

# عیب یابی ریشه ای علل خرابی های مکرر در بیرینگ های پمپ های P-2102A/B

## واحد اسید استیک پتروشیمی فن آوران

حسین رفیق دوست<sup>۱</sup>، علی عجم<sup>۲</sup>، بهزاد جلالی<sup>۳</sup>، احمد رفیق دوست<sup>۴</sup>

پتروشیمی فن آوران، ایران، ماهشهر، منطقه ویژه اقتصادی، سایت ۳، کد پستی ۶۳۵۸۱۴۷۱۳۹۶

E-Mail: hrafighdoost@yahoo.com

### چکیده

در طراحی و ساخت یک پمپ سانتریفیوژ محاسبه دقیق نیروهای شعاعی و محوری و به دنبال آن محاسبه بارهای دینامیکی و استاتیکی بسیار حائز اهمیت بوده به گونه ای که این محاسبات اساس انتخاب صحیح بیرینگ ها می باشند در صورت هرگونه خطا در انتخاب صحیح بیرینگ ها این مسئله می تواند منجر به بروز خسارتهای سنگین مالی و حتی جانی گردد. در این مقاله سعی شده تا مجموع کارهای انجام شده برای تشخیص ریشه خرابی با استفاده از اجرای عملیات پایش وضعیت در بازه های زمانی مختلف و همچنین تحت نظر داشتن تمامی شرایط عملیاتی، علت بروز عیب را ریشه یابی نموده و نهایتاً منجر به تغییر تایپ بیرینگ های پمپ های P-2102A/B واحد اسید استیک پتروشیمی فن آوران گردید.

واژه های کلیدی: نوع بیرینگ (Type Bearing)، نیروهای محوری (Axial) و شعاعی (Radial)، طیف ارتعاشی، پایش وضعیت

### مقدمه

باتوجه به اهمیت ماشین آلات دوار در مراکز صنعتی، نگهداری و تعمیرات این دسته از تجهیزات از اهمیت بالایی برخوردار است. نگهداری اصولی و تعمیرات پیش بینانه نقش بسزایی در کاهش هزینه های تعمیراتی و افزایش کارایی مراکز صنعتی خصوصاً صنایع پتروشیمی دارد. زمانیکه یک تجهیز دوار برای انجام کاری در نظر گرفته میشود اگر توانایی ایفای نقش خود را نداشته باشد بسته به میزان حساسیت آن در استمرار تولید و نوع متریکال بکار رفته، می تواند هزینه های نت را افزایش دهد خصوصاً زمانیکه مشکل طراحی داشته باشد P-2102 واحد اسید استیک پتروشیمی فن آوران از جمله پمپهای با حساسیت بالا در خط تولید میباشد که مشکل طراحی داشته و باعث ایجاد مشکلات زیادی را روند تولید گردید.

۱- مدیر نگهداری و تعمیرات

۲- رئیس تعمیرات مکانیک

۳- رئیس پایش و عیب و یابی

۴- کارشناس آنالیز ارتعاشات

P-2102 A/B از نوع Over Hung و Center Line Mounted (OH2) که به گرداننده توربین بخار با توان ۳۲۰ کیلو وات متصل و همچنین ساخت شرکت های خارجی می باشد که وظیفه آن انتقال کاتالیست کمپلکس رودیم و متیل یداید از D-2103 به R-2101 هست و در آنجا به همراه متانول و گاز منوکسیدکربن در دمای ۱۸۷ درجه سانتیگراد و فشار ۲۸ بار واکنش می دهند و خروجی راکتور پس از خالص سازی در تاورها تبدیل به اسید استیک می شود . این پمپ ها بدلیل مشکلاتی از قبیل خرابی زودرس بیرینگها، سیستم آب بندی و همچنین مدل خنک کاری دارای مشکلات عدیده ای بوده و اکثر اوقات بیرینگ های سمت کوپلینگ با افزایش ناگهانی ارتعاشات و دما مواجه و منجر به سوختن آنها می گردید. در شرایط عادی کارکرد عمر بیرینگها بیش از پنج ماه نبوده و بطور ناگهانی ارتعاشات همراه با پارامتر Bearing Condition بالا میرفت و خرابی ناگهانی اتفاق می افتاد به گونه ای که آنالیز علت خرابی بیرینگ حاکی از فرو رفتگی ساچمه ها روی سطح رینگ داخلی بیرینگ و همچنین با شدت کمتری روی رینگ بیرونی مشهود بود که نشان دهنده میزان بالای بار محوری به این بیرینگها و ظاهراً عدم توانایی یاتاقان در تحمل بار های محوری می بود.



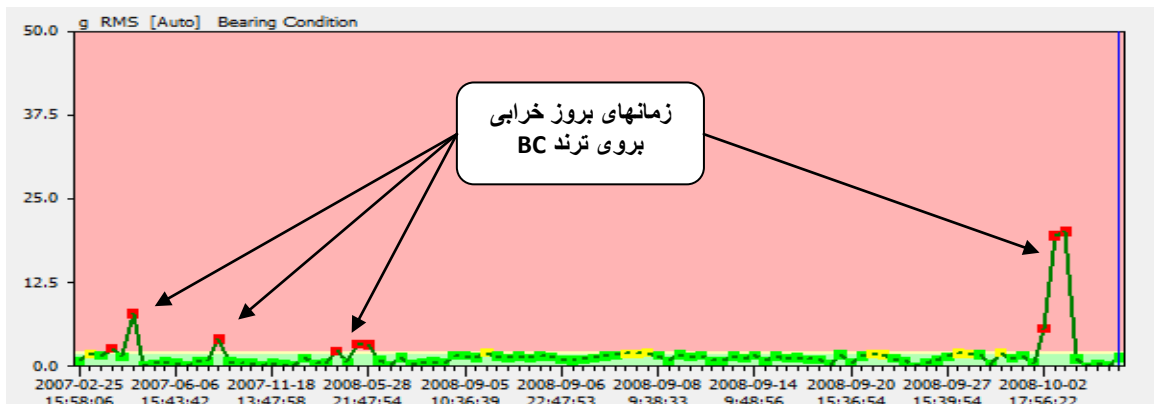
شکل ۱: شکل رینگ داخلی و خارجی بیرینگ

بیرینگهای مورد استفاده در این پمپ از نوع BECBJ 7214 Angular contact بوده که به صورت زوج و پشت به پشت نصب می گردند. در زمان خرابی علاوه بر بیرینگ های تماس زاویه ایی ذکر شده بیرینگ شعاعی NU 214 ECJ نیز توانایی تحمل نیروهای شعاعی وارده را نداشته و به طبع آن سیستم آبند پمپ بدلیل لرزش زیاد دچار خرابی زود هنگام می گردید و خط تولید نمی توانست بطور پیوسته در سرویس باقی بماند .

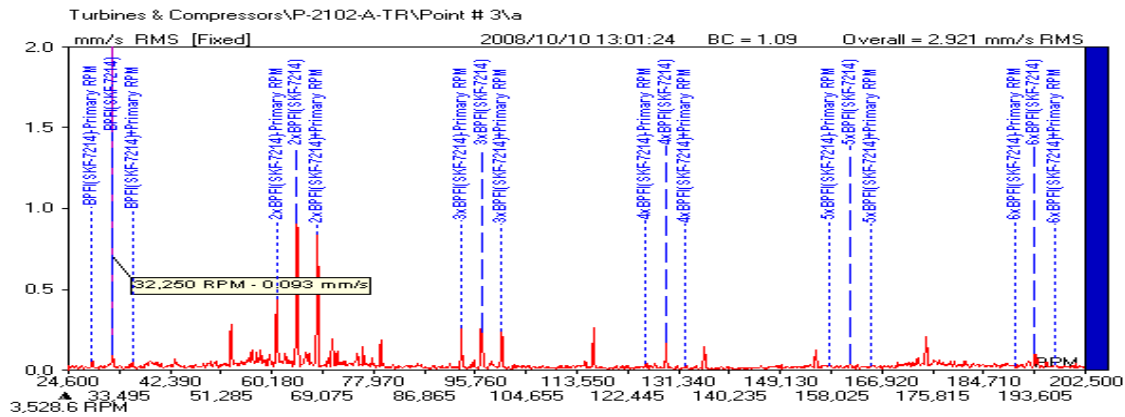
در شکل های (۲) و (۳) و (۴) روند تغییرات ارتعاشات ، پارامتر Bearing Condition و طیف ارتعاشی ، مربوط به پمپ P-2102/A نشان داده شد که طی گذشت یک سال چهار مرتبه پمپ به دلیل خرابی بیرینگ تحت تعمیرات اساسی قرار گرفت.



شکل ۲: روند تغییرات ارتعاشات در پمپ P-2102-A



شکل ۳: روند تغییرات پارامتر Bearing Condition



شکل ۴: طیف ارتعاشی بیرینگ سمت کویلینگ در جهت محوری به همراه فرکانس های خرابی رینگ داخلی

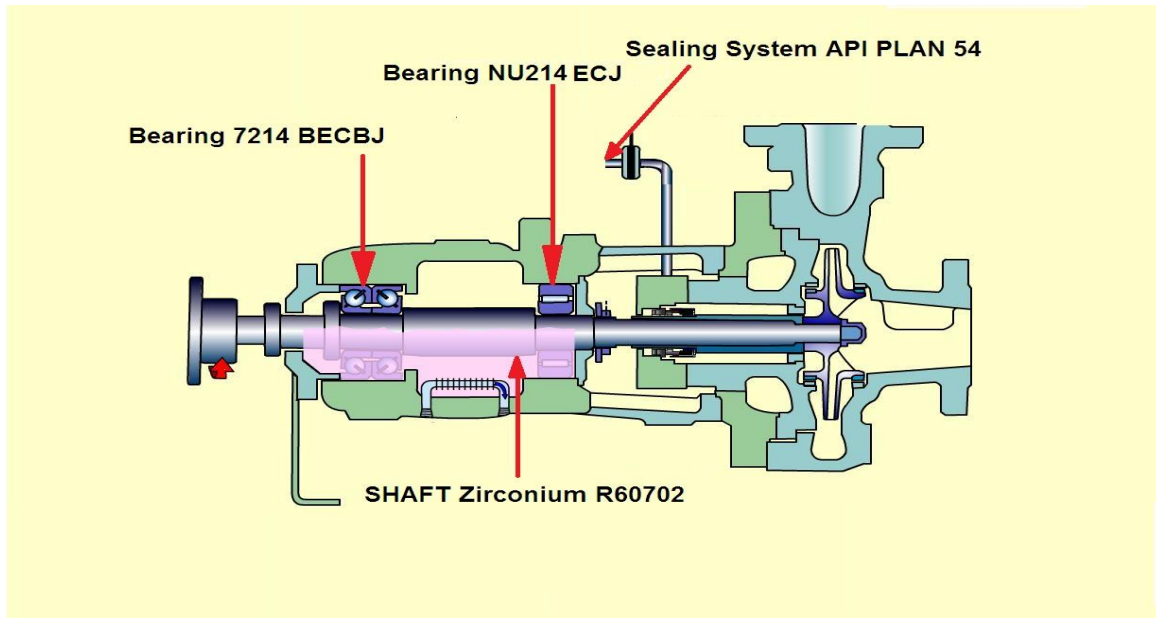
در ابتدا مشکلات پمپ با شرکت خارجی مسئول تامین تجهیزات این واحد در میان گذاشته شد و این شرکت مدعی بود که بدلیل مسائل مربوط به تحریم صنایع پتروشیمی ایران نمی تواند تعهدات خود را انجام دهد بنابراین کارکنان اداره تعمیرات تصمیم به رفع مشکل گرفتند تا بتوانند این واحد که تنها تولید کننده اسید استیک مورد نیاز کشور می باشد را پیوسته در خط تولید نگه دارند. با جستجو در واحد های مشابه در دیگر کشورها مشخص گردید کشورهایی که دارای واحد های اسید استیک می باشند و آنها نیز دارای مشکلاتی مشابه بروی پمپهای خود بوده اند و پمپ های معیوب خود را با پمپ های جدیدی از شرکت خارجی دیگر جایگزین و مشکلات را مرتفع نمودند. ولی متأسفانه این امکان برای شرکت پتروشیمی فن آوران بدلیل تحریم وجود نداشت پس تصمیم بر آن شد جهت عیب یابی ریشه ای اقدامات اصلاحی ذیل صورت پذیرد.

۱- شناسایی مجموعه عیوبی که می تواند باعث خرابی زود هنگام بیرینگ ها بدون آنکه شاهد افزایش دامنه ارتعاشات پیش از بروز خرابی های اساسی باشیم که شامل :

- کیفیت روغن و حجم آن .
- هم محوری و تنش های اعمالی از سمت مسیرهای خروجی و ورودی.
- کیفیت بیرینگ های مورد استفاده.
- انطباقات جازنی بیرینگ.
- شرایط عملیاتی (پروسسی) در حین راه اندازی و در زمان بهره برداری .
- اثرات لقی رینگ های سایشی و Balance Hole های پروانه و پوسته پمپ.
- انتخاب صحیح یاتاقان.

۲- تغییر پلان سیستم آبدی

سیستم موجود بروی پمپ از مدل API PLAN 54 می باشد که یک پمپ مرکزی بنام P-2508 جهت افزایش فشار سیال خنک کننده در تمامی مکانیکال سیل های سایت واحد اسی استیک استفاده می گردد. در هنگام بروز خرابی در سیستم آب بندی پمپهای P-2102 ، سیال اسید وارد مسیر پمپ مرکزی P-2508 می گردید که این مسئله نهایتاً منجر به بروز خرابی در دیگر مکانیکال سیلهای پمپ های سایت می گردید.



شکل ۵: تصویر اولیه پمپ

پس از تحلیل و بررسی مجموعه عیوبی که می توانست باعث خرابی زود هنگام بیرینگها شود تنها عدم انتخاب صحیح یاتاقانها دارای مشکل بنظر می رسید . با توجه به عدم وجود چنین الگوی خرابی در میان دیگر تجهیزات سایت طی چندین سال از راه اندازی شرکت ، احتمال وجود خطا در انتخاب بیرینگ افزایش یافت لذا اقدام به بررسی و شناسایی عملکرد پمپهایی مشابه (از لحاظ توان و نوع) در دیگر سایتهای مجتمع و حتی بعضی شرکتهای دیگر گردید که در نهایت منجر به ثبت نتایج قابل توجه ای گردید . در جدول زیر شرایط پروسسی دو پمپ مشابه دیگر با توان پایین تر جهت مقایسه نشان داده شد .

جدول ۱: مقایسه بیرینگ های بکار رفته در پمپ های مختلف

PUMP	توان پمپ kw	دبی m <sup>3</sup> /h	فشار bar		بیرینگ	
			ورودی	خروجی	سمت کوبل	سمت پروانه
P-6101	۱۲۳	۱۳۷	۳۰	۴۷	۷۳۱۳	۶۲۱۵C۳
P-2001	۱۱۹	۱۰۶	۲۰	۳۹	۷۳۱۳	۶۲۱۵C۳
P-2102	۲۸۲	۱۹۵	۵	۳۵	۷۲۱۴	NU۲۱۴

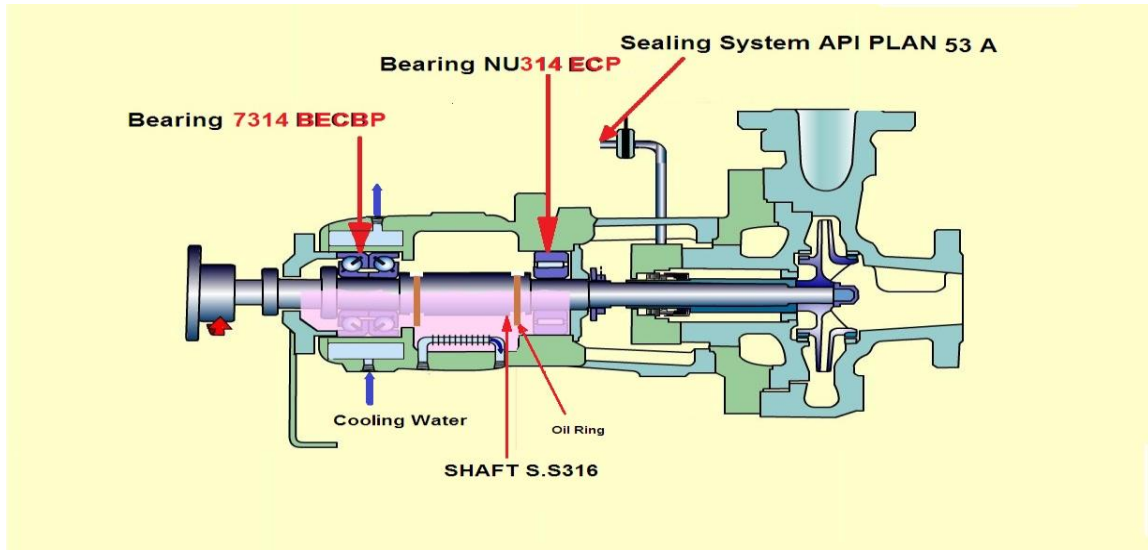
از مقایسه پمپهای P-6101 و P-2001 واحد متانول پتروشیمی فن آوران که ساخت شرکت خارجی دیگری می باشند ، با این پمپ مشاهده گردید که پمپهای مذکور با وجود اینکه توان ، دبی و اختلاف فشار ورودی و خروجی آنها از پمپ P-2102 کمتر می باشد (جدول ۱) ، ولی برای مهار نیروهای محوری از دو بیرینگ 7213 و یک بیرینگ Deep 6215 Grove استفاده شد در حالیکه پمپ P-2102 از نظر توان ، دبی و اختلاف فشار ورودی و خروجی از پمپهای مذکور بیشتر می باشد ولی سازنده از بیرینگ سری ۷۲ استفاده نمود . در جدول شماره (۲) نوع بیرنگهای استفاده شده در پمپ های مذکور به همراه میزان بارهای دینامیکی و استاتیکی آنها نشان داده شد .

جدول ۲: مقایسه بارهای دینامیکی و استاتیکی

نام بیرینگ نوع بار (KN)	۷۲۱۴	۷۳۱۴	۷۳۱۳	NU۲۱۴	NU۳۱۴
بار دینامیکی	۷۲	۱۲۷	۱۱۶	۱۳۷	۲۳۶
بار استاتیکی	۶۰	۹۸	۸۶.۵	۱۳۷	۲۲۸

با تحلیل اعداد جدول (۱) و (۲) میتوان با مقایسه پمپ P-2102 با پمپ های P-6101 و P-2001 واحد متانول پتروشیمی فن آوران به این نتیجه رسید به دلیل توان بالاتر این پمپ نسبت به دو پمپ دیگر تایپ بیرینگ بکار رفته در آن مناسب نمی باشد و لذا یاتاقان نمی تواند نیروهای وارده را تحمل کند و در نهایت با کاهش شدید عمر بیرینگ ها مواجه می باشیم .

لذا با توجه به اطلاعات کسب شده تصمیم گرفته شد بجای بیرینگ سری ۷۲ از سری ۷۳ که توانایی تحمل بار های محوری و شعاعی بیشتری را دارند ، استفاده گردد [۱] . در اولین اقدام هوزینگ بیرینگ به کارگاه تراشکاری منتقل و متناسب با اندازه قطر رینگ بیرونی و پهنای بیرینگ های جدید تراشکاری گردید . برای پایین آوردن دمای هوزینگ بیرینگ یک سیستم خنک کاری پوششی اطراف هوزینگ بیرینگ نیز در نظر گرفته شد . سپس پمپ بصورت آزمایشی در سایت نصب و راه اندازی گردید پس از گذشت چند ماه از راه اندازی پمپ جدید شرایط ارتعاشی و دمایی آن پایدار و کاملاً مطلوب می بود . با حصول اطمینان از عملکرد صحیح ماشین تصمیم گرفته شد یک شرکت داخلی که در زمینه طراحی و ساخت پمپ فعالیت می کند اقدام به ساخت دو عدد هوزینگ بیرینگ جدید نماید .



شکل ۶: شکل پمپ پس از اعمال تغییرات

بنابراین تغییