

## کاربرد آنالیز ارتعاشات در عیب یابی فن کارخانه گندله سازی مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر

کاظم پورامینی<sup>۱</sup>، اکبر جعفری<sup>۲</sup>، مهدی مکی آبادی<sup>۳</sup>

### چکیده

در این تحقیق، یک فن شعاعی حساس در کارخانه گندله سازی شرکت معدنی و صنعتی گل گهر به روش ارتعاش سنجی تحت پایش وضعیت قرار گرفته و عیوب احتمالی آن مورد شناسایی قرار گرفته است. برای این منظور داده برداری در نقاط مختلف تجهیز در سه راستای مورد نیاز انجام شده است. داده های برداشت شده بصورت های مختلف از جمله بر حسب زمان، بر حسب دامنه و همچنین در فضای فرکانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و به دنبال آن عیوب و منشأ احتمالی آنها کاندید شده اند. با بررسی دقیق تر، ایراداتی که بالقوه می توانند منشأ بروز علائم ارتعاشی باشند دسته بندی شدند. در کنار مراجعه به استانداردهای مربوطه، مراجعه به سابقه تجهیز نیز کمک نمود تا دلایلی که احتمال وقوع آنها کمتر است از لیست کاندیدها حذف و موارد با احتمال قوی تر باقی بمانند. با رفع ایراد هایی که در پایش بینی های حاصل از پایش وضعیت مشخص شده بودند تجهیز مورد پایش مجدد قرار گرفت. داده برداری های جدید نشان داد که ایرادات تجهیز برطرف شده و آنالیز ارتعاشات ایراد قابل توجهی را نشان نداد.

کلمات کلیدی: نگهداری و تعمیرات پیش بینانه، مراقبت وضعیت، آنالیز ارتعاشات

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سیرجان

۲- استادیار مهندسی مکانیک- دانشگاه صنعتی سیرجان

۳- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، مدیریت نگهداری و تعمیرات کارخانه گندله سازی گل گهر

## ۱- مقدمه

اگر به بدن یک موجود زنده بعنوان یک کارخانه پیچیده نگاه شود، پزشکان با تخصص های مختلف برای هر کدام از بخش های آن آموزش دیده و کسب تجربه می نمایند و هر یک وظیفه شناسایی و رفع مشکلات آن حوزه را انجام می دهند. به همین صورت برای یک کارخانه نیز چنین رویکردی قابل تصور و پیاده سازی است. از دیرباز، علائم برونی یا بالینی از یک بیمار راهنمای متخصصان برای شناسایی عامل یا عوامل احتمالی درونی بروز مشکل بوده است. اندازه گیری تب و نبض از قدیمی ترین راه کارها برای تشخیص بیماری بوده است. با این وجود با پیشرفت تکنولوژی روش های پیش بینانه دیگری نیز با انجام انواع آزمایشات برای این منظور توسعه داده و تجاری شده اند و بطور معمول استفاده می شوند. حال می توان یک تجهیز صنعتی را نیز مشابه یک موجود زنده تلقی نمود لذا می توان انتظار داشت که روش های مختلف پیش بینانه بتوانند در شناسایی عیوب درونی تجهیزات صنعتی نیز کمک کنند. در واقع با استفاده از این روش ها می توان دلایل احتمالی بروز مشکل تجهیز را شناسایی و بر طرف نمود و از بروز ایرادات اساسی جلوگیری کرد.

روش های پیش بینانه گوناگونی برای شناسایی عیوب سیستم های صنعتی توسعه داده شده اند که هر یک کارکرد خاصی داشته و نوعی از علائم برونی را اندازه گیری می نماید. از جمله می توان به روش های زیر اشاره نمود:

- اندازه گیری دما: (Thermal Condition Monitoring - TCM)،

- اندازه گیری دامنه، سرعت، شتاب، فرکانس و فاز ارتعاشات (Vibration Condition Monitoring - VCM)

- آنالیز های مختلف بر روی روغن درون مدار روانکاری تجهیز (Oil Condition Monitoring - OCM).

- اندازه گیری فشار محفظه تجهیزات (Pressure Condition Monitoring - PCM)

بنظر می رسد بتوان روش های ذکر شده را بترتیب با تب سنجی، اندازه گیری نبض، آزمایشات خون و فشارسنجی در موجودات زنده معادل سازی نمود. پرواضح است که هر یک از روش های مذکور برای تجهیزات خاصی با شرایط کاری مشخصی مناسب است ولی در بسیاری اوقات، کاربرد همزمان آنها برای تشخیص دقیق ضروری است. از طرفی هر کدام از این روش ها نیاز به تخصص و ابزار مخصوص به خود داشته و هزینه ای را به دنبال دارد. از اینرو بایستی قبل از استفاده از هر روش، دانش لازم در مورد کارکردها، قابلیت ها، دقت و روش آنالیز فراهم گردد. همچنین استفاده از روش نامناسب و ناکارآمد باعث تحمیل هزینه و تلفات زمان می شود و نهایتاً کمکی به رفع مشکل نمی کند. از اینرو توسعه دانش فنی

استفاده از روش های پایش وضعیت و همچنین ارائه برخی مثال های موفق می تواند به این امر کمک نماید و انتشار این مقاله نیز در همین راستا انجام می شود.

