

عیب یابی علت خرابی زود هنگام بیرینگ الکتروموتورهای واقع در پمپ خانه کارخانه احیاء مستقیم شماره ۲ شرکت جهان فولاد سیرجان

سجاد گنبدکناری^۱، مهدی پرمی^۲، بهروز پاریزی^۳

۱ - سرپرست الکترومکانیک بازرسی فنی، مرکز تحقیقات، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

۲ - مدیر بازرسی فنی، مرکز تحقیقات، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

۳ - رئیس بازرسی فنی، مرکز تحقیقات، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: s.gonbadkenari@sjsco.ir

چکیده

پایش وضعیت مزایای بسیاری از جمله کاهش هزینه های نگهداری، کاهش زمان خرابی، طولانی شدن عمر تجهیز دارد. تکنیک های تست غیرمخرب (NDT) شرایط تجهیز را بدون تأثیر بر عملکرد ساختاری آنها ارزیابی می کنند، بنابراین نقش مهمی در تشخیص سلامت تجهیز ایفا کرده اند. در میان تکنیک های مختلف که برای کاربردهای پایش وضعیت بررسی شده اند، تکنیک های مبتنی بر ارتعاش محبوب تر هستند، زیرا لرزش اندازه گیری شده از تجهیز حاوی اطلاعات فیزیکی هستند که مستقیماً شدت عیب را منعکس می کنند. در این تحقیق از میان ۷ پمپ تقریباً یکسان واقع در پمپ خانه، کارخانه احیاء مستقیم شماره ۲ شرکت جهان فولاد سیرجان با توجه به شرایط کارکرد یکسان و همچنین تشابه عیب در همه آنها با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات و تحلیل نمودار FFT مورد بررسی قرار گرفت. نشان داده شد عیب مشترک در ارتعاشات فرکانس بالا و ساید باند های ۱۰۰ هرتز که می تواند ناشی از عیوب الکتریکی باشد که منجر به خرابی بیرینگ و کاهش تناژ تولید می گردد. پس از مشخص شدن عیب و برنامه ریزی دقیق جهت تقویت و اصلاح سیستم ارتینگ این تجهیزات باعث کاهش ارتعاشات فرکانس بالا و جلوگیری از خرابی زود هنگام این پمپ ها گردید.

کلمات کلیدی: ارتعاشات فرکانس بالا، عیوب الکتریکال، خرابی بیرینگ، ارتینگ

مقدمه

پایش وضعیت اندازه گیری پارامترهای خاصی از تجهیزات مانند ارتعاشات در یک ماشین، درجه حرارت آن، صدای آلتراسونیک یا وضعیت روغن آن است که این پارامترها علائمی از هرگونه تغییر مهم در تجهیز را نشان می دهند که می تواند نشان دهنده نقص قریب الوقوع در تجهیز باشند.

نظارت مستمر بر وضعیت تجهیزات و توجه و یادداشت هرگونه بی‌نظمی نامعمول در تجهیز که به طور معمول طول عمر آن را کاهش می‌دهد اجازه می‌دهد تا تعمیر و نگهداری و یا اقدامات پیشگیرانه دیگری پیش‌بینی شود تا قبل از بروز مشکلات جدی‌تر موضوع حل شود.

پایش وضعیت جزو اجزای اصلی نگهداری پیش‌بینانه بوده (در این روش تعمیر و نگهداری بر اساس آنچه ممکن است خرابی رخ دهد و چه برنامه‌هایی برای نگهداری باید برای جلوگیری از وقوع چنین خرابی‌هایی برنامه‌ریزی شود) و داده‌های جمع‌آوری شده از پایش وضعیت در طول زمان، اطلاعات ارزشمندی در مورد وضعیت فعلی و تاریخچه کارکرد یک تجهیز ارائه می‌دهد [1].

