# ارائه روش اجرای نگهداری پیشگویانه توسط MCM در کاهش هزینه های نگهداری ماشین آلات تبدیل و فراوری مواد غذایی(کد مقاله ۴۳۵)

جلال برادران مطیع[۱] ، محسن شاکری[۲] ، رسول خدابخشیان[۳]

**چکیده**

در بین روش های نوین نگهداری و تعمیرات، مدیران همیشه در پی انتخاب موثرترین، سازگارترین، کم هزینه ترین و به روز ترین روش ها برای استفاده در محیط صنعتی تحت نظارت خود هستند. نگهداری پیشگویانه از جمله روش هایی است که به تازگی مطرح شده و کارایی خود را ثابت کرده است. نگهداری پیشگویانه دارای ابزار های مختلفی از جمله آنالیز ارتعاشات، آنالیز روغن، ترموگرافی، آنالیز کارایی و آنالیز جریان می باشد. در این مقاله با MCM (Monitoring Condition Motor) و نمایش وضعیت موتور آشنا می شوید. این روش برای اجرای نگهداری پیشگویانه در سیستم های سه فاز شامل موتور های الکتریکی و ژنراتور ها به کار می رود. اساس کار MCM را تکنولوژی عیب یابی بر پایه مدلسازی[۴] تشکیل می دهد. در این تکنولوژی که در دهه ۹۰ در ناسا بـ ای پایش موتور فضانورد شاتل توسعه یافته، ابتدا مدل ریاضی از ماشین ساخته می شود. برای ساخت مدل به مجموعه ماشین به عنوان عنصری با تعدادی ورودی و خروجی نگاه می شود. سپس در حین کار، موتور رفتار این پارامتر ها با مدل ریاضی ساخته شده مطابقت داده می شود. MCM که تنها ولتاژ و جریان سه فاز را اندازه می گیرد، قابلیت اجرای مدیریت برنامه ریزی شده نگهـ اری و تعمیرات را دارد چون می تواند خرابی های محتمل را در مراحل اولیه ایجاد عیب تشخیص داده و به اطلاع کاربر برساند. اولین وظیفه MCM اعلام هشدار زود هنگام در مورد خرابی های پیش رونده است تا زمان از کارافتادگی را کاهش داده و بازده تولید را زیاد کند. با توجه به استفاده گسترده صنایع تبدیلی و فرآوری محصولات کشاورزی از موتور های سه فاز و تک فاز و همچنین خرابی های گسترده در اثر کـ ر در محیط های حاوی گـ د و غبار و بارهای متغیر نیاز به یک سیستم جامع که بتواند در کاهش هزینه های نگهـ ری و افزایش راندمان سیستم ها موثر باشد احساس می شود.

**کلید واژه:** نگهداری پیشگویانه PdM[۵] ، پایش موتور، مدلسازی تجربی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی، پست الکترونیک: jalal_jbm@yahoo.com
۲- عضو هیات علمی گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی

[4] -Model Based Fault detection System
[5] -Predictive Maintenance

## بخش اول- بررسی وضعیت موجود

### مقدمه و اهداف

موتورها، قلب دستگاهها و ماشین آلاتی هستند که با برق کار می کنند و در بیش از ۸۰ درصد ماشین آلاتی که در تبدیل و فراوری محصولات کشاورزی پس از برداشت استفاده می شوند، موتور نقش اساسی دارد . در جدول ۱ جایگاه موتور در ماشین های تبدیلی نشان داده شده است. در اینجا صنایع تبدیلی را به دو دسته صنایع کوچک و صنایع بزرگ تقسیم می کنیم. در این طبقه بندی صنایع کوچک آنهایی هستند که به صورت کارگاهی یا حتی در فضای باز، که می تواند شامل یک یا دو دستگاه ( آسیاب و مخلوط کن ) باشند اداره می شوند. صنایع بزرگ به شکل کارگاههای بزرگ یا کارخانه اداره می شوند و تعداد پرسنل آنها بیشتر از ۲۰ نفر می باشد[۱]. در این صنایع تـ اد و ظرفیت دستگاهها بیشتر است ( مانند کارخانه تولید خوراک دام ، تولید رب گوجه).

**جدول ۱ – انواع ماشینهای مورد استفاده در صنایع تبدیلی و تعداد موتور الکتریکی مورد استفاده در آنها[۲] .**

| نام تجهیز | نوع تجهیز | تعداد موتور | توضیحات |
|---|---|---|---|
| **آسیاب** | سنگی | ۱ | |
| | غلتکی | ۱ یا ۲ | بسته به مکانیزم تغذیه |
| | چکشی | ۱تا ۳ | بسته به مکانیزم تغذیه و نحوه تامین نیروی فن و مکانیزم تخلیه متفاوت است. |
| | مرکب | حداقل ۲ | |
| **خرد کن ها** | محصولات ریشه ای | حداقل ۱ | بسته به اندازه و ثابت یا متحرک بودن |
| | محصولات علوفه ای | ۱ یا ۲ | بسته به مکانیزم انتقال و تغذیه |
| **مخلوط کن** | عمودی | ۱ | |
| | نقاله زنجیری | ۱ یا ۲ | بسته به ظرفیت و قدرت موتورها |
| | هلیس افقی و عمودی | ۲ | اسیاب چکشی و هلیس ها |
| **مکانیزم های انتقال** | نقاله کفه و زنجیری | ۱ برای هر واحد | بسته به طول واحد ها |
| | فنر مارپیچ | ۱ ‘‘ | ‘‘ |
| | مارپیچ | ۱ ‘‘ | ‘‘ |
| | نقاله زنجیری | ۱ ‘‘ | ‘‘ |
| | نقاله پارویی | ۱ ‘‘ | ‘‘ |
| **فشرده ساز ها** | حبه ،ویفر ، مکعب ساز | ۱ یا ۲ | بسته به نوع مکانیزم |
| **بوجاری** | الک ها | حداقل ۱ | |
| | آسپیراتور | حداقل ۱ | |
| | تریور | حداقل ۱ | |
| | پادی | حداقل ۱ | |
| | زائده دار | حداقل ۱ | |
| **خشک کن ها** | تمام انواع | ۰ یا بیشتر | بسته به نوع و تعداد فن و مکانیزم انتقال مواد |
| **خنک کن ها** | سردخانه | ۴ یا بیشتر | موتور یخچال و فن های تهویه |
| | انبار فنی سرد | ۵ یا بییشتر | فن های تهویه سالن |
| **سایر ماشین ها** | تهویه هوا | هر واحد ۱ | سالن های مرغداری و انبار ها |
| | پمپهای انتقال مواد مایع | ۱ | |
| | ژنراتور ها | مشابه موتور | |

جهت تشخیص صنایع کوچک از بزرگ، شاخص های متفاوتی در کشور های مختلف وجود دارد. جدول ۲ پذیرش این شاخص ها را در بین کشور ها نشان می دهد. فعالیت صنایع تبدیلی در رابطه با فصل برداشت محصولات بوده، و اکثراً بطور فصلی کار می کنند. خط تولید این کارخانه ها بطور پیوسته و ماده اولیه هر دستگاه محصول دستگاه قبل از آن است، در این وضعیت خرابی دستگاهها یا از کار افتادگی آنها موجب توقف خط تولید و عقب افتادن زمان تحویل محصول نهایی و در نتیجه موجب وارد آمدن ضرر های زیادی به مجموعه کارخانه یا کارگاه می شود.

از مطالب گفته شده پیداست که اجرای یک سیستم نگ ری و تعمیرات ( نت ) جامع و کامل برای کاهش هزینه های تعمیر و از کار افتادگی دستگاهها لازم است. در این بین سیستم های مختلف نگ ری و تعمیرات وجود دارد که باید با توجه به میزان هزینه اولیه اختصاص یافته به نت و تعداد ماشین ها و پرسنل در دسترس، مناسب ترین آنها انتخاب شود.

**جدول ۲ – شاخص های تشخیص صنایع کوچک در کشورهای مختلف[ ۱]**

| *ردیف* | *معیار ( ضابطه )* | *کشورهای در حال توسعه* | *کشورهای صنعتی* |
|---|---|---|---|
| ۱ | تعداد کارشناسان | ۶ شور | ۹ کشور |
| ۲ | میزان دارایی | ۱۰ | ۱ |
| ۳ | نسبت فروش به سرمایه در گردش | ۱ | ۱ |
| ۴ | تعداد کارکنان زن | ۱ | ۲ |
| ۵ | تعداد کارکنان و ارزش دارایی | ۱۶ | ۳ |
| ۶ | گردش پول و ارزش دارایی | ۱ | _____ |
| ۷ | تعداد کارکنان ،میزان فروش وارزش دارایی | ۴ | _____ |
| | مجموع | ۳۹ کشور | ۱۶ شور |

در کشور ایران معیار تقسیم بندی صنایع کوچک از بزرگ، کمتر بودن تعداد کارکنان از ۵۰ نفر می باشد[۱].

## بیان نیاز

با توجه به تقسیم بندی فوق، در صنایع بزرگ به دلیل وجود پرسنل مجرب و متخصص، می توان وظیفه نگ اری و تعمیرات را به عهده آنها گذاشته و سیستم PM[1] یا TPM[2] را انتخاب نمود . ولی در صنایع کوچک نه پرسنل متخصص وجود ارد و نه بودجه کافی که به توان بابت اجرای سیستم نگهداری و تعمیرات هزینه کرد. در اینجا احساس نیاز به یک سیستم یا روش دیگری که هم جامع و کامل باشد و هم مؤثر و کم هزینه، مطرح می شود. پیشنهاد می شود از یک سیستم اتوماتیک بدون دخالت انسان استفاده شود که هم دقت بالاتری داشته و هم هزینه آن به مراتب کمتر است. یکی از مناسب ترین این سیستمها جهت فعالیت در صنایع تبدیلی و فراوری کشاورزی که بر پایه نت پیشگویانه بنا شده است، پایش وضعیت موتورهای الکتریکی توسط کنترل ولتاژ و جریان یا MCM[3] نام ارد.

به عنوان نمونه با بررسی یک واحد مرغداری صنعتی ملاحظه می شود، شمار زیادی موتور الکتریکی در قدرتهای متفاوت مشغول به فعالیت هستند، که وظایف آنها از پخش خوراک طیور گرفته تا سیستم های تهویه سالنهای بزرگ متغییر است. کار صحیح و مداوم هر یک از موتورها، برای مدیر مجموعه بسیار مهم است. زیرا اگر بسته به اندازه سالن ۱ یا ۲ عدد از موتور های تهویه از کار بیفتند، اولاً فشار کار روی بقیه موتورها وارد می شود و احتمال بیش باری و از کارافتادگی آنها بالا می رود و ثانیاً عدم تهویه مناسب سالن موجب تاثیراتی نا مطلوب بر سلامتی جوجه ها خواهد شد، که اگر تدابیر به موقع اندیشیده نشود موجب وارد آمدن خسارات سنگینی به تولید مجموعه مرغداری می شود.

در یک مرغداری معمولاً فرد یا افراد متخصص که مسئولیت حفظت و کنترل وضعیت دستگاهها را بر عهده داشته باشند در اختیار نیستند و وجود آنها هم گاهی اوقات صرفه اقتصادی برای کارفرما ندارد. پس با توجه به اهمیت کار مطمئن موتور ها و

1 Preventive maintenance
2 Total Productive Maintenance
3 Motor Condition Monitoring

تجهیزات نیاز به یک سیستم کاملی است که با هزینه بسیار کم به طور پیوسته موتور های الکتریکی را تحت نظر داشته باشد و در صورت مشاهده هرگونه سوء رفتار در آنها، سرپرست مرغداری را با خبر کند. آگاهی به موقع سرپرست از کوچکترین ایراد در کار موتور زمان کافی را در اختیارش قرار می دهد تا به فکر رفع عیب یا جایگزینی به موقع آن باشد.

در ادامه وضعیت سیستم نت را در کارخانه خوراک دام مشهد و سیلو مشهد بررسی می کنیم. سیستم پیشنهادی که در بخش دوم معرفی می شود برای تمام واحد های تولیدی با منفعت دیده می باشد.

## مثال های عملی از وضعیت نت در صنایع و بیان نیاز

### کارخانه تولید خوراک دام و طیور مشهد

طی مصاحبه حضوری با مدیر فنی کارخانه در خصوص نحوه اجرای سیستم نگهداری و تعمیرات اطلاعات زیر بدست آمد.

کارخانه تولید خوراک دام وطیور مشهد، در جاده مشهد–سرخس و در حاشیه مزرعه نمونه آستان قدس رضوی قرار دارد. ماشین آلات موجود در این کارخانه شامل: آسیاب چکشی، مخلوط کن ها، نوار نقاله ها، پمپ ها و تجهیزات سیلو ها می باشد. اکثر این تجهیزات با موتور های الکتریکی سه فاز و تک فاز کار می کنند.

با توجه به گفته های مدیر فنی سیستم نت مورد اجرا در کارخانه خوراک دام PM یا نگهداری پیشگیرانه است. در این سیستم بازدید هایی در زمان های برنامه ریزی شده توسط پرسنل نگهداری وتعمیرات از دستگاهها انجام می شود و در صورت مشاهده نقص یا خرابی در دستگاهها به تعمیر و رفع عیب می پردازند. در این کارخانه بازدید های روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه، برنامه ریزی شده است.

- موتور های دور بالا، روزانه در ابتدای شیفت کاری بازدید و گریس کاری می شوند.
- بازدید هفتگی شامل موتور هایی است که مدت زمان کاری زیادی دارند.
- ماهیانه، کل تجهیزات کارخانه سرویس می شوند.
- سالیانه، در زمانی که تراکم کار و سفارش تولید به حداقل رسیده است، تمام تجهیزات مورد بازرسی و سرویس قرار گرفته، قطعات مستهلک تعویض شده و کارخانه برای فصل کار آینده آماده می شود.

با اجرای سیستم PM آمار خرابی بسیار کم شده است و فقط در موارد پیش بینی نشده و بیش باری ممکن است خرابی رخ دهد. همانطور که از مطالب فوق استنباط می شود، حجم بالای بازرسی ها موجب صرف هزینه زیاد برای نیروی متخصص و زمان توقف ماشین ها می شود، با این حال احتمال بروز خرابی در فاصله بین دو بازدید نیز وجود دارد. در صورت استفاده از MCM برای تمام یا اکثر موتور ها و دستگاهها، تجهیزات تمام وقت تحت بازرسی و کنترل هستند.

### سیستم نگهداری تجهیزات در سیلو شهید رواقی مشهد

سیلو مشهد واقع در منطقه طلاب با ظرفیت ۱۱۴۰۰۰ تن و ظرفیت بارگیری ۴۰۰ تن در ساعت، جزء مجهز ترین و بزرگ ترین سیلو های ایران می باشد که توسط شوروی سابق در سال ۱۳۵۳ ساخت آن شروع شد و در سال ۱۳۶۱ به بهره برداری رسید. این مجموعه دارای تجهیزات مختلفی از جمله، تجهیزات بوجاری، تریور ها، میز های پادی، الواتور ها، نقاله ها و مخلوط کن ها می باشد که تمامی آنها از موتور های الکتریکی استفاده می کنند. کنترل کار دستگاهها از یک اتاق کنترل مرکزی صورت می گیرد. در کل مجموعه دود ۸۰ دستگاه موتور الکتریکی با قدرت های متفاوت استفاده می شوند.

طی مصاحبه ای با مسئول فنی مجموعه در خصوص سیستم نت مورد اجرا، اطلاعات زیر بدست آمد.

در اینجا نیز بازدید های روزانه، ماهیانه و سالیانه وجود دارد. که بسته به نوع موتورها و شدت کار آنها انجام می شود. در هر بازدید فرمهای مخصوصی پر می شود که در آنها سابقه تعمیراتی هر دستگاه ذکر شده است. نمونه ای از این فرم ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

در اینجا حجم کاری بازدید ها نسبت به کارخانه تولید خوراک دام، کمتر است ولی با توجه به سختی دسترسی به موتور ها در صورت استفاده از سیستم پایش از راه دور، کنترل وضعیت بسادگی و با صرف هزینه و انرژی کمتر از اتاق کنترل مجموعه قابل انجام است. کلیه این اقدامات برای کاهش هزینه تولید و افزایش سود دهی انجام می شوند.

اداره نان و غله استان خراسان

منطقه / شهرستان سیلو شهید رواقی

کارت شناسایی و سرویس دستگاهها جهت نظارت و کنترل بکار گیری بهینه از دستگاه

نام دستگاه : شماره کارت :

کد دستگاه : تاریخ نصب:

| ردیف | تاریخ بازدید | گریس کاری | روغن کاری | تعویض قطعات | تعمیرات کلی | تعویض دستگاه | تعمیرات الکتریکی | تعمیرات مکانیکی | تعمیرات اساسی | مسئول تعمیرات | معاون امور فنی سیلو |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

**شکل۱ – فرم ثبت بازدید ها و فعالیت های تعمیراتی**

## مراقبت از وضعیت[1]

قبل از اینکه MCM را شرح دهیم لازم است اطلاعاتی درباره مراقبت از وضعیت به عنوان پیش زمینه داشته باشیم.

## مراقبت از وضعیت

هر ماشین در حال کار، بطور دائم اطلاعاتی از وضیعت خود منتشر میسازد. حرارت، جریان مصرفی الکتروموتور، صـ ا و لرزش، از جمله اطلاعاتی است که تمامی مراقبین ماشین آلات و تعمیرکاران با آن آشنا بوده و عموماً با ساده ترین وسایل آنها را اندازه گ ری و از روی این اطلاعات در مورد وضعیت آن ماشین قضاوت می کنند. آنالیزرهای ارتعاشات اولیه، بسیار بزرگ، سنگین، مفصل و گران قیمت بودند، بطوری که جهت عیب یابی نیاز به چند اپراتور آموزش دیده و صرف وقت و هزینه بود. امروزه با پیشرفت روز افزون تکنولوژی ریز پردازنده ها و ظهور تجهیزات سریع، دقیق ، امکان اندازه گیری، ثبت و انجام عملیات آماری بر روی اطلاعات وضعیت ماشین ها به سهولت امکان پذیر شده است. با این روش این امکان فراهم است، تا بجای توقف و بازکردن هر ماشین در تعمیرات اساسی روتین، با انجام اندازه گیری پارامترهای مشخص در دوره های زمانی خاص اطلاعات کاملی از وضعیت ماشین دریافت و عملکرد آینده آن ماشین را پیش بینی نمود و فقط ماشین هایی را که واقعاً نیاز به تعمیرات دارند را متوقف وتعمیر کرد. این یک امتیاز با ارزش ب ای کارخانجات فرآیندی می باشد. با این روش قابلیت اطمینان هر ماشین بطور فوق العاده ای افزایش یافته و از یک طرف کاهش هزینه های تعمیراتی و از طرف دیگر افزایش تولید رابه همراه دارد.

## انواع مراقبت از وضعیت

### ۱-مراقبت وضعیت دائم[2]

در مراقبت وضعیت دائم، سنسورهایی به طور دائم به نقاط مختلف ماشین ها متصل بوده و اطلاعات وضعیت ماشین بطور مستقیم و پیوسته، از طریق کابل ها و جعبه های اتصال و در مواردی از طریق اتصال اینترنت و شبکه های کامپیوتری به کامپیوتر مرکزی ارسال میگردد. این روش مستلزم صرف هزینه زیادی برای سنسورها و اتصالات می باشد که فقط برای ماشین های بسیار حساس و حیاتی که نیاز به سیستم های حفاظتی دارند مقرون به صرفه است.

[1] Condition Monitoring
[2] Online Condition Monitoring

## ۲-مراقبت وضعیت دوره ای[1]

این سیستم مشابه سیستم مراقبت وضعیت دائم است با این تفاوت که فقط از یک سنسور (برای هر پارامتر) برای داده برداری استفاده می شود. داده برداری بطور دوره ای انجام می شود. هزینه قابل توجه سنسورها و کابل کشی ها و متعلقات آن در این سیستم حذف می گردد، اما از همان سیستم کامپیوتری مراقبت، برای ثبت اطلاعات، ردگیری تغییرات، اعلان هشدار و خطر و سپس آنالیز و عیب یابی و گزارش گیری استفاده می شود.

## انواع عیوب در ماشین آلات تبدیلی صنایع غذایی

بعد از اعلان یک وضعیت هشدار یا خطر، لازم است عیبی که در ماشین باعث ایجاد آن وضعیت شده است مشخص شود تا در مراحل بعدی نسبت به رفع آن عیب اقدام نمود. حدود ۹۰ درصد عیوب ماشین آلات دوار منجر به ایجاد لرزش در ماشین می گردند. (نابالانسی، ناهمراستایی، لقی های مکانیکی، لقی در یاتاقان ژورنال، چرخش روغن، خرابی چرخ دنده ها، خرابی بلبرینگ ها، خرابی تسمه ها، عیوب الکتریکی ، رزنانس )

برای تشخیص این عیوب روش های مختلفی بکار گرفته می شوند که عبارتند از: ۱- معدل گیری زمانی ۲-آنالیز اینولوپ ۳- آنالیز کپستروم ۴- آنالیز اوربیت ۵- آنالیز آبشاری ( توقف و راه اندازی) ۶-آنالیز فازی ۷-آنالیز تغییر شکل های عملی سازه ۸- آنالیز مودال

علاوه بر آنالیز ارتعاشات دو نوع آنالیز دیگر که قابلیت های خوبی در تعیین وضعیت ماشین آلات دارد عبارت است از : ۹-آنالیز روغن ۱۰-آنالیز ترموگرافی .

جدول ۳- توالی حرکت بسوی رفع عیب در ماشین آلات

| مراحل انجام کار | 5W ,1H | PDCA |
|---|---|---|
| انتخاب خرابی (تعریف مساله ) | What | PLAN |
| بررسی وضعیت فعلی | | |
| آنالیز علل بروز خرابی<br>( آنالیز PM- نالیز Why-Why- ... ) | Why | |
| برنامه ریزی جهت رفع خرابی<br>( تهیه برنامه اولیه ) | Who<br>When<br>Where<br>How | |
| اجرای برنامه ها و ثبت گزارش | - | DO |
| ارزیابی نتایج | - | CHECK |
| استاندارد سازی برنامه | - | ACTION |
| اجرای استاندارد تدوین شده | - | |

## مواد و روشها

## MCM دستگاه پیشنهادی برای کاهش هزینه نگهداری وتعمیرات ماشین آلات تبدیلی کشاورزی

سیستم های متداول پیشگویی خرابی مانند سیستم های مبتنی بر پایه آنالیز ارتعاشات اغلب از تهیه معیارها و ابزار هایی برای آنالیز متغیر های مورد نظر فراتر نمی روند. تاثیر عوامل بیرونی مثل ارتعاشات محیط اطراف تعیین محل دقیق قرار گیری ابزار های اندازه گیری را پیچیده می کند. سیستم های پایش پیشرفته ای که در صنایع بزرگ استفاده می شوند نیز محدودیت های خاص خود را دارند . این دستگاهها برای تکمیل پایگاه داده، نیاز به دوره های تست طولانی مدت دارند تا بتوانند بطور قابل اطمینان انجام وظیفه نمایند. بدین منظور لازم است که اطلاعات آنها به روز نگه داشته شود تا به توانند وقایع جدیدتری را در بر گیرند.

[1] Off-Line Condition Monitoring

اعلام هشدار های اشتباه توسط دستگاههای آنالیز وضعیت، همیشه موجب سردرگمی و اتلاف وقت برای تکنسین ها و مسئولین نگ داری و تعمیرات می شود .

از طرف دیگر، اندازه گیری سیگنال های الکتریکی مانند ولتاژ و جریان بسیار ساده تر و قابل اطمینان می باشد و تاثیر بسیاری از خرابی ها بر جریان استاتور، شناخته شده است. اشکالات مکانیکی مانند فاصله هوایی، خارج از مرکز بودن، نا هم راستایی و خرابی بلبرینگ موجب تغییر در نشت شار مغناطیسی و نیز تغییر در میزان قطع خطوط میدان و در نتیجه تغییر در نیرو محرکه مغناطیسی می شوند. این کمیت ها همگی نسبت مستقیمی با جریان استاتور دارند. تکنولوژی مدلسازی تجربی که آرتسیس (Artesis) از آن برای پیشگویی خرابی ها استفاده می کند میتواند ارزیابی کلی از وضعیت موتور را بدون نیاز به دوره های تست طولانی و آنالیز های ویژه به همراه داشته باشد. در این روش تنها از ولتاژ و جریان سه فاز به عنوان متغیر ورودی استفاده شده و دیگر عوامل بیرونی مانند ارتعاشات، روی آن تاثیر گذار نیستند.

در جدول۴ به مقایسه ای بین روشهای متداول ( آنالیز ارتعاشات پیوسته، آنالیز ارتعاشات سیار، آنالیز جریان) در نگهداری پیشگویانه و MCM می پردازیم. با توجه به آن MCM به عنوان یک ایده برتر شناخته می شود.

**جدول ۴- مقایسه بین روشهای رایج PdM و MCM [۵]**

| FEATURES | MCM | Current Signature Analysis | Portable Vibration Analysis System | Continous Vibration Analysis Systems |
|---|---|---|---|---|
| Inexpensive ? | Yes | No | Yes | No |
| Simple to install/ acquire data ? | Yes | Yes | No | No |
| Simple to use? | Yes | No | No | Yes |
| Can be used by untrained Personel? | Yes | No | No | Yes |
| Comprehensive fault coverage, both mechanical and electrical? | Yes | Yes | No | No |
| Lower thresholds/ Advanced Warning? | Yes | Yes | Yes | No |
| Maintenance planing capability? | Yes | No | No | Yes |
| Integration to factory automation systems? | Yes | No | No | Yes |

## نگاه کلی به MCM

MCM[1] دستگاهی است که توانایی تشخیص زود هنگام عیوب مکانیکی و الکتریکی را در موتورهای الکتریکی و سیستم های بر پایه موتور را دارد. تکنولوژی مدلینگ که به طور آزمایشی در MCM استفاده شده است می تواند بطور اتوماتیک اشکالات را بیابد و از ایجاد خرابی در ماشین جلو گیری کند. در امه ضمن تشریح این تکنولوژی، نتایج آزمایشاتی که برای تعیین ظرفیت عیب یابی در MCM انجام شده بیان می شود.

## شرح دستگاه MCM

اساس کار این تکنولوژی جدید را ساخت مدلی ریاضی از ماشین مورد نظر تشکیل میدهد. فرض کنید که ما بتوانیم مدلی ریاضی به سازیم که به صورت مجازی مانند ماشین ورد نظرا، مثلاً یک موتور-پمپ، در شرائط عملیاتی گوناگون کار انجام دهد . بدین ترتیب صاحب دو ماشین خواهیم شد، یکی ماشین واقعی و دیگری مدلی مجازی که از روی آن ساخته ایم که آن را مدل مرجع[2] می نامیم. اگر این مدل ریاضی به دقت ساخته شده باشد، طبعاً عملکرد مدل بطور مجازی دقیقاً مشابه ماشین واقعی خواهد بود که مدل آن تهیه شده است. حال اگر ورودی های ماشین واقعی را در شرایط روز به مدل مرجع بدهیم خروجی هائی از آن دریافت خواهیم کرد که مقایسه آن با خروجی های ماشین واقعی تغییرات در وضعیت ماشین واقعی نسبت به دوره ای که

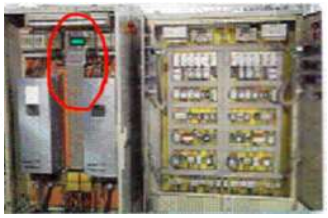
[1] پایش موتور Motor Condition Monitoring

[2] Reference Model

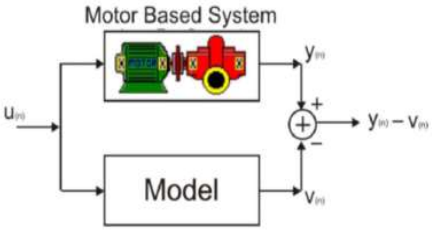
مدل مرجع را ساخته ایم را نشان می دهد. بدیهی است اگر اختلافها ناچیز باشد ماشین تغ یر وضعیت نداده و بالعکس اختلافهای زیاد معرف تغییر وضعیت ماشین ست. شکل۳ نمای ساده ای از یک چنین سیستمی را نشان میدهد[۴].

MCM از تکنولوژی مدلسازی و آزمون مقایسه برای پیشگویی اشکالات اولیه در موتور های الکتریکی استفاده می کند. اصل اساسی که برای رسیدن به این هدف بکار میرود بر پایه مقایسه رفتار موتور واقعی با مدل الکترو مکانیکی آن بنا شده است. این مدل شامل معادلات ریاضی مختلفی است که رفتار الکترو مکانیکی موتور را شرح می دهند. MCM اطلاعات را لحظه به لحظه از موتور در یافت کرده و سپس آنها را در مجموعه ای از الگوریتم های شناسایی مورد پردازش قرار می دهد تا بوسیله آنها پارامترهای مدل الکترو مکانیکی را بدست آورد . MCM بصورت یک جعبه کوچک (۱۹/۵×۹×۹Cm [3]) ساخته شده که می تواند به راحتی روی پنل کنترل موتور نصب شود ( شکل های ۲و۳ ). بروی آن ۵ حالت مختلف هشدار قرار داده شده ، نگهداری برنامه ریزی شده و توقف اضطراری هم از دیگر امکانات آن می باشد .

**شکل۲- دستگاه MCM**



**شکل۳-MCM روی کنترل پنل**




**شکل۴ – مقایسه رفتار موتور با مدل آن**

در شکل ۴، *U(n)* ولتاژ های (دینامیکی) ورودی به موت ر و مدل ریاضی است که به طور دائم توسط سیستم اندازه گیری می شوند. پارامتر *Y(n)* جریان های (دینامیکی) سه فاز موتور است که توسط آمپر سنج اندازه گیری و به سیستم ارسال می شوند. پارامتر *V(n)* جریان های محاسبه شده(خروجی) توسط مدل با توجه به ولتاژ ه ورودی است. در صورت وقوع عیب در موتور الکتریکی یا ماشین متصل به آن، شکل موج سیگنالهای جریان تغییر می کند. تغییر سیگنالهای جریان به معنی تغییر رفتار موتور با مدل ریاضی آن است. به عنوان مثال نیروهای ناشی از عدم تعادل[۱] و عدم هم محوری[۲] در یک فن یا پمپ از طریق کوپلینگ به روتور ماشین الکتریکی منتقل و در نتیجه باعث ایجاد تغییراتی در میدانهای مغناطیسی و در پی آن تغییر سیگنالهای جریان متناسب با فرکانس نوسانات می شود.

بدین ترتیب *(Y(n) – V(n))* اختلاف بین خروجی واقعی موتور و مدل آن اگر برابر یا نزدیک صفر باشد رفتار ماشین تغییر قابل توجهی نسبت به مدل ریاضی ننموده و در غیر ای نصورت سیستم با توجه به شکل و سطح اختلاف اعلام خطر کرده و با توجه به توابع تعریف شده در آن، حتی نوع/کلاس عیب اعم از الکتریکی یا مکانیکی را هم معرفی خواهد کرد. این سیستم جمعاً ۲۲ پارامتر را مانیتور و با پارامتر های مدل مقایسه می کند. این پارامتر ها در سه گروه مکانیکی، الکتریکی و پارامتر های همخوانی مدل[۳] تقسیم می شوند.

صفحه نمایش دستگاه کمیت های فیزیکی نظیر مقدار ولتاژ rms [۴] از هر سه فاز، مقدار جریان، توان مصرفی، ضریب قدرت و خروجی ثانویه را نشان می دهد. دستگاه MCM از ولتاژ و جریان موتور به عنوان تغذیه استفاده می کند. سنسور جریان با توجه به توان موتوری که باید مانیتور شود انتخاب و به طور جداگانه نصب می شود. سخت افزار MCM شامل یک پردازنده RISC به همراه مبدل A/D آنبورد و حافظه RAM می باشد . این دستگاه نیاز به 2Mb(DRAM) و 4Mbits(Serial Flash) حافظه و یک پرت سریال I/O از نوع RS-485 برای تبادل اطلاعات دارد. همچنین MCM بسیار انعطاف پذیر بوده و می تواند به صورت یک چیپ برنامه ریزی شده به عنوان کیت ارتقاء دهنده روی موتور نصب شود و به طور هوشمندانه قبل از ایجاد هرگونه خرابی اشکالات دستگاه را اطلاع داده تا در کمترین زمان آنها رفع شوند.

---

[1] Unbalance
[2] Misalignment
[3] Fit problems

[4] – ولتاژ متوسط موثر در خطوط سه فاز

MCM دارای سه وضعیت کاری زیر است :

۱- **حالت تطبیق**[1]: در این حالت MCM ولتاژ رودی و جریان مصرفی موتور را اندازه گیری می کند سپس ولتاژ و جریان را پردازش کرده و مقدار عدم تعادل آن را بدست می آورد. سپس کمیت های اندازه گیری شده و محاسبه شده را برای کمتر بودن از مرز مشخص بررسی می کند و در خاتمه فرکانس ولتاژ و سیگنال جریان را محاسبه می نماید.

۲- **حالت آموختن**[2]: در این حالت MCM بصورت تکراری اطلاعات را از موتور در حال کار و تحت بار دریافت کرده و پردازش می کند، سپس بوسیله آنها مدلی از موتور تهیه و در حافظه خود نگهداری می نماید.

۳- **حالت آزمون**[3]:در این حالت MCM رفتار موتور را مورد آزمون قرار داده و با مدلی که در حالت آموختن، بدست آورده مقایسه می کند، این کار چندین بار و به تناوب انجام می شود. به علاوه داده های خروجی را با داده های خروجی که به طور پیشگویی از روی مدل بدست آورده مقایسه می نماید. هر نوع تغییری در رفتار موتور به صورت علائم هشدار دهنده زیر نمایش داده می شود :

- **موتور را متوقف کن**[4] : در این وضعیت رفتار موتور کاملا با مدلی که از قبل در دستگاه وجود دارد متفاوت است و باید متوقف شود .
- **تعمیرات برنامه ریزی شده**[5]: تغییر مهمی در رفتار موتور پیدا شده و تعمیرات باید انجام شود .
- **کنترل بار موتور**[6] : بار روی موتور تغییر کرده، باری که روی موتور قرار گرفته به دلایل مختلف با باری که MCM آموخته متفاوت است. این وضعیت ممکن است بوسیله تغییر شرایطی که کاربر ایجاد کرده بوجود آمده باشد بنابراین باید مقدار جدید به حافظه دستگاه داده شود. همچنین می تواند به دلیل اضافه بار غیر عمدی ناشی از خرابی در موتور باشد که کاربر باید به آن رسیدگی کند ( مانند خرابی بلبرینگ).
- **کنترل شبکه**[7] : ولتاژ خط عوض شده، ولتاژ ورودی به موتور با ولتاژی که موتور آموخته متفاوت است. این وضعیت ممکن است عادی باشد که کاربر باید مقدار جدید را برای دستگاه تعریف کند.
- **OK** : تغییری در رفتار موتور با مدل آن مشاهده نشده ست.

در حالت آزمون می توان مدلی که در MCM وجود دارد را با اطلاعات جدید بروز کرد.

## مزایای بکارگیری MCM

MCM نگهداری پیشگویانه PdM [8] را به ارمغان می آورد. منوی آسان و هشدار های گویا در MCM همگی در جهت ساده ساختن کار نگهداری پیشگویانه و افزایش بازده زمانی می باشند.

مزایای MCM از خصوصیات زیر ناشی می شوند:

۱- **تشخیص زود هنگام عیوب**: آزمایشاتی که توسط شبیه ساز خرابی انجام شده اند نشان می دهند که عیوب در مراحل ابتدایی قابل تشخیص هستند. این مزیت موجب فراهم شدن زمان کافی برای عکس العمل و جلوگیری از گسترش خرابی توسط حذف ریشه های آن می شود. همچنین زمان بین یک هشدار تا هشدار بعدی به کاربر نشان می دهد که خرابی با چه سرعتی گسترش می یابد.

۲- **بررسی پیوسته**[9] : کنترل و بررسی پیوسته که از خصوصیات MCM می باشد، موجب حذف ریسک گسترش یک عیب در فاصله زمانی دو بازدید دوره ای می شود.

