

## مطالعه تطبیقی روش‌های آنالیز ارتعاشات و آکوستیک امیشن

### در پایش وضعیت و عیب‌یابی پمپ آب شیرین<sup>۱</sup>

سعید شیروانی شاه عنایتی

کارشناسی ارشد

کارشناس پایش وضعیت شرکت راه اندازی و بهره برداری صنایع نفت OICO

s.shirvani.17947@OICO.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

#### چکیده

در این مقاله به تشریح یک مورد کاوی حاصل از دستاوردهای پیاده‌سازی روش پایش وضعیت مبتنی بر آنالیز ارتعاشات و آکوستیک امیشن پرداخته شده است. همچنین تأثیر آلاینده‌گی آب بر عمر یاتاقان<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه ضمن بررسی خرابی مشاهده شده به ریشه‌یابی علل خرابی براساس استاندارد ISO15243 و ارائه راه‌کارهایی با هدف پیشگیری از وقوع خرابی‌های مشابه در آینده پرداخته شده است. رویکرد این مقاله بررسی نتایج استفاده هم‌زمان از روش‌های مختلف پایش وضعیت در تشخیص دقیق و سریع خرابی یاتاقان و جلوگیری از وقوع تکرار خرابی بوده است.

**واژگان کلیدی:** پایش وضعیت، آنالیز ارتعاشات، آکوستیک امیشن، نت پیش‌بینانه<sup>۳</sup>، تشخیص خرابی یاتاقان.

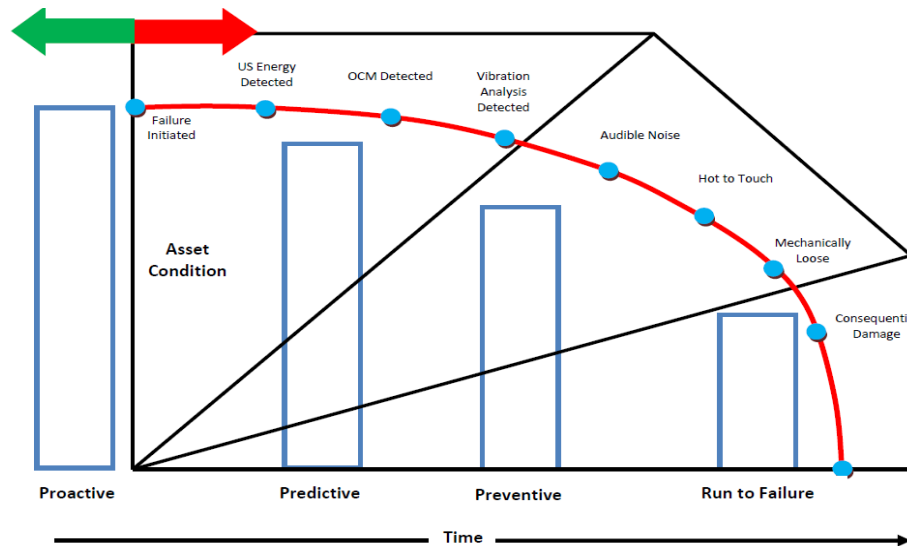
#### ۱. مقدمه

به‌عنوان نمونه و به‌طور خاص، استراتژی تعمیرات پیش‌بینانه باید همراه و در کنار استراتژی نت پیشگیرانه عملیاتی شود تا راه برای رسیدن به اهداف سازمانی نگهداری و تعمیرات هموارتر گردد. حتی در برخی موارد برای برخی از تجهیزات لازم است که به استراتژی کار تا شکست پناه برد. شکل ۱ استراتژی‌های مختلف تعمیراتی را در برابر روش‌های پایش وضعیت برای پایش و عیب‌یابی یک یاتاقان غلتشی<sup>۴</sup> نشان می‌دهد.

در نظام نگهداری و تعمیرات موجود در صنایع، استراتژی‌های مختلفی وجود دارد که در هر صنعتی تلاش می‌شود یک استراتژی خاص به‌عنوان استراتژی برتر پیاده‌سازی شود. آنچه مسلم است، تلاش برای پیاده‌سازی یک استراتژی خاص در نظام نگهداری و تعمیرات محصول یک دیدگاه بسته بوده و لازم است به فراخور وضعیت هر صنعت، استراتژی‌های مورد نظر انتخاب و پیاده‌سازی شود.

نمودار خرابی بالقوه، به صورت شماتیک وضعیت تجهیزات را در طول زمانی که خرابی رو به رشد قابل شناسایی است و هزینه تعمیرات در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. هر قدر یک خرابی سریع‌تر تشخیص داده شود زمان بیشتری برای

برنامه‌ریزی جهت انجام اقدامات اصلاحی وجود خواهد داشت. این مسئله در زمان‌هایی که فرایند سفارش و خرید قطعات یدکی از خارج از کشور چندین ماه به طول می‌کشد بسیار حیاتی‌تر بوده و حائز اهمیت‌تر است.



شکل ۱. نمودار خرابی بالقوه و روش‌های مختلف پایش وضعیت [۱]

## ۲. تاریخچه

از اوایل دهه هشتاد میلادی به تدریج استراتژی نت پیش‌بینانه در صنایع ایالات متحده آمریکا مطرح شد. از آنجا که در این نوع نت، وضعیت تجهیزات نقش مهمی در انجام تعمیرات دارد، به آن نت مبتنی بر شرایط نیز گفته می‌شود. در نت پیش‌بینانه اعتقاد بر این است که اغلب خرابی‌های تجهیزات پس از رسیدن به یک مرحله مشخص، با نشانه‌هایی از قبیل افزایش ارتعاشات، صدا، دما، و... همراه است. بنابراین می‌توان با اندازه‌گیری و پایش پارامترهایی از قبیل ارتعاشات، دما، نوفه و... از وقوع خرابی و رشد آن در تجهیزات اطلاع یافت و پیش از وقوع خرابی سنگین نسبت به انجام اقدامات اصلاحی از قبیل برنامه‌ریزی جهت تعمیر و یا تعویض قطعه معیوب مبادرت ورزید. از مزایای نت پیش‌بینانه می‌توان به کاهش خرابی‌های غیر منتظره، سفارش‌دهی قطعات در زمان مورد نیاز، افزایش عمر تجهیزات، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش توقف تولید اشاره نمود.

