

## تشخیص خرابی رینگ داخلی بیرینگ به کمک آنالیز ارتعاشات جهت بهبود زمان بندی اصلاح آن - مورد کاوی در تجهیزات پتروشیمی تندگویان

علی موسوی<sup>۱</sup>، روح اله عبدی باغملک<sup>۲</sup>، پویان هوشمندان<sup>۳</sup>، رضا رضوی دیزجی<sup>۴</sup>

بندر امام خمینی، منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی، سایت ۴

شرکت پتروشیمی شهید تندگویان

CM\_Group@STPC.ir

### چکیده

اجزای بیرینگ دارای فرکانس های ارتعاشی و روند پیشرفت خرابی متفاوت می باشند و اهمیت تعیین عضو معیوب بیرینگ در برنامه ریزی مناسب جهت زمان توقف ماشین و تعویض بیرینگ نمایان می گردد. رشد خرابی رینگ داخلی بیرینگ از سرعت نسبتاً بالائی برخوردار می باشد که در صورت عدم تشخیص به موقع می تواند باعث ایجاد خرابی در دیگر قطعات و افزایش هزینه تعمیراتی گردد. با توجه به اهمیت این موضوع در این مقاله سعی شده با بررسی نشانه های ارتعاشی خرابی رینگ داخلی بیرینگ ماشین های مختلف روشی جهت تشخیص این نوع خرابی به کمک آنالیز ارتعاشی ارائه گردد.

واژه‌های کلیدی: بیرینگ، طیف فرکانسی، BPF1-Overall.

### مقدمه

آنالیز ارتعاشات یکی از روشهای اصلی پایش وضعیت در نگهداری و تشخیص عیوب ماشین آلات دوار صنایع محسوب می شود. تجربه عملی نشان داده است که این روش در برنامه پایش وضعیت ماشین ها اطلاعات قابل اطمینان و مفیدی را ارائه می دهد. بیرینگ ها در صنعت از اهمیت بسزایی برخوردار می باشند که در انواع مختلف و در طیف وسیعی از ماشین آلات مورد استفاده قرار می گیرند. نقش محوری بیرینگ در تجهیزات ملزم می سازد که پایش وضعیت مناسبی برای این قطعات در نظر گرفته شود. شکل هندسی بیرینگ امکان بررسی وضعیت این قطعه را از طریق آنالیز ارتعاشی با دقت بالائی میسر می سازد. ایجاد یک خرابی یا بعبارت دیگر ناپیوستگی بر روی اجزای بیرینگ، باعث افزایش ارتعاشات می گردد.

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، سرپرست گروه پایش وضعیت پتروشیمی شهید تندگویان

<sup>۲</sup> کاردان، کارشناس ارشد آنالیز ارتعاشات شرکت نیک سان صنعت

<sup>۳</sup> کارشناس، سرپرست اجرایی گروه پایش وضعیت شرکت پتروپایش صنعت جنوب

<sup>۴</sup> کارشناس، کارشناس گروه پایش وضعیت پتروشیمی شهید تندگویان

هر گاه یکی از رولها از روی این ناپیوستگی عبور کند در اثر برخورد ایجاد شده یک شوک ارتعاشی بوجود می آید که این شوک بطور متناوب بر اساس موقعیت این ناپیوستگی هندسی یاتاقان تکرار می شوند. نرخ این تکرار ها بعنوان فرکانسهای مربوط به اجزای یاتاقان غلتشی نامیده می شوند. [۱]

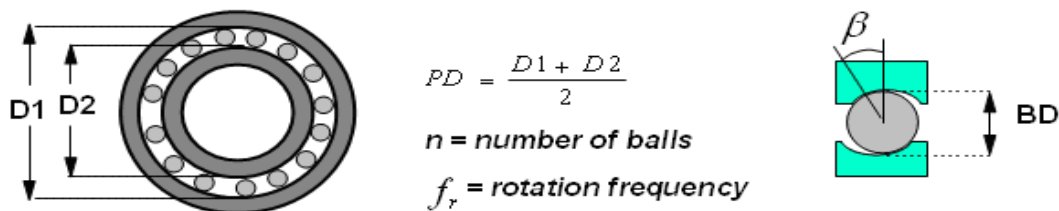
بدلیل تفاوت در روند پیشرفت خرابی اجزاء بیرینگ نیاز است که قسمت معیوب بیرینگ شناسائی گردد تا بتوان زمان بندی مناسبی جهت توقف ماشین و تعویض بیرینگ آن مشخص کرد. این موضوع در مورد تجهیزات حیاتی کارخانه های صنعتی که نقش کلیدی را در خط تولید ایفا می کنند از اهمیت بیشتری برخوردار می باشد،

توقف نابهنگام و برنامه ریزی نشده این تجهیزات می تواند هزینه های هنگفتی را بدلیل اختلال در تولید ایجاد نماید پس واحد های پایش وضعیت می توانند با تعیین زمان مناسب تعویض بیرینگ معیوب ماشین آلات حساس کارخانه، نه تنها در مصرف بهینه از قطعات نقش مهمی را ایفا نماید بلکه در فرآیند تولید و توقف برنامه ریزی شده مجتمع ها کمک شایانی داشته باشند. معمولاً اجزاء بیرینگهای غلطشی شامل بال و یا رول، قفسه (Cage)، رینگ داخلی و رینگ خارجی می باشد که بیشترین سرعت پیشرفت خرابی مربوط به بال یا رول و قفسه بیرینگ، سپس رینگ داخلی و نهایتاً رینگ خارجی می باشد.

با توجه به کثرت وقوع خرابی در رینگ داخلی بیرینگ ها و همچنین سرعت نسبتاً زیاد پیشرفت خرابی در این قسمت، در این مقاله تلاش شده با طرح چند مورد کای (Case study) روش مناسبی جهت تشخیص این عیب ارائه شود.

بیرینگ ها معمولاً با رینگ داخلی دوار و رینگ خارجی ثابت مورد استفاده قرار می گیرند. جهت بررسی وضعیت رینگ داخلی بیرینگ به کمک آنالیز ارتعاشی نیاز به اطلاعاتی در زمینه شماره بیرینگ، دور چرخش رینگ داخلی و محاسبه معادله فرکانس گذر بال بر روی رینگ داخلی (Ball Pass Frequency Inner Race) می باشد.

روش تعیین Ball Pass Frequency Innre Race (BPFI) مطابق معادله شماره ۱ و بر اساس تعاریف شکل ۱ می باشد.



