازی را به نیاز اولیه برای کالیبراسیون در برابر شرایط واقعی وابسته می‌کند.

از دیدگاه مدل‌سازی، تنش‌های Shakedown محاسبه‌شده در هر چرخه بار، بسته به دارایی شبیه‌سازی‌شده، جمع می‌شوند: برای RCF چرخ، این به معنای هر چرخش چرخ در طول مسافت دویدن شبیه‌سازی‌شده است، در حالی که برای RCF ریل به معنای عبور هر چرخ در یک مسیر خاص است. هنگامی که مسافت پیموده شده چرخ یا مقدار MGT منجر به شکست از مطالعات میدانی مشخص شود، آستانه تنش لرزش برای رسیدن به آن حد شکست نیز از شبیه سازی‌ها مشخص خواهد شد. سپس این دانش می‌تواند برای مطالعات حساسیت در همان سیستم مورد استفاده قرار گیرد، یعنی برای پیش بینی حساسیت فواصل تعمیر و نگهداری با تغییرات در عملکرد مانند وضعیت روغن کاری، گیج مسیر، بارگذاری و غیره.

روش به دست آمده یک رویکرد با پیچیدگی کمتر برای مدل‌سازی RCF است که مبتنی بر رفتار خستگی فیزیکی مواد چرخ و ریل، با کالیبراسیون تجربی خاص سیستم است. این اجازه می‌دهد تا ابزارهای خاصی برای مدیریت تعمیر و نگهداری پیش بینی شده ایجاد شود که به دلیل پیچیدگی کم آنها می‌تواند در برنامه­های کاربردی Digital Twin آینده برای سیستم‌های راه‌آهن ادغام شود.

* 1. پایش وضعیت یاتاقان سرمحور با مدلسازی خطرات متناسب (PH)

صنعت ریلی از ابزارهای نظارتی مختلفی برای ارزیابی وضعیت یاتاقان‌های واگن ریلی استفاده می‌کند. ابزارهای متداول شامل وسایل حرارتی (تشخیص یاتاقان داغ و تشخیص چرخ داغ)، آکوستیک (مانیتور آکوستیک بلبرینگ ریلی)، و تکنیک‌های مبتنی بر وزن (حسگر ضربه چرخ) می­باشند. این ابزارها شاخص­های وضعیتی را برای تشخیص برای استفاده ارایه می‌کنند. تفاسیر تشخیصی و ترکیب شاخص‌های مختلف به طور کلی توسط کارکنان راه‌آهن انجام می‌شود، عمدتاً بصری است و موفقیت به تجربه پرسنل آشنا با تجهیزات مرتبط است.

در سال‌های اخیر، انتظارات قابلیت دسترسی سیستم‌های ریلی و نیز وسایل ریلی، با ظرفیت اضافی محدود برای خرابی‌های برنامه‌ریزی نشده، افزایش یافته است. این الزام فشار بر کارکنان راه‌آهن را افزایش داده است تا اطمینان حاصل شود که خرابی‌های اولیه شناسایی شده، به درستی تشخیص داده می‌شوند و اقدامات لازم برای به حداقل رساندن خطر خرابی برنامه‌ریزی نشده و در نتیجه اختلال در برنامه قطارها برنامه‌ریزی شده است.

نظارت بر وضعیت، عمل مشاهده و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به وضعیت تخریب تجهیزات برای برنامه‌ریزی اقدامات تعمیر و نگهداری قبل از خرابی است. داده‌های مربوط به یک یا چند شاخص روند تخریب به‌طور دوره‌ای جمع‌آوری می‌شوند تا تشخیص وضعیت تجهیزات و پیش‌آگهی برای عملکرد آینده ایجاد شود. ترکیبی از تخصص انسانی، پردازش سیگنال و مدل سازی از طریق این فرآیند استفاده می‌شود.