---

1 Check Mode
2 Learning Mode
3 Testing Mode
4 Stop the Motor
5 Scheduled maintenance
6 Watch load
7 Watch Network
8 Predictive Maintenance
9 Continues Monitoring

۳- **تشخیص نهایی در خروجی:** خروجی دستگاه MCM وضعیت موتور را نشان داده و دیگر نیازی به تحلیل بیشتر و بکار بردن معادلات خاص نمی باشد. مسئول نگ داری و تعمیرات در زمان زودتری می تواند بررسی های بیشتر را شروع و از ابزار های کاملتر و دقیقتر برای تشخیص محل عیب استفاده کند.

۴- **پوشش فراگیر عیوب:** پوش فراگیر عیوب در MCM شامل عیوب مکانیکی و الکتریکی می باشد و آن را تبدیل به یک ابزار جامع برای مسئول نگهداری و تعمیرات کرده است. مسئول نت می تواند با خیال راحت تا اعلام هشدار بعدی موتور را از برنامه بازرسی های خود حذف نماید.

۵- **سادگی کاربرد:** کاربرد MCM برخلاف روشهای متداول نگهداری پیشگویانه نیاز به آموزش زیاد برای کاربران ندارد. آموزش کارکنان در سیستم های متداول یک امر مهم در ایجاد توانایی های جدید یا تقویت توانایی های موجود می باشد. یک پیام کوتاه و ساده از سوی دستگاه موجب مداخله سریع اپراتور یا تکنسین تعمیرات برای رفع عیب می شود.

۶- **حذف اندازه گیری های در محل:** نصب MCM روی پنل کنترل سبب عدم نیاز به اندازه گیری پارامترها در محل کار و یا نصب موتور می شود. این خصوصیت موجب حذف مشکلات دسترسی به موتور و اندازه گیری در محل های خطرناک می شود.

۷- **توسعه پذیری برای سیستم های بر پایه موتور الکتریکی:** MCM الزاما برای تشخیص عیوب در موتور های الکتریکی نمی باشد، بلکه می تواند بار های غیر معمول را در سیستم های بر پایه موتور الکتریکی تشخیص دهد، در حالیکه این بار ها برای MCM تعریف نشده اند.

بواسطه قابلیت شبکه کردن دستگاههای MCM در یک واحد صنعتی، براحتی می توان از اطاق کنترل تمامی دستگاهها را تحت نظر داشت و از راه دور موتور ها را مورد بررسی قرار داده و اقدامات لازم را مبذول داشت.

## نتیجه گیری

نتایج آزمایشاتی که در شرایط آزمایشگاهی بروی MCM انجام شده به خوبی بیانگر قابلیت آن در تشخیص عیوب مکانیکی و الکتریکی در سیستم های بر پایه موتور می باشد. تکنولوژی مدلسازی تجربی بسیار ساده تر و موثر تر از روشهای متداول عیوب را در موتور های الکتریکی پیشگویی می کند. در این تکنولوژی فقط ولتاژ و جریان سه فاز موتور که دخالت عوامل خارجی مانند ارتعاشات را حذف کرده است مورد بررسی قرار می گیرد. تصمیم گ ری درباره نحوه کار موتور از مقایسه رفتار آن با مدلی که در حالت آموختن در حافظه دستگاه ذخیره شده صورت می گیرد و وقتی تغییر در رفتار از یک میزان مشخص بیشتر شد، پیام هشدار به کاربر دستگاه داده می شود. در نتیجه تکنولوژی مدلسازی تجربی، MCM این امکان را فراهم می کند که اقدامات تعمیراتی در ابتدایی ترین حالت خرابی صورت گرفته و مدت زمان بیشتری را برای تصمیم گیری مسئول نگ اری و تعمیرات سبب می شود. با این روش زمانهای از کار افتادگی دستگاه، هزینه های تعمیرات ونگهداری و تعداد خرابی های پیش بینی نشده در صنایع تبدیلی که محیط کار موتور ها اکثراً مملو از گرد و غبار است، کاهش می یابد.

## منابع

[۱]. غلامی روچی، م. ۱۳۸۵. بررسی ویژگی ها و مشکلات صنایع روستایی کوچک. ماهنامه جهاد، شماره ۲۷۱
[۲]. استراتژی نت کارخانه کلیدی برای افزایش سود دهی. پایگاه اطلاعات صنعتی ایران، www.aftab.ir
[۳]. انواع سیاستها و روشهای نگهداری و تعمیرات. دایره المعارف ویکیپدیا، http://fa.wikipedia.org
[۴]. صادقلو،م.دویار،آ.۱۳۸۶.پایش و تشخیص عیوب الکتریکی و مکانیکی بدون نصب سنسور روی ماشین آلات.دومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت،دانشگاه صنعتی شریف.
[4].Gkmen,B.Eldem,V.James Wetherilt,A.Duyar,A.2006.”MCM: A NEW TECHNOLOGY IN PREDIECTIVE MAINTENANCE”, Plant Maintenance Resource Center\ www.plant-maintenance.com
[5]. Habetler, T.G.1995. "Motor Condition Monitoring Tutorial," IEEE IAS Annual Meeting.
[6]. Duyar,A.Merrill,W.1992."Fault Diagnosis For the Space Shuttle Main Engine," AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 15, no. 2, pp. 384-389.