شکل ۱- مشخصات بیرینگ جهت محاسبه BPFI [۲].

$$BPFI(Hz) = \frac{n}{2} f_r \left( 1 + \frac{BD}{PD} \cos \beta \right) \quad (1)$$

این فرمول تا زمانی دقیق خواهد بود که یاتاقان صرفاً حرکت غلتشی داشته باشد ولی در واقع ایجاد چنین شرایطی مشکل بوده و تا حدی حرکت لغزشی نیز در سیستم وجود دارد بنابراین نتایج حاصله از فرمول فوق نسبتاً تقریبی می باشند. ضمناً باید به این نکته توجه داشت که فرکانس مذکور فقط در صورت عبور بال ها از محل معیوب رینگ داخلی ایجاد می گردد. میزان Gear Mesh Frequency بر اساس معادله (۲) محاسبه میگردد.

$$GMF(\text{Gear Mesh Frequency}) = \text{دور شفت} \times \text{تعداد دندانه های چرخدنده} \quad (2)$$

تجهیزات مورد بررسی قرار گرفته در مقاله مربوط به واحدهای CTA/PTA و PET مجتمع پتروشیمی شهید تندگویان - فاز ۱ می باشد.

برداشت داده ها و آنالیز آنها به کمک دستگاه Easy Viber و نرم افزار SpectraPro انجام گرفته و از پارامترهای Overall Velocity (RMS)، FFT و BCU (Bearing Condition Unit) استفاده شده است.

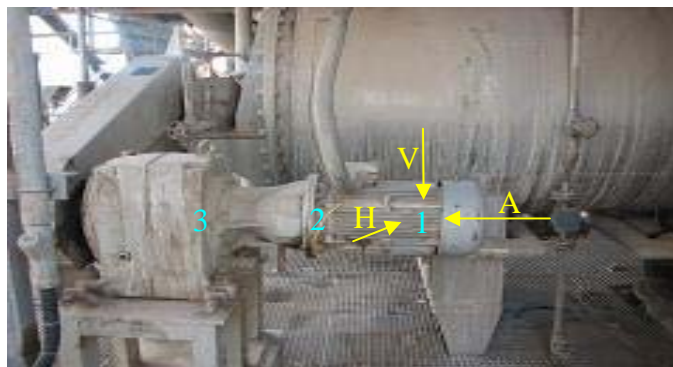
## موردکاوی اول: SC-2402 (Screw Conveyor)

در جدول ۱ مشخصات فنی جعبه دنده این تجهیز ذکر گردیده است.

جدول ۱ - مشخصات فنی جعبه دنده SC-2402.

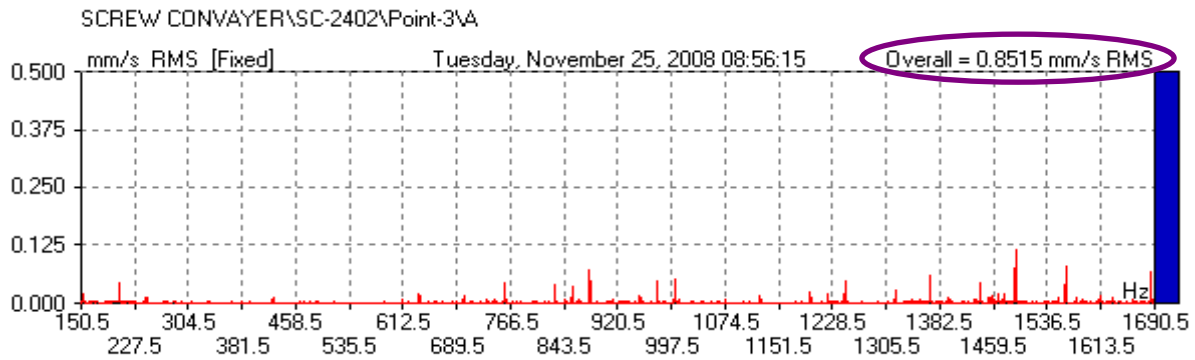
25 Hz (1500 RPM)	سرعت محور ورودی (Input shaft Speed)
29.76 RPM	سرعت محور خروجی (Output Shaft Speed)
1.5 KW	توان (Power)
6211 و 6313	بیرینگهای محور ورودی (Input Shaft Bearing Type)

Screw Conveyor در صنعت به منظور جابجایی مواد بکار می رود. دستگاه مورد بررسی شامل الکتروموتور و گیربکس کاهنده می باشد که نیرو توسط زنجیر به اسکرو انتقال یافته و باعث چرخش آن و جابجایی پودر می گردد. در بررسی روتین ارتعاشی تجهیز تغییراتی در وضعیت آن مشاهده گردید که این تغییرات شامل، افزایش دامنه Overall ارتعاشی، افزایش BCU و ایجاد فرکانس های جدید در طیف های فرکانسی مربوط به قسمت ورودی گیربکس تجهیز بوده است. در شکل 2 تجهیز و نقاط ارتعاش برداری روی آن نمایش داده شده است.

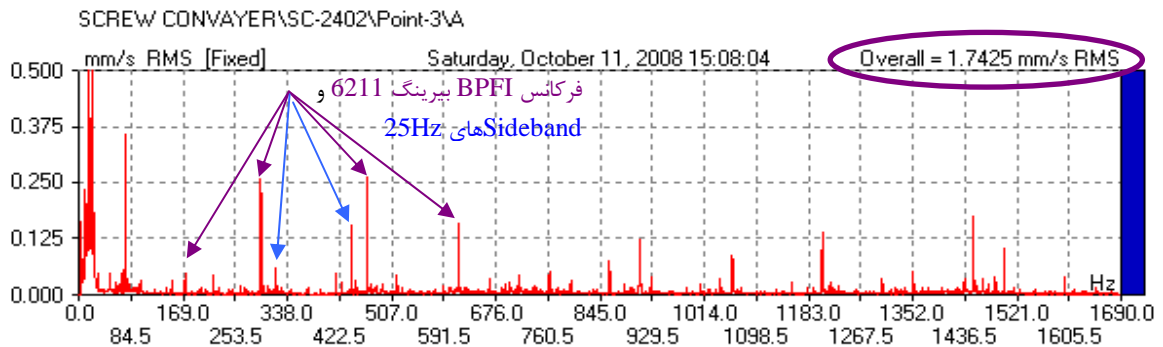


شکل 2- نقاط و راستاهای ارتعاش برداری گیربکس SC-2402.

