

به کارگیری تکنیک پایش وضعیت برای دستیابی به بهبود کارایی در صنعت (مطالعه موردی: صنایع چوب و کاغذ مازندران)

دکتر محمد مهدی موحدی^۱

ولی الله رضایی نصرتی^۲

چکیده

مدیران امروز سعی می کنند تا با استفاده از روش های علمی علاوه بر افزایش کیفیت محصولات، قیمت تمام شده آن را هم کاهش دهند. پایش وضعیت^۳ یکی از فنونی است که در سال های اخیر مورد استقبال بیشتر مدیران صنعت قرار گرفته و البته منافع زیادی را هم عاید سازمان ها نموده است. تحلیل ارتعاشات^۴ یکی از روش های پایش وضعیت است که با به کارگیری آن در صنعت به طور چشمگیری می توان از دوباره کاری ها جلوگیری نمود و هزینه های یک شرکت تولیدی را کاهش داد. برای نشان دادن تأثیر این فن در بهبود کارایی فرآیند تولید، شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده و نحوه ی استفاده صحیح از سیستم پایش وضعیت از طریق تحلیل ارتعاشات مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق مشخص شده است که چگونه می توان با آگاهی به موقع از خرابی های دستگاه ها و اعمال تعمیرات پیشگیرانه جلوی زیان قبل از وقوع گرفته شود و ثانیاً در مصرف قطعات و وقت نیروی انسانی در نگهداری و تعمیر ماشین آلات صرفه جویی شده و در نهایت سازمان به سمت بهبود کارایی هدایت شود.

واژه های کلیدی: پایش وضعیت (CM)، تحلیل ارتعاشات، بهبود کارایی

^۱ - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه (mmmovahedi@gmail.com)

^۲ - کارشناس ارشد رشته مدیریت صنعتی از دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه، (vali.rezaee49@gmail.com)

^۳ . Condition Monitoring

^۴ . Vibration Analysis

نگهداری و تعمیرات (نت) فعالیتی است که برای اجتناب، شناسایی، پیشگیری، یا مقابله با از کارفتادگی به منظور نگهداری امکانات و تجهیزات فیزیکی سیستم کارخانه یا ماشین در یک وضعیت کارکرد بهینه یا قابل قبول صورت می‌گیرد (اسماعیل زاده خادم و همکاران، ۱۳۸۰، ۵). در شرکت‌ها به روش‌های متفاوتی فعالیت نت انجام می‌شود. نت پیشگیرانه و نت پیش‌بینانه به طور محسوسی بر کاهش هزینه‌های صنعت مؤثر است. بدون شک شرکت‌ها و کارخانجات تولیدی برای توسعه محصولات و بهبود کیفیت آن نیاز به ماشین‌آلاتی دارند که حداقل خرابی‌ها را داشته باشد. تکنیک تحلیل ارتعاشات یکی از تکنیک‌های پایش وضعیت است که می‌تواند کمک زیادی به برنامه‌ریزی نت بنماید. تحلیل ارتعاشات می‌تواند نشان دهد که ماشین‌آلات در چه وضعیتی هستند و احتمالاً کدام قطعه‌ی ماشین در حال خراب شدن است.

هدف تحقیق حاضر، بررسی تأثیر به کارگیری تکنیک تحلیل ارتعاشات روی افزایش کارایی در صنعت است. در این تحقیق، ضمن مروری بر ادبیات موضوع، نتایج حاصل از تحقیقات در رویکرد مورد نظر، و انجام مطالعه‌ی موردی در شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران، تأثیر اجرای تکنیک تحلیل ارتعاشات روی افزایش کارایی مورد بررسی قرار گرفته است. کاهش تعداد توقف‌ها، کاهش هزینه‌های نت کاهش مصرف قطعات یدکی و بهبود مستمر فرایند مواردی هستند که به عنوان افزایش کارایی مورد توجه بوده است. در پایان مقاله، نتایج جمع‌بندی گردیده و به دنبال آن پیشنهادهای کاربردی ارائه شده است.

فرضیه‌ای که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارت است از:

فرضیه‌ی مهم: به کارگیری تکنیک تحلیل ارتعاشات، باعث بهبود کارایی فرآیند تولید می‌شود.

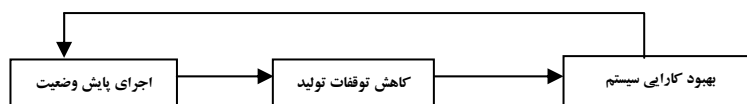
چون می توان کارایی را از طریق کاهش تعداد توقف ها، کاهش هزینه های نت و کاهش مصرف قطعات یدکی بهبود داد، فرضیه ی اهم را به سه فرضیه ی زیر می توان تقسیم نمود:

فرضیه ی اول: به کارگیری تکنیک تحلیل ارتعاشات، باعث کاهش تعداد توقف ها می شود.

فرضیه ی دوم: به کارگیری تکنیک تحلیل ارتعاشات، باعث کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات می شود.

فرضیه ی سوم: به کارگیری تکنیک تحلیل ارتعاشات، باعث کاهش مصرف تعداد قطعات یدکی می شود.

منظور از نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت^۱ عبارت از به دست آوردن علائم و نشانه هایی از وضعیت سیستم و یا ماشین در حال کار می باشد، تا دستگاه بتواند در یک شرایط ایمن و اقتصادی به کار ادامه دهد یا مورد تعمیر واقع شود. روش های متعددی برای سیستم پایش وضعیت ابداع و متداول شده است که از آن جمله می توان به تحلیل روغن، تحلیل ارتعاشات، تحلیل صوت و امثال آن اشاره کرد (سبزی، محمد و تیموری، مهدی، ۱۳۸۶).



شکل شماره (۱): فرآیند بهبود کارایی

شکل ۱ نشان می دهد که چگونه اجرای پایش وضعیت می تواند کاهش توقفات را به همراه داشته باشد و در نتیجه زمانی که توقفات تولید به حداقل ممکن

^۱ - Condition Based Maintenance

کاهش یابد، کارایی سیستم بهبود یابد. تداوم این عامل می تواند بقای سازمان ها را موجب شود. اهمیت پایش وضعیت در روند نت شرکت های تولیدی و صنایع بر کسی پوشیده نیست. پایش وضعیت راهی برای تشخیص علائم فرسایش عادی یا خرابی آنی^۱ دستگاه یا فرآیند در زمان مناسب برای دوری جستن از خرابی های اتفاقی است. به کمک پایش وضعیت (CM) می توان وضعیت دستگاه را زیر نظر گرفته و در صورت انحراف های پیاپی از رفتارهای عادی اقدام لازم برای برنامه ریزی بازدید یا تغییرات لازم در زمان مناسب را اتخاذ نمود. در صورتی که تا زمان اجرای هر مرحله از تغییرات زمان بندی شده دستگاهی بر اساس نتایج پایش وضعیت رفتار غیر عادی از خود نشان ندهد، آن دستگاه مورد بازدید قرار نمی گیرد و به این ترتیب می توان حجم قابل توجهی از فعالیت های نگهداری پیشگیرانه را کاهش داد (سبزی و تیموری، ۱۳۸۶، ۱۹۳).

به کارگیری سیستم پایش وضعیت در سازمان های تولیدی دارای مزایای مشهودی است. اگر پایش وضعیت در یک شرکت تولیدی اجرا شود می توان کاهش سطح تعمیرات عمومی کارخانه و جلوگیری از توسعه خرابی در سیستم را انتظار داشت. اجرای پایش وضعیت همچنین تعداد خرابی های سنگین و پرهزینه ماشین ها را کاهش داده و منجر به افزایش عمر دستگاه ها و کارایی آن ها خواهد شد. پایش وضعیت باعث خواهد شد هزینه های ناشی از توقف های دستگاه ها در خط تولید کاهش یابد. علاوه بر موارد فوق بعضی دیگر از مزایای مورد انتظار حاصل از اجرای پایش وضعیت به صورت زیر است (اسماعیل زاده خادم و همکاران، ۱۳۸۰):

۱- کاهش مصرف قطعات یدکی

۲- کاهش هزینه سرویس از روش افزایش فاصله زمانی سرویس ها

۳- افزایش امکان برنامه ریزی

^۱ - Instant Failure

۴- بهبود ایمنی کار دستگاه

۵- امکان کنترل کیفیت تعمیرات

۶- امکان کنترل کیفیت مواد مصرفی برای نگهداری همچون روغن و فیلترها

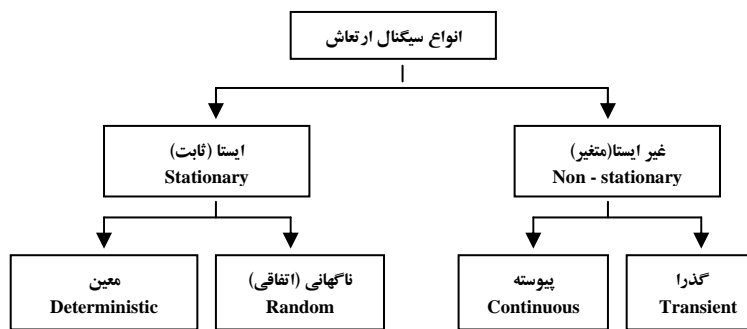
۷- کنترل فرسایش غیر عادی و کاهش خرابی‌های زودرس

۸- آماده به کار بودن بیشتر ماشین به ویژه در مواقع حساس.

همان طوری که قبلاً بیان گردید یکی از راه‌های شناخته شده برای پایش وضعیت، تحلیل ارتعاشات است که در صورت اجرای این روش مزایای اقتصادی زیادی را می‌توان انتظار داشت. امروزه تکنیک‌های تحلیل ارتعاشات به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های نظارت و کنترل ماشین‌آلات صنعتی، عمرانی، حمل و نقل و نظامی به شمار می‌رود. تحلیل حرکت‌هایی که طی زمان‌های معینی تکرار می‌شوند یا حرکت‌های دوره‌ای (پریودیک) به عنوان تحلیل ارتعاشات تعریف شده است. چنین ارتعاشاتی باعث به وجود آمدن اغتشاش در ذرات هوا در نزدیکی سطح شده و آنها را مرتعش می‌کند و بدین ترتیب تغییری در فشار جوی در حالت عادی ایجاد می‌شود. ارتعاشات بیشتر در قسمت‌های دوار ماشین‌آلات دیده می‌شود و در حرکت‌های رفت و برگشتی کمتر مشاهده می‌گردد. بنابراین تکنیک‌های مراقبت وضعیت از طریق تحلیل ارتعاشات معمولاً برای سیستم‌هایی که حرکت دورانی دارند (نظیر توربین‌ها، مولدها، گیربکس‌ها و غیره) بیشتر از سیستم‌هایی با حرکت‌های رفت و برگشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیگنال‌ها یا علائم ارتعاشی به دلیل سهولت اندازه‌گیری، به صورت گسترده در عیب‌یابی و پایش ماشینی‌آلات دوار مورد استفاده قرار می‌گیرند و حاوی اطلاعات سودمندی هستند. هرگونه تغییری بر روی سیستم منجر به تغییر در سیگنال‌های ارتعاشی خواهد شد. ارتعاشات به دو دسته‌ی آزاد و اجباری تقسیم می‌شوند. اگر به یک سیستم مکانیکی نیروی خارجی وارد شود و باعث لرزش آن گردد و بعد از برداشتن نیروی تحریک کننده همچنان به حرکت دوره‌ای خود ادامه دهد به آن ارتعاش

آزاد^۱ می‌گویند اما اگر در یک سیستم مکانیکی در اثر اعمال نیروی تحریک کننده، ارتعاشی به وجود آید و با وجود نیروی فوق ارتعاش همچنان ادامه یابد به آن ارتعاش اجباری^۲ می‌گویند. در مورد سیگنال‌های ارتعاش می‌توان گفت که به دو دسته ایستا و غیر ایستا تقسیم می‌شوند. سیگنال‌های ایستا و غیر ایستا خودشان به سیگنال‌های فرعی تر قابل تقسیم هستند که در شکل ۲ نشان داده شده است (همان منبع).

از دلایل عمده‌ی ایجاد ارتعاش در سیستم تولید این است که با وقوع فرسایش مواد و تجهیزات یک سیستم، کارائی کاهش می‌یابد و صدا و ارتعاش افزایش می‌یابد، این افزایش می‌تواند در اثر فرسوده شدن یاتاقان‌ها و یا عدم تعادل بیشتر اجزای دوار به وجود آید. بنابراین اپراتور می‌تواند برای ارزیابی وضعیت مشکل یک ماشین، صدا و ارتعاش را تحلیل کند تا قبل از آنکه مشکل ارتعاشی بسیار جدی شود. در نمودار زیر به چند نوع از این سیگنال‌ها اشاره می‌شود:



شکل شماره (۲): انواع سیگنال ارتعاشی

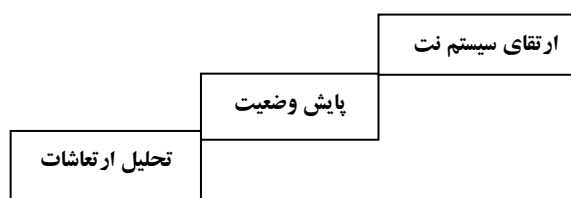
واضح است که پایش و تحلیل صدا و ارتعاشات، اجزای تشکیل دهنده و مهم یک برنامه‌ی نت پیش‌بینانه را فراهم می‌آورند. مفیدترین پارامتر ارتعاشی که کاربر می‌تواند برای بیان دامنه یا شدت ارتعاشات به کار برد سرعت است. به عنوان مثال