مجتمع معدنی صنعتی گل گهر سیرجان به عنوان یک قطب مهم در تولید آهن و فولاد کشور، از ابتدای کشف معدن، استخراج سنگ معدن تا تولید گندله آهن را انجام می دهد. پس از استخراج سنگ آهن، عملیات خردایش در مراحل مختلف بر روی آن انجام شده و استحصال آهن از سنگ آسیا شده، به روش های مختلف در مجموعه کارخانجات فرآوری صورت می گیرد. در ادامه، کنسانتره آهن به صورت پودر به کارخانه گندله سازی منتقل شده و محصول بدست آمده برای شرکت های مصرف کننده ارسال می گردد. در کنار توسعه سریع واحدهای مختلف مجتمع، توسعه دانش فنی و همچنین بهره گیری از دانش روز در همه حوزه های مورد نیاز نیز در دستور کار است. در همین راستا، سرمایه گذاری قابل توجهی چه از لحاظ سخت افزار و چه از نظر نیروی انسانی در این رابطه انجام شده و همچنان تقویت آن ادامه دارد. در واقع این توجه پیرو اثبات اهمیت این حوزه است زیرا عملکرد مطلوب آن پیوستگی تولید و سلامت تجهیزات را ضمانت می نماید.

با توجه به توضیحات ارائه شده در بالا، تیم های نگهداری و تعمیرات مجتمع از ابزارهای متناسب با هر تجهیز برای پیش بینی عیوب استفاده می نمایند. به طور مثال از روش های ارتعاش سنجی و ترموگرافی جهت پایش وضعیت پمپ ها و فن ها و البته اجزای یاتاقان آنها استفاده می گردد [۱-۳] البته لازم به ذکر است که استفاده از روش ترموگرافی بویژه در یاتاقان ها اطلاعات مفیدی در اختیار می گذارد [۴، ۵]. با اینحال گزارشی که در قالب مقاله حاضر ارائه می شود به مطالعه و عیب یابی یکی از فنهای اصلی کارخانه گندله سازی اختصاص دارد که با روش ارتعاش سنجی انجام شده است. ارتعاشات زبان ماشین های دوار است به گونه ای که تغییرات آن بیانگر تغییر در وضعیت درونی آن است. منظور از تغییر در علائم ارتعاشی، تغییر دامنه، سرعت، شتاب، فرکانس و فاز در نقاط مختلف داده برداری است. این اطلاعات برای پیش بینی نامیزانی، صلبیت یاتاقان ها، ساییدگی، شکست و ترک در اجزا قابل استفاده هستند. در عمل بروز هر کدام از نواقص مذکور باعث تغییر در خروجی های ارتعاشاتی می گردد. به وسیله اندازه گیری علائم ارتعاشی می توان ماهیت و تا حد زیادی شدت نقص را نیز تشخیص داد و به دنبال آن از خرابی مهملک دستگاه جلوگیری نمود.

قبل از ورود به مسئله جاری، مراجع مرتبط که منتشر شده اند مرور شده تا در طی تحقیق از تجربیات و برخی نتایج جهت بهبود روش و همچنین مقایسه و اعتبار سنجی نتایج استفاده گردد. بهزاد و همکاران از تکنیک ارتعاش سنجی جهت عیب

پایش لازم انجام شده تا از صحت پیش بینی های ارائه شده اطمینان حاصل گردد. در شکل ۱ نمای شماتیک فن و الکترو موتور آن که با کوپلینگ در ارتباط هستند و محل نقاط اندازه گیری ارتعاشات (محل های نصب سنسور) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که اندازه گیری ها در هر نقطه در سه راستای افقی، عمودی، و محوری انجام می شود که بترتیب با سمبل های  $V$ ،  $H$  و  $A$  نشان داده شده اند.

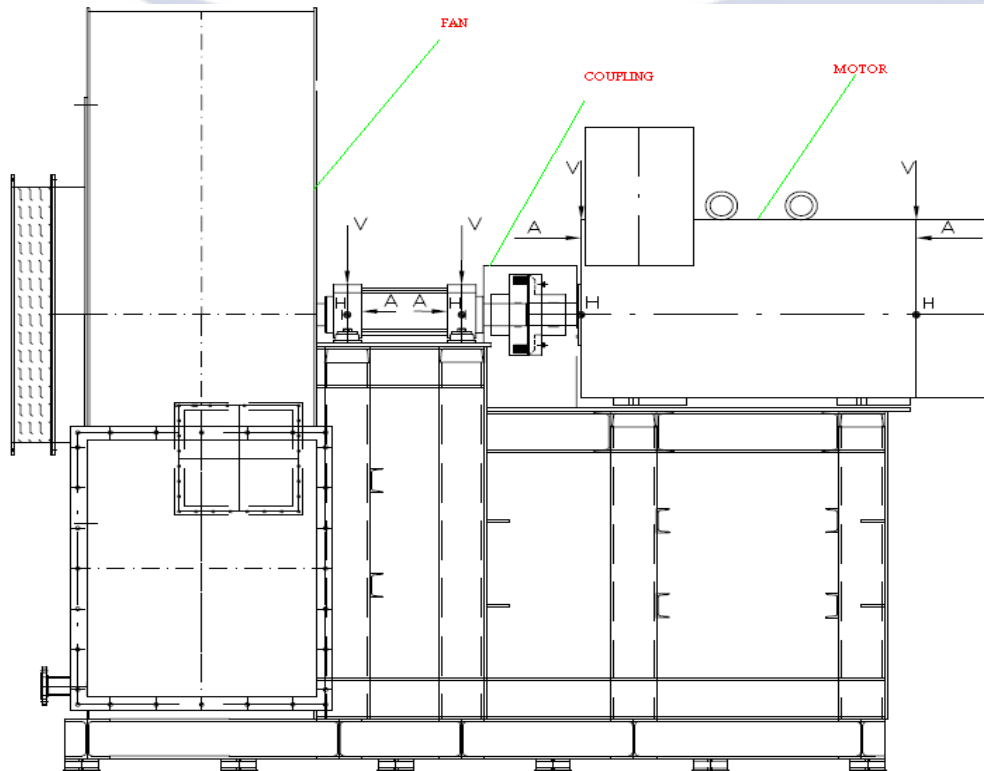
ملاحظه می شود که نقاط انتخابی از یاتاقانهای الکترو موتور در سمت کوپلینگ و آزاده ترتیب با علامت Drive End و Non Drive و همچنین برای یاتاقانهای فن سمت نزدیک پروانه و کوپلینگ بترتیب با علامت Fix (ثابت) و Loose (آزاد) نشان داده شده اند و در بخش های بعد با این اسامی آدرس دهی می شوند. مشخصات فنی فن و الکترو موتور مورد مطالعه به همراه بیرینگ های موجود در جدول ۱ آورده شده است. برای اندازه گیری ها، از دستگاه ارتعاش سنجی x-viber با پروب های ثابت جابجایی، سرعت و شتاب استفاده شده است. داده های برداشت شده برای مدیریت به نرم افزار x-trend منتقل شده و در ادامه با کمک نرم افزار Spectra Pro پردازش گردیده و عملگر تبدیل فوریه سریع بر روی آنها اعمال و طیف های فرکانسی استخراج می شود. داده برداری در یک بازه زمانی حدود یک ماهه انجام شده که شامل دوره وجود مشکل و پس از رفع آن می باشد