جهت تعیین تغییرات، طیف فرکانسی راستای A3 گیربکس در حالت کارکرد نرمال (شکل 3) و پس از تغییر (شکل 4) را مقایسه می کنیم:

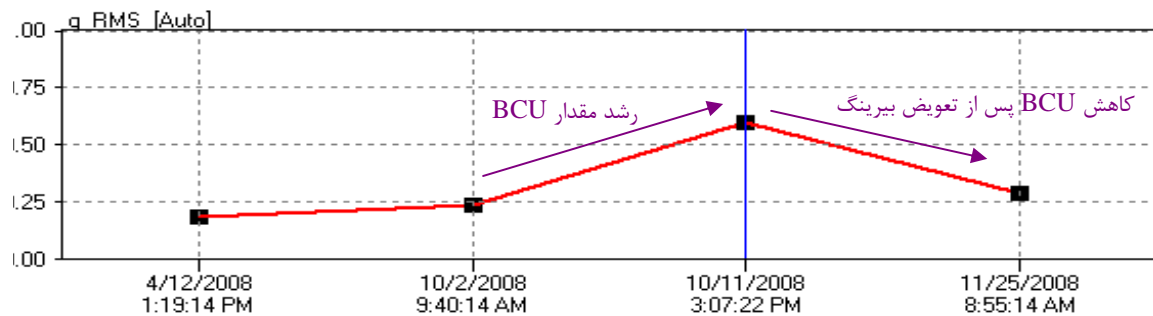


شکل 3- طیف فرکانسی راستای A3 گیربکس در حالت کارکرد نرمال.



شکل 4- طیف فرکانسی راستای A3 پس از تغییر.

در مقایسه طیف های فرکانسی، مشاهده می شود فرکانس هایی با اختلاف 25 Hz با دامنه پائین مربوط به دور ورودی گیربکس در تمامی طیف ایجاد شده است. ضمناً با توجه به معادله شماره ۱، فرکانس BPFI بیرینگ 6211 با دور چرخش رینگ داخلی (25Hz) برابر 147 می باشد که این فرکانس به همراه ضرایب آن در طیف فرکانسی مشاهده می شود. همچنین در اطراف فرکانس های BPFI، SideBand هایی با اختلاف 25Hz مربوط به دور رینگ داخلی ایجاد شده است. بالا رفتن دامنه ارتعاشات در فرکانس پایین نیز به علت ارتعاش Base دستگاه می باشد. در بررسی وضعیت Bearing Condition BCU (Unit) نقطه ۳ روند افزایشی نیز مشاهده می شود (شکل ۵).



شکل ۵- روند BCU راستای A3.

پس از تشخیص خرابی بیرینگ، نسبت به Disassemble کردن قسمت ورودی گیربکس و جداسازی اجزاء بیرینگ اقدام شد و مشاهده گردید رینگ داخلی بیرینگ 6211 آسیب دیده است (شکل ۶).



شکل ۶- تصویر رینگ داخلی (Inner Race) آسیب دیده بیرینگ.

تأثیر خرابی رینگ داخلی بیرینگ بر شرایط ارتعاشی مورد مذکور به شرح ذیل بوده است :

- ۱- تغییر طیف فرکانسی و افزایش دامنه در فرکانسهای مختلف.
- ۲- افزایش مقدار BCU (Bearing Condition Unit).
- ۳- افزایش دامنه فرکانسهای مربوط به BPFی و ضرایب آن بر روی طیف های فرکانسی.
- ۴- وجود Side Band هائی با اختلاف دور شفت (سرعت چرخش کنس داخلی) در اطراف فرکانس های BPFی.
- ۵- افزایش دامنه هارمونیکهای اختلاف دور چرخش کنس داخلی (25Hz) در تمام طول طیف.

### مورد کاوی دوم: جعبه دنده همزن رآکتور (RA-1301B Reactor Agitator Gearbox)

مشخصات فنی جعبه دنده در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ - مشخصات فنی جعبه دنده RA-1301 B

25 / 16.53 Hz (1500 / 992 RPM)	سرعت محور ورودی (Input Shaft Speed)
59.6 / 39.7 RPM	سرعت محور خروجی (Output Shaft Speed)
400 / 250 KW	توان (Power)
31317 و 22318	بیرینگهای محور ورودی (Input Shaft Bearing Type)

رآکتور مورد بررسی وظیفه واکنش اکسیداسیون خوراک را به عهده دارد. در درون رآکتور، پارازایلین اکسید شده و به اسید ترفتالیک تبدیل می شود. جهت انجام این واکنش درون رآکتور نیاز به همزن می باشد که این همزن شامل موتور الکتریکی با دو سرعت متفاوت و گیر بکس کاهنده است.

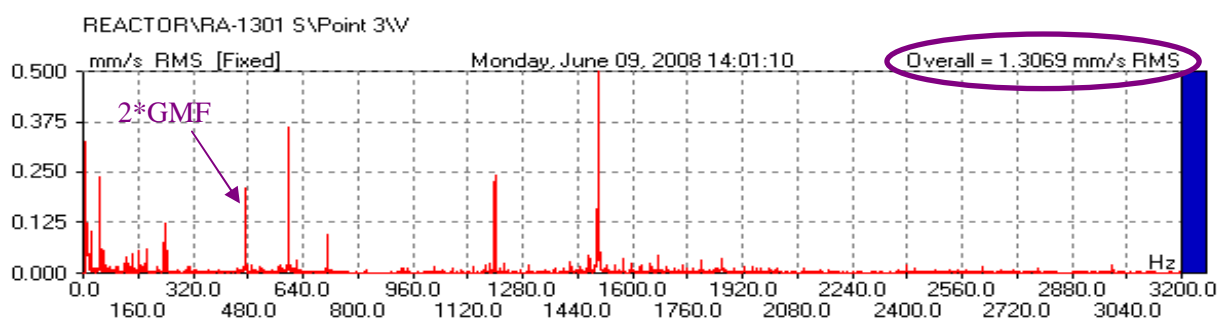
در این جعبه دنده به علت نزدیک بودن فرکانس خرابی رینگ داخلی بیرینگ ورودی گیربکس به  $2 * GMF$  (شفت دوم وسوم گیربکس) نیاز به آنالیز دقیق داشت. در ادامه چگونگی تشخیص خرابی بیرینگ توضیح داده می شود.

با افزایش ارتعاشات و تغییرات ایجاد شده در طیف فرکانسی تجهیز، بررسی های لازم در این زمینه صورت گرفت. بیشترین تغییرات در طیفهای فرکانسی مربوط به گیربکس تجهیز بود. در شکل ۷ نمایی از تجهیز و راستای Vertical نقطه ۳ ارتعاش برداری نشان داده شده است.