۱-۱ شرح فرآیند تولید آهن اسفنجی

پروژه تولید آهن اسفنجی (DRI) در کارخانه احیاء مستقیم بدین صورت است که گندله از طریق نوار نقاله پس از اسکرین شدن و دانه‌بندی مناسب وارد کوره احیاء مستقیم شده و گاز احیایی (ترکیب $CO+H_2$) با دمای تقریبی ۸۴۰ درجه سانتی‌گراد وارد کوره شده و باعث تغییر شرایط شیمیایی گندله شده و در نهایت به آهن اسفنجی تبدیل می‌شود. گاز احیایی تولید شده توسط کمپرسورهای پروسس به رکوپراتور منتقل گردیده و پس از اختلاط با گاز طبیعی (متان) و برخورد با کاتالیست‌ها، شکسته شده و به گاز احیایی تبدیل می‌شود. جهت خنک‌کاری آهن اسفنجی تولید شده از کمپرسور کولینگ و جهت سیل نمودن سیستم از کمپرسور سیل گاز استفاده می‌شود. همچنین برای خنک‌کاری و تمیز نمودن گاز‌ها از آب استفاده می‌شود. وظیفه پمپ‌های آب صنعتی شست و شو و خنک‌کاری گاز سیل بوده که جهت آب‌بندی استفاده می‌شود که توقف آن باعث بالا رفتن دمای گاز و توقف کمپرسور‌ها می‌شود که نتیجه آن توقف تولید می‌باشد. شکل شماره ۱ تصویر این تجهیز را در کارخانه احیاء مستقیم شماره ۲ شرکت جهان فولاد را نشان می‌دهد. همچنین جدول شماره ۱ مشخصات فنی این تجهیز را بیان می‌کند. [2]



شکل ۱: موقعیت پمپ‌های ۴۲ در کارخانه

جدول ۱: مشخصات فنی

ردیف	تجهیز	توان	دور	شماره بیرینگ
۱	الکتروموتور پمپ های ۴۲	315KW	1490RPM	DE: 6319 C3 NDE: 6319 C3

۱-۲ استانداردهای مورد استفاده

در این تحقیق از استاندارد ISO 10816-3 [۳] جهت شناسایی محدوده مجاز ارتعاشات استفاده شده است. با توجه به اینکه توان این موتور بالاتر از ۳۰۰ کیلووات و کمتر از ۵۰ مگاوات بوده، محدوده مجاز ارتعاشات طبق استاندارد فوق در جدول شماره ۲ آمده است. همچنین جهت چک سیستم ارتینگ و پایش آن در محدوده مجاز از استاندارد ملی ایران ISIRI 3010 [۴] که خلاصه آن در جدول شماره ۳ آمده، استفاده شده است.

جدول ۲: محدوده مجاز ارتعاشات مطابق استاندارد ISO ۱۰۸۱۶-۳

نوع فونداسیون	مرز ناحیه	شدت ارتعاشات (mm/s)	شدت جابجایی (μm)
صلب	A/B	2.3	29
	B/C	4.5	57
	C/D	7.1	90
الاستیک	A/B	3.5	45
	B/C	7.1	90
	C/D	11	140

جدول ۳: محدوده مجاز استاندارد ملی ایران ISIRI ۲۰۱۰

نوع سیستم	تجهیزات صنعتی عمومی و موتور های سه فاز	تابلو های فشار ضعیف و تجهیزات کنترلی حساس	تجهیزات الکترونیکی دقیق	پست های فشار ضعیف یا حفاظت صاعقه
مقاومت مجاز سیستم ارتینگ بر اساس اهم	کمتر یا مساوی ۵ اهم	کمتر یا مساوی ۲ اهم	کمتر یا مساوی ۱ اهم	کمتر یا مساوی ۱ اهم

۱-۳ ابزارهای مورد استفاده

دیتابرداری های این تجهیزات دوار توسط دستگاه آنالایزر ارتعاشات Falcon مدل Ultimate ساخته شده توسط شرکت Oneprod و همچنین تحلیل توسط نرم افزار Nest انجام شده است. شکل شماره ۲ نمایانگر این دستگاه آنالایزر ارتعاشات می باشد. همچنین برای اندازه گیری مقاومت زمین از دستگاه ارت سنج فلوک مدل ۱۶۲۵ استفاده نموده ایم. شکل شماره ۳ این دستگاه را نشان می دهد.