یابی پمپ ها استفاده نمودند [۶، ۷]. خیری و همکاران از آنالیز ارتعاشات در تحلیل عیوب پیش آمده در طی کارکرد فن های نیروگاه استفاده نمودند [۸]. کندی و دیلمی از ارتعاش سنجی در تحلیل وضعیت پمپ استفاده نمودند [۹]. وزیری سرشک از آنالیز ارتعاشات جهت اصلاح طراحی پره های فن استفاده نمود [۱۰]. بطور کلی تکنیک ارتعاش سنجی در هر سیستم متحرک دیگری همچون گیربکس ها قابل استفاده است [۱۱-۱۳]. جعفری و همکاران از ترکیب روش ارتعاش سنجی و همچنین داده های سابقه تجهیز جهت تشخیص عیوب پمپ ها استفاده نمودند [۱۴، ۱۵].

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- تعریف مسئله و داده برداری

تجهیزی که در گزارش جاری در مورد آن بحث می شود، یک فن شعاعی بوده که از تجهیزات حساس در خط تولید کارخانه گندله سازی بشمار می آید. این حساسیت مربوط به وظیفه آن جهت ایجاد فشار منفی در کپسول آسیابهای کنسانتره سنگ آهن فرآیند گندله سازی می باشد. هوای مکش شده قبل از ورود به فن توسط یک غبار گیر کیسه ای تمیز می گردد بگونه ای که خرابی و توقف آن سبب توقف خط تولید و در پی آن خسارات مادی زیادی خواهد شد. در این پژوهش ضمن پایش این تجهیز، عیوب آن شناسایی و برای رفع آن اقدامات لازم پیشنهاد و اجرا می گردد. همچنین با رفع ایرادات نیز



شکل ۱- شماتیک فن و الکتروموتور و محل های اندازه گیری ارتعاشات

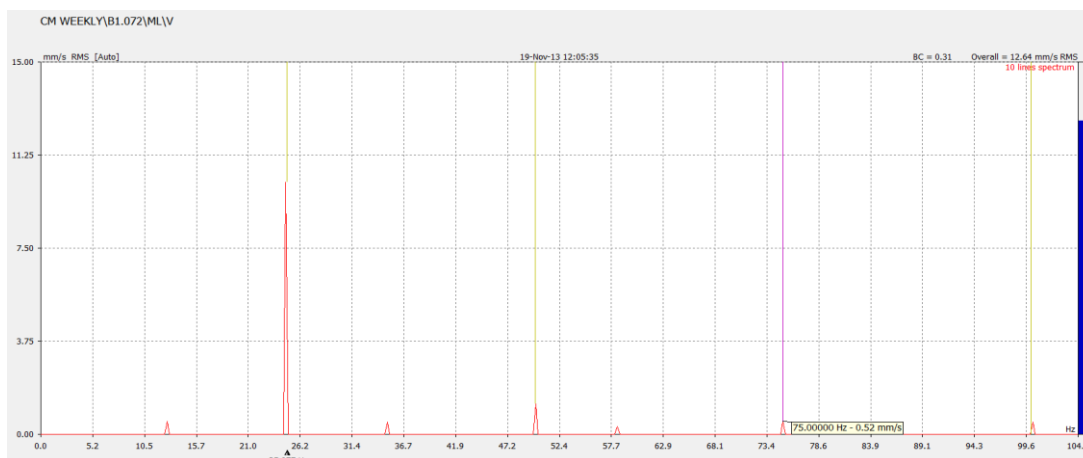
جدول ۱- اطلاعات فنی فن و الکتروموتور و بیرینگ های تجهیز [۱۶]

Motor	Fan
Motor type: Hxr450lj4b3 Company: ABB Rate power: 760 kw Rotational speed: 1493rpm Motor weight: 4400kg Frequency: 50Hz Voltage of supply: 400 v Rated current: 81.5A	Fan type: Hrv63s-1600k Company: Venti Oelde Flow Rate In Let: 250000m <sup>3</sup> /h Flow Rate Out Let: 250000 m <sup>3</sup> /h Temperature In Let: 90 °C Temperature Out Let: 101 °C Rotational speed: 1480rpm Impeller Diameter: 1887 mm Impeller weight: 1150kg
Drive End Bearing Motor type: Deep Grup Ball Bearing 6324 : SKF Germany; Radial& Axial Loads Non Drive End Bearing Motor type Deep Grup Ball Bearing 6322: SKF Germany; Radial& Axial Loads	
Loose Bearing Fan Type: 22224 : SKF Germany; Heavy Radial Loads Fix Bearing Fan Type: 23228: SKF Germany; Heavy Radial Loads	

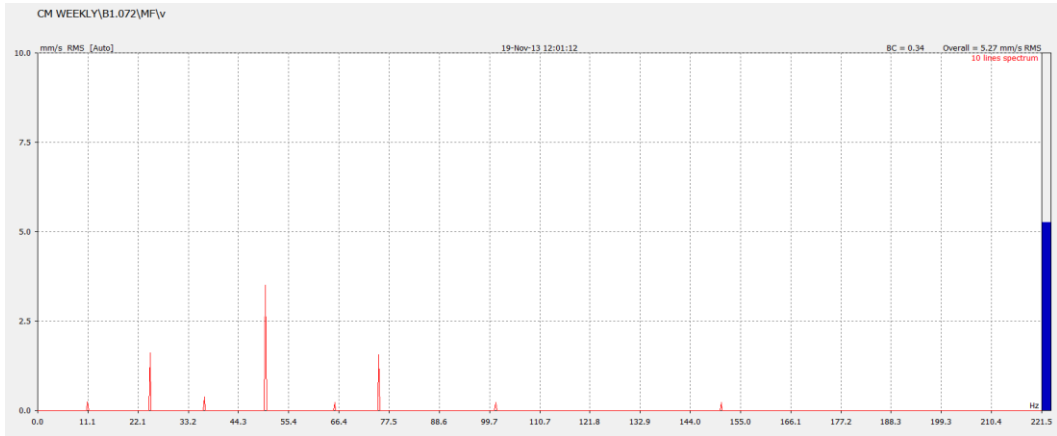
در جدول ۲ مقادیر اندازه گیری شده کلی ارتعاشات قبل از رفع عیب آورده شده است. همانگونه که از داده های جدول مشخص است دامنه های ارتعاش عمودی دارای مقدار قابل توجه می باشند لذا نمودارهای طیف فرکانسی آنها در شکل های ۲، ۳، ۴ و ۵ آورده شده و از ارائه سایر طیف ها صرف نظر شده است.

جدول ۲- مقادیر کلی ارتعاشات قبل از رفع عیب (استاندارد ISO 10816-3)

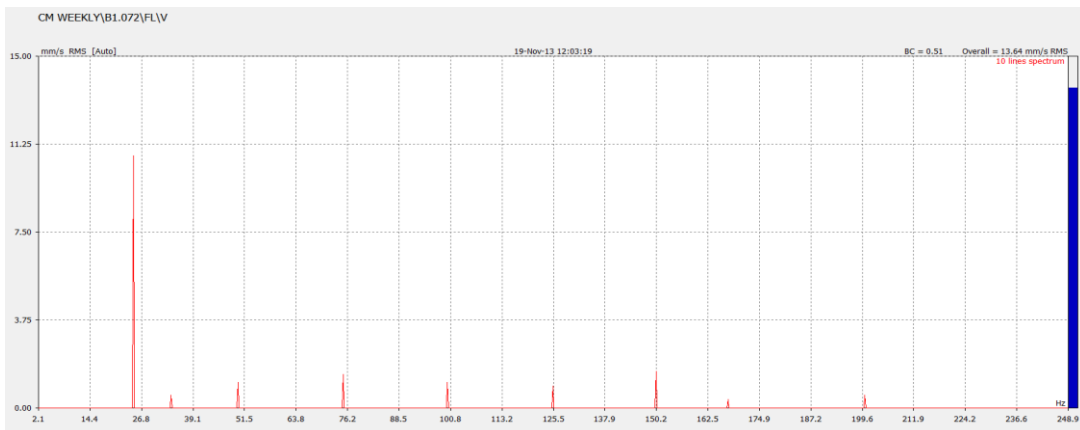
Fan Loose			Fan Fix			Motor Non Drive End			Motor Drive End			محل های اندازه گیری
H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	واستا
4.99	13.64	7.92	5.28	6.1	7.67	3.01	5.27	7.55	3	12.64	4.99	دامنه های ارتعاش کلی mm/s rms



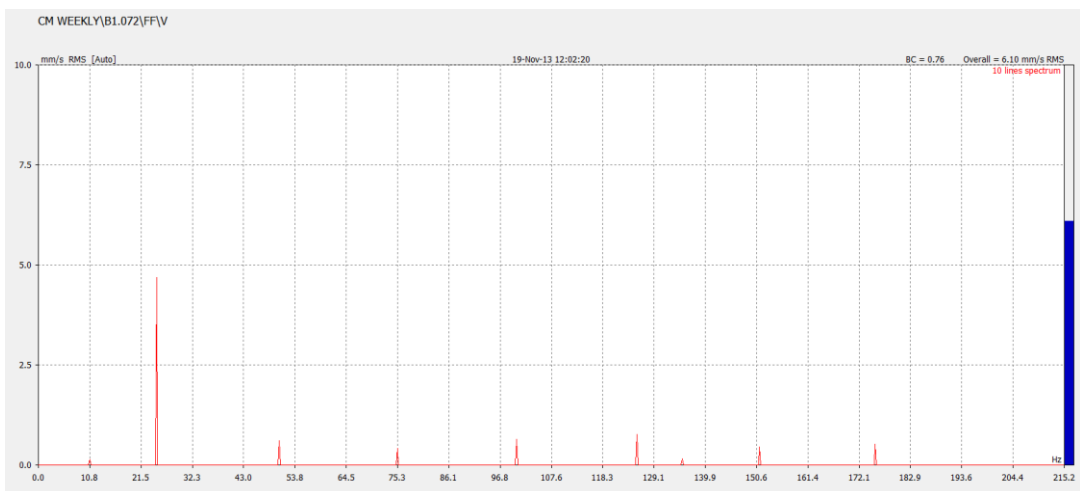
شکل ۲- نمودار طیف فرکانس ارتعاش عمودی بیرینگ سمت Drive End الکتروموتور



شکل ۳- نمودار طیف فرکانس ارتعاش عمودی بیرینگ سمت Non Drive End الکتروموتور



شکل ۴- نمودار طیف فرکانس ارتعاش عمودی بیرینگ سمت آزاد از فن



شکل ۵- نمودار طیف فرکانس ارتعاش عمودی بیرینگ سمت ثابت از فن

## ۲-۲- تشخیص عیب

در شکل ۶ آورده شده است. با استناد به این استاندارد، به ازای محدوده توان  $P > 300\text{KW}$  و همچنین فن مورد بررسی از نوع تکیه گاه انعطاف پذیر (flexible) بوده لذا حد آلام و تریپ مربوط به آن به شرح زیر می باشد.

Alarm limit: 7.1mm/s

Trip limit: 11mm/s

با توجه به اندازه گیری دامنه های ارتعاش و همچنین فرکانس های تفکیک شده، حال سوال این است که "آیا این مقادیر در محدوده مجاز هستند یا خیر؟" برای پاسخ به این سوال بایستی به مرجع استاندارد و البته نظر سازنده و همچنین سابقه تجربی این تجهیز مراجعه شود. برای این منظور به استاندارد ISO 10816-3 استناد می شود که قسمتی از آن

ISO 10816-3 FOR FANS POWER GREATER THEN 300KW			
Support Unit	Effective value of the vibration velocity in mm/s(rms)	Zone	Evaluation
Flexible (installation on vibration dampers)	$\leq 3.5$	A	Vibrations on machines which have just been commissioned
	$> 3.5-7.1$	B	Machines can operate continuously without restriction
	$> 7.1-11$	C	Machines can only be operated for a limited time
	$> 11$	D	Vibration are dangerous and cause damage to the machine

شکل ۶- استاندارد ISO 10816-3 در رابطه با مقادیر مجاز تا خطرناک دامنه ارتعاش

با کمک تبدیل فوریه سریع بدست آمد. جهت وضوح بیشتر مقادیر عددی، اطلاعات مربوط به فرکانس های تحریک شده عمودی، دامنه آنها و همچنین ضریب سرعت محور در محل های بیرینگ آزاد و ثابت فن بترتیب در جداول ۳ و ۴ آورده شده است.

ملاحظه می شود که بیشترین دامنه در فرکانس  $1X$  اتفاق افتاده است که بیانگر سرعت محور موتور است. البته می توان مشاهده نمود که در هر دو نقطه نزدیک کوپلینگ و سمت آزاد فن فرکانس هایی نیز تحریک شده اند که ضریب صحیحی از سرعت محور نمی باشند.

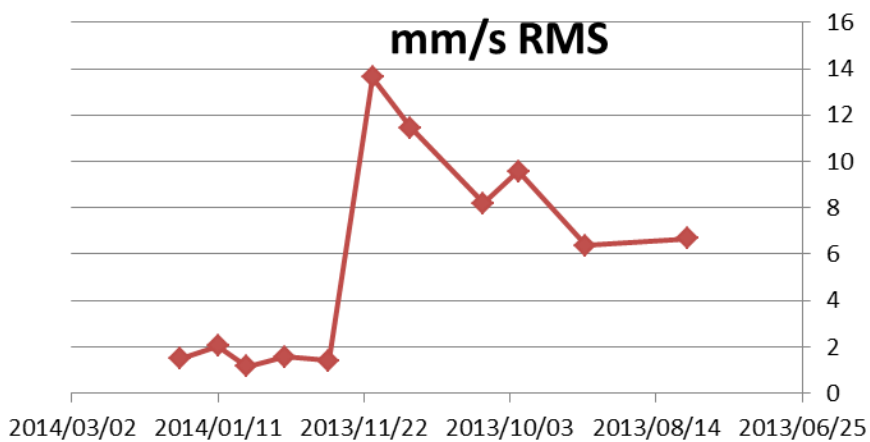
باتوجه به مقادیر فرکانس های استخراج شده، عیوبی شامل نابالانسی، ناهم راستایی محوری، خرابی بیرینگها و ناهم سطحی پایه های تجهیز، برای این ماشین قابل تصور و محتمل می باشد. در ادامه با بررسی بیشتر برای تعیین ایراد واقعی تلاش می شود.

همانگونه که در شکل ۸ نشان داده شده، یک بیرینگ در حالت کلی از چهار نوع المان تشکیل شده که خرابی هر کدام

با مقایسه مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر مرجع مشخص می شود که در هر دو قسمت بیرینگهای ثابت فن و موتور ارتعاشات در راستاهای افقی و عمودی در حد مجاز است هر چند در راستای محوری مقدار آن بیشتر است ولی آن نیز بحرانی نیست.

از طرف دیگر، در قسمت بیرینگهای آزاد موتور و فن در راستای محوری و افقی در حد مجاز می باشند اما در راستای عمودی ارتعاش در وضعیت بحرانی است براساس تجربه احتمال می رود ارتعاشات غیر نرمال ناشی از مجموعه فن باشد لذا ابتدا وضعیت فن را مورد بررسی قرار گرفت. برای مشاهده وضعیت در خلال زمان، نمودار دامنه ارتعاش عمودی (از خانواده سرعت) در قسمت بیرینگ آزاد فن به ازای زمان های مختلف اندازه گیری و در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، با گذشت زمان نمودار دارای سیر صعودی بوده و به بیانی دیگر وضعیت در حال بدتر شدن است.