¹ - Free Vibration

² - Forced Vibration

سطح ارتعاشی 8 mm/sec نشان گر مقداری غیر یکنواختی یا افزایش در سایش است. اپراتور باید ماشین را به منظور پی بردن به این امر که آیا ارتعاشات موجود ناشی از اجزای نابالانس، کوپلینگ های نا هم محور، یا تشدید می باشد و یا این که ناشی از یاتاقان های فرسوده است مورد تحلیل قرار دهد. اگر سرعت ارتعاشی بین 8 و 10 mm/sec باشد اپراتور باید برای انجام تعمیرات، زمان بندی کند و بالاتر از 10 mm/sec نشان گر وقوع سایش بیش از حد است و تجهیزات نیاز به تعمیر فوری و یا توقف دارند. تحلیل و پایش صدا و ارتعاشات نیز همانند ابزارهای نت پیش بینانه به تغییرات ایجاد شده توسط سایش و تغییر در اجزای بالانس شده حساس است. موارد یاد شده، فاکتورهای از کار افتادگی اولیه هستند چون کارائی ماشین در برابر هر مقدار قابل اندازه گیری، کاهش نمی یابد. بر طبق تعریف، به محض این که کاهش کارائی شناسائی شود، از کار افتادگی پیشرفته شروع شده است (همان منبع، ۱۶).

همان طوری که در شکل شماره ۳ ملاحظه می شود، باید اظهار نمود که تحلیل ارتعاشات قدم اول برای رسیدن به نت ایده آل است زیرا با به کارگیری این تکنیک می توان جلوی بسیاری از خرابی های تجهیزات را گرفت و صرفه جویی قابل توجهی را عاید سازمان نمود. انجام تحلیل ارتعاشات در صنعت منجر به بهبود کارائی سیستم تولید می شود که یکی از ارکان پایش وضعیت است و اگر پایش وضعیت به درستی در سازمان انجام گیرد ارتقای سیستم نت را به دنبال خواهد داشت.



شکل شماره (۳): تأثیر تحلیل ارتعاشات بر نت

در مورد تحلیل ارتعاشات تحقیقات علمی و عملی بسیاری صورت گرفت که تمامی نتایج، حاکی از سودآوری این تکنیک برای سازمان است که از جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد. موحدی و رضایی نصرتی (۱۳۸۷) در مطالعه دیگری که در صنایع چوب و کاغذ مازندران انجام شده نشان داده اند که CM از طریق تحلیل روغن موجب کاهش توقف اطلاعات شکل شماره ۶ از سوابق ثبت شده سالانه واحد برنامه ریزی نت صنایع چوب و کاغذ مازندران گرفته شده است. های تولید، کاهش هزینه خرید قطعات و کاهش به کارگیری نیروی انسانی در این صنعت گردید. دابدین و ونگ^۱ (۱۹۹۱) چهار روش جداگانه برای پایش وضعیت ارتعاشی و کاربرد آنها در بررسی یاتاقان‌های دوار ارائه نموده است. پروژه آنها شامل توسعه یک برنامه‌ی رایانه‌ای برای به دست آوردن ارتعاشات و روش‌های تحلیل ارتعاشی بود (دابدین، ای و ونگ، جی، سی، اچ، ۱۹۹۱، صفحات ۲۹۵ و ۳۰). در تحقیقات انجام شده در کانادا بر روی ارتعاشات سیم پیچ استاتور، نتایج حاصله خستگی ژنراتور در اثر ارتعاش ناخواسته سیم پیچ را به همراه داشت. روش‌های دیگر پایش وضعیت، توسط موراندو^۲ مورد استفاده قرار گرفت. او دریافت که پایش وضعیت ارتعاشی می‌تواند به عنوان روشی قابل اطمینان به طور گسترده در تمام سیستم‌های مکا نیزه و برای جلوگیری از ایجاد وقفه در روند تولید و کاهش هزینه‌های ناشی از خرابی ماشین‌ها مورد استفاده قرار گیرد (موراندو، ال، ۱۹۹۸، ۴۰-۴۳). تحلیل سیگنال برای استخراج ویژگی‌های مناسب از سیگنال‌های ارتعاشی، یکی از مهم‌ترین مراحل عیب‌یابی یک سیستم است (لین، جی، زو، ام، جی، ۲۰۰۳، ص ۱۲۵۹-۱۲۶۹). از سال ۱۹۶۰ استفاده از تحلیل طیف به منظور تحلیل سیگنال‌های ارتعاشی، توسعه یافت. در

^۱-Daabdin & Wong

^۲-Morando

سال ۱۹۶۵ استفاده از روش تبدیل فوریه سریع^۱ (FFT) در تشخیص عیوب مختلف با سرعت بیشتر، مورد استفاده قرار گرفت. در اواسط ۱۹۷۰، استوارت^۲ تحقیقات گسترده‌ای برای استفاده از تحلیل ارتعاشات به عنوان ابزاری سودمند در عیب‌یابی ماشین‌ها به ویژه عیوب چرخدنده‌ها، انجام داد (رندال، آر، بی، ۱۹۸۲، ۲۵۹-۲۶۷). عوامل مؤثر در ایجاد ارتعاش و نتیجه حاصل از تحقیقات استوارت را مورد بررسی قرار دادند. مک فادن (ام سی فادن، پی، دی، ۱۹۸۸، ۴۰۳-۴۰۹). همچنین اهمیت مدولاسیون فاز در تشخیص شکستگی و ناهم‌راستایی محور را در پارامترهای سیگنال حساس به مدولاسیون فاز نشان داد. تا اواخر ۱۹۸۰، تحلیل ارتعاشات بر مبنای روش‌های حوزه فرکانس و یا حوزه زمان طیف سیگنال‌های ارتعاشی استوار بود. فورستر^۳ تحقیقات بعدی تحلیل ارتعاش را با روش تحلیل در حوزه زمان - فرکانس انجام داد (فورستر، بی، دی، ۱۹۸۹، ۷۸-۸۲). در این مقاله یک گیربکس (تراکتور MF-165) و الکتروموتور طراحی و عیوب متداول گیربکس در آن ایجاد گردید. سیگنال‌های به دست آمده، به روش تبدیل فوریه سریع تحلیل و بررسی گردید.

¹ -Fast Fourier Transform

² -Stewart

³ -Forrester

مطالعه موردی

صنایع چوب و کاغذ مازندران^۱ بزرگ‌ترین تولید کننده‌ی انواع کاغذ در ایران دارای ظرفیت تولید ۲۱۰۰۰۰ تن کاغذ در سال، شامل ۹۵۰۰۰ تن کاغذ روزنامه و چاپ و تحریر و ۱۱۵۰۰۰ تن کاغذ فلوتینگ است. این شرکت در شمال کشور و در ناحیه‌ی جنوب شرقی شهرستان ساری، در کنار جنگل‌های سرسبز شمال احداث شده و از سال ۱۳۷۶ تا کنون در حال فعالیت است. میزان کل سرمایه‌گذاری برای احداث و راه‌اندازی این کارخانه ۵۳۰/۵ میلیون دلار آمریکا و ۵۹۵۵۵۳ میلیون ریال می‌باشد. سهام‌داران این شرکت و میزان سهام آنها شامل بانک ملی ایران، ۵۸/۰۶ درصد و سازمان‌های بازنشستگی کشوری و تأمین اجتماعی جمعاً ۴۱/۹۴ درصد می‌باشد. این کارخانه دارای سه محصول و دو خط تولید است که تاکنون توانسته است علاوه بر تأمین کاغذ برای بازار داخلی، مقداری از محصول‌های تولیدی خطوط خود را به بازارهای خارج از کشور هم صادر نماید. با توجه به حجم تولید و رقابتی بودن بازار، لازم است، برای بهبود مستمر سیستم و آمادگی شرکت در رقابت داخلی و جهانی، بخش‌های مختلف سازمان مورد توجه دقیق قرار گیرد تا حداکثر پتانسیل موجود در راستای بهره‌گیری هر چه بیشتر از توانایی‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

با توجه به تعاریفی که ارائه شد ارتعاشات در واقع عیب‌یابی تجهیزاتی است که در حال کار است. این عامل نشان می‌دهد که آیا وضعیت ماشین خوب است و می‌تواند به کار ادامه دهد، یا این که به تعمیرات خاص و در زمان معین نیاز دارد، یا این که لازم است ماشین تحت نظر نگهداشته شده و با اندازه‌گیری‌های بیشتر در مورد خرابی و عوامل آن مورد تحلیل و بررسی بیشتر قرار گیرد، و یا برای اجتناب از خرابی‌های دیگر بایستی ماشین از سرویس خارج شود. اما هم محوری دقیقاً بعد

^۱ - مطالب این بخش از کاتالوگ صنایع چوب و کاغذ مازندران گرفته شده است.

از عیب‌یابی سیستم صورت می‌گیرد یعنی زمانی که دستگاه و یا ماشینی تعمیر شد، باید تنظیم گردد و این تنظیم موتور یا ماشین را هم محوری می‌گویند. در ادامه در مورد ارتعاشات و هم محوری در صنایع چوب و کاغذ مازندران بیشتر بحث خواهد شد و صرفه‌جویی‌های صورت گرفته شده در سیستم نیز تشریح می‌گردد. در این قسمت ابتدا روند تکاملی ارتعاشات را در شرکت مزبور بررسی می‌دهیم.

در شرکت مزبور که از سال ۱۳۷۶ بهره‌برداری آن آغاز گردید، تحلیل ارتعاشات و هم‌محوری بیشتر به صورت برون‌سپاری و در بعضی موارد و آنهم به صورت سنتی توسط تکنسین مکانیک انجام می‌شده است که برای شرکت هزینه سنگینی را در برداشته است. در سال ۱۳۸۱ واحدی مجزا به نام واحد ارتعاشات و هم‌محوری، زیر نظر مدیریت فنی و مهندسی، فعالیت خود را آغاز کرد. در همان اوائل کارکنان واحد مزبور طی یک آموزش کوتاه، و با خرید دستگاه ارتعاش سنج کار خود را آغاز کردند و در چهار سال با خرید تجهیزات و افزایش مهارت کارکنان واحد مربوطه انجام امور مربوط به ارتعاش سنجی و هم‌محوری دستگاه‌ها، عمدتاً توسط پرسنل واحد ارتعاشات انجام گرفته و فقط در موارد محدود مثل زمان تعمیرات سالیانه از برون‌سپاری استفاده می‌شود.

با توجه به موارد گفته شده از سال ۱۳۸۶، کلیه تجهیزات توسط واحد ارتعاشات عیب‌یابی می‌شود و در سال‌های اخیر با توجه افزایش تجربه کارکنان این واحد نه تنها کار از طریق برون‌سپاری انجام نمی‌شود بلکه در پاره‌ای از مواقع این واحد توانسته است خدماتی را به شرکت‌های درخواست کننده هم ارائه نماید و از مزایای آن بهره‌مند شود.

برای تنظیمات و هم‌محوری دستگاه‌ها و تجهیزات در بدو امر مثل ارتعاشات، عمدتاً از طریق برون‌سپاری انجام می‌شده است. از سال ۱۳۷۷ تنظیم ماشین‌آلات به روش سنتی و از طریق ساعت اندیکاتور توسط پرسنل مکانیک انجام می‌گردید که موجب اتلاف وقت می‌شد و به اضافه این که دست‌گاه‌ها با دقت تنظیم نمی‌شد.

در سال ۱۳۸۳ دستگاهی که هم‌محوری را به صورت لیزری انجام می‌دهد خریداری گردید. دلایل استفاده از چنین دستگاهی به قرار زیر بود:

دقت اندازه‌گیری در حد صدم بوده است

برای تجهیزاتی که دارای گاردان هستند مثل قسمت پرس ماشین کاغذ «هم‌محوری با ساعت اندیکاتور امکان‌پذیر نیست

تجهیزاتی که فاصله دو کوپلینگ (موتور-گیربکس) زیاد می‌باشد در صورتی که بتوانیم با میله بلند توسط ساعت تنظیم نمائیم درصد خطا بالا خواهد بود (به خاطر افتادگی میله یا اهرم)

سرعت عمل بسیار قابل توجه است.

این دستگاه اندازه بار زیر موتور را نشان می‌دهد و نیاز به شیم‌گذاری از طریق سعی و خطا نیست.

زمان کم‌تری صرف هم‌محوری می‌شود و در نتیجه توقف تولید کاهش می‌یابد و همچنین در نیروی انسانی هم صرفه‌جویی می‌شود.

با توجه به سرعت عمل این دستگاه از برون‌سپاری کارها جلوگیری خواهد شد و این عمل منجر شد که در طول دو دوره تعمیرات اساسی سالانه کارخانه^۱ هزینه‌ی خرید دستگاه مستهلک شود.

این دستگاه توانائی ثبت رکورد را در خود دارد با این عمل می‌توان سابقه رکورد را در رایانه مشخص ثبت و نگهداری نمود. به عنوان مثال در دستگاه خرد کننده چوب در واحد ۳۰۰ با مقایسه رکوردهای دو دوره عیب دستگاه مربوط شناسائی شده و این عامل باعث شد که از خسارات احتمالی جلوگیری گردد.

نکته‌ی حائز اهمیت این است که در شرکت مزبور از زمانی که واحد ارتعاشات و هم‌محوری کار خود را به صورت واحد مستقل شروع کرد، ابتدا فقط

^۱ - Shot Down

ارتعاش بعضی از دستگاه‌های مهم و حساس اندازه‌گیری می‌شد و در صورت نیاز همین تنظیم می‌شدند، ولی به مرور زمان و با تجربه و آموزش تکنسین‌های این واحد، هم اکنون ۹۰ درصد ماشین‌ها و تجهیزاتی که نیاز به ارتعاش سنجی دارند در یک دوره‌ی یک ماهه ارتعاش آنها اندازه‌گیری می‌شود و حتی در بعضی موارد که دستگاهی نیاز مبرم به ارتعاش سنجی داشته باشد هر ۱۵ روز ارتعاش آن اندازه‌گیری می‌شود.

نکته پایانی این که هر شرکتی ممکن است برای ارتعاش سنجی از نوعی کلاسه‌بندی استفاده کند، مثل نوع فنداسیون‌ها، کیلوات موتور و امثال آن. در شرکت مزبور تجهیزات به ۴ طبقه دسته‌بندی می‌شوند که توضیحات آن در جدول (۱) آمده است.

در شکل شماره ۴ الگوریتم تعمیر تجهیزات و دستگاه‌ها که توسط واحد ارتعاشات انجام می‌گیرد ارائه شده است. همان طور که در شکل ملاحظه می‌شود برای ارتعاش سنجی دستگاه‌ها ابتدا واحد ارتعاشات و هم‌محوری برنامه مورد نیاز را یا از طریق واحد برنامه‌ریزی نت که به صورت دوره‌ای این واحد ارسال می‌شود دریافت می‌کند و یا به صورت موردی واحدهای تولید نیز برای ارتعاش سنجی یا تنظیم موتور درخواستی را به واحد مزبور ارسال می‌دارد. پس از این مرحله واحد ارتعاشات و هم‌محوری نسب به شناسائی عیوب اقدام می‌کند. اگر عیب دستگاه به حدی رسیده باشد که نیازمند تعمیر باشد مراتب به واحدهای ذیربط (مکانیک یا برق) اعلام می‌گردد. تا نسبت به رفع عیب اقدام و پس از هم‌محوری تجهیزات مربوط وارد مدار تولید می‌گردد و اگر نیاز شدید به تعمیر نباشد مراتب به واحد درخواست کننده اعلام می‌شود و ماشین همچنان به کار خود ادامه می‌دهد.

جدول شماره (۱): رده بندی شدت ارتعاشات بر اساس استاندارد ISO2372

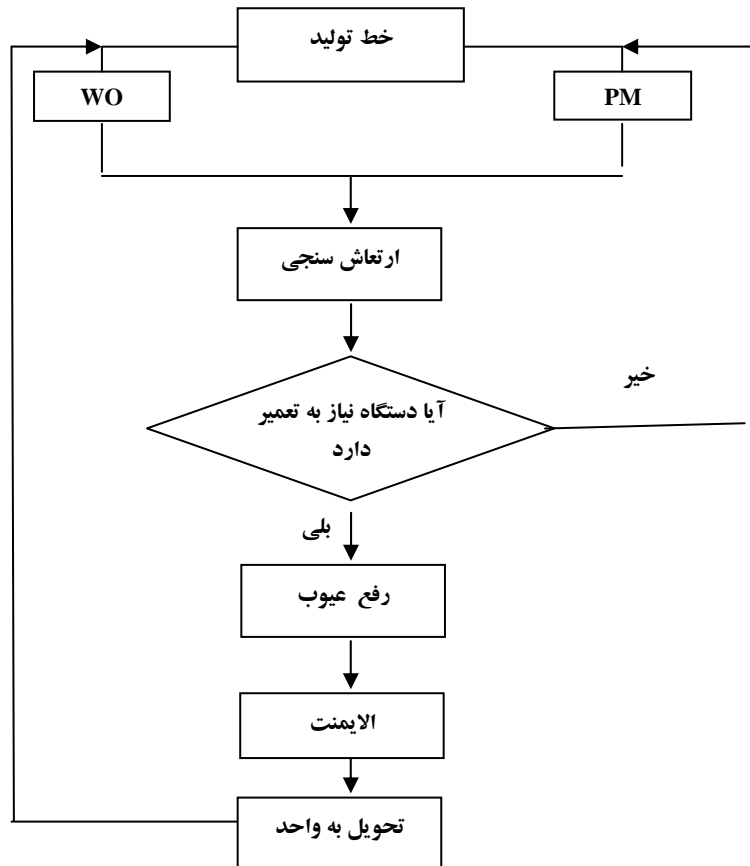
Range of Vibration Velocity			Machinery Classification			
mm/sec (RMS)	mm/sec (peak)	in/sec (RMS)	Class1	Class2	Class3	Class4
0.28	0.4	0.016	A	A	A	A
0.45	0.64	0.025				
0.71	1.00	0.039				
1.12	1.58	0.062	B	B	B	B
1.80	2.54	0.100				
2.80	3.96	0.16	C	C	C	C
4.50	6.37	0.25				
7.10	10.00	0.39	D	D	D	D
11.20	15.80	0.62				
18.00	25.40	1.00				
28.00	39.60	1.59				
45.00	63.70	2.50				
71.00	100.00	3.94				

روش تحقیق

پس از بررسی شرایط موجود، شناسایی مشکلات و موانع، تعیین استراتژی و اتخاذ راهکارهای اولویت دار، نوبت به اجرای آن می‌رسد و بر این اساس باید زمینه‌ی عملیاتی کردن راهکارها فراهم شود تا بتواند منجر به محقق‌سازی اهداف و مأموریت‌های کلان سازمان گردد. نظر به مشکلات موجود، سازمان مورد مطالعه در راستای طرح مورد نظر، راهکارهایی برای رفع مشکلات و بهبود فرایند مصرف قبلی اتخاذ نموده و به کار گرفت (علی‌احمدی و دیگران، ۱۳۸۵).

در این تحقیق پس از ارائه تعاریف مختصر از پایش وضعیت که در بخش‌های قبلی آمده است، طی یک مطالعه موردی در صنایع چوب و کاغذ مازندران، نتایج حاصل از به کارگیری تکنیک پایش وضعیت مورد مطالعه قرار

گرفت. در این تحقیق برای آزمون هر یک از فرضیه‌ها، ابتدا وضعیت تحلیل ارتعاشات و هم‌محوری در کارخانه مزبور مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و فرایند الگوریتم آن به صورت شکل شماره (۴) ترسیم گردید.

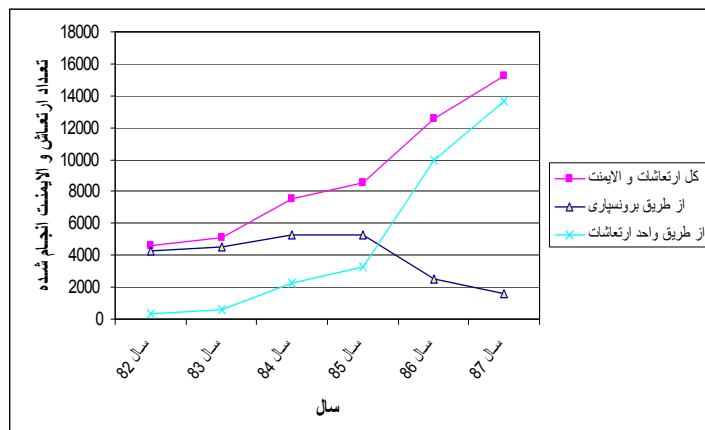


شکل شماره (۴):

الگوریتم ارتعاش‌سنجی و هم‌محوری تجهیزات و دستگاه‌ها توسط واحد ارتعاشات

بدیهی است که استفاده از روش‌های علمی، کاهش هزینه‌هایی را در برخواهد داشت و به دنبال آن سیستم تولیدی نیز ارتقا یافته و در نتیجه بهبود

کارایی را به دنبال دارد. برای نشان دادن مراتب فوق به واحد ارتعاشات و هم‌محوری کارخانه مزبور مراجعه شد و ابتدا الگوریتم انجام ارتعاشات که به صورت شکل شماره ۴ انجام می‌شود، تشریح گردید. سپس اطلاعات حاصل از تعداد ارتعاشات انجام شده از ابتدای بهره‌برداری شرکت تاکنون که از طریق برون‌سپاری و یا از طریق خود واحد ارتعاشات انجام می‌گیرد دریافت شد. اطلاعات نشان می‌دهد که روند ارتعاشات انجام شده در طول این سال‌ها افزایشی بوده است که این عمل باعث کاهش هزینه تعمیرات خواهد شد. از طرف دیگر با پیگیری واحد ارتعاشات و هم‌محوری و خرید دستگاه‌ها و تجهیزات مورد نیاز، به مرور زمان اندازه‌گیری ارتعاشات و هم‌محوری دستگاه‌ها، از طریق پرسنل واحد انجام شد و در نتیجه، با توجه به این که سابقاً ارتعاشات و هم‌محوری دستگاه‌ها از طریق برون‌سپاری انجام می‌شده است، هزینه‌های شرکت کاهش یافت. شکل (۵) به روند ارتعاش‌سنجی صنایع چوب و کاغذ را در طول سال‌های گذشته نشان می‌دهد^۱.



شکل شماره (۵): تعداد ارتعاشات و هم‌محوری انجام شده در صنایع چوب و کاغذ مازندران

^۱ - اطلاعات شکل شماره ۵ از سوابق ثبت شده سالانه واحد برنامه‌ریزی نت و واحد پیمان‌ها و قراردادهای صنایع چوب و کاغذ مازندران گرفته شده است.

جدول شماره (۲): مقایسه هزینه ایمنت تجهیزات سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ در صنایع چوب و

کاغذ مازندران

سال ۱۳۸۲			
نام تجهیز	هزینه ایمنت هر تجهیز	تعداد تجهیز	هزینه کل
چپیر اسلایسر	۶۷۰۰۰۰۰	۱	۶۷۰۰۰۰۰
پلاک اسکرو فید	۵۰۰۰۰۰	۱	۵۰۰۰۰۰
فن ها	۱۵۰۰۰۰۰	۱	۱۵۰۰۰۰۰
موتور درام	۱۰۰۰۰۰۰	۱	۱۰۰۰۰۰۰
چپیر	۲۶۰۰۰۰۰	۱	۲۶۰۰۰۰۰
موتور تا ۲۰۰ kw	۵۰۰۰۰	۹۶۱	۴۸۰۵۰۰۰
موتور ۲۰۰-۳۰۰ kw	۷۰۰۰۰	۵۷۵	۴۰۲۵۰۰۰
موتور ۳۰۰ kw	۱۰۰۰۰۰	۲۱۱	۲۱۱۰۰۰۰
جمع هزینه ها			۷۲۹.۴۰۰.۰۰۰

سال ۱۳۸۷			
نام تجهیز	هزینه ایمنت هر تجهیز	تعداد تجهیز	هزینه کل
چپیر اسلایسر	۰	۱	۰
پلاک اسکرو فید	۰	۱	۰
فن ها	۰	۱	۰
موتور درام	۱۰۰۰۰۰۰	۱	۱۰۰۰۰۰۰
چپیر	۰	۱	۰
موتور تا ۲۰۰ kw	۷۵۰۰۰	۲۷۸	۱۱۴۰۰۰۰
موتور ۲۰۰-۳۰۰ kw	۹۷۰۰۰	۱۵۶	۷۰۸۱۰۰۰
موتور ۳۰۰ kw	۱۳۰۰۰۰	۸۵	۴۵۵۰۰۰۰
			۵۷.۰۳۲.۰۰۰

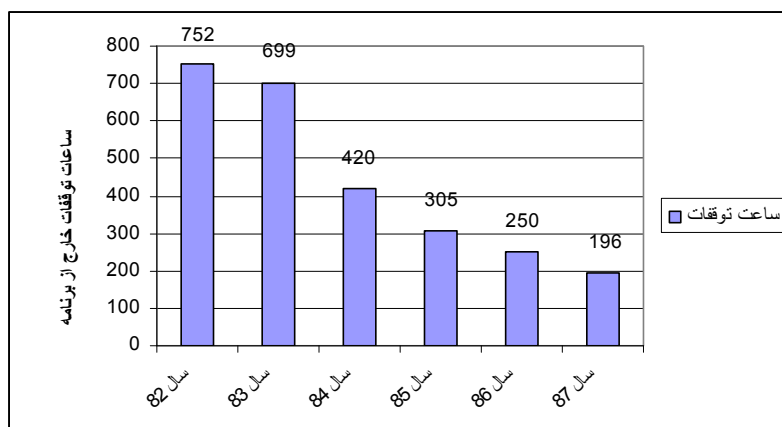
مأخذ: قراردادهای منعقد شده با شرکتهای پیمانکاری طرف قرارداد با صنایع چوب و کاغذ مازندران.

همان طوری که گفته شد، استفاده از روش ها و تکنیک های علمی به طور محسوسی هزینه های سیستم تولید را کاهش می دهد. به عنوان نمونه باید متذکر شد که با توجه به خرید دستگاه و تجهیز Vib Expert و آموزش تکنسین واحد ارتعاشات در مورد این دستگاه باعث شده است که هزینه خرید دستگاه که مبلغ

چهارصد میلیون ریال است که در تعمیرات سالیانه همان سال با کاهش هزینه برون‌سپاری در این زمینه جبران شده است و این روند در سال‌های ۸۶ و ۸۷ صعودی بوده و توانسته است کاهش هزینه‌ی محسوسی برای شرکت داشته باشد. جدول زیر مقایسه هزینه الایمنت موتورها در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ که از طریق برون‌سپاری انجام شده، درج گردیده است. برای آزمون فرضیه‌ها از تحلیل آمار توصیفی داده‌های قبل و بعد از به کارگیری تکنیک تحلیل ارتعاشات هم استفاده شده است.

یکی از عوامل تأثیرگذار تحلیل ارتعاشات در صنایع چوب و کاغذ مازندران، کاهش توقفات بوده است. برای آزمون فرضیه شماره‌ی (۱) به واحد برنامه‌ریزی نت مراجعه شده و مستندات مربوط به توقفات برنامه‌ریزی نشده خط تولید مورد بررسی قرار گرفت نمودار زیر بیانگر این است که فعالیت‌های انجام شده در زمینه ارتعاشات و الایمنت در صنایع چوب و کاغذ مازندران منجر به کاهش توقفات خط تولید شده و کمک زیادی به واحد نت از نظر جلوگیری از دوباره کاری و تعمیر مجدد ماشین‌آلات نموده است. از مزایای دیگر آن کاهش نیروی انسانی در نت و تشخیص سریع خرابی و رفع عیوب به موقع را می‌توان نام برد. اطلاعات کسب شده توقفات خط تولید در چند سال اخیر که از واحد برنامه‌ریزی کسب گردید را در شکل (۶) نمایش داده شده است^۱ (سوابق ثبت شده سالانه مربوط به صنایع چوب و کاغذ). با توجه به مستندات ارائه شده فرضیه‌ی شماره (۱) تأیید می‌گردد.

^۱ - اطلاعات شکل شماره ۶ از سوابق ثبت شده سالانه واحد برنامه‌ریزی نت صنایع چوب و کاغذ مازندران گرفته شده است.



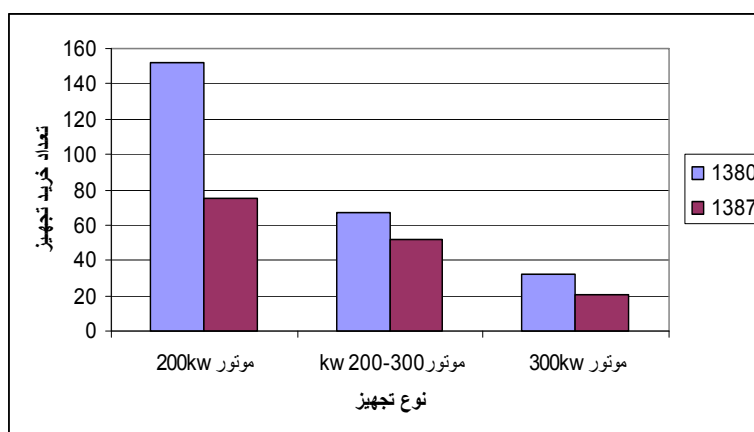
شکل شماره (۶): روند تعداد توقف‌های خط تولید در صنایع چوب و کاغذ مازندران

مستندات به دست آمده از برنامه‌ریزی نت در خصوص هزینه‌های مربوط به الایمنت موتورها در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۷ نشانگر این مطلب است که هزینه‌های نت در بین این سال‌ها به طور محسوس کاهش یافته و بنابراین فرضیه ی دوم تحقیق نیز تأیید می‌شود. همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، در سال ۱۳۸۲ مبلغ ۷۲۹.۴۰۰.۰۰۰ ریال بابت الایمنت تجهیزات که از طریق برون‌سپاری انجام شده است هزینه گردید، در حالی که هزینه ی برون‌سپاری الایمنت پمپ‌ها در سال ۱۳۸۷ مبلغ ۵۷.۰۳۲.۰۰۰ ریال بوده است که ۹۲ درصد کاهش هزینه را داشته است. در این قسمت باید متذکر شد به دلیل این که در زمان تعمیرات سالیانه، زمان مورد نیاز برای تنظیم موتورها بیشتر از زمان در نظر گرفته شده برای تعمیرات است، شرکت مزبور مجبور است تعمیر تعدادی از تجهیزات را از طریق برون‌سپاری انجام دهد.

استفاده از تکنیک ارتعاشات و الایمنت در سیستم نت منجر به کاهش خرید قطعات خواهد بود زیرا تنظیم خوب دستگاه‌ها باعث می‌شود طول عمر دستگاه‌ها افزایش یابد و قطعات دیرتر خراب شوند. شاید به طور حتم نتوان اظهار کرد که

چه مقدار هزینه‌ی خرید قطعات کاهش خواهد یافت و یا چقدر از منابع انسانی کم‌تری در نت استفاده می‌شود. برای اثبات این ادعا به انبار قطعات یدکی شرکت مراجعه نموده و تعداد موتورهای خریداری شده بین سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ مورد بررسی قرار گرفت. مستندات نشان می‌دهد که در خرید این تجهیزات برای شرکت مزبور هم هزینه‌ها به طور محسوسی کاهش یافته است. بنابراین فرضیه سوم که بیان می‌کند به کارگیری تکنیک تحلیل ارتعاشات، باعث کاهش مصرف تعداد قطعات یدکی می‌شود. مورد تأیید قرار می‌گیرد.

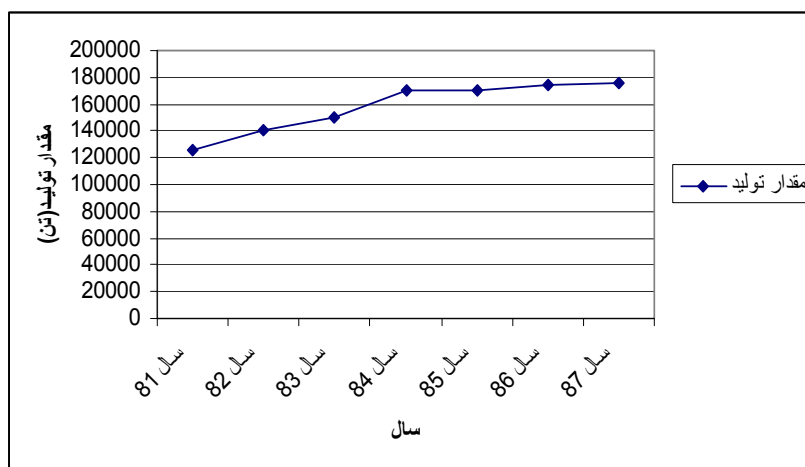
مقایسه‌ی خرید بین سه نوع از موتورها، بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷، که در جدول یک نیز از آنها نام برده شد، به صورت نمودار شکل شماره ۷ بیان می‌گردد.



شکل شماره (۷): مقایسه خرید قطعات یدکی (سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۷) در شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران

دیگر مزایای فرایند تحلیل ارتعاشات علاوه بر صرفه‌جویی حجمی و متعاقب آن صرفه‌جویی ریالی، می‌توان به بهبود کارایی سیستم هم اشاره کرد. پیرو مباحث گذشته تحلیل ارتعاشات در صنایع چوب و کاغذ مازندران منجر به کاهش توقفات

گردیده که این خود افزایش تولیدات را در بر داشته است. برای نشان دادن رشد تولید در چند سال گذشته و آزمون فرضیه‌ی مهم به واحد برنامه‌ریزی تولید مراجعه نموده و مطالب دریافت شده از آن واحد را به صورت شکل ۷ ترسیم گردیده است. داده‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های مورد مطالعه از نظر رشد تولید نیز موفقیت‌هایی داشته است و با کمی احتیاط، این رشد تولید را می‌توان به علت موفقیت‌های شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران در امر جلوگیری از توقفات بی‌مورد ماشین‌آلات و تجهیزات که به خاطر تحلیل ارتعاشات و الایمنت به دست آمده، نسبت داد. بنابراین فرضیه‌ی مهم نیز مورد تأیید قرار می‌گیرد. در شکل شماره ۸ روند تولید کاغذ در طول سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ نشان داده شده است.



شکل شماره (۸): روند تولید کاغذ در صنایع چوب و کاغذ مازندران

واضح است که تمام موفقیت‌های حاصله را نمی‌توان مستقیماً به پایش وضعیت و فعالیتهای مربوط به تحلیل ارتعاشات نسبت داد، ولی عملیات انجام شده طبق الگوریتم موجود با بهره‌گیری از تجهیزات و نتایج فرایند پایش وضعیت اقدامی مؤثر در راستای بهبود کارایی بوده و موفقیت‌های حاصله را باید به مجموعه

اقدام‌های موصوف نسبت داد که بدون پایش وضعیت و فرایند تحلیل روغن، قابل حصول نبوده است.

بحث و نتیجه گیری

امروزه یکی از رموز موفقیت مدیران شرکت‌های تولیدی استفاده از تکنیک و روش‌های علمی در پیشبرد امور است، زیرا سازمان‌ها همواره به دو روش زیر که بدون شک مکمل هم نیز هستند می‌توانند به موقعیت‌هایی دست یابند.

الف- بهبود کیفیت محصولات که خواسته‌های مشتریان را برآورده نماید.

ب- کاهش هزینه تمام شده محصولات.

در این تحقیق نشان داده شد که با استفاده از تحلیل ارتعاشات و هم‌محوری صرفه‌جویی زیادی عاید سازمان می‌شود و علاوه بر آن مزایای زیادی را به دنبال دارد که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- کاهش توقفات تولید: پایش وضعیت باعث می‌شود قبل از آن که دستگاه خراب شود و خط تولید دچار مشکل گردد، بتوان عیب آن را شناسایی و رفع نمود. به عنوان مثال ارتعاش سنجی دستگاه منجر می‌شود قبل از این که دستگاه مورد نظر از جهت خرابی به حالت بحرانی برسد، تعمیر شده و از هزینه‌های اضافی در این زمینه جلوگیری شود و از توقف پیش‌بینی نشده‌ی تجهیزات جلوگیری گردد.

۲- یکی از نتایج ملموس استفاده از تکنیک‌های جدید در صنایع کاهش هزینه از طریق کاهش خرید قطعات و تجهیزات است. با ملاحظه‌ی شکل شماره ۷ به خوبی مشخص است که با انجام CM در شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران در خرید تجهیزات به طور محسوسی صرفه‌جویی شده است.

۳- بهبود کارایی سیستم: همان طوری که در شکل شماره ۸ نشان داده شد، از سال ۱۳۸۲ تاکنون تولیدات کارخانه افزایش داشته است که یکی از دلایل اصلی آن را می توان در کاهش توقفات دانست، که آن هم از طریق پایش وضعیت حاصل گردیده است.

۴- اگر پایش وضعیت (CM) به خوبی در سیستم تولیدی انجام گیرد به نیروی انسانی کمتری در نت نیاز خواهیم داشت و از این طریق هزینه های پرسنلی به طور محسوسی کاهش می یابد.

منابع :

- اسماعیل زاده خادم و دیگران (۱۳۸۰)، تکنولوژی‌های نگهداری و تعمیرات و تحلیل ارتعاشی ماشین‌آلات، چاپ اول، انتشارات دانشگاه گیلان.
- تمیزی، خسروی (۱۳۸۰)، بالانس در محل، چاپ اول، انتشارات حسام.
- سبزی، محمد و تیموری، مهدی (۱۳۸۶)، تحلیل ریشه‌ای عیوب (RCA) بر اساس نتایج پایش وضعیت، مجموعه مقالات دومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت، دانشگاه صنعتی شریف.
- علی احمدی و همکاران (۱۳۸۵)، نگرشی جامع بر مدیریت استراتژیک، چاپ پنجم، انتشارات تولید دانش.
- موحدی، محمدمهدی و رضایی نصرتی، ولی الله (۱۳۸۷)، بهره‌وری اقتصادی پایش وضعیت (CM) با به کارگیری تکنیک‌های تحلیل روغن، مجله مدیریت و توسعه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین.
- Daabdin, A. and Wong, J.C.H., (1991), Different vibration monitoring techniques and their application to rolling element bearings, Inter. J. Of Mechanical Engng. Educ., 19, 4, October, pp. 295-304k.
- Forrester, B. D., Use of the Wigner-Ville Distribution in Helicopter Transmission Fault Detection,
- Henry C. Pusey., (2000), Machinery Condition Monitoring, Sound & Vibration.
- Kryter R. C., (1958), & H. D. Haynes. Condition Monitoring of Machinery Using Motor Current Signature Analysis, Sound & Vibration, Vol. 23, No.9, pp. 14-21.
- Lin, J., Applying Stator end-winding Vibration Monitoring Technology, AT.J.H. Comp bell generation plant, Sales Engineering, Vibrosystem. Inc. Longueuil, QC.
- Lin J., Zuo M. J., (2003), Gearbox fault diagnosis using adaptive wavelet filter, Mechanical systems and signal processing, vol. 17(6), pp. 1259-1269.

- Lin, Haijin, Accounting Discretion and Managerial Conservatism: An Intertemporal Analysis,
- Working Paper, Carnegie-Mellon University.2004
- McFadden, P. D., (1985), Analysis of the vibration of the input bevel pinion in RAN Wessex helicopter main rotor gearbox WAK143 prior to failure, Aero Propulsion Report 169, Department of Defense, Aeronautical Research Laboratory.
- McFadden, P.D., (1988), Determining the Location of a Fatigue Crack in a Gear from the Phase of the Change in the Meshing Vibration, Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 2(4), pp. 403-409.
- McFadden P. D., (2003), Cook J.G., Forster M., Decomposition of gear vibration signals by the generalized Stransform.
- Mitchell, J. S., (1994), Machine Condition Monitoring – Fact or Fiction, Sound & Vibration, Vol. 28, No. 9.
- Morando, L.E, (1998), bearing condition monitoring by shock pulse method. Iron and Steel Engineering, December, pp. 40-43.
- Randall, R.B., A., (1982), New Method of Modeling Gear Faults, Journal of Mechanical Design, Vol. 104, pp. 259-267.