شکل ۲: دستگاه ارتعاشات فالكون



شکل ۳: دستگاه ارت سنج فلوک

۲- تئوری و پیشینه تحقیق

تشخیص عیوب یکی از مهمترین اهداف پایش وضعیت است و یکی از ابزار قدرتمند برای این منظور کاربرد آنالیز ارتعاشات است. داده های آنالیز ارتعاشات در نقاط مختلف تجهیز و جهات عمودی، افقی و محوری وضعیت کارکرد ماشین را نشان می دهند. همچنین آنالیز ارتعاشات فرکانس های نیرویی هر جز از ماشین و میزان آن برای تشخیص مجاز بودن دامنه آن را نشان می دهد. برای این منظور متخصص ارتعاشات باید سیگنال های طیفی و موج زمانی را بررسی کرده و همچنین باید دید کاملی نیز بر دستگاهی که در حال پایش وضعیت آن است، داشته باشد. در نهایت بررسی ریشه خرابی ها و عوامل اصلی ایجاد خرابی خیلی مهم می باشد.

به ندرت اتفاق می افتد که منبع ایجاد ارتعاش طراحی نادرست باشد. به عبارت دیگر عیوب سرچشمه ارتعاشند و این عیوب در تمام ماشین ها حتی ماشین نو نیز وجود دارد و ماشین بی عیب و نقص و کامل نداریم. اولین کار باید مشاهدات آنالیز ارتعاش را دسته بندی کرد و به همین منظور متخصص ارتعاشات باید بداند دنبال چه سیگنال ها و فرکانس هایی باشد.

از نظر بررسی طیف فرکانسی مهمترین مواردی که نظر متخصص ارتعاشات را به خود جلب می کند عبارتند از :

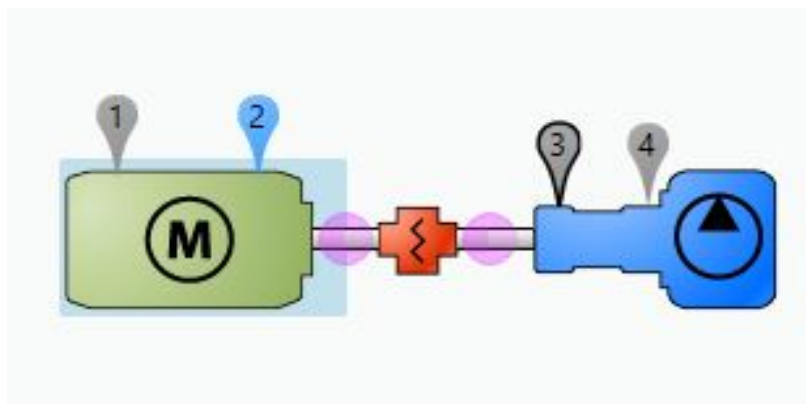
- دامنه بالای ارتعاش در دور $1X$
- دامنه بالای ارتعاش در دور $2X$
- هارمونیک های فرکانس $1X$
- وجود ساید بندها
- دامنه های با فرکانس سنکرون
- دامنه های با فرکانس غیر سنکرون
- دامنه های با فرکانس زیر سنکرون
- دامنه های ارتعاشی در جهات خاص (مثلا دامنه ارتعاشی بالا در جهت محوری و عدم وجود دامنه بالا در جهت عمودی و افقی)
- دامنه ارتعاشات فرکانس بالا که می تواند ناشی از وجود ضربه، عدم روانکاری صحیح و یا خرابی بیرینگ باشد.

هر کدام از طیف های فوق قسمتی یا تمام الگوی یک عیب را تشکیل می دهد که منبع آن ارتعاش باعث بوجود آمدن آن الگوی طیف فرکانسی شده است.

دسته بندی خرابی های ماشین آلات شامل خرابی های اولیه یا اساسی و خرابی های ثانویه می باشد. بعضی از مراجع سه خرابی اولیه شامل نابالانسی، نامحوری و خرابی المان های چرخشی می دانند که به سه خرابی اصلی معروف است. بعضی مراجع خرابی ناشی از رزونانس و لقی را نیز به این عیب اضافه کرده اند.

نکته مهم در پایش وضعیت به کمک آنالیز ارتعاشات آشنایی با الگوی ارتعاشی شامل طیف فرکانسی، شکل موج زمانی و فاز ناشی از عیب می باشد [5] و [6].

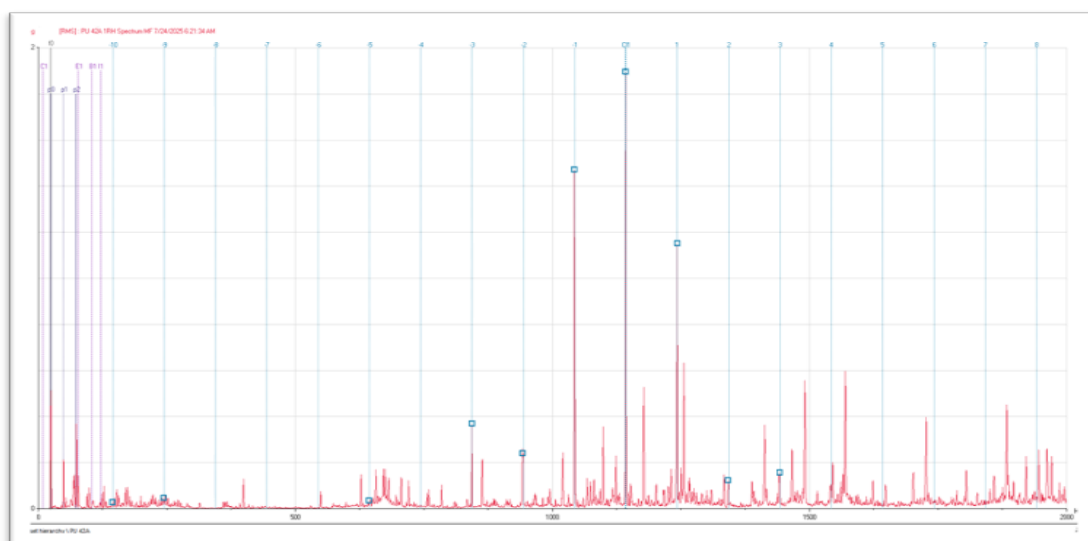
لذا با توجه به راه اندازی کارخانه احیاء شماره ۲ شرکت جهان فولاد سیرجان، واحد بازرسی فنی با توجه به ماهیت کار خود و همچنین با این رویکرد که تکنیک پایش وضعیت می تواند کمک بسیار زیادی به عیب یابی مجموعه های صنعتی جهت جلوگیری از توقفات ناگهانی سیستم انجام دهد، در ابتدا دیتابرداری ارتعاشی از نقاط متفاوت و همچنین جهت های مختلف (سه جهت عمودی، افقی و محوری) تجهیز طبق شکل شماتیک شماره ۴ انجام داد.



شکل ۴: نقاط داده برداری

۳- اقدامات انجام شده

تحلیل داده ها از طریق مختلف انجام می شود که مختصراً به آنها اشاره می شود. استفاده از اطلاعات سازنده نسبت به سایر روش ها ارجعیت دارد و اگر اطلاعاتی از سازنده در اختیار نباشد، استفاده از استاندارد های موجود پیشنهاد می گردد، جهت تحلیل بهتر می توان از مقایسه تجهیز با خود و همچنین مقایسه با سایر تجهیزات مشابه استفاده نمود. در این تجهیزات پس از انجام دیتابرداری و مقایسه میزان Overall ارتعاشات با محدوده استاندارد مشخص گردید که ارتعاشات فرکانس بالا این تجهیزات بسیار بالاتر از محدوده قرار داشته و همچنین با مقایسه این تجهیزات با تجهیزات مشابه در کارخانه احیاء مستقیم شماره ۱ نیز مشخص گردید که ارتعاشات فرکانس بالا که می تواند ناشی از عدم روانکاری صحیح، وجود ضربه و یا خرابی بیرینگ، در این تجهیزات بسیار بالا می باشد. شکل شماره ۵ طیف ارتعاشی و جدول شماره ۴ اعداد ارتعاشات را در این تجهیز را نشان می دهد.



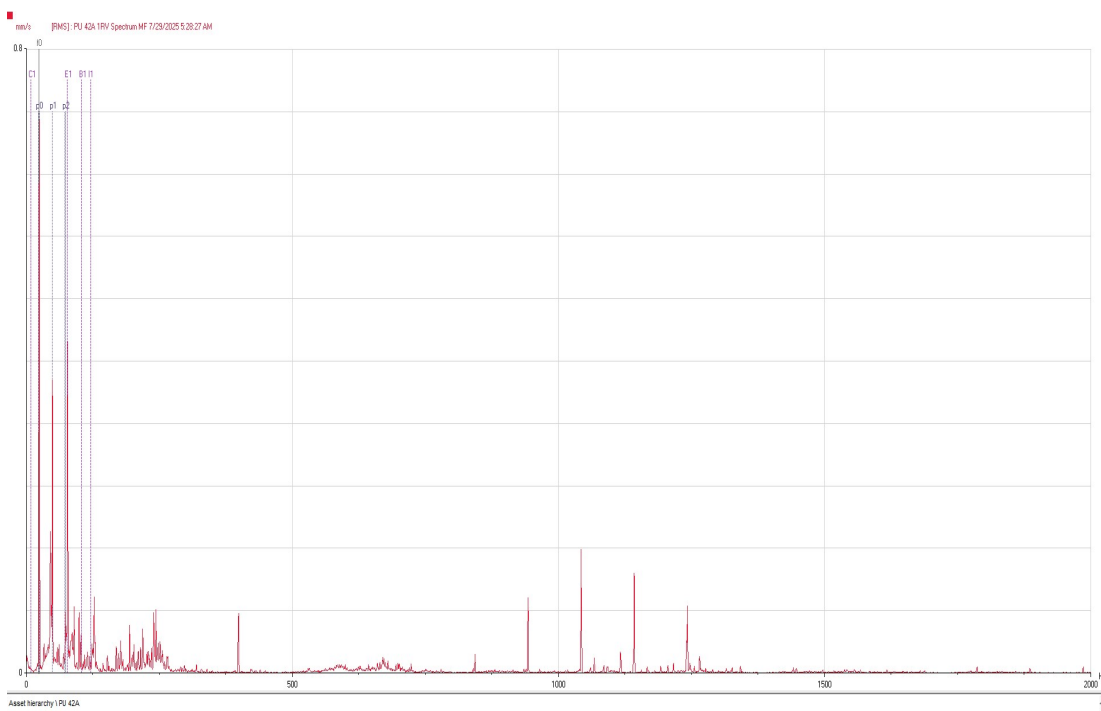
شکل ۵: طیف ارتعاشات

جدول ۴: اعداد ارتعاشات

نقاط داده برداری جهت داده برداری	P1		P2		P3		P4	
	mm/s	m/s2	mm/s	m/s2	mm/s	m/s2	mm/s	m/s2
جهت محوری	۱	۷	۰.۸	۵	۲.۷	۱۱	۲	۸.۲
جهت افقی	۳.۵	۲۳	۳	۷	۲.۴	۱۷	۲.۰۵	۸.۶
جهت عمودی	۱.۷	۱۳	۱.۵	۱۰	۱.۸	۱۵	۱.۷	۶.۵

با توجه دیتا ها و تحلیل طیف های FFT این تجهیز و تجهیزات مشابه مشخص گردید بالاترین دامنه ارتعاش در فرکانس های بالا که می تواند از فرکانس گذر میله روتور باشد و با ساید باند ۱۰۰ هرتز می باشد این احتمال می رفت که عیوب الکتریکی در تجهیزات باشد. ساده ترین و ابتدایی راه برای شناسایی عیوب الکتریکی در تجهیزات چک سیستم ارتینگ می باشد که این اقدام توسط واحد بازرسی فنی انجام و مشخص شد طبق استاندارد ISIRI 3010 ارت تجهیز به صورت لوپ نبوده و به صورت خارج از رنج می

باشد. این موضوع جهت رفع عیب به واحد محترم نگهداری و تعمیرات ارجاع گردید و پس از لوپ نمودن سیستم ارتینگ مشکل مرتفع گردید. شکل شماره ۶ طیف و جدول شماره ۵ اعداد ارتعاشات این تجهیز را نشان می‌دهد. شایان ذکر است این اقدام برای ۷ الکتروموتور و پمپ مشابه در پمپ خانه کارخانه احیاء مستقیم شماره ۲ شرکت جهان فولاد انجام و در حال حاضر بدون مشکل به کار خود ادامه می‌دهند.



شکل ۶: طیف ارتعاشات پس از اصلاح

جدول ۵: اعداد ارتعاشات پس از اصلاح

نقاط داده برداری جهت داده برداری	P1		P2		P3		P4	
	mm/s	m/s2	mm/s	m/s2	mm/s	m/s2	mm/s	m/s2
جهت محوری	۱.۱	۲	۱	۴.۸	۲.۶	۱۱	۱.۳	۱۰
جهت افقی	۱.۲	۴.۲	۰.۸	۴.۷	۲.۳	۱۱.۸	۲	۱۳.۵
جهت عمودی	۱.۱	۳.۴	۰.۹	۵.۶	۱.۷	۱۳	۲	۱۳.۳

همانگونه که از دیتاها و طیف‌ها مشخص است دامنه ارتعاشات فرکانس بالا کاهش بسیار زیادی داشته و در محدوده مجاز ارتعاشات قرار گرفتند. لازم به ذکر است این اقدام برای هر ۷ پمپ نصب شده انجام گردید و از خرابی زودهنگام این تجهیزات که نتیجتاً به توقف تولید منجر می‌شد، جلوگیری شده است.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق عیب افزایش ارتعاشات فرکانس بالا مربوط به پمپ آب پروسس و صنعتی کارخانه احیاء مستقیم شماره ۲ شرکت جهان فولاد سیرجان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه افزایش دامنه ارتعاشات ناشی از حضور عیب الکتریکی و عدم ارتینگ مناسب بر روی تجهیز را نشان می دهد و همچنین کارکرد تجهیز در این شرایط سبب آسیب دیدگی و کاهش طول عمر آن و همچنین توقف بدون برنامه ریزی می شود، همانطور که مشاهده شد تغییر کوچکی همچون ارتینگ از اهمیت بالایی در شرایط کارکرد تجهیزات می تواند داشته باشد. همچنین باید به این نکته توجه نمود که در بعضی از عیوب مانند مورد ذکر شده که در تعداد زیادی تجهیز یکسان می باشد با شناسایی و رفع آن می توان کاهش ارتعاشات فرکانس بالا چیزی در حدود ۳ تا ۴ برابر کمتر (نسبت به شرایط کاری آن قبل از انجام اقدام اصلاحی) بر روی ۷ عدد پمپ دیگر گردید که این امر سبب کاهش هزینه های نگهداری ، کاهش زمان خرابی ، طولانی شدن عمر تجهیز، تولید بدون توقف و مواردی از این قبیل گردد.

۵- مراجع

- [۱] R. K. Mobley, 1999, Vibration Fundamentals, United States of America, Elsevier
- [۲] K. AL-Atawi & M.Almuuhha, Process Manual, AL-Tuwairqi Group
- [۳] ISO 10816-3
- [۴] ISIRI 3010
- [5] P. Girdhar, 2004, Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance, Oxford, Elsevier
- [6] G. Piersol and T. L. Paez, "Harris shock And Vibration Handbook", McGraw-Hill, United States of America