حال بایستی دلیل آن جستجو گردد. برای این منظور، فرکانس ارتعاش استخراج شده و در مورد آن بحث صورت می گیرد. در این رابطه، طیف فرکانسی ارتعاشات قسمت های مختلف



شکل ۷- نمودار تغییر وضعیت دامنه ارتعاش در راستای عمودی (از نوع سرعت) در قسمت بیرینگ آزاد از فن

جدول ۳- فرکانس های تحریک شده در ارتعاش عمودی سمت بیرینگ آزاد فن

Freq.(± 2.5HZ)	mm/s RMS
24.85943	10.76149
49.85943	1.092192
75.10943	1.43045
100.1094	1.096327
125.3594	0.941289

جدول ۴- فرکانسهای تحریک شده عمودی سمت بیرینگ ثابت فن

Freq.(±2.5HZ)	mm/s RMS
24.75	4.689452
50.5	0.599787
75.25	0.411125
100.25	0.646511
125.5	0.764803



با توجه به سرعت چرخش فن، فرکانس چرخش آن برابر 24.66Hz بدست می آید. با مقایسه فرکانس های بدست آمده از داده برداری مشخص می شود که هیچ کدام از فرکانس های خرابی بیرینگ تحریک نشده اند و بدین ترتیب احتمال وجود این مشکل منتفی می گردد یا حداقل ایراد آن محسوس نیست. از طرفی دیگر نابالانسی، ناهم محوری و ناهمسطحی پایه تجهیز منجر به ارتعاش شعاعی با فرکانس می شود. لذا برای قضاوت دقیق تر لازم است تحلیل فاز هم انجام گیرد. اما جهت داده برداری فاز نیاز به ابزار دو کاناله بوده که در اختیار نیست بنابراین براساس تجربه و با توجه به شکل ظاهری پروانه (شکل ۹) که دچار ساییدگی شده محتمل ترین عیب، نابالانسی پروانه فن می تواند باشد. بایستی متذکر شد که علائم ظاهری دیگری نیز مشاهده شد که بیانگر عدم کار کرد مناسب غبارگیر کیسه ای است لذا ورود غبار به هوا و برخورد ذرات به پره فن قابل انتظار است.



الف



ب

شکل ۹- الف: پروانه فن و ساییدگی منجر به نابالانسی ب: نمای کلی فن و الکتروموتور

از آنها علائم خاصی را بدنبال دارد. با توجه به نوع بیرینگ ها که پیشتر معرفی شدند می توان قطر حلقه ها، قطر ساچمه ها و تعداد آنها را مشخص کرده و با کمک روابط موجود که در زیر آورده شده اند فرکانس های چهار گانه خرابی رینگ داخلی (BPFI)، خرابی رینگ خارجی (BPFO)، خرابی قفسه (FTF) و خرابی ساچمه (BSF) را محاسبه نمود [۱۷].

$$\text{BPFO: } f_{inner} = \frac{n}{2} f_r \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta\right) \quad (۱)$$

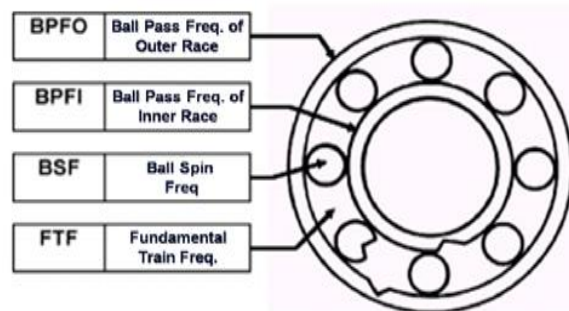
$$\text{BPFI: } f_{inner} = \frac{n}{2} f_r \left(1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta\right) \quad (۲)$$

$$\text{BSF: } f_{inner} = \frac{PD}{BD} f_r \left(1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta\right)^2\right) \quad (۳)$$

$$\text{FTF: } f_{inner} = \frac{1}{2} f_r \left(1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta\right) \quad (۴)$$

$$PD = \frac{D1 + D2}{2}$$

در این روابط n بیانگر تعداد ساچمه ها، فرکانس چرخش شفت، BD قطر ساچمه ها، D1 قطر داخلی رینگ بیرونی و D2 قطر خارجی رینگ داخلی و  $\beta$  زاویه تماس در بیرینگ تماس مایل می باشد. لازم به ذکر است که برای بیرینگ شیار عمیق  $\beta = 0$  لحاظ می گردد. بدین ترتیب با معلوم بودن نوع بیرینگ، اطلاعات هندسی آن مشخص می شود و می توان فرکانس های معرفی شده را محاسبه نمود، که فرکانسهای مربوط به بیرینگهای فن در جدول ۵ محاسبه شده است. با انجام محاسبات لازم مقادیر فرکانسهای دو بیرینگ معرفی شده بدست می آید که در جدول ۵ ثبت شده است. البته در اینجا برای این منظور از نرم افزار Spectra Pro نیز استفاده گردید که نتایج مشابهی بدست آمد.



شکل ۸- المان های اصلی تشکیل دهنده بیرینگ و خرابی متناظر با آنها

جدول ۵- فرکانس های خرابی متناظر با بیرینگ های موجود در تجهیز

بیرینگ	BPFO (Hz)	BPFI (Hz)	BSF (Hz)	FTF (Hz)
22224	204.87	270.15	88.99	10.78
23228	204	270	88.65	10.77



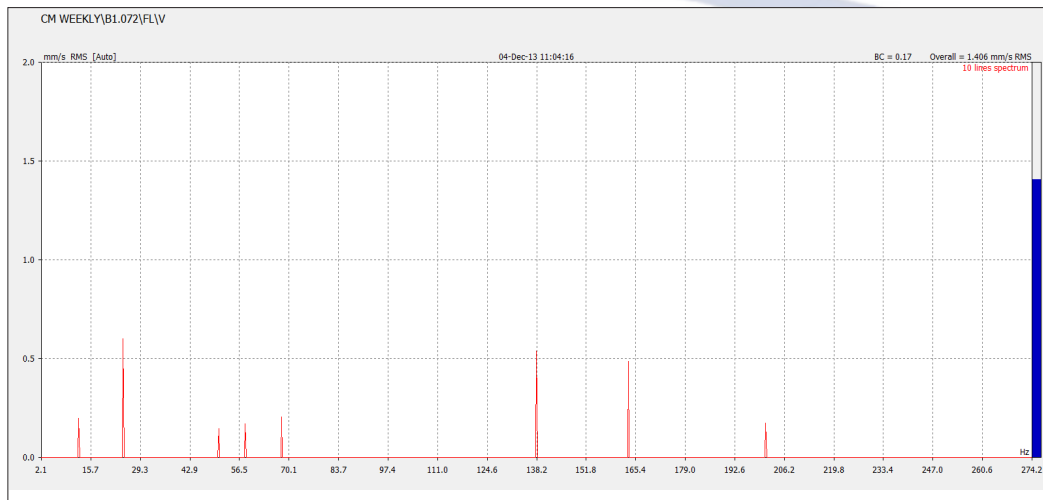
### ۲-۳- رفع نقص و بررسی مجدد

تا این مرحله ایرادی که بعنوان محتمل ترین برای فن کاندید شد، نابالانسی پروانه فن بوده است. بنابراین با اضافه کردن وزنه های مناسب در محل لازم، پروانه فن بالانس گردید. در ادامه با راه اندازی مجدد فن، ارتعاش سنجی انجام گردید که نتایج نهایی آن بطور خلاصه در ادامه آورده شده است. با توجه نتایج کلی که در جدول ۶ آورده شده است، در مقایسه با قبل از رفع ایراد نا بالانسی، دامنه ارتعاش بشدت کاهش یافته است. همچنین در شکل ۱۰ نمودار طیف فرکانس ارتعاشات عمودی بیرینگ سمت

آزاد فن آورده شده و در کنار آن در جدول ۷ نیز مقادیر فرکانس های تحریک شده آن ثبت گردیده است. ملاحظه می گردد که ضریب وزنی فرکانس 1X در مقایسه با قبل از رفع عیب بسیار کمتر شده است. البته با توجه به نتایج ثبت شده در جدول، فرکانس های دیگری از جمله 2X/1 و 2X نیز تحریک شده اند که اندازه آنها قابل توجه نیست. همچنین براساس شکل ۱۱ و جدول ۸ مشخص شده که ارتعاشات مربوط به الکترو موتور هم پس از بالانس فن بسیار کاهش یافته است. بنابراین نا بالانسی فن دلیل اصلی ارتعاشات بالای الکترو موتور و فن بوده است.

جدول ۶- مقادیر کلی ارتعاشات بعد از رفع عیب (استاندارد ISO10816-3)

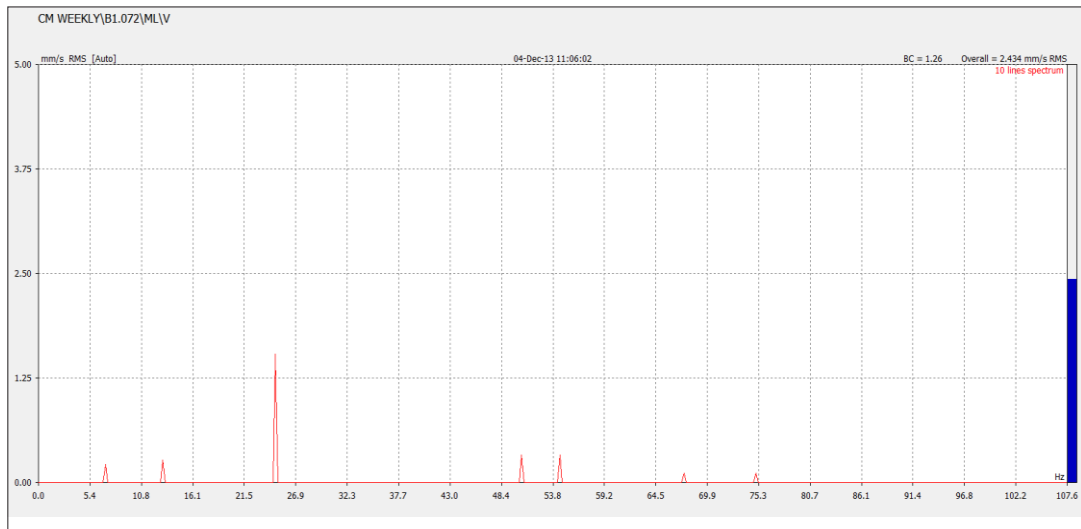
Fan Loose			Fan Fix			Motor Non Drive End			Motor Drive End			محل های اندازه گیری
H	V	A	H	V	A	H	V	A	H	V	A	راستا
0.95	1.41	1.54	0.79	1.74	2.04	0.71	1.61	0.55	0.93	2.43	0.65	دامنه های ارتعاش کلی mm/s rms



شکل ۱۰- نمودار طیف فرکانس ارتعاش عمودی سمت آزاد فن بعد از رفع نقص

جدول ۷- فرکانس های تحریک شده در ارتعاش عمودی سمت آزاد فن بعد از رفع نقص

Freq.(Hz)	mm/s RMS
12.35943	0.197575
24.60943	0.599196
50.85943	0.147309
58.10943	0.169767
68.10943	0.204127
163.3594	0.484538



شکل ۱۱- نمودار طیف فرکانس ارتعاشی عمودی بیرینگ Drive الکتروموتور بعد از بالانس فن