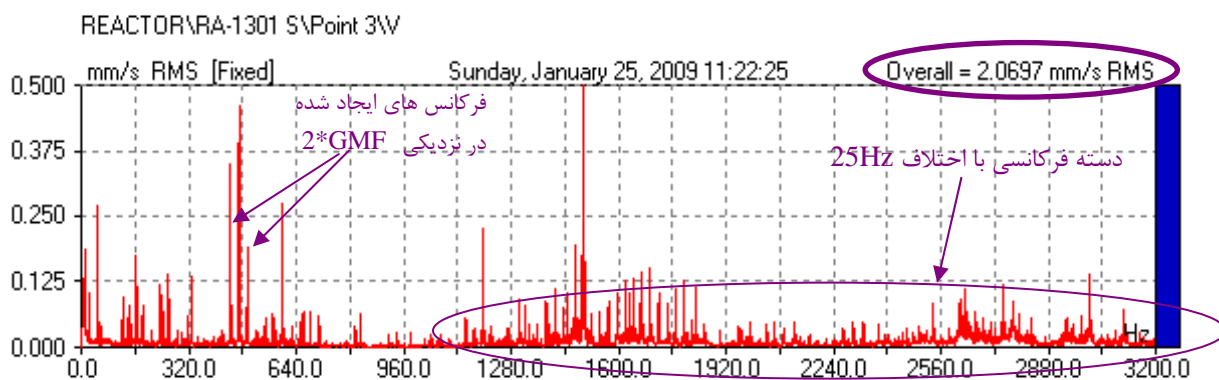


شکل ۷- تصویر گیربکس رآکتور و راستای داده برداری V3.

در زیر طیف های فرکانسی راستای V3 گیربکس در حالت نرمال (شکل ۸) و پس از تغییر (شکل ۹) نمایش داده شده است



شکل ۸- طیف فرکانسی راستای V3 در حالت نرمال

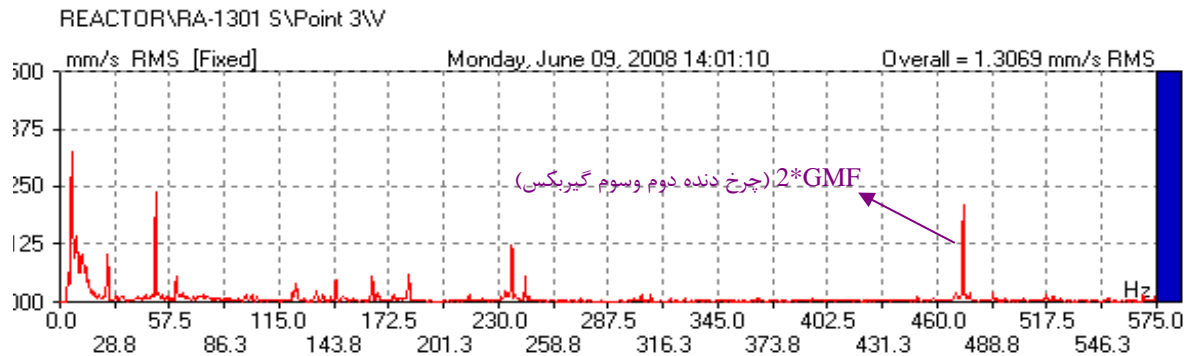


شکل ۹- طیف فرکانسی راستای V3 پس از تغییر

همانگونه که در طیف های ارائه شده مشاهده می گردد، تغییرات بوجود آمده شامل رشد فرکانس هایی با اختلاف 25Hz مربوط به دور ورودی گیربکس در تمام طیف بوده است. همچنین فرکانس هایی در نزدیکی 2\*GMF (فرکانس مربوط به

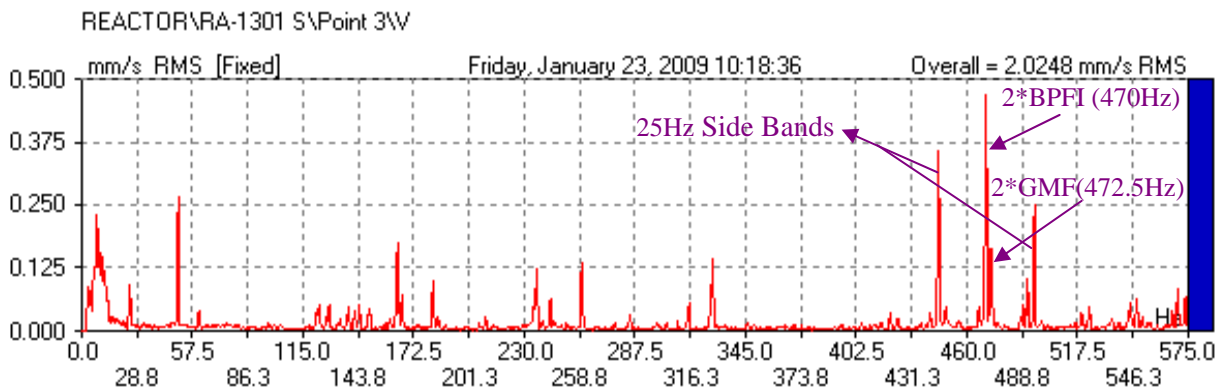
درگیری چرخنده دوم وسوم گیربکس) رشد داشته و Side Band هایی به اختلاف 25Hz در دو طرف این فرکانس ایجاد گردیده است.

در ادامه طیف فرکانسی در زمان کارکرد نرمال که در بازه کوچکتر نمایش داده شده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- طیف فرکانسی راستای V3 گیربکس در حالت کارکرد نرمال در بازه کوچکتر.

طیف فرکانسی V3 گیر بکس پس از تغییر در بازه کوچکتر جهت توضیحات بیشتر نمایش داده شده است (شکل ۱۱).



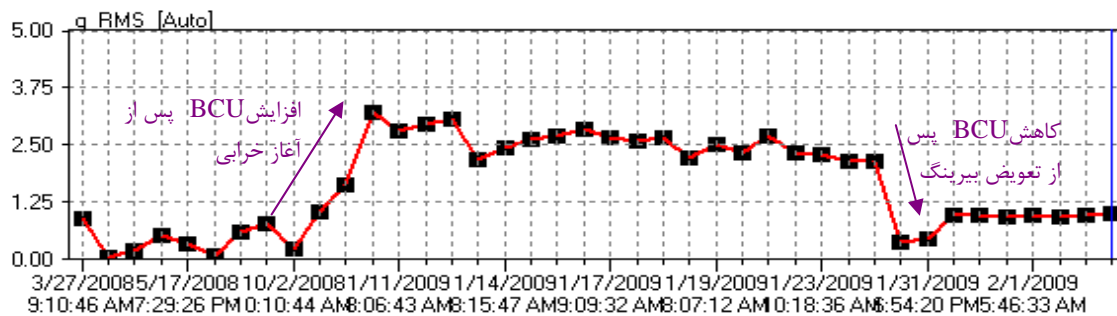
شکل ۱۱- طیف فرکانسی راستای V3 گیربکس در بازه کوچکتر پس از تغییر.

فرکانس مربوط به 2\*GMF درگیری چرخ دنده دوم وسوم گیربکس 472.5Hz میباشد و فرکانس ایجاد شده در کنار این فرکانس 470Hz بوده که این فرکانس پس از محاسبه فرکانس های مختلف می تواند مربوط به 2\* BPF1 بیرینگ 22318 (مربوط به شفت ورودی گیربکس) باشد. ضمناً همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، فرکانس های با اختلاف 25Hz (مربوط به دور ورودی گیربکس) در دو سمت این فرکانس ایجاد شده بود. با مشخص شدن خرابی بیرینگ، قسمت ورودی گیربکس مورد تعمیر قرار گرفت و پس از Disassemble کردن قطعات آن و جداسازی اجزای بیرینگ، خرابی مربوط به رینگ داخلی بیرینگ 22318 مشخص گردید. در شکل ۱۲ رینگ داخلی بیرینگ آسیب دیده نمایش داده شده است.



شکل ۱۲ - تصویر رینگ داخلی (Inner Race) آسیب دیده بیرینگ راکتور.

شکل ۱۳ ترند BCU نقطه ۳ در زمان کارکرد نرمال، زمان خرابی بیرینگ و پس از تعویض را نشان می دهد.



شکل ۱۳ - ترند BCU نقطه ۳ ارتعاش برداری.

خرابی رینگ داخلی بیرینگ در شرایط ارتعاشی تجهیز تغییرات ذیل را ایجاد کرده بود:

- ۱- رشد دامنه مربوط به فرکانس BPFی بیرینگ 22318 و ضرایب آن که در این مورد بیشترین دامنه مربوط به  $2*BPFی$  بوده است.
- ۲- ایجاد Side Band های با اختلاف 25Hz (دور شفت-دور رینگ داخلی) در اطراف فرکانس BPFی.
- ۳- افزایش مقدار BCU.
- ۴- رشد دامنه مربوط به فرکانس اختلاف دور کنس داخلی بیرینگ در قسمت هائی از طیف.

### مورد کاوی سوم: پمپ P-B-1080

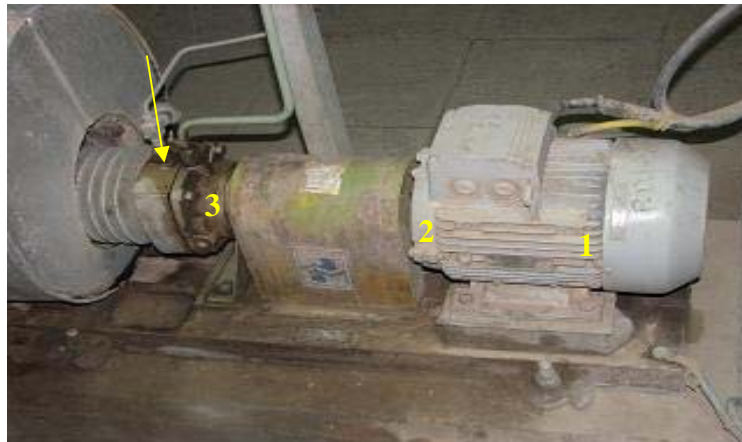
در جدول ۳ مشخصات فنی پمپ ذکر شده است.

جدول ۳ - مشخصات فنی پمپ P-B-1080.

50 Hz (3000 RPM)	سرعت محور (Shaft Speed)
3.8 KW	توان (Power)
6304 C3	بیرینگ پمپ (Pump Bearing Type)

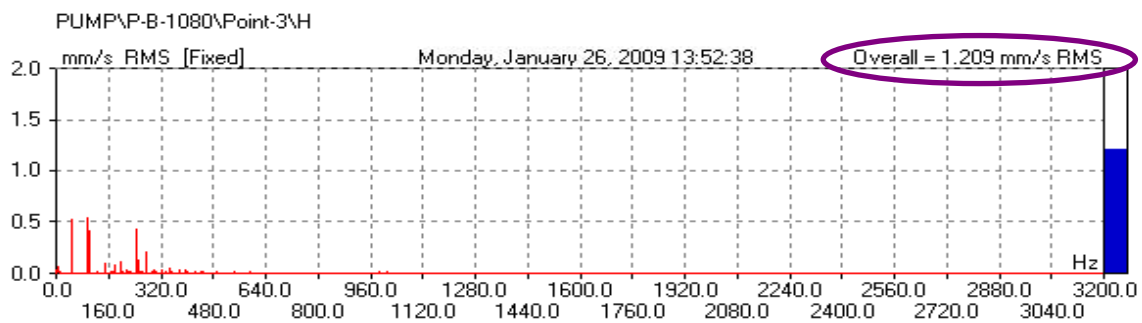


این پمپ از نوع گریز از مرکز (Centrifugal) بوده و جهت انتقال روغن HTM (روغن داغ) بکار می رود. جهت ارتعاش برداری از این تجهیز سه نقطه تعریف شده است (تصویر ۱۴).

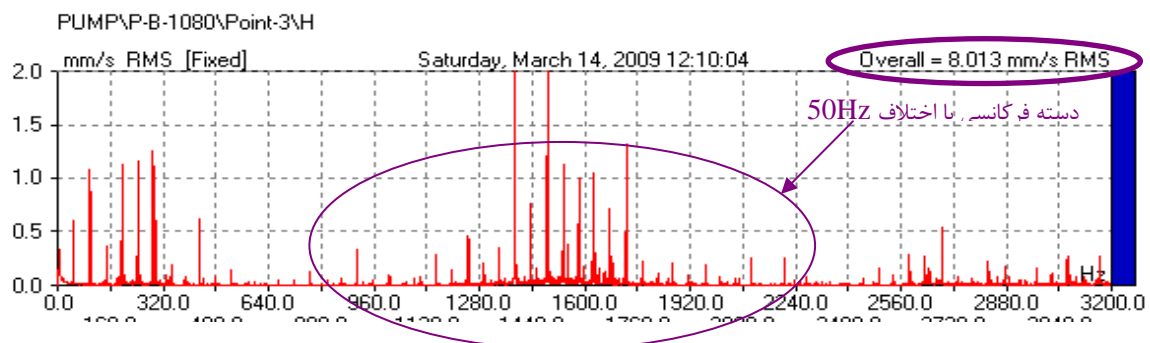


شکل ۱۴- پمپ و نقاط ارتعاش برداری آن.

Bearing Housing پمپ شامل یک Ball Bearing و یک بوش کربنی می باشد. Ball Bearing بکار رفته سمت کویلینگ نصب می گردد و بوش کربنی سمت ایمپلر می باشد. در این مورد فرکانس BPFی بر پیکهای طیف فرکانسی منطبق نمی شود. پس از مشاهده تغییر وضعیت ارتعاشی، تجهیز مورد بررسی بیشتر قرار گرفت. بالاترین دامنه ارتعاشی مربوط به نقطه ۳ (Bearing housing) بود. افزایش دامنه Overall ارتعاشی و همچنین ایجاد فرکانسهای با اختلاف 50Hz در طیف، تغییراتی بود که در وضعیت ارتعاشی ایجاد شده بود. ضمناً BCU نقطه ۳ ارتعاش برداری نیز از 0.9g به 2.2g افزایش داشت. در ادامه طیف فرکانسی نقطه ۳ پیش از خرابی (شکل ۱۵) و همچنین پس از خرابی بیرینگ (شکل ۱۶) جهت مقایسه نشان داده شده است.



شکل ۱۵- طیف فرکانسی نقطه H3 پیش از خرابی.



شکل ۱۶- طیف فرکانسی راستای H3 پس از خرابی بیرینگ.

شرایط ایجاد شده احتمال خرابی بیرینگ را نمایان نمود و واحد پایش وضعیت درخواست تعویض بیرینگ را صادر نمود. پس از باز کردن پمپ و جداسازی اجزای بیرینگ خرابی در رینگ داخلی بیرینگ مشخص گردید (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- تصویر رینگ داخلی (Inner Race) بیرینگ پمپ.

خرابی رینگ داخلی بیرینگ در وضعیت ارتعاشی تجهیز شرایط ذیل را ایجاد کرده بود:

- ۱- افزایش مقدار ارتعاشات کلی (Overall) تجهیز.
- ۲- تغییر طیف فرکانسی و ایجاد فرکانسهای مختلف.
- ۳- بوجود آمدن فرکانسهای با اختلاف دور رینگ داخلی (50Hz) در تمام طیف.
- ۴- افزایش مقدار BCU.

### مورد کاوی چهارم: جعبه دنده فن برج خنک کننده F-6304 A (Fan Gearbox)

مشخصات فنی جعبه دنده فن در جدول ۴ نشان داده شده است.

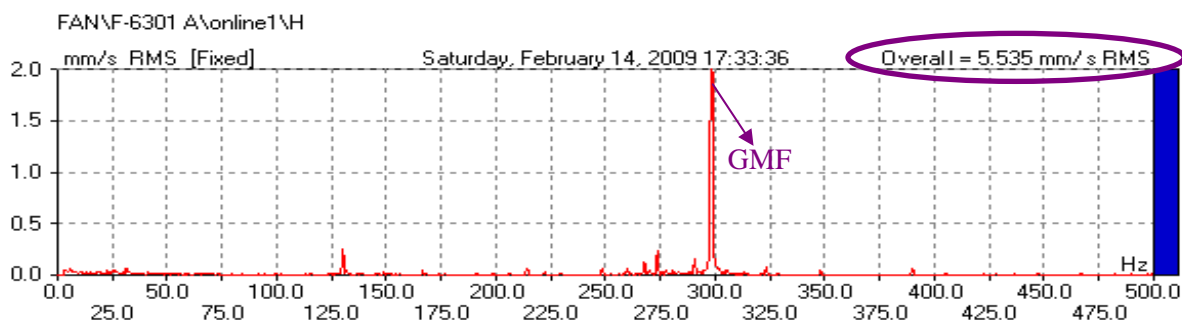
جدول ۴ - مشخصات فنی جعبه دنده فن F-6304 A.

24.83Hz (1490 RPM)	سرعت محور ورودی (Input Shaft Speed)
7.6Hz (456 RPM)	سرعت محور میانی (Idler Shaft Speed)
1.6Hz (100 RPM)	سرعت محور خروجی (Output Shaft Speed)
30316 و 22317	بیرینگ محور ورودی (Input Shaft Bearing Type)
22320	بیرینگ محور میانی (Idler Shaft Bearing Type)
30230	بیرینگ محور خروجی (Output Shaft Bearing Type)

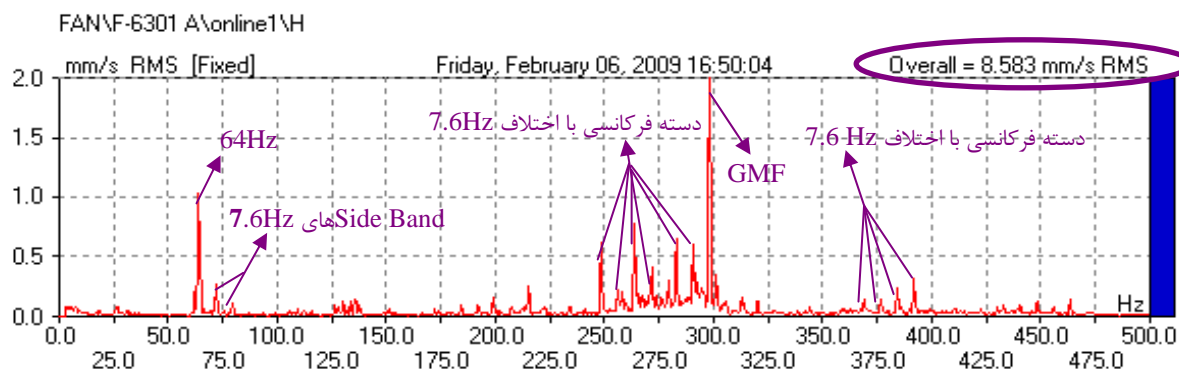


شکل ۱۸- تصویر گیربکس و موقعیت سنسورهای ارتعاش برداری سیستم Online.

تجهیز مذکور یکی از چهار فن برجهای خنک کننده (Cooling Tower) می باشد که (شکل ۱۸). به علت عدم دسترسی به گیربکس، از سیستم ارتعاش برداری Online نصب شده بر روی هر گیربکس جهت برداشت ارتعاشات آن استفاده می گردد. در اجرای برنامه روتین داده برداری، تغییراتی در وضعیت ارتعاشی گیربکس تجهیز مشاهده شد. در ادامه طیف فرکانسی راستای H برداشت شده از سیستم Online ارتعاش برداری در زمان کارکرد نرمال (شکل ۱۹) و همچنین پس از ایجاد تغییرات جهت مقایسه مشاهده می شود (شکل ۲۰)



شکل ۱۹- طیف فرکانسی راستای H در زمان کارکرد نرمال.



شکل ۲۰- طیف فرکانسی راستای H برداشت شده از سیستم Online پس از تغییر.

در مقایسه شکل ۱۹ و ۲۰ مشاهده می شود که دامنه Overall ارتعاشی افزایش داشته و دسته های فرکانسی با اختلاف 7.6Hz در قسمتهایی از طیف ایجاد شده است. همچنین فرکانس 64Hz با Side Band به اختلاف 7.6Hz در طیف فرکانسی پس از تغییر مشاهده می شود. طبق معادله شماره ۱، 64Hz بر فرکانس BPFی بیرینگ شماره 22320 شفت میانی منطبق می باشد. ضمن اینکه مقدار BCU از 0.37g به 1.27g افزایش داشته است. پس از اعلام خرابی بیرینگ و تعویض آن، جداسازی اجزاء بیرینگ معیوب انجام گرفت و آثار خرابی روی رینگ داخلی بیرینگ مشخص بود (شکل ۲۱).



شکل ۲۱- آثار خرابی روی رینگ داخلی (Inner Race) بیرینگ .

تأثیرات خرابی رینگ داخلی بیرینگ روی وضعیت ارتعاشی مورد مذکور به شرح ذیل بوده است:

- ۱- افزایش دامنه Overall ارتعاشی.
- ۲- افزایش مقدار BCU.
- ۳- ایجاد فرکانس های با اختلاف 7.6Hz (دور رینگ داخلی بیرینگ).
- ۴- رشد دامنه مربوط به فرکانس BPFی بیرینگ شفت میانی بر روی طیف فرکانسی.
- ۵- وجود Side Band هائی با اختلاف دور شفت میانی در اطراف فرکانس BPFی

### مورد کاوی پنجم: دمنده B-A-2030 (BLOWER)

مشخصات فنی دمنده مطابق جدول ۵ می باشد.

جدول ۵ - مشخصات فنی بلور B-A-2030

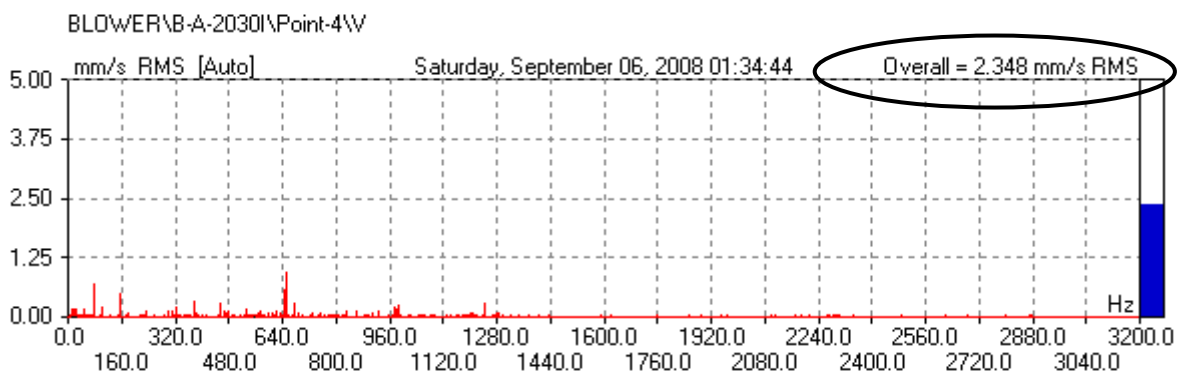
77.5Hz (4650 RPM)	سرعت محور (Shaft Speed)
77.6 KW	توان (Power)
6215 & NU312	بیرینگهای دمنده (Blower Bearing Type)

بلور مذکور جهت تامین نیتروژن ورودی به راکتور واحد PET بکار می رود. به علت خرابی بیرینگ، به درخواست گروه پایش وضعیت نسبت به تعویض بیرینگ Blower اقدام گردید. پس از راه اندازی تجهیز و بعد از مدت زمان حدود ۱۵ ساعت از کارکرد، ارتعاشات افزایش یافت. بالاترین دامنه ارتعاشی مربوط به نقطه ۴ ارتعاش برداری بود (شکل ۲۲).

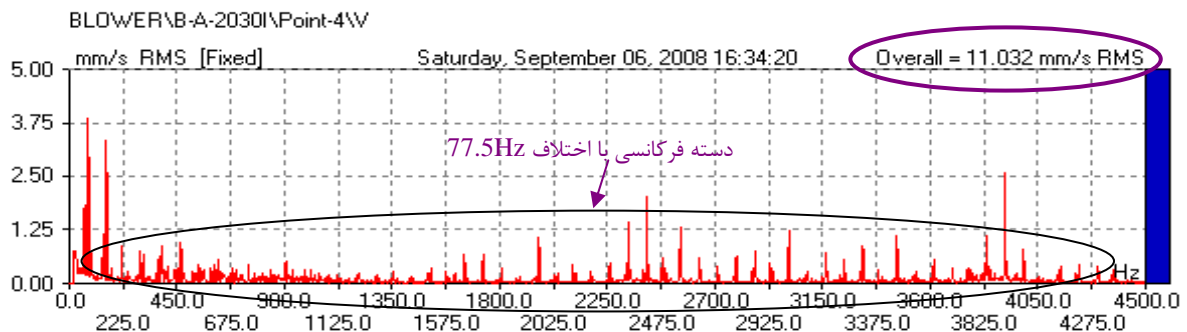


شکل ۲۲- تصویر بلور و نقاط ارتعاش برداری آن.

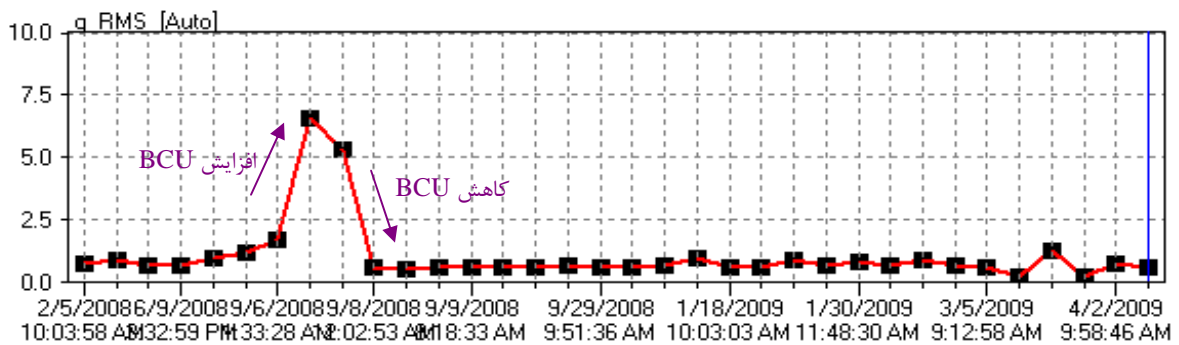
در بررسی وضعیت ارتعاشی مشاهده شد که مقدار Overall و BCU نقطه ۴ ارتعاش برداری تجهیز افزایش داشته و همچنین فرکانس هایی با اختلاف 77.5Hz مربوط به دور بلور در تمام طیف ایجاد شده بود. لازم به ذکر است در این مورد، پیک های ایجاد شده در طیف های فرکانسی بروی فرکانس های بیرینگ منطبق نمی گردید. شکل ۲۳ طیف فرکانسی راستای V4 در زمان راه اندازی و شکل ۲۴ طیف فرکانسی همین راستا را ۱۵ ساعت پس از کارکرد تجهیز نشان می دهد. ضمناً در شکل ۲۵ افزایش مقدار BCU مشاهده می شود.



شکل ۲۳- طیف فرکانسی راستای V4 در زمان راه اندازی.



شکل ۲۴- طیف فرکانسی راستای V4 پس از ۱۵ ساعت کارکرد.



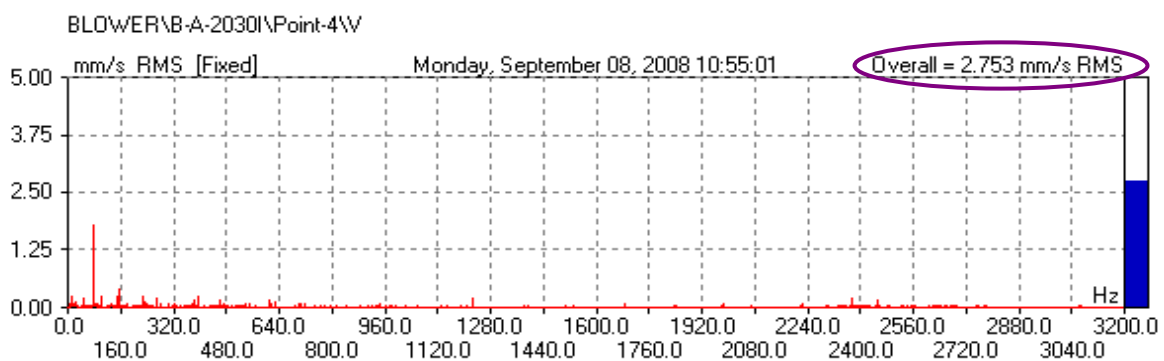
شکل ۲۵- ترند BCU قبل و پس از تعویض بیرینگ.

با توجه به مشاهدات صورت گرفته درخواست تعویض بیرینگ بلور صادر گردید. پس از تعویض بیرینگ وجداسازی اجزای بیرینگ آثار خرابی در رینگ داخلی بیرینگ مشخص بود (شکل ۲۶).



شکل ۲۶- رینگ داخلی بیرینگ .

همانگونه که در طیف فرکانسی شکل ۲۷ مشاهده می شود پس از تعویض بیرینگ تجهیز، ارتعاشات آن در محدوده مجاز قرار گرفت.



شکل ۲۷- طیف فرکانسی نقطه V4 پس از تعویض بیرینگ.

- خرابی رینگ داخلی بیرینگ تعییرات ذیل را در وضعیت ارتعاشی بلور ایجاد کرده بود:
- ۱- افزایش ارتعاشات Overall، در قسمت Bearing Housing بلور از 2.7 mm/s به 11mm/s.
  - ۲- افزایش مقدار BCU راستای V4 از 1.7g به 6.8g.
  - ۳- بوجود آمدن فرکانس های با اختلاف 77.5Hz مربوط به دور بلور.

## توضیحات

لازم به توضیح است که در کلیه مورد کاویهای ارائه شده خرابی بیرینگ از زمان شروع شناسایی گردیده ولی با توجه به نیاز واحدهای تولیدی، تجهیز تحت نظر واحد پایش وضعیت در سرویس قرار داشت و پس از رشد خرابی در رینگ داخلی بیرینگ و ایجاد شرایط غیر قابل قبول ارتعاشی جهت جلوگیری از آسیب رسیدن به سایر قطعات، نسبت به تعویض بیرینگ اقدام گردیده است. جهت نمایش بهتر، پس از تعویض بیرینگ اجزای آن از هم جدا گردیده و تصویر رینگ داخلی نمایش داده شده است.

## نتیجه گیری:

همانگونه که گفته شد شناسایی قسمت معیوب بیرینگ در تخمین عمر باقی مانده آن بسیار موثر می باشد و در نتیجه برنامه زمانبندی تعمیر آن را تحت الشعاع خود قرار میدهد.

با توجه به موارد مورد بررسی می توان گفت آنالیز ارتعاشی امکان ارزیابی وضعیت رینگ داخلی بیرینگ ها را فراهم می سازد و می توان به عنوان ابزاری مناسب جهت پایش وضعیت بیرینگ ها مورد استفاده قرار گیرد. با بکار گیری این روش می توان خرابی بیرینگ را شناسائی کرده و با انجام عملیات اصلاحی در زمان مناسب از بروز خرابی در سایر قطعات پیشگیری نمود. از بررسی مورد کاویهای ارائه شده می توان نشانه های مشترک ارتعاشی در زمان خرابی رینگ داخلی بیرینگ را به شرح ذیل بیان کرد:

- ۱- افزایش مقدار Overall ارتعاشی.
- ۲- افزایش مقدار BCU.
- ۳- بوجود آمدن فرکانس های با اختلاف دور شفتی که رینگ داخلی بیرینگ روی آن نصب می گردد. (در زمانی که رینگ خارجی ثابت باشد).
- ۴- منطبق شدن فرکانس کنس داخلی بیرینگ (BPFI) و ضرایب آن بر روی پیک های فرکانسی در غالب موارد.
- ۵- پیک غالب خرابی کنس داخلی همواره مربوط به  $1 * BPFI$  نبوده و می تواند در ضرایب بالاتری از این فرکانس ایجاد شود. با شناسائی این مشخصه ها می توان نسبت به صحت خرابی کنس داخلی بیرینگ اطمینان حاصل کرد و برنامه ریزی مناسبی جهت تعویض بیرینگ معیوب اعمال کرد.

## مراجع

۱. و، رضایی و س، سعیدی، مبانی ارتعاشات اندازه گیری و ارزیابی، ص ۱۷۱، پرس سانکو، ۱۳۸۵
2. Brüel & Kjær Vibro Application Note, [www.bkvb.com](http://www.bkvb.com), Detecting Faulty Rolling Element Bearings, p2