در سال‌های اخیر مباحث مربوط به پایش وضعیت بیش از پیش مورد توجه مدیران و متخصصین نت صنایع و حتی مراکز

پژوهشی و دانشگاهی قرار گرفته است. در این زمینه روش‌های متنوعی وجود دارد که هر کدام مزایا و محدودیت‌هایی دارند. به کمک هر کدام از این روش‌ها می‌توان عیب یا مجموعه‌ای از عیوب را در تجهیزات تشخیص داد. روش آنالیز ارتعاشات به-عنوان یکی از پرکاربردترین این روش‌هاست. اگرچه ورود این روش به کشور با تأخیر صورت گرفت ولی پیشرفت و نفوذ آن در صنایع مختلف نفت، گاز، پتروشیمی، فولاد، سیمان، نیروگاه و... در یک دهه اخیر چشمگیر بوده است. این موضوع بیان‌گر درک عمیق از اهمیت پایش وضعیت و تأثیر مستقیم آن بر کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات صنایع است.

ارائه موردکاوی‌های فراوان در کنفرانس‌های تخصصی نت در کشور و مقالات علمی متعدد در این زمینه هم نشان‌دهنده این مسئله است [۲-۸]. اما همچنان نفوذ برخی دیگر از روش‌ها از قبیل آنالیز جریان و آنالیز فراصوت به علت هزینه سنگین خرید تجهیزات مربوطه و یا محدود بودن شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات قوی در این زمینه، محدود بوده است.

نویسنده این مقاله براساس تجارب هفت ساله و دستاوردهای حاصل از چندین سال استفاده هم‌زمان از روش‌های پایش وضعیت شامل آنالیز ارتعاشات، آنالیز روغن، ترموگرافی،

آکوستیک امیشن و آنالیز جریان در تشخیص عیوب و پیشگیری از خرابی‌های متعدد در صنایع فولادسازی، گندله سازی، نفت، گاز و پتروشیمی کشور، طراحی و تکمیل یک برنامه جامع پایش وضعیت متناسب با تجهیزات دوار هر صنعت را ضروری می‌داند. در این مقاله سعی شده است ضمن مقایسه بین ابزارها و نتایج حاصل از پیاده‌سازی دو روش در تشخیص به موقع خرابی به لزوم ریشه‌یابی علل خرابی و پیشگیری از وقوع دوباره خرابی نیز پرداخته شود.

### ۳. روش پژوهش

یاتاقان‌ها از جمله قطعات اصلی انواع ماشین‌ها هستند و پایش وضعیت صحیح و به موقع آنها سبب افزایش بهره‌وری، کاهش زمان تعمیرات و هزینه‌ها می‌گردد. بدین ترتیب پایش وضعیت یاتاقان‌ها از اهمیت خاصی در صنعت برخوردار است. هزینه‌های زمان از کار افتادگی اجزا برای فرایندهای صنعتی می‌تواند بسیار مهم باشد، بنابراین جلوگیری از شکست تجهیزات و کاهش توقف مزیت‌های مهمی هستند که می‌توانند با پایش وضعیت کنترل شوند. امروزه استراتژی نت پیش‌بینانه به‌طور گسترده‌ای در صنعت استفاده می‌شود. از جمله روش‌های مورد استفاده در پایش وضعیت می‌توان به آنالیز ارتعاشات، آکوستیک امیشن، ترموگرافی، آنالیز روغن، آنالیز جریان و ... اشاره نمود. آنالیز ارتعاشات یکی از پرکاربردترین روش‌های مورد استفاده در عیب‌یابی یاتاقان‌ها است و در طی دهه‌های اخیر پژوهش‌های فراوانی در زمینه تشخیص عیوب مختلف یاتاقان به کمک روش آنالیز ارتعاشات ارائه شده است [۹-۱۳].

آکوستیک امیشن نیز مبتنی بر پدیده‌ای است که در اثر ایجاد و انتشار یک موج الاستیک در محدوده فراسوت رخ می‌دهد. این امواج ناشی از آزاد شدن ناگهانی انرژی الاستیک از منبع موجود در جسم است [۱۴]. طی دو دهه گذشته مطالعات متعددی در زمینه توسعه کاربرد فناوری آکوستیک امیشن به‌منظور پایش سلامتی یاتاقان‌ها انجام شده است. در پایش وضعیت یاتاقان‌ها، آکوستیک امیشن از ضربه‌های کوچک ناشی از اصطکاک و سایش بین اجزای دوار یاتاقان ناشی می‌گردد. تفاوت آکوستیک امیشن با آنالیز ارتعاشات در باند فرکانسی ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوهرتز است. طبق ادعای برخی مراجع، آکوستیک امیشن تشخیص زود هنگام‌تری نسبت به آنالیز ارتعاشات برای عیوب کنس خارجی یاتاقان ارائه می‌دهد [۱۴]. یکی از دلایل کاربرد

محدودتر آکوستیک امیشن در کشور ما هزینه چند برابری تجهیزات سخت افزاری آن در مقایسه با آنالیزهای ارتعاشات است.

از سایر روش‌های پایش وضعیت می‌توان به ترموگرافی، آنالیز روغن، آنالیز جریان و ... اشاره نمود. توقف یک تجهیز حیاتی می‌تواند موجب از دست رفتن درصدی و یا تمام تولید یک کارخانه یا واحد صنعتی شود. این مسئله به معنی کاهش میلیون‌ها و یا حتی میلیاردها تومان از سود یک مجتمع تولیدی است. بنابراین برای جلوگیری از توقف تجهیزات باید متناسب با نوع و حساسیت تجهیزات، راه‌کارهای متنوعی اتخاذ نمود.

به‌منظور اجرای درست روش‌های پایش وضعیت لازم است کاربردها، مزایا و محدودیت‌های هر یک از روش‌ها و ارتباط بین روش‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد. به بیان دیگر هر روش باید به‌صورت اصولی اجرایی شده و نتایج به‌دست آمده از هر کدام با نتایج خروجی روش دیگر مقایسه گردد. در برخی موارد ممکن است در عیب‌یابی‌ها، یک روش خاص کارا باشد ولی در بیشتر موارد می‌توان گفت که تجمع روش‌های مختلف به تصمیم‌گیری درست کمک شایانی می‌کند.

در این مقاله یک نمونه از دستاوردهای حاصل از پیاده‌سازی هم‌زمان روش‌های آنالیز ارتعاشات و فراصوت در میدان نفتی آزادگان شمالی، تشریح می‌گردد. طبق تحقیق نویسنده تاکنون هیچ‌گونه موردکاوی از عیب‌یابی روش‌های تجهیزات دوار مستقر در صنایع نفت با استفاده هم‌زمان از دو روش آنالیز ارتعاشات و آکوستیک امیشن در صنایع نفت کشور گزارش نشده است.