Freq. (Hz)	mm/s RMS
7	0.217634
13	0.267669
24.75	1.538405
50.5	0.333309

جدول ۸- فرکانس های تحریک شده در ارتعاش عمودی بیرینگ Drive الکتروموتور بعد از بالانس فن

### ۳- نتیجه گیری و بحث

در این تحقیق کارآیی روش ارتعاش سنجی در تشخیص عیوب در سیستم الکتروموتور و فن مورد تایید قرار گرفت. نتایج عملی این تحقیق نشان داد که توجه همزمان به داده های پایش وضعیت و همچنین رجوع به تجربه و سابقه عملکردی تجهیز باعث شناسایی دقیق تر عیب تجهیز می گردد. از دیگر نتایج جانبی این تحقیق، مشاهده ارتعاشات منتقل شده از یک تجهیز به سایر تجهیزات بود که بعضاً می تواند باعث ابهام در نتیجه گیری و حتی نتیجه گیری اشتباه شود. با توجه به وزن بسیار زیاد تجهیز دوار مورد مطالعه، حتی مقادیر کوچک ارتعاشات نیز غیر قابل تحمل بوده و باعث صدمه به خود و همچنین تجهیزات دیگری می شود که در سایت نصب شده اند. به طور خلاصه، در این گزارش، کارآمدی روش ارتعاش سنجی در رفع نقص و پیشگیری از خرابی های مهلک مورد تایید قرار گرفت.

### ۴- منابع

- [۱] م. بهزاد و همکاران، امکان سنجی بکارگیری روش نگهداری پیش بینانه در تاسیسات آب و فاضلاب کشور دومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی، تهران، ۱۳۸۶.
- [2] N. Tandon, G. S. Yadava, K. M. Ramakrishna, A comparison of some condition monitoring techniques for the detection of defect in induction motor ball bearings, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 21, No. 1, pp. 244-256, 2007.
- [۳] م. آقامینی، ا. جعفری، ح. خالصی، م. قمری، ف. خبازی پور، طراحی سیستم عیب یابی مرکزی با آنالیز ارتعاشات و پیاده سازی آن در نیروگاه آبادان - بخش نرم افزار، بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۰.
- [۴] غلامحسین، معصومی، ر. ص. لرکی، م. ا. زاده، تشخیص عیب

پایش وضعیت ارتعاشی گیربکس تراکتور مسی فرگوسن، دومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین آلات تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۶.

[12] T. H. Loutas, G. Sotiriades, I. Kalaitzoglou, V. Kostopoulos, Condition monitoring of a single-stage gearbox with artificially induced gear cracks utilizing on-line vibration and acoustic emission measurements, *Applied Acoustics*, Vol. 70, No. 9, pp. 1148-1159, 2009.

[13] W. Bartelmus, R. Zimroz, Vibration condition monitoring of planetary gearbox under varying external load, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 23, No. 1, pp. 246-257, 2009.

[۱۴] ا. جعفری، ف. سعیدی، ر. ستوده بحرینی، ه. شمس پور، بررسی، تشخیص و دسته بندی عیوب پمپهای سانتریفیوژ انتقال دوغاب در واحد فرآوری مجتمع گل گهر سیرجان، هشتمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی، ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۹۲.

[۱۵] ا. جعفری، ر. عباسی، م. مکی آبادی، کاربرد آنالیز ارتعاشات در عیب یابی پمپ و الکتروموتور کارخانه گندله سازی مجتمع معدنی صنعتی گل گهر سیرجان، هشتمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی، ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۹۲.

[۱۶] اسناد فنی مجتمع معدنی صنعتی گل گهر سیرجان.  
[۱۷] ج. تیلور (گردآوری و ترجمه حمید کریمی، خلیل الله سیاوشی) هندبوک آنالیز ارتعاشات اصفهان: انتشارات کنکاش، ۱۳۹۰.

های مکانیکی با استفاده از دوربین ترموگرافی مورد کاوی در پتروشیمی بو علی سینا، پنجمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی، ایران، آبادان، دانشکده نفت آبادان ۱۳۸۹.

[۵] م. معصومیان، ح. صداقتی نسب، تشخیص بیرینگ معیوب با استفاده از آنالیز ترموگرافی، سومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین آلات، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۷.

[۶] م. بهزاد، ع. روحانی بسطامی، م. علیخانی، ع. ا. قانع، ا. قاسم زاده، ارزیابی وضعیت الکتروپمپ های تأسیسات آب و فاضلاب آران و بیدگل، سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد اصلاح الگوی مصرف، تهران، ۱۳۸۸.

[۷] م. بهزاد، س. م. دربندی، س. خوبانی، س. م. ح. جزایری، م. احمدی، ع. ویسی آرا، غ. کیانفر، م. طهماسبی بیرگانی، بررسی همبستگی میان عیوب پمپهای گل و قطعات پرمصرف آنها در دکل حفاری، پنجمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی، ۱۳۸۹.

[۸] ح. خیرری، ج. عظیم آبادی، ج. بابایی، نمونه عیب یابی و رفع عیب به وسیله آنالیز ارتعاشات در فن های برج خنک کن نیروگاه تبریز، سومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین آلات تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۷.

[۹] ا. کندی، م. غلامی دیلمی، نمونه هایی از اجرای موفق برخی تکنیک های پایش وضعیت در نیروگاه حرارتی سازند چهارمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین آلات، ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۸.

[۱۰] م. ر. وزیر سرشک، اصلاح طراحی پره های فن بویلر نیروگاه به کمک آنالیز ارتعاشی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز ۱۳۹۱.

[۱۱] ک. حیدر بیگی، ح. احمدی، س. ا. طباطبایی فر، م. امید،