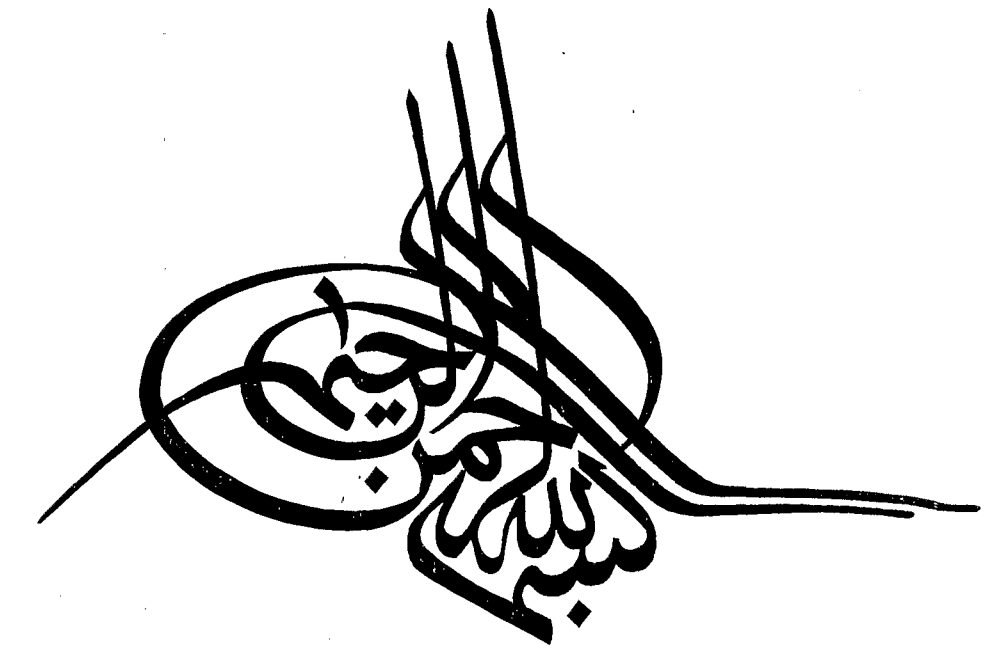


١٠٩٧٥٨

۸۷/۱/۱۰۶۹۸ ه‍
۸۸/۱/۱۹

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده کشاورزی

بخش مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

عنوان:

یک سیستم خبره جهت شناسایی عیوب موتور تراکتور
مطالعه موردی: تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵

استاد راهنما:

دکتر سید ناصر علوی

استاد مشاور:

دکتر محسن شمسی

مولف:

محمد طهماسبی

۱۳۸۷ /۱۲/ ۲۷

شهریور ۱۳۸۷

۱۰۹۷۵۸

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی

دانشکده کشاورزی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: محمد طهماسبی

استاد راهنما: دکتر سید ناصر علوی

استاد مشاور: دکتر محسن شمسی

داور: دکتر هومن شریف نسب

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: دکتر محمد حسن فولادی

حق چاپ محفوظ و مخصوص دانشگاه است.

تقدیم به

پدر

و

مادر مهربانم

که وجودشان موجب تداوم شعله زندگی من است.

چکیده

استفاده از فناوری و رایانه برای کمک به تصمیم‌گیری در زمینه‌های تخصصی از مقولاتی است، که امروزه در تصمیم‌گیری‌های مدیریت نگهداری و تعمیرات تراکتورها، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که در بحث نگهداری و تعمیرات فعالیت‌ها و تصمیمات انسانی نقش بسزایی دارد و در این میان شرایط محیطی و روحی، می‌تواند بر این تصمیمات تأثیرگذار باشد، بنابراین افزایش خطا و در نتیجه‌ی آن افزایش هزینه‌های ناشی از تعمیرات، تعویض قطعات و نگهداری امری اجتناب ناپذیر است. لذا استفاده از روش‌هایی که بتواند این خطاها را کاهش داده یا از بین ببرد ضروری می‌باشد.

در این تحقیق سعی شده است، سیستم خبره‌ای جهت تشخیص خودکار خرابی‌ها و عیوب موتور تراکتور MF-285 به عنوان ابزاری از نگهداری و تعمیرات بررسی، طراحی و پیاده‌سازی شود. از دانش خبرگان، کاتالوگ‌های مربوطه و کتاب‌های تعمیرات و نگهداری جهت ایجاد پایگاه دانش و از شبکه عصبی مصنوعی، به عنوان موتور استنتاج سیستم خبره استفاده شده است.

در مقایسه نتایج حاصل از سیستم خبره و افراد خبره، مشاهده می‌شود که پاسخ‌های سیستم به طور متوسط ۸۳/۴۱ درصد با واقعیت خرابی‌ها، آنچه که در عمل برای موتور تراکتور اتفاق افتاده است، تطابق دارد، در حالی که پاسخ افراد خبره، در طول یک روز، از شروع روز کاری تا پایان نوسان داشته و به طور متوسط ۷۵/۶۲ درصد با واقعیت خرابی‌ها تطابق دارد. همچنین مشاهده می‌شود که جواب‌های سیستم خبره ۹۵ درصد با دانش خبرگان تطابق دارد.

فهرست

عنوان	شماره صفحه
فصل اول: مقدمه و هدف	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- تعریف مسأله	۴
۱-۳- اهداف	۶
فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته	۷
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- انواع نگهداری و تعمیرات (نت)	۸
۲-۳-کارهای انجام شده در راستای تعمیرات و نگهداری	۱۱
۲-۴- زمینه‌های ظهور هوش مصنوعی و سیستم‌های خبره	۱۴
۲-۵- ظهور KBS	۱۵
۲-۶- سیستم‌های خبره ایجادشده	۱۵
۲-۷- بعضی از تعاریف سیستم‌های خبره	۱۸
۲-۸- مزایای یک سیستم خبره	۲۰
۲-۹- فواید استفاده از سیستم‌های خبره	۲۲
۲-۱۰- اطلاعات و دانش	۲۳
۲-۱۱- مدل کلی سیستم‌های خبره	۲۳
۲-۱۲- اکتساب و استخراج دانش	۲۴
۲-۱۳- قواعد تولید	۲۵
۲-۱۴- استنتاج در سیستم های خبره	۲۷
۲-۱۵- مهندسی دانش	۲۸
۲-۱۶- ارتباط انسان- رایانه در سیستم های خبره	۲۹
فصل سوم: شبکه‌های عصبی مصنوعی	۳۱
۳-۱- مقدمه	۳۲