### ۴. مبانی آنالیز ارتعاشات

یکی از عیوب قابل تشخیص به کمک آنالیز ارتعاشات، تشخیص خرابی یاتاقان‌هاست. خرابی‌های موجود در قسمت‌های مختلف یاتاقان شامل خرابی کنس داخلی، خرابی کنس خارجی، خرابی ساچمه‌ها و خرابی قفسه، فرکانس‌های متفاوتی را تحریک می‌کنند. شکل طیف فرکانسی، دامنه آن، جمع و تفرق فرکانس‌ها و استفاده از سیگنال زمانی از جمله روش‌ها و راه‌کارهای مختلف برای تشخیص موقعیت، اندازه و ویژگی‌های خرابی یاتاقان است. در یک تجهیز با یاتاقان معیوب و یا یاتاقان تحت تنش بسته به موقعیت و نوع خرابی معمولاً یک یا چند فرکانس از فرکانس‌های خرابی یاتاقان تحریک

خواهد شد این فرکانس‌ها که به فرکانس‌های خرابی یاتاقان مشهور هستند عبارت‌اند از [۱۵]:

۱. فرکانس عضو چرخشی یا فرکانس دور روتور<sup>۵</sup>
۲. فرکانس قفسه یا کیج یاتاقان<sup>۶</sup>
۳. فرکانس گذر ساچمه از کنس داخلی<sup>۷</sup>
۴. فرکانس گذر ساچمه از کنس خارجی<sup>۸</sup>
۵. فرکانس چرخش ساچمه به دور خود<sup>۹</sup>

روش دیگری مورد استفاده به منظور شناسایی عیوب و پایش وضعیت یاتاقان‌ها، روش طیف پوش<sup>۱۰</sup> است. در سال‌های اخیر، روش طیف پوش یکی از پرکاربردترین روش‌های فرکانس بالا جهت شناسایی و تشخیص عیوب یاتاقان‌هاست. این روش مبتنی بر استخراج ضربات هارمونیک متناوب با انرژی پایین از سیگنال ارتعاشی تجهیز است [۱۵].

ابزار مورد استفاده دیگر در روش آنالیز ارتعاشات جهت تخمین وضعیت یاتاقان‌ها پارامتر بدون بعد BC است. خرابی یاتاقان‌ها در در مراحل نخست، موجب تحریک فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰۰ هرتز می‌گردد که این مسئله باعث می‌شود مقدار کلی ارتعاشات در مراحل اولیه خرابی یاتاقان رشد چندانی نداشته باشد. بر همین اساس تعیین وضعیت یاتاقان‌های غلتشی<sup>۱۱</sup> (BC) سعی دارد از طریق سنجش ضربات ناگهانی و سطح نوفه در فرکانس‌های بالا وضعیت یاتاقان را مورد ارزیابی قرار دهد.

در سال‌های اخیر آنالیز ارتعاشات به‌عنوان روش اصلی و پایه در جهت پایش وضعیت و تشخیص خرابی یاتاقان‌ها همواره مورد توجه بوده است اما در برخی موارد از قبیل پایش وضعیت یاتاقان‌های دور پایین (دوره‌های کمتر از ۳۰۰ rpm) و یا در تجهیزات با پوسته‌های خاص و ... نتایج از قابلیت اطمینان پایین‌تری برخوردار بوده و نیاز به تست‌های تکمیلی دقیق‌تر شدیداً وجود دارد.

## ۵. مورد کاوی

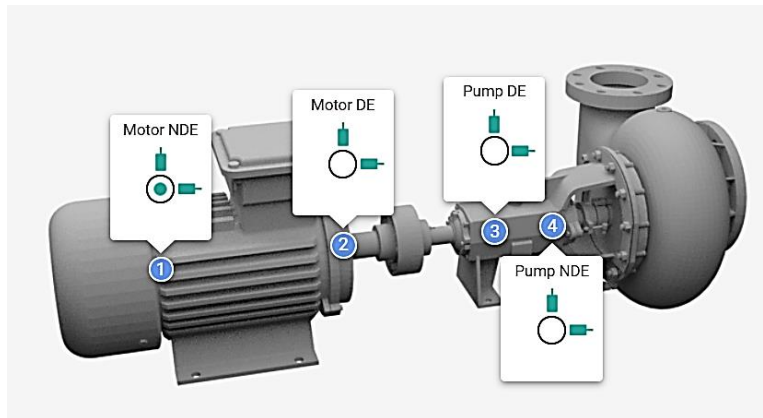
سیستم آب شیرین مورد استفاده در واحد نمک‌زدایی از نفت، توسط یک خط لوله هشت اینچ به سایت وارد می‌شود و در ادامه سه انشعاب از آن گرفته می‌شود:

- ✓ خط لوله شش اینچ ورودی مخزن اول
- ✓ خط لوله شش اینچ ورودی مخزن دوم
- ✓ خط لوله شش اینچ ورودی مخزن آتش نشانی

جهت استفاده از آب در واحد نمک‌زدایی در ابتدا آب مخازن توسط پمپ‌های مذکور جهت پیش‌گرم کردن به مبدل حرارتی منتقل می‌شود. در جدول ۱ مشخصات فنی تجهیز مورد مطالعه ارائه شده است. همچنین در شکل ۲ شماتیک پمپ و نقاط ارتعاش‌سنجی نمایش داده شده است. نتایج حاصل از آنالیز ارتعاشات در جداول ۲ تا ۳ و تصاویر ۳ تا ۱۰ و نتایج تست آکوستیک امپشن در جداول ۴ تا ۶ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات فنی الکتروموتور و پمپ

Driver		Driven	
Driver Type	Electromotor	Type	Centrifugal
Manufacturer	Nanyang	Manufacturer	Deep Blue
Type	LV	Normal Vibration	4.5 mm/s
Power	30 KW	Alarm Vibration	2.3 mm/s
Phase number	3	Shut down Vibration	4.5 mm/s
Voltage	400	Normal Temperature	75 C°
Current	53	Alarm Temperature	80 C°
No. of Poles	4	Shut down Temperature	90 C°
Nominal Speed	1485 rpm	Duty	22 KW
IP	55	Capacity	83 m3/h
Normal Vibration	2.3 mm/s	Operation Condition (Suction)	0.015 Mpa & 80C
Shut down Vibration	4.5 mm/s	Operation Condition (Discharge)	20 Mpa & 80C



شکل ۲. شماتیک الکتروموتور، پمپ و نقاط داده برداری و راستاهای اندازه گیری (شعاعی و محوری)

جدول ۲. مقادیر کلی دامنه ارتعاشات

Overall Vibration (Velocity - mm/s)		P-13540B Fresh Water Pump			
Direction	Point	Driver Electro-motor		Driven Pump	
		NDE (Non Drive End Point)	DE (Drive End Point)	DE (Drive End Point)	NDE (Non Drive End Point)
Vertical		۱/۶	۱/۴	۱/۸	۳/۲
Horizontal		۱/۷	۱/۴	۲/۲	۱/۶
Axial		***	۰/۹	***	۱/۴

استاندارد ISO10816-7 در محدوده قابل قبول قرار دارد.