روش‌های آماری معمولاً برای پیش‌بینی این شانس که یک ماشین بدون خرابی تا زمان آینده کار می‌کند، با توجه به شرایط فعلی ماشین و مشخصات عملیاتی گذشته، به کار می‌رود. این رویکردها به داده‌ها و اطلاعات قابل توجهی در مورد عملکرد تاریخی نیاز دارند. یک رویکرد آماری به خوبی مورد استفاده برای پیش آگهی با داده‌های پایش وضعیت، مدل سازی خطرات متناسب (PH) است. مدل‌های PH برای رسیدگی به بسیاری از مشکلات نظارتی و پیش‌آگهی سلامت عملی، نظری یا تجربی استفاده شده‌اند.

رویکردهای هوش مصنوعی که به عنوان رویکردهای مبتنی بر داده نیز شناخته می‌شوند، مستقیماً از داده‌های پایش وضعیت معمول (CM) (مانند دما، لرزش، زباله‌های نفتی، جریان و غیره) مشتق می‌شوند. این روش‌ها ویژگی‌های انتخاب شده ای را که با پیشرفت خرابی بر اساس فرآیند یادگیری یا آموزش مرتبط است، پیش بینی می‌کنند. به طور کلی، رویکردهای مبتنی بر داده از یک تکنیک پیش‌بینی یک مرحله‌ای یا چند مرحله‌ای برای پیش‌بینی وضعیت آینده استفاده می‌کنند. مشکل اصلی رویکردهای داده محور، وابستگی آنها به کیفیت داده‌های نظارت شده است و معمولاً درک فیزیکی محدودی ارائه می‌شود. به طور واقع بینانه، اطلاعات ممکن است به دلیل اشتباهات اندازه گیری، تفسیر، یا به دلیل دقت محدود ابزار اندازه گیری حاوی نویز باشد و ممکن است وضعیت دقیق تجهیزات را آشکار نکند. با این حال، اطلاعات به طور تصادفی با وضعیت تخریب مرتبط است. در این حالت، اطلاعات جمع آوری شده ممکن است به بیش از یک حالت ممکن با احتمالات مختلف اشاره داشته باشد. این دسته از نظارت بر شرایط به عنوان "نظارت غیر مستقیم"، "مشاهده جزئی" یا مشاهده ناقص شناخته می‌شود. این ناقص بودن اطلاعات، کاربرد روش‌های آماری و داده محور را در بسیاری از موارد محدود می‌کند. رویکردهای مبتنی بر مدل (به عنوان رویکردهای مبتنی بر فیزیک نیز شناخته می‌شوند) فرض می‌کنند که مدل‌های ریاضی یا فیزیکی دقیق در دسترس هستند، و یک رویکرد فنی جامع ارائه می‌دهند که به طور سنتی برای درک پیشرفت حالت خرابی، به عنوان مثال مدل انتشار ترک، استفاده می‌شود.

اشکال این رویکرد ویژگی آن است، به این معنی که فقط می‌تواند برای انواع خاصی از اجزا و حالت‌های خرابی که انعطاف پذیری آن را محدود می‌کند، اعمال شود. یک چالش مشترک با همه این رویکردها، اتکا به توسعه یا اعتبار یا هر دو، بر تاریخچه خرابی میدانی و داده‌های بهره برداری است. داده‌های میدانی به ندرت "تمیز" هستند و اغلب از اثرات شرایط محیطی و عوامل دیگر رنج می‌برند. داده‌های جمع آوری شده معمولاً زمان رخدادهایی هستند که ممکن است خرابی یا جایگزینی اجزا باشد. این داده‌ها باید با داده‌های نظارت بر وضعیت جمع آوری شده در طول عمر تجهیزات، مطابقت داده شود. این کار معمولاً یک چالش است، زیرا داده‌های مربوط به نظارت بر وضعیت و خرابی‌ها معمولاً در سیستم‌های جداگانه ذخیره می‌شوند، داده‌ها در زمان‌های مختلف می‌رسند و ممکن است داده‌ها همیشه در یک معماری داده‌ای یکسان قرار نگیرند. از این رو، برای ایجاد یک پایگاه داده مشترک از داده‌های خرابی و سلامت برای یک دارایی یا جزء خاص، معمولاً به زمان قابل توجهی و ورودی تخصصی نیاز است.