۳-۲- مدل بیولوژیکی شبکه‌های عصبی ۳۲

۳-۳- شبکه های عصبی مصنوعی ۳۲

۳-۴- ویژگی‌های شبکه عصبی مصنوعی ۳۳

۳-۵- تاریخچه شبکه های عصبی مصنوعی ۳۵

۳-۶- کاربردهای شبکه‌های عصبی ۳۸

۳-۷- ساختار شبکه های عصبی مصنوعی تک‌لایه ۳۹

۳-۸- توابع محرک یا توابع تبدیل ۴۲

۳-۹- لایه ورودی و لایه خروجی ۴۴

۳-۱۰- انواع اتصال ها در شبکه های عصبی مصنوعی ۴۵

۳-۱۱- یادگیری شبکه‌های عصبی و انواع آن ۴۷

۳-۱۲- شبکه‌های عصبی چند لایه پیشخور و قانون یادگیری پس انتشار ۵۰

۳-۱۳- الگوریتم برنامه کامپیوتری آموزش شبکه عصبی سه‌لایه پیشخور به روش BP ۵۶

فصل چهارم: مواد و روش‌ها ۵۹

۴-۱- مقدمه ۶۰

۴-۲- اجزای سیستم خبره ۶۵

۴-۳- مهندس دانش ۶۶

۴-۴- اکتساب و استخراج دانش ۶۶

۴-۵- بازنمایی دانش ۶۹

۴-۶- ایجاد پایگاه دانش نرم‌افزار خبره ۸۰

۴-۷- واحد استنتاجی (موتور استنتاجی) ۸۲

۴-۸- تعامل انسان – رایانه در سیستم خبره ایجاد شده ۹۳

فصل پنجم: ارزیابی نرم‌افزار سیستم خبره ۱۰۲

۵-۱- مقدمه ۱۰۳

۵-۲- بازنمایی سیستم ۱۰۴

۵-۳- ارزیابی و پذیرش نسخه آزمایشی نرم‌افزار سیستم خبره ۱۰۵

۵-۴- ارزیابی و تایید نسخه نهایی نرم‌افزار خبره ۱۱۳

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۲۵

۶-۱- نتیجه‌گیری ۱۲۶

۶-۲- پیشنهادات ۱۲۹

منابع و مراجع ۱۳۰

فصل اول:

مقدمه و اهداف

۱-۱- مقدمه

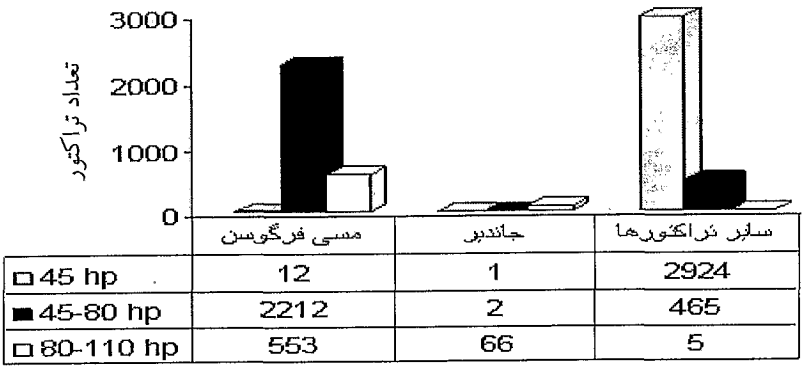
کشاورزی امروز، با توجه به توسعه‌ی روزافزون صنعت بدون استفاده از قدرت موتور و ماشین نمی‌تواند جای خود را ثابت و استوار نگه دارد. به طوری که آمار کشورهای پیشرفته جهان نشان می‌دهد، مزارعی که مجهز به قدرت موتوری و ماشین‌های کشاورزی می‌باشد، گذشته از کیفیت و کمیت انجام کار و صرفه‌جویی انجام مراحل مختلف عملیات تهیه بستر بذر، کاشت، داشت، برداشت و ذخیره محصولات کشاورزی، نیاز کمتری به قدرت بدنی کارگر جهت انجام این عملیات دارند [۱].

تراکتور کشاورزی وسیله‌ای است که برای تامین قدرت مورد نیاز وسایل و ادوات به منظور انجام کارهای کشاورزی به‌کار می‌رود. تراکتورهای کشاورزی در انواع مختلف و قیمت‌های متفاوت از نوع دوچرخی موتور دار بدون صندلی (آنچه که به تیلر معروف است) تا ۸ چرخ بزرگ کمرشکن با قدرت‌های متفاوت، ساخته شده است. در کشور ما در حال حاضر با وجود پاره‌ای از مشکلات از جمله قدرت خرید پایین کشاورزان، کوچکی زمین‌های زراعتی و ... از تراکتورهای بزرگ با قدرت بالا نمی‌توان استفاده نمود. طبق تحقیق‌های انجام شده، بیشترین تراکتوری که در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد، تراکتور MF-285، ساخت کارخانه تراکتورسازی تبریز است. به طور مثال اگر به تعداد تراکتورهای موجود در استان کرمان(طبق آمار اداره توسعه مکانیزاسیون جهاد کشاورزی استان کرمان) دقت شود، این موضوع کاملاً قابل درک است (شکل و جدول (۱-۱)).

جدول (۱-۱) فراوانی تراکتور در استان کرمان

قدرت (بر حسب اسب بخار)	مسی فرگوسن	جاندیر	سایر تراکتورها
۴۵	۱۲	۱	۲۹۲۴
۸۰-۴۵	۲۲۱۲	۲	۴۶۵
۱۱۰-۸۰	۵۵۳	۶۶	۵

تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ در زمره تراکتورهای با قدرت ۴۵-۸۰ قرار می‌گیرد وتعداد دستگاه‌های موجود و میزان کاربرد آن، ایجاد سیستم‌هایی که بتواند آن را در بهترین حالت سرویس‌دهی قرار دهد، امری الزامی است. امروزه با پیشرفت فناوری، حرکت به سوی اتوماسیون و استفاده ماشین به جای انسان، سرعت روز افزونی یافته است. لذا اهمیت نگهداری و تعمیر اتوماتیک نیز بیشتر گردیده است.



شکل (۱-۱)- نمودار فراوانی تراکتور در استان کرمان

حالت سنتی نگهداری و تعمیرات با هدف ترمیم خرابی‌ها پس از خرابی و از کار افتادن دستگاه شروع می‌شد که روش مناسبی نبود و باعث توقف عملیات و معضلات دیگر می‌گردید، لذا استفاده از یک روش دقیق جهت انجام نگهداری و تعمیرات ضروری و لازم می‌باشد [۱۱].

در میان روش‌های مختلف تعمیرات و نگهداری که در فصل دوم بحث خواهد شد، تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه PM، جهت ایجاد سیستم هوشمند تعمیرات و نگهداری، مدنظر قرار گرفته است.

PM: شامل نگهداری، تعمیر و جایگزینی تجهیزات، به صورتی که از شکست‌های ناگهانی و ناخواسته در مدت زمان استفاده از وسیله اجتناب شود. نگهداری پیشگیرانه یک سیستم، پذیرش اهمیت دانش خبره، مشاهدات برگشتی و شکست‌ها به عبارتی مدل کردن روند صحیح کار کردن سیستم و مشخص نمودن شکست‌های احتمالی می‌باشد [۱۵،۱۶].

استفاده از رایانه در انجام برنامه‌های نگهداری و تعمیرات لازم و حیاتی بوده و باعث تسریع در امور عملیاتی و حذف خطاهای انسانی و در نهایت کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات می‌گردد [۱۱].

نخستین گام در تهیه برنامه‌های نرم‌افزاری، برنامه‌ریزی است. در مرحله برنامه‌ریزی، ابتدا لازم است مسأله به صورت کامل شناخته شود وکلیه اطلاعات پایه، جمع‌آوری گردد. در نتیجه با مشخص شدن منطق عملیات سیستم و تحلیل و بررسی مسائل و نیازها، توابع لازم جهت انجام وظایف سیستم تعیین شده و برای هر وظیفه، ورودی‌ها و خروجی‌ها و نقش کاربر در ارتباط با عملکرد آن وظیفه مشخص می‌گردند [۱۱].

۱-۲- تعریف مسأله

از آنجا که در بحث نگهداری و تعمیرات، فعالیت‌ها و تصمیمات انسانی نقش بسزایی دارد و در این میان شرایط محیطی و روحی می‌تواند بر این تصمیمات تأثیرگذار باشد، بنابراین افزایش

خطا و در نتیجه آن افزایش هزینه‌های ناشی از تعمیرات، تعویض قطعات و نگهداری امری اجتناب ناپذیر است. لذا استفاده از روش‌هایی که بتواند این خطاها را کاهش داده یا از بین ببرد، ضروری می‌باشد. در این تحقیق سیستم خبره‌ای جهت تشخیص خودکار خرابی‌ها و عیوب موتور تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵ (MF-285) به عنوان ابزاری از نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه بررسی، طراحی و پیاده‌سازی شده است.

جهت طراحی و پیاده‌سازی سیستم، جلسات مشاوره و بحث با تعمیرکاران یا خبرگان موتورهای دیزل در شهرستان مرودشت، استان فارس بدلیل فراوانی تراکتور و تعمیرگاه در این شهرستان، صورت گرفت. سعی شد از میان تعمیرکاران، کسانی که دارای سابقه و تجربه بالاتری هستند و در میان مردم تعمیرکاران معتمدتری باشند، جهت کسب دانش و اطلاعاتشان در امر تعمیر و عیب‌یابی استفاده گردد. همچنین در این بین چگونگی ارتباط میان مراجعه‌کنندگان (کاربران تراکتور) با تعمیرکاران و چگونگی تبادل اطلاعات میان آنها در جهت مطرح نمودن مشکل و خرابی تراکتورشان بررسی گردید.

اطلاعات و دانش جمع‌آوری شده، پس از مطابقت با کتب تعمیرات و نگهداری و همچنین تطابق با واقعیت‌ها، یعنی کارعملی که در تعمیرگاه برای رفع مشکل صورت می‌گرفت، به پایگاه دانش سیستم انتقال داده شد. لازم به ذکر است که حدود ۴۵ روز کار تعمیر موتور در تعمیرگاه‌های مورد نظر از نزدیک بررسی گردید تا بتوان به عنوان مهندس دانش سیستم خبره، کار انتقال دانش خبرگان به سیستم را به نحو احسن انجام داد. برای استفاده از این پایگاه و داشتن استدلال و استنتاج، سیستم نیاز به موتور استنتاجی دارد که برای این کار از شبکه عصبی پرسپترون با الگوریتم

پس انتشار خطا بدلیل قابلیت بالای آن در یادگیری، طبقه‌بندی[1] اطلاعات و پیش‌بینی استفاده شده است. در ادامه هر یک از بخش‌های سیستم کامل توضیح داده خواهد شد.

بنابراین سیستم بر این پایه طراحی و توسعه یافته است، که با دریافت علائم خرابی از سوی کاربران، در بانک اطلاعاتی خود به جستجو پرداخته و عیبی متناسب با علائم دریافتی به کاربران گزارش می‌کند، کاربر با توجه به تشخیص عیبی که از سوی سیستم صورت گرفته است و توصیه‌هایی که سیستم در ارتباط با چگونگی رفع مشکل و ادامه کار یا عدم کاربری تراکتور با توجه به عیب به وجود آمده به کاربر می‌دهد؛ می‌تواند نسبت به ادامه کار با تراکتور تصمیم‌گیری نماید. به کار گیری سیستم خبره (سیستمی بر پایه دانش)، جهت تشخیص عیوب موتور تراکتور باعث افزایش دقت در تشخیص خرابی‌ها و در نتیجه آن کاهش زمان تعمیرات و همچنین کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری خواهد شد. از آنجا که در یک سیستم مکانیزه، تراکتور نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند، کاهش زمان خرابی و کاهش هزینه‌های تعمیراتی ناشی از خطاهای انسانی می تواند بهره‌وری و سود بیشتری را در سیستم در بر داشته باشد.

۱-۳- اهداف

۱-۴-۱- ایجاد سیستمی هوشمند جهت عیب‌یابی بدون نیاز به امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی.

۱-۴-۲- امکان دسترسی کاربران تراکتور به خبره در تمامی ساعات شبانه‌روز.

۱-۴-۳- کاهش عوامل مخرب بر تصمیمات خبرگان و ایجاد سیستمی کمکی برای آنها در عیب‌یابی موتور.

[1] - Classification

فصل دوم:

مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه

نگهداری و تعمیرات به مجموعه برنامه‌ها و اقدامات به منظور نگه داشتن تجهیزات درسطح قابل قبول از نظر کارکردی (نگهداری) و یا باز گرداندن تجهیزات و دستگاه‌های معیوب به چرخه استفاده و بهره‌برداری می‌باشد و نتیجه مورد انتظار از این اقدامات ایجاد آمادگی، حفظ قابلیت کارکرد، تداوم و استمرار کارکرد تجهیزات برای شرایط تعریف شده خواهد بود [۲].

به‌طور کلی اهداف سیستم تعمیرات و نگهداری در یک واحد عبارتند از پاسخگویی کارا ، موثر و سریع در هنگام نیاز به فعالیت‌های پیشگیری و اصلاحی به منظور حفظ آن واحد در یک سطح استاندارد و قابل قبول می باشند [۲].

۲-۲- انواع نگهداری و تعمیرات (نت)

امروزه با پیشرفت دانش و علم بشری توجه به نگهداری و تعمیرات نیز متناسب با این پیشرفت در حال تغییر و تحول است که در ذیل به بخشی از آنها اشاره می‌شود :

۲-۲-۱- نگهداری و تعمیرات ناگهانی (مبتنی بر شکست[1])

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شکست، بر این فرضیه بنا شده است که تا قطعه‌ای شکسته و یا معیوب نشده باشد آن را تعویض و تعمیر نکنند.

در دوران گذشته، پیامدها و آثار اینگونه اعمال به عنوان یک امر اجتناب‌ناپذیر به شمار نمی‌آمد ولی امروزه به دلیل پیچیده شدن تجهیزات، تنوع بالا و تعداد تجهیزات تحت پوشش فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، اجرای این رویه برای تمامی تجهیزات به عنوان یک ضرر با

[1] - Breakdown Maintenance

اهمیت به شمار می‌رود. در این روش اجرای فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات هنگامی انجام می‌شود که عملکرد تجهیزات به طور چشمگیر کاهش پیدا کرده و یا شکست و ازکارافتادگی واقعی اتفاق افتاده باشد. در نتیجه تجهیزات با اجرای فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شکست تحت کنترل قرار می‌گیرد [۲].

تجهیزاتی که مستلزم اجرای عملیات تعمیرات سنگین و پر هزینه هستند و یا اینکه تجهیزات حساس (از نظر قیمت و گلوگاهی) هستند، مجاز به پیروی از مدل نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شکست نیستند و در بعضی از موارد عدم رعایت این موضوع می‌تواند فاجعه ببار آورد. پس هزینه‌های مضاعف این رویکرد می‌تواند شامل موارد زیر باشد [۲].

- هزینه‌های مستقیم اضافی
- هزینه های رسیدگی به تعیین ریشه دلایل خرابی و کار افتادگی
- بیکار شدن اپراتوران
- تاخیر در اجرای ماموریت‌های محوله

۲-۲-۲- نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه[1] (PM)

مجموعه اقداماتی که شامل بازدید، کنترل، سرویس، تنظیم، تعویض و در برخی از موارد تعمیرات جزیی که توسط اپراتوران تجهیزات و یا تعمیرکاران کارگاه‌ها انجام می‌شود، اصطلاحاً فعالیت‌های PM گفته می‌شود. این فعالیت‌ها به طور تناوبی و بر حسب دوره‌های تعریف شده انجام

[1] - Preventive Maintenance

می‌گیرد و سبب تاخیر و کم شدن تعمیرات و شکست‌های ناگهانی و بدون برنامه می‌شوند. اهم اهداف فعالیت‌های PM شامل موارد زیر است [۲،۱۶،۱۷].

- پیش بینی عیوب، خرابی‌ها و شکست تجهیزات
- تعیین عیوب و شکست، قبل از تاثیرگذاری بر تجهیزات
- تعمیر و یا تعویض قطعه پیش از وقوع شکست

نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه سه چیز را باعث می شود :

۱- کاهش شکست‌ها و خرابی‌ها

۲- صرفه جویی در هزینه های عملیاتی

۳- حفظ ایمنی و قابلیت اطمینان تجهیزات

۲-۲-۳- نگهداری و تعمیرات پیشگویانه[1] (مراقبت وضعیت)

با پیشرفت علم و دانش بشری، به جای تعویض، تنظیم و .... در یک موعد مقرر با کمک علومی همانند مکانیک، شیمی، فیزیک، ... و با تحت نظر داشتن رفتار قسمت‌های متحرک از نظر ارتعاش و بخش‌های مکانیکی که در درون روانکارها قرار دارند و تجزیه مواد موجود در روانکارها می‌توانند وضعیت رفتاری آتی تجهیزات را تا مقدار قابل قبولی پیش‌بینی کنند و بر مبنای آن اقدامات بعدی را انجام دهند. اصطلاحا به مجموعه این اقدامات و فعالیت‌ها مراقبت وضعیت[2] می گویند [۲،۱۸].

[1] - Predictive Maintenance
[2] - Condition Monitoring

اجرای صحیح این رویکرد هزینه‌های اضافی فعالیت‌های PM را به شدت کاهش می‌دهد و باعث می‌شود که بتوان تا حد قابل قبولی وضعیت فعلی و آینده تجهیزات را پیش‌بینی نمود و با توجه به این موضوع و صرف منابع می‌توان قابلیت اطمینان تجهیز را به میزان قابل توجه‌ای بالا برد.

۲-۲-۴- نگهداری و تعمیرات اضطراری[1] (EM)

فعالیت‌های هستند که در مواقع از کار افتادن تجهیزات و شکست انجام می‌دهند و به شکل اضطراری باید اینگونه فعالیت‌ها را انجام داد زیرا که امکان سرایت خرابی به سایر مجموعه‌ها وجود دارد و یا اینکه تجهیزات بطور کلی از کار افتاده و در مجموعه بکار گیرنده تجهیزات، این دستگاه ضرورت حیاتی دارد و عدم کارکرد آن باعث زیان‌های مادی و جانی فراوان می‌شود.

هزینه‌های بالا ناشی از تعمیرات و نگهداری موتورهای دیزل، استفاده بهینه و موثر از تکنولوژی‌های جدید را ضروری می‌سازد. به علت سودمند بودن تکنولوژی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، این روش در بسیاری از صنایع مورد قبول واقع شده است [۲].

۲-۳-کارهای انجام شده در راستای تعمیرات و نگهداری

در سال ۱۹۸۲، السون[2] سیستم‌های مانیتورینگ سیار[3] را به عنوان روشی از نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت دستگاه عنوان نمود. این سیستم‌ها اطلاعات دقیقی از پارامترهای موتور را به طور پیوسته فراهم آورده و امکان جایگزین نمودن روش‌های تعمیر و نگهداری به صورت بازرسی‌های

[1] - Emergency Maintenance
[2] - Elson
[3] - On-wing monitoring systems

مکرر و غیر قابل انعطاف را با یک برنامه نگهداری مطابق شرایط اقتصادی و کاملاً انعطاف‌پذیر فراهم می‌نماید.[۱۹].

در سال ۱۹۸۶، میتشل[1] یک سیستم خودکار نگهداری پیش‌نگر از طریق مراقبت وضعیت[2] را طرح و مورد ارزیابی قرار داد [۲۰].

در سال ۱۹۹۰، هیل و اسمیت[3] مبحث سیستم‌های خبره را در مراقبت وضعیت ماشین‌آلات مطرح نمودند [۲۱].

در سال ۱۹۹۳ ابراهیم زاده و برقعی، از طریق آنالیز روغن متناسب با شرایط کاری مدلی جهت شناسایی و کنترل عیوب موتور تراکتور MF-399 به عنوان ابزاری از نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه ارائه نمودند. با توجه به میزان مواد سایشی (براده) ناشی از قطعات متحرک و همچنین میزان لجن موجود در روغن، تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه را در نظر می گرفتند [۱۲].

در سال ۱۹۹۳ موسوی و پشتبان با استفاده از آنالیز ارتعاشات بدنه و سیگنال‌های صوتی به بررسی روشی جهت تشخیص عیب یاتاقان‌ها در راستای تعمیرات پیشگویانه پرداختند [۱۳].

در سال ۲۰۰۰ شیلر[4] و همکاران از شبکه‌های عصبی مصنوعی در سیستم‌های مدیریت موتور اتومبیل استفاده کردند. آنها از طریق سیستم‌های کنترل الکتریکی موتور در قسمت پاشش سوخت با استفاده از شبکه عصبی به بهینه‌سازی کار این قسمت پرداختند [۲۲].

1- Mitchell
2 - An automated condition monitoring predictive maintenance system
3 - Hill & Smith
4 - Shayler