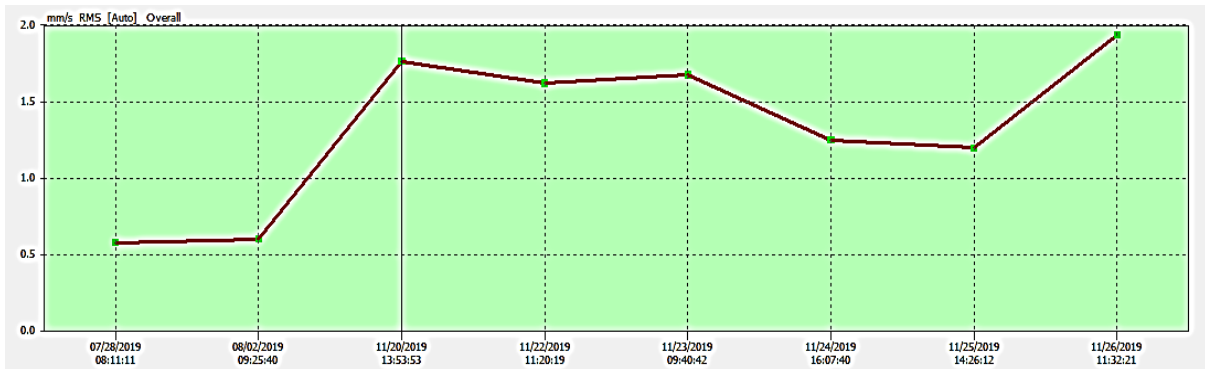
مقادیر کلی ارتعاشات اندازه گیری شده فوق براساس

جدول ۳. مقادیر کلی پارامتر یاتاقان (BC)

Bearing Condition Alarm > 1.5 Danger > 3		P-13540B Fresh Water Pump			
Direction	Point	Driver Electro-motor		Driven Pump	
		NDE (Non Drive End Point)	DE (Drive End Point)	DE (Drive End Point)	NDE (Non Drive End Point)
Vertical		0.6	0.3	1.3	4.2
Horizontal		0.7	0.4	2.2	2.2

این مسئله نشان دهنده لزوم بررسی دقیق تر وضعیت کارکردی یاتاقان های پمپ را به تحلیل گر هشدار می دهد.

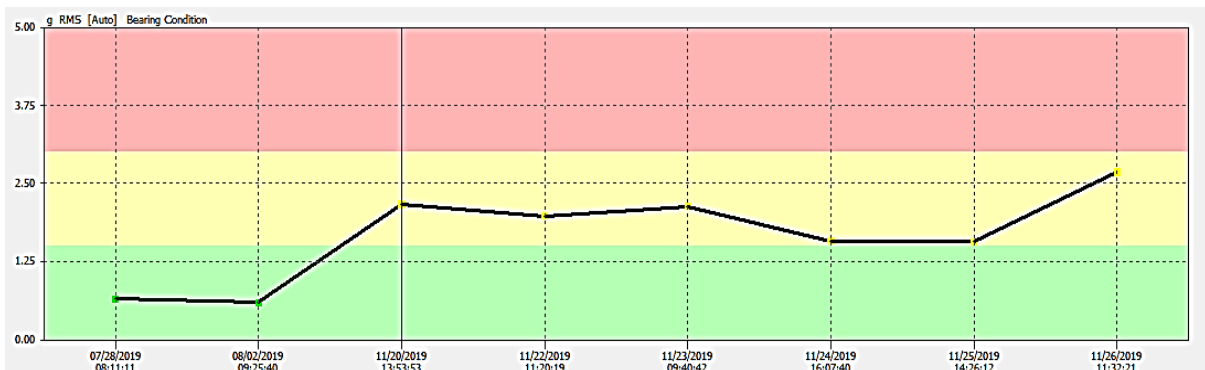
مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۳، مقادیر پارامتر BC اندازه گیری شده بر روی الکتروموتور در محدوده قابل قبول و سالم قرار دارد. اما مقادیر پارامتر BC بر روی یاتاقان های پمپ در محدوده هشدار و خطر قرار دارد.



شکل ۳. ترند ارتعاشات پمپ در راستای افقی

تاریخچه کارکردی پمپ روند افزایشی است. این مسئله نیز یک هشدار محسوب می‌گردد.

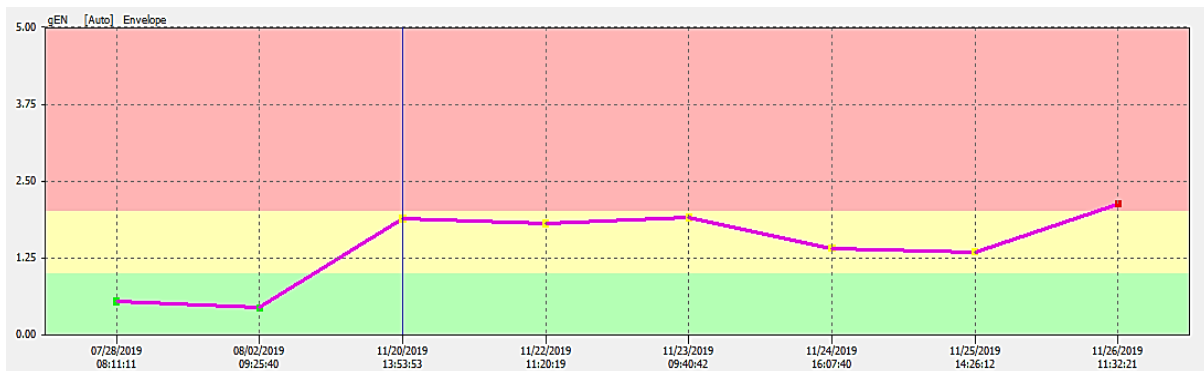
مطابق شکل ۳، ترند مقدار کلی ارتعاشات نشان از افزایش تدریجی دامنه کلی ارتعاشات دارد. هرچند مقادیر کلی ارتعاشات نسبت به استاندارد در محدوده مجاز قرار دارد ولی نسبت به



شکل ۴. ترند پارامتر یاتاقان پمپ در راستای افقی

است و وارده محدوده هشدار (ناحیه زرد رنگ) شده است.

مطابق شکل ۴، ترند مقدار پارامتر BC پمپ نیز افزایشی



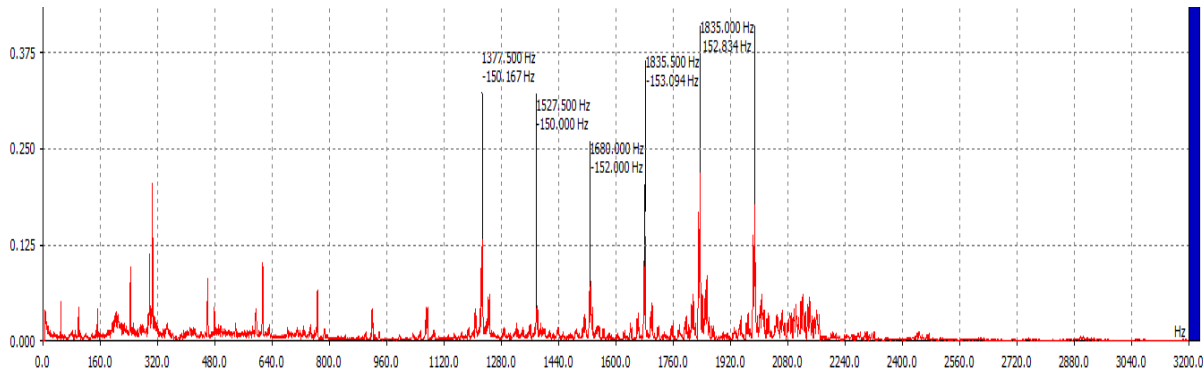
شکل ۵. ترند مقدار کلی پارامتر بدون بعد پوش پمپ اندازه‌گیری شده در راستای افقی

جمع‌بندی مقادیر کلی پارامتر BC و پارامتر طیف پوش همگی نشان از وجود مشکل در یاتاقان پمپ دارد. این مشکل می‌تواند ناشی از عوامل متعدد از قبیل نقص روانکاری، شروع خرابی

مطابق شکل ۵، ترند مقدار کلی طیف پوش پمپ نیز افزایشی است بوده و در آخرین داده‌برداری وارد ناحیه خطر (ناحیه قرمز) شده است.

اراته یک تحلیل دقیق‌تر از وضعیت یاتاقان پمپ پرداخته شده است.

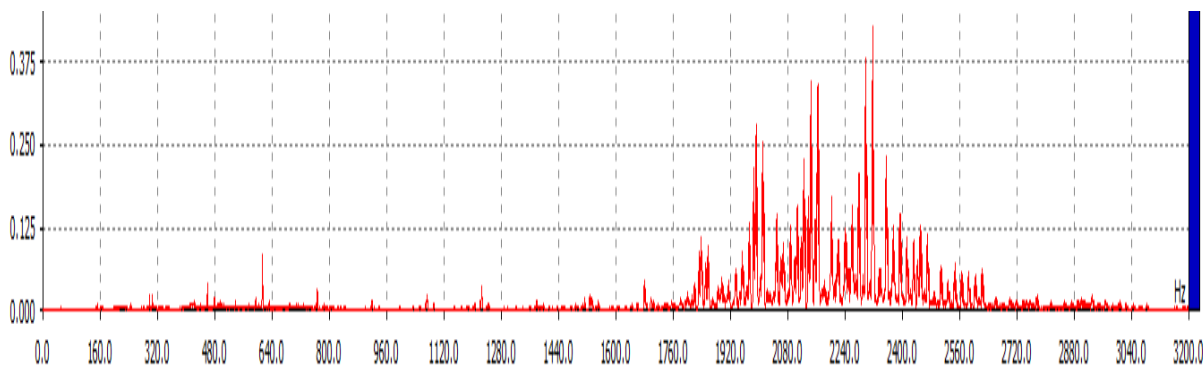
یاتاقان، نصب نادرست، تحت تنش بودن یاتاقان و ... باشد. در ادامه به بررسی دقیق‌تر نسبت به ریشه‌یابی علت این موضوع و



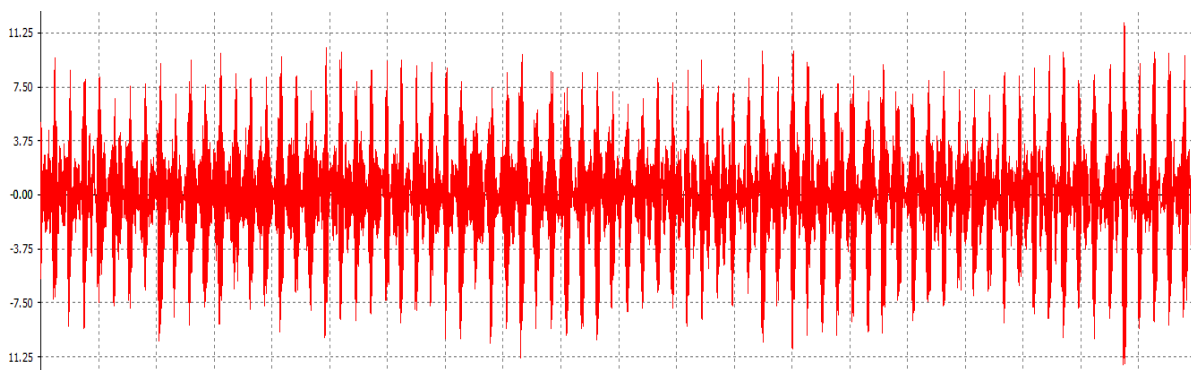
شکل ۶. طیف فرکانسی پمپ اندازه‌گیری شده در راستای افقی

گذر ساچمه از کنس خارجی  $^{12}$  (BPFO) یاتاقان SKF-6312 منطبق است.

مطابق شکل ۶، بررسی طیف فرکانسی نشان از ظهور یک دسته باند فرکانسی با فاصله ۱۵۰ Hz دارد. این فرکانس با فرکانس



شکل ۷. طیف شتاب پمپ اندازه‌گیری شده در راستای افقی



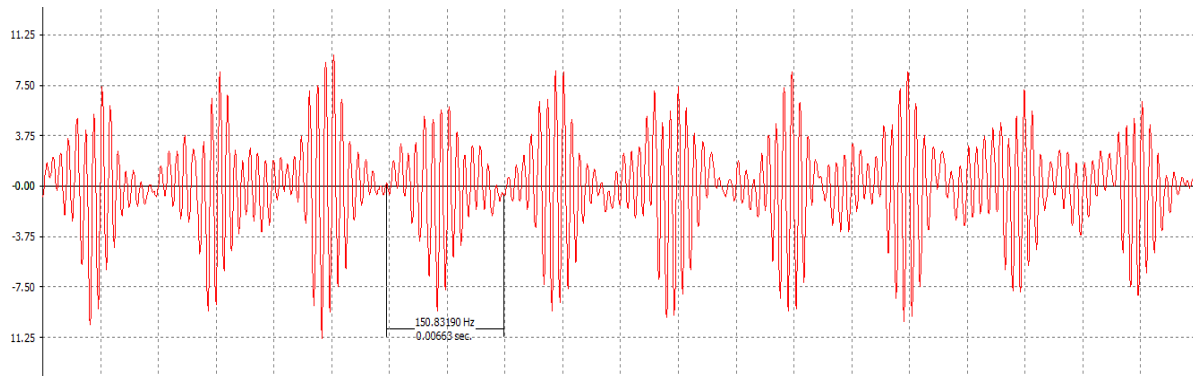
شکل ۸. سیگنال زمانی پمپ اندازه‌گیری شده در راستای افقی

۸، در سیگنال زمانی پمپ ضربات متعدد مشاهده می‌گردد. مشاهده این ضربات در سیگنال زمانی یک پمپ می‌تواند ناشی از خرابی یاتاقان، سایش، نقص روانکاری، برخورد تیغه‌های<sup>۱۳</sup>

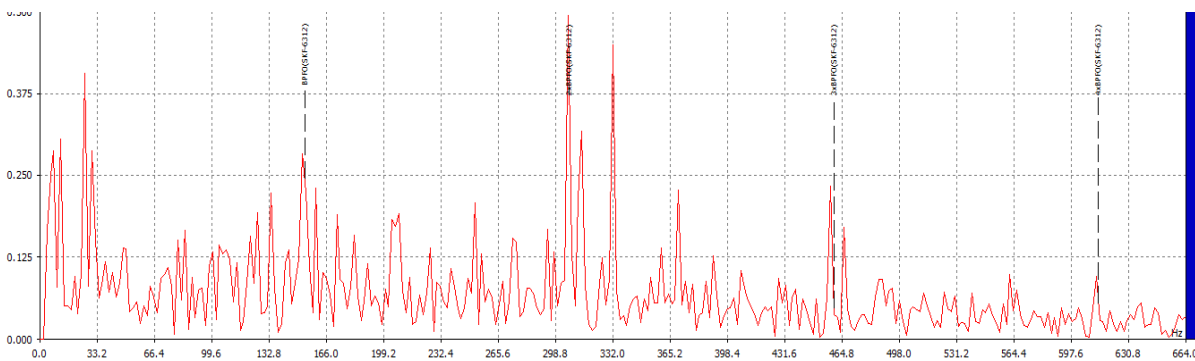
مطابق شکل ۷، در طیف شتاب پمپ یک دسته باند فرکانسی در محدوده ۱۸۰۰ Hz تا ۲۶۰۰ Hz تحریک شده است. این مسئله یکی از علائم رایج در خرابی یاتاقان‌هاست. مطابق شکل

فرکانس خرابی کنس خارجی یاتاقان SKF-6312 منطبق است.

ایمپلر با پوسته پمپ، رسوبات و ... باشد. در شکل ۹ با بزرگ‌نمایی سیگنال زمانی مشخص می‌گردد پریود پالس‌های مشاهده شده در سیگنال زمانی با فرکانس ۱۵۰ Hz یا همان



شکل ۹. سیگنال زمانی بزرگ‌نمایی شده پمپ



شکل ۱۰. طیف پوش پمپ اندازه‌گیری شده در راستای افقی

تحریک شده است. این مسئله نشان از رشد خرابی در کنس خارجی یاتاقان SKF-6312 دارد.

مطابق شکل ۱۰، در طیف پوش پمپ نیز فرکانس خرابی کنس خارجی به همراه هارمونیک‌های دوم، سوم و چهارم آن

جدول ۴. نتایج تست آکوستیک امیشن (تیر ۱۳۹۸)

Ultrasound Test (db)	P-13540B Fresh Water Pump			
	Driver Electro-motor		Driven Pump	
	NDE (Non Drive End Point)	DE (Drive End Point)	DE (Drive End Point)	NDE (Non Drive End Point)
Radial	۱۸	۱۹	۲۲	۲۳



جدول ۵. نتایج تست آکوستیک امیشن (مرداد ۱۳۹۸)

Ultrasound Test (db)	P-13540B Fresh Water Pump			
	Driver Electro-motor		Driven Pump	
	NDE (Non Drive End Poind)	DE (Drive End Poind)	DE (Drive End Poind)	NDE (Non Drive End Poind)
Radial	۱۷	۱۸	۲۳	۲۶

جدول ۶. نتایج تست آکوستیک امیشن (آذر ۱۳۹۸)

Ultrasound Test (db)	P-13540B Fresh Water Pump			
	Driver Electro-motor		Driven Pump	
	NDE (Non Drive End Poind)	DE (Drive End Poind)	DE (Drive End Poind)	NDE (Non Drive End Poind)
Radial	۱۸	۱۹	۳۲	۴۰

- ✓ مقدار کلی پوش نیز از ۰/۴ به ۱/۹ افزایش داشته است و مقدار کلی شتاب از ۰/۴ به ۲/۸ افزایش داشته است.
- ✓ نتایج تست آکوستیک امیشن نیز نشان از رشد ۱۷db سطح نوفه دارد.