با این حال، یکی از چالش‌های اصلی در استفاده از مدل PH این است که داده‌های میدانی کامل فرض می‌شوند و می‌توانند مستقیماً به عنوان متغیرهای کمکی مدل PH استفاده شوند.

در فرآیند مدل PH، اغلب لازم است رفتار متغیرهای کمکی توصیف شود.

ترکیب مدل سازی خطرات متناسب PH و مدل خطات پنهان مارکوف HMM همچنین می‌تواند برای رسیدگی به مشکل مشاهده ناقص، و برای مدیریت یکی از چالش‌های مدل PH وابسته به زمان، که شامل تنها آخرین اطلاعات نظارت بر شرایط در مدل است، استفاده شود. ]27[

1. نتيجه گیری و پیشنهادات
   1. نتیجه‌گیری

با توجه به ابعاد و جنبه‌های وسیع تعمیر و نگهداری، استراتژی‌ها و نوآوری‌های مختلفی در این زمینه انجام شده و بطور مستمر در حال انجام است. پیچیدگی وسایل ریلی که دارند و شامل تجهیزاتی می‌شوند که هر کدام از آنها نیز پیچیدگی‌های خاصی را در موضوع تعمیر و نگهداری دارند، گستردگی آن را بیشتر می‌کند. لذا اتخاذ استراتژی مناسب و کارآ جهت بهینه سازی تعمیر و نگهداری ملزم به مطالعه جامع و کاربردی نسبت به هر پروژه خاص است و استراتژی بهینه برای پروژه‌های مختلف احتمالاً منحصر بفرد خواهند بود.

عوامل موثر در تعیین استراتژی مناسب و بهینه را می‌توان به بخش‌های زیر تقسیم نمود:

* شاخص‌های زمانی
  + زمان بندی (تعیین نوبت و تاریخ و زمان بندی) تعمیرات هر وسیله ریلی (فراخوان وسیله ریلی برای تعمیرات)
  + مدت زمان انجام تعمیرات و اعزام به / از مرکز تعمیرات به ایستگاه
  + مدت زمان بهره برداری بین دو دوره تعمیراتی
* شاخص‌های هزینه­ای و درآمدی
  + هزینه بهره برداری سیر پر (بار یا مسافر) یا خالی
  + هزینه تعمیر و نگهداری
  + درآمد بهره برداری
  + هزینه تامین ناوگان
  + هزینه چرخه عمر
  + هزینه طراحی ناوگان
  + هزینه انبارداری
  + تعیین قیمت خدمات عملیاتی درآمد بر اساس عرضه و تقاضا
* امکانات ارتقای برنامه تعمیر و نگهداری
  + اتوماسیون
  + نرم افزارهای منبع باز یادگیری ماشین (مانند WEKA با مجوز شرایط دسترسی عمومی)
  + سیستم‌های ارتباط مخابراتی پر سرعت بیسم مانند GSM-R و یا کابل نوری
  + سیستم‌های عکاسی و بینایی مصنوعی
  + میکروفون‌ها در کنار مسیر برای ضبط صداهای وسایل نقلیه ای
  + تجهیزات نظارت بر ارتعاشات و دما (مجهز به سنسور)
  + تجهیزات نظارت بر چرخ‌ها توسط اشعه‌های مادون قرمز
  + سیستم‌های پیش آگهی مانند تجهیزات انتقال اطلاعات بر خط و در زمان واقعی شرایط و خرابی‌های ناوگان به مراکز اطلاعاتی
  + نرم افزارهای توسعه یافته بر اساس شبکه عصبی، منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و ...
  + اینترنت اجزا (IoT)
* روش‌های تعمیر و نگهداری:
  + تعمیرات پیشگیرانه
  + تعمیرات مبتنی بر شرایط
  + نوسازی نیمه عمر (MLR)
  + تعمیرات بر مبنای قابلیت اطمینان
  + تعمیرات فرصت طلبانه
  + برنامه تعمیراتی پویا (متغیر بر حسب شاخص‌ها)
  + تعمیرات اصلاحی
  + تعیمرات اساسی
  + تعمیر و نگهداری نوسازی
* شاخص‌های اندازه گیری کلی و اهداف:
  + ایمنی
  + قابلیت دسترسی
  + قابلیت اطمینان
  + قابلیت **تعمیر** و نگهداری
  + اثرات زیست محیطی
* عوامل محدود کننده:
  + بحرانی بودن (نقش حیاتی) قطعه یا تجهیز
  + فرکانس تعمیر قطعه یا تجهیز
  + چیدمان و پیچیدگی تجهیزات نصب شده روی وسایل ریلی
  + تنوع وسایل ریلی
  + ترافیک شبکه خطوط ریلی
  + مکان‌های جغرافیایی مراکز تعمیراتی در شبکه خطوط ریلی
  + مدیریت منابع انسانی در شیفت‌های تعمیراتی
* تکنیک‌ها کاربردی در تعمیر و نگهداری:
  + تحلیل علل خرابی FMEA
  + تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA)
  + درخت تجزیه و تحلیل منطقی (LTA)
  + داده کاوی و یادگیری ماشین
  + تنزیل و محاسبات ارزش فعلی NPV
  + مدل سازی خطرات متناسب PH و مدل خطرات پنهان مارکوف HMM
  + تخمین میانگین عمر باقیمانده
  + مدیریت زنجیره تأمین (SCM)
  + طرح منسوخ شدن Planned Obsolescence
  + ارزش اولویت ریسک (RPN)
  + مدیریت دارایی‌های کارخانه (PAM)
  + پایش وضعیت از راه دور
  + تکنیک‌های تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی (HRA) مانند THERP (تکنیک پیش‌بینی میزان خطای انسانی)، ASEP (برنامه ارزیابی توالی تصادف) و HEART (تکنیک ارزیابی و کاهش خطای انسانی)
  + مدلسازی نظریه بازی
  1. پیشنهادات

پیش از ارایه پیشنهاد باید این واقعیت را در نظر داشت که هزینه محبوب ترین معیار در ارزیابی راه حل‌های پیشنهادی برای تحلیل و بهینه سازی تعمیرات و نگهداری وسایل ریلی است. لذا اهداف تعمیر و نگهداری، استراتژی نگهداری و در نهایت تدوین برنامه تعمیر و نگهداری حتماً باید بر اساس صرفه جویی در هزینه‌ها و افزایش درآمدهای بهره برداری (و یا افزایش آماده بکاری) ضمن حفظ و یا ارتقای سطح ایمنی باشد. با توجه به اینکه ارایه هرگونه راه حل بهینه سازی با توجه به پیچیدگی زیاد سایل ریلی و برنامه تعمیراتی آنها و نیز وابستگی و تاثیرات متقابل عوامل مختلف که در بخش قبل ارایه گردید می­بایست برای یک مورد خاص باشد.

با توجه به ظرفیتهای فراوان صنعت ریلی کشور پیشنهاد موکد بر بهینه سازی برنامه­ تعمیر و نگهداری کشور و خصوصاً در مورد بوژی و چرخ و محور بعنوان کلیدی ترین تجهیز وسایل ریلی می­باشد.

پیشنهاداتی که در زمینه تحلیل روش‌های نوین تعمیر و نگهداری موارد زیر ارایه می‌گردند:

* بهینه سازی برنامه تعمیراتی ناوگان مترو تهران و سایر شهرستانها با استفاده از تکنیک‌های ارسال اطلاعات بر خط (با توجه به امکانات زیربنایی موجود) و مبتنی بر تعمیرات بر اساس شرایط و نیز با استفاده از مدل تئوری بازی.
* بهینه سازی تعمیر و نگهداری بوژی (چرخ و محور) در شبکه ریلی کشور بر بنای تعمیر و نگهداری فرصت طلبانه ایستا و با استفاده از تکنیک‌های داده کاوی و یادگیری ماشین.
* بهینه سازی تعمیر و نگهداری لکوموتیوهای راه‌آهن (که در حال حاضر مجهز به پایش وضعیت از راه دور هستند) بر مبنای تعمیر و نگهداری فرصت طلبانه پویا و با استفاده از تکنیک‌های داده کاوی و یادگیری ماشین.
* بهینه سازی تعمیر و نگهداری ناوگان مسافری کشور با تحلیل میانگین عمر باقیمانده و نیز طرح منسوخ شدن.
* بهینه سازی تعمیر و نگهداری ناوگان باری بر مبنای محدودیت مکان‌های جغرافیایی مراکز تعمیراتی بر مبنای تعمیر و نگهداری مبتنی بر قالبیت اطمینان.

مراجع

مراجع

1. Giovanni Luca Giacco, Donato Carillo, Andrea D'Ariano, Dario Pacciarelli, Ángel G. Marín “Short-term rail rolling stock rostering and maintenance scheduling”, Transportation Research Procedia 3 (2014) 651 – 659
2. Andrew Chater “Advanced Maintenance Inspection on DMU Trains”, 2008 4th IET International Conference on Railway Condition Monitoring 978-0-86341-927-0
3. A. Erguido, A. Crespo Márquez, E. Castellano, J.L. Flores, J.F. Gómez Fernández “Reliability-based advanced maintenance modelling to enhance rolling stock manufacturers’ objectives”, Computers & Industrial Engineering Volume 144, June 2020, 106436
4. Sonny Aditya Luqman Hakim, Lien Herliani Kusumah “Improving the Effectiveness of Rolling Stock Maintenance: A Systematic Literature Review”, Proceedings of the 3rd Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Johor Bahru, Malaysia, September 13-15, 2022
5. Kalathas, I.; Papoutsidakis, M. “Predictive Maintenance Using Machine Learning and Data Mining: A Pioneer Method Implemented to Greek Railways” Designs 2021.
6. C.J. Fourie, T.G. Tendayi, “a decision-making framework for effective maintenance management using life cycle costing (LCC) in a rolling stock environment”, Transportation Research Procedia 3 (2014) 651 – 659
7. Wenliang Zhou, Sha Li, Jing Kang, Yu Huang “Capacity-Oriented Train Scheduling of High-Speed Railway Considering the Operation and Maintenance of Rolling Stock”, Transportation Research Mathematics 2022, 10, 1639
8. [8] BS EN 50126-1:2017 “Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part1”, European Committee for Electrotechnical Standardization
9. Dott. Ing. Marco CORFIATI, Prof. Ing. Bruno DALLA CHIARA, Dott. Ing. Marco GALFRÈ, “Evolution lines in the maintenance of rolling stock”, 2011 researchgate.net/publication/290576845
10. Alireza Ghasemi, Melinda R. Hodkiewicz, “Estimating Mean Residual Life for a Case Study of Rail Wagon Bearings”, IEEE Transactions on Reliability 2012, 10.1109/TR.2012.2209251
11. Rudek, I., Rudek, R. “Optimizing Maintenance Cost of Uniform Rolling Stock by Scheduling Algorithms”, Advances in Systems Engineering. ICSEng 2021
12. Dmitry Bannikov, Nina Sirina, “Model of passenger rolling stock maintenance”, MATEC Web of Conferences 216, 02018 (2018)
13. Priyanka Prabhakaran, Subbaiyan Anandakumar, Bhaskaran E Priyanka, Prabu Velusamy, “Model development synchronized with data mining for rolling stock maintenance strategy”, Advances in Mechanical Engineering 2022, Vol. 14(8) 1–17
14. Mohd Firdaus Mohamad Idris, Nor Hayati Saad, “Mid-Life Refurbishment Maintenance Strategy to Sustain Performance and Reliability of Train System”, 2020 Trans Tech Publications doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.899.238
15. O.O. Asekun, C.J. Fourie, “Selection Of A Decision Model For Rolling Stock Maintenance Scheduling”, South African Journal of Industrial Engineering May 2015 Vol 26(1): :10.7166/26-1-1068
16. Jordi Zomer, Nikola Bešinović, Mathijs M. de Weerdt, Rob M.P. Goverde “The Maintenance Location Choice Problem for Railway Rolling Stock”, Journal of Rail Transport Planning & Management Volume 20, December 2021, 100268
17. Joris C. Wagenaar, Leo G. Kroon (deceased), Marie Schmidt “Maintenance Appointments in Railway Rolling Stock Rescheduling”, (2017) Transportation Science 51(4):1138-1160
18. Cyril VERDUN, Fabien TURGIS, Pierre AUDIER “Remote Diagnosis and Condition Based Maintenance for Rolling Stock at SNCF”, December 2019 Conference: wcrr 2019 At: Tokyo Japan
19. Falco P.J.H. Mooren, Leo A.M. van Dongen “Application of Remote Condition Monitoring in Different Rolling Stock” 2013, 2nd International Through-life Engineering Services Conference Procedia CIRP 11 135 – 138
20. Haimeng Sun, Deqiang He, Jiecheng Zhong, Zhenzhen Jin, Zexian Wei, Zhenpeng Lao, Sheng Shan “Preventive Maintenance Optimization for Key Components of Subway Train Bogie with Consideration of Failure Risk”, Engineering Failure Analysis Volume 154, December 2023, 107634
21. Sarbjeet Singh, Arnab Majumdar, Miltos Kyriakidis “Incorporating Human Reliability Analysis to enhance Maintenance Audits: The Case of Rail Bogie Maintenance”, International Journal of Prognostics and Health Management, ISSN 2153- 2648, 2017 062
22. Trafikverket Co. “D2.1. Definition of scenarios for CBM on wagon bogies and definition of subsystem architecture report”, Project Title: Real-time information applications and energy efficient solutions for rail freight, Deliverable No.: D 2.1 Status/date of document: 28/09/2020
23. Saeed H-Nia, Jesper Flodin, Carlos Casanueva, Mathias Asplund & Sebastian Stichel “Predictive maintenance in railway systems: MBS-based wheel and rail life prediction exemplified for the Swedish Iron-Ore line”, Vehicle System Dynamics, 62:1, 3-20,
24. Alexandre Trilla, Pau Grataco “Maintenance of bogie components through vibration inspection with intelligent wireless sensors: A case study on axle-boxes and wheel-sets using the empirical mode decomposition technique”, Proc IMechE Part F: J Rail and Rapid Transit 2016, Vol. 230(5) 1408–1414
25. Huixian Zhang, Xiukun Wei, Qingluan Guan, Wei Zhang, “Joint Maintenance Strategy Optimization for Railway Bogie Wheelset”, Appl. Sci. 2022, 12, 6934
26. BS EN 13306:2017 Maintenance — Maintenance terminology
27. Qiaoping Tian, Honglei Wang, “Optimization of preventive maintenance schedule of subway train components based on a game model from the perspective of failure risk”, Sustainable Cities and Society 81 (2022) 103819
28. Manuel Leite, Mariana A. Costa, Tiago Alves, Virgínia Infante, António R. Andrade “Reliability and availability assessment of railway locomotive bogies under correlated failures”, Engineering Failure Analysis Volume 135, May 2022, 106104
29. سید میعاد صالحی "بهبود عمر چرخ با استفاده بهینه از پارامترهای تعمیری، متناسب با استانداردهای ریلی ایران"، رساله دکتری 1395 دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف
30. محمد نصراللهي نجف آبادی "ارائه مدل داده محور مبتني بر یادگیری برای ماشین هوشمند قطعات پر مصرف در واگنهای باری" پایان نامه کارشناسي ارشد، 1401 دانشكده مهندسي راه‌آهن دانشگاه علم و صنعت ایران

پيوست‌ها

پيوست الف