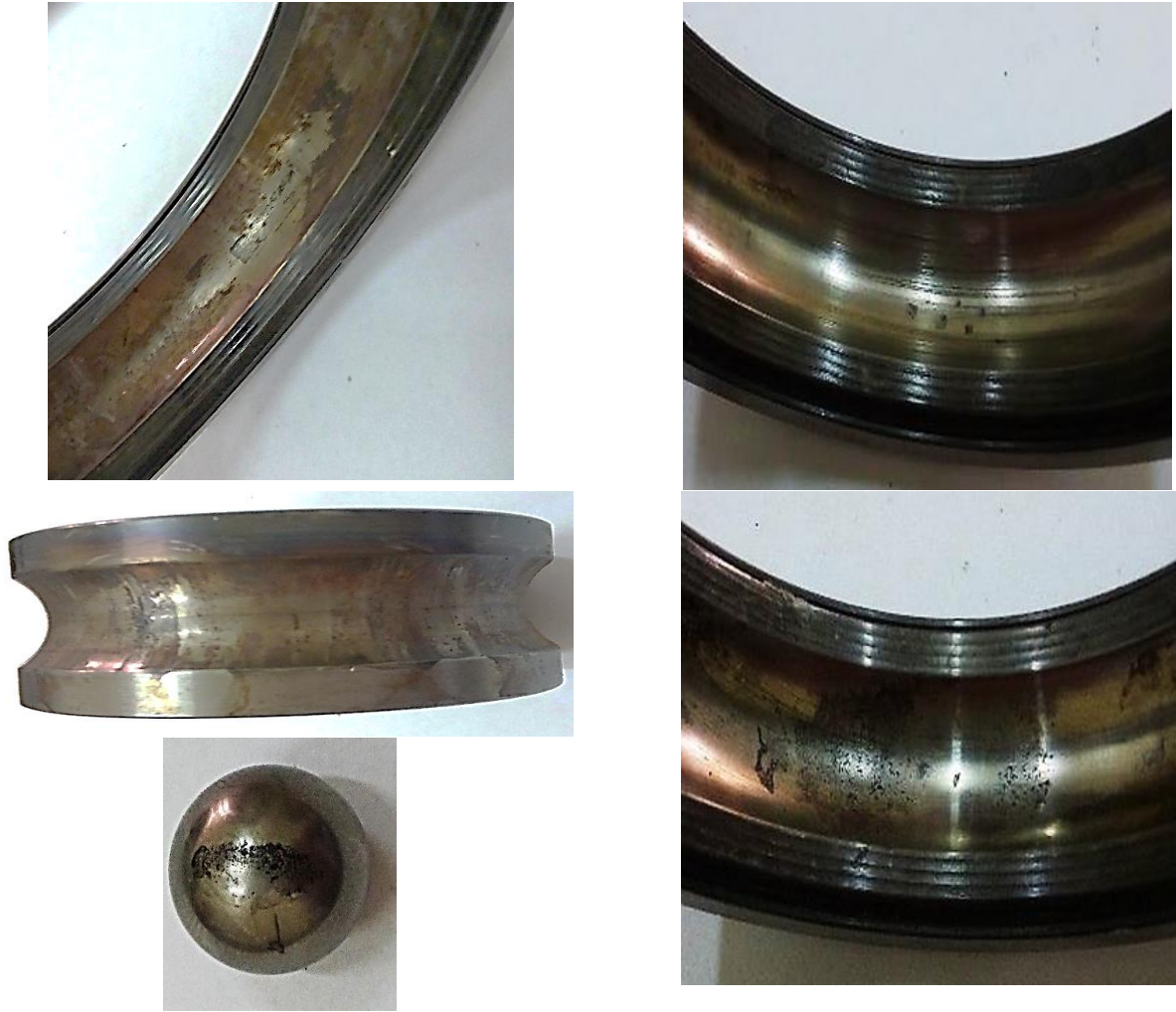
براساس نتایج فوق نسبت به صدور درخواست کار جهت تعویض یاتاقان پمپ طی یک توقف برنامه ریزی شده اقدام گردید. پس از تعویض یاتاقان، نسبت به بررسی اجزای یاتاقان با هدف ریشه‌یابی علت خرابی اقدام گردید. تا این مرحله از کار وظیفه تیم پایش وضعیت انجام شده است. اما تا پیاده‌سازی پایش وضعیت مطابق با استانداردهای روز جهانی یک گام دیگر نیز باقی مانده است و آن ریشه‌یابی علت خرابی است. به عبارت دیگر ریشه‌یابی علت خرابی اجزای تجهیزات دوار با هدف انجام تمهیداتی به منظور جلوگیری از وقوع خرابی‌های مجدد از اهمیت فراوانی برخوردار بوده و تیم پایش وضعیت نباید خود را تنها محدود به تشخیص خرابی نماید.

به همین علت پس از انتقال پمپ به کارگاه و دمونتاز یاتاقان‌های معیوب نسبت به بررسی علائم و ریشه‌یابی علت خرابی اقدام گردید.

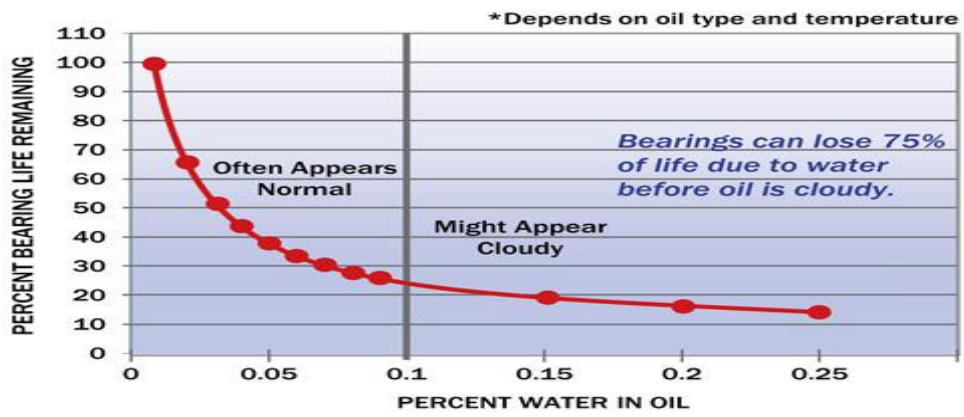
پس از تحلیل نتایج آنالیز ارتعاشات، نوبت به بررسی نتایج تست آکوستیک امیشن می‌رسد. مطابق مقادیر ارائه شده در جداول ۴، ۵ و ۶ نوفه اندازه‌گیری شده بر روی یاتاقان‌های الکتروموتور در طول سه ماه ثابت بوده است. اما مقادیر نوفه یاتاقان پمپ در این مدت افزایشی بوده است به نحوی که تا ۱۷db افزایش در سطح نوفه یاتاقان پمپ ثبت شده است. این مسئله نشان از رشد خرابی در یاتاقان دارد.

خلاصه نتایج حاصل از آنالیز ارتعاشات و آکوستیک امیشن عبارتند از:

- ✓ مقادیر کلی ارتعاشات براساس استاندارد در محدوده قابل قبول است؛ ولی از رشد برخوردار است.
- ✓ پارامتر یاتاقان از رشد محسوس برخوردار است.
- ✓ در طیف فرکانسی تجهیز یک دسته باند فرکانسی با فاصله ۱۵۰Hz (فرکانس BPFO) مشاهده می‌گردد.
- ✓ در سیگنال زمانی، ضرباتی با پریود منظم و فرکانس ۱۵۰Hz (فرکانس BPFO) مشاهده می‌گردد.
- ✓ در طیف پوش نیز فرکانس کنس خارجی یاتاقان SKF-6312 تحریک شده است.



شکل ۱۱. خرابی‌های مشاهده شده بر روی اجزاء یاتاقان و مشاهده علائم آلودگی روانکار



شکل ۱۲. تأثیر آلاینده‌گی آب بر عمر یاتاقان [۱۷]



شکل ۱۳. استفاده از ظروف نامناسب و غیراستاندارد

اجرای برنامه پایش وضعیت، باید در یک کلاس جهانی پیگیری شود و علاوه بر عیب‌یابی و تشخیص خرابی، به ریشه‌یابی علل خرابی کشف شده نیز پرداخته شود تا از بروز خرابی‌های تکراری پیشگیری گردد.

رویکرد این مقاله بررسی نتایج استفاده مناسب و هم‌زمان از روش‌های مختلف پایش وضعیت در تشخیص دقیق و سریع عیوب ایجاد شده در تجهیزات دوار و جلوگیری از وقوع خرابی ناگهانی منجر به توقف تولید و یا تحمیل هزینه‌های تعمیراتی ناخواسته بوده است.

دست‌آورد حاصل از این پیاده‌سازی این رویکرد، تولید پیوسته و بدون توقف روزانه ۷۵۰۰۰ بشکه نفت صادراتی با کیفیت در طول هجده ماه گذشته از میدان نفتی آزادگان شمالی و ثبت رکورد تولید بوده است.

## ۸. قدردانی

نویسنده بر خود لازم می‌داند از حمایت‌های فنی مدیریت محترم و همکاری پرسنل نگهداری و تعمیرات شرکت راه‌اندازی و بهره‌برداری صنایع نفت مستقر در پروژه میدان نفتی آزادگان شمالی در راستای پیاده‌سازی هرچه بهتر روش‌های پایش وضعیت قدردانی نماید.

## ۶. استاندارد و نگهداری نامناسب مخازن روغن

مطابق شکل ۱۱ در بررسی و مقایسه انجام شده براساس استاندارد ISO15243 علاوه بر مشاهده خرابی در کنس خارجی، علائم آلودگی روانکار به آب نیز مشهود بود. طبق تحقیقات انجام شده، تأثیر آلودگی آب بر روی عمر یاتاقان و روانکار بسیار شدید است. این مسئله در شکل ۱۲ قابل درک است. به همین علت لازم بود نسبت به ریشه‌یابی این مسئله و پیشگیری از بروز مجدد رخدادها اقدام گردد.

مطابق شکل ۱۳ در بررسی میدانی انجام شده در سطح سایت ضعف‌هایی مشاهده گردید و پیشنهادهایی در جهت اصلاح رویه موجود به واحدهای مربوطه ارائه گردید. از جمله موارد مشاهده شده، استفاده از ظروف نامناسب و غیراستاندارد در سطح سایت به‌منظور اجرای برنامه روانکاری و همچنین نگهداری نامناسب بشکه‌های روغن به‌صورت عمودی و در فضای باز بود.

## ۷. نتیجه‌گیری

به‌منظور پایش وضعیت هر تجهیز ممکن است روش‌های گوناگونی وجود داشته باشد. جهت انتخاب بهترین روش پایش وضعیت باید عوامل مختلفی بررسی گردد. در برخی موارد لازم است از چندین روش به‌صورت هم‌زمان استفاده شود تا احتمال خطا کاهش و دقت تحلیل افزایش یابد.

- [1] <https://www.maintworld.com/Applications/Maximizing-the-P-F-Interval-Through-Condition-Based-Maintenance> (seen at 31 aug. 2020)
- [۲] جعفری، علی، شکریمان، اشکان، احمدی، حجت، "عیب‌یابی بلبرینگ توسط آنالیز سیگنال های ارتعاش"، *مجله علمی صوت و ارتعاش*، ۱۳۹۴، دوره ۴، شماره ۸، صص. ۷۷-۸۳.
- [۳] صالحی، مهدی، ضیایی راد، سعید، "عیب‌یابی سازه‌ها به کمک داده‌های ارتعاشی" *مجله علمی صوت و ارتعاش*، ۱۳۹۱، دوره ۱ شماره ۱، صص. ۳۹-۴۹.
- [۴] صفری، خیام، همائی، هادی، "امکان‌سنجی استفاده از آنالیز صوت برای عیب‌یابی یک جعبه دنده هلیکال با یاتاقان‌های لغزشی" *مجله علمی صوت و ارتعاش*، ۱۳۹۳، دوره ۳ شماره ۶ صص. ۸۵-۹۵.
- [۵] آل‌یاسین، حسام، "تشخیص خرابی بیرینگ کف گرد پمپ نمک مذاب واحد ملامین پتروشیمی خراسان به کمک صداسنجی و آنالیز ارتعاشات و همچنین تعیین عمر بیرینگ مذکور"، *نهمین کنفرانس بین‌المللی آکوستیک و ارتعاشات*، ۱۳۹۸.
- [۶] پناهی، مهدی، قنبری، امیر، "تشخیص خرابی بیرینگ پینیون گیربکس به کمک آنالیز ارتعاشات و تحلیل خرابی آن"، *نهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک*، ۱۳۹۹.
- [۷] محمودآبادی، فائزه، رضایی‌زاده، مسعود و جمعه‌زاده ماهانی، عماد و بیگانی، علی، "آنالیز خرابی زود هنگام بیرینگ به کمک آنالیز ارتعاشی (مطالعه موردی)" *نهمین کنفرانس بین‌المللی آکوستیک و ارتعاشات*، ۱۳۹۸.
- [۸] موسوی، علی، عبدی باغملک، روح‌الله، هوشمندان، پویان، رضوی دیزجی، رضا، "تشخیص خرابی رینگ داخلی بیرینگ به کمک آنالیز ارتعاشات جهت بهبود زمان‌بندی اصلاح آن مورد کاوی در تجهیزات پتروشیمی تندگوین" *چهارمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌آلات*، ۱۳۹۸.
- [9] Elforjani, Mohamed Ali, "Condition monitoring of slow speed rotating machinery using acoustic emission technology", 2010.
- [10] Hoerprich, M. R., "Rolling element bearing fatigue damage propagation", 1992, pp.328-333.
- [11] Kotzalas, Michael N., and Tedric A. Harris, "Fatigue failure progression in ball bearings", *J. Trib.*, 2001, Vol.123, no. 2, pp.238-242.
- [12] Elforjani, Mohamed, and David Mba., "Natural mechanical degradation measurements in slow speed bearings", *Engineering Failure Analysis*, 2009, Vol.16, no.1, pp.521-532.
- [13] Gholamzade Sani, Hossein, Ebrahim Barati, A., Rezaei, and Mehdi Rafati Zarkak, "Condition Monitoring Based on Vibration Analysis for Defect Diagnosis of Rolling Element Bearing (Case Study: Mill Fan Electro Motor)", *Modares Mechanical Engineering*, 2019, Vol.20, no.1, pp.67-76.
- [14] Tandon, Naresh, and Achintya Choudhury, "A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings", *Tribology international*, 1999, Vol.32, no.8, pp.469-480.
- [15] James, I. Taylor, "The Vibration Analysis Handbook", 2003.
- [16] <https://www.machinerylubrication.com/Read/1084/water-contamination-lube> (seen at 31 August 2020)

1. Fresh Water Pump
2. Bearing
3. Predictive Maintenance - PdM
4. Rolling Bearing
5. Rotating Unit (S)
6. Fundamental Train Frequency (FTF)
7. Ball Pass Frequency of Inner Race (BPFI)
8. Ball Pass Frequency of Outer Race (BPFO)
9. Ball Spin Frequency (BSF)
10. Envelope spectrum
11. Rolling Bearing Condition
12. Ball Pass Frequency Outer
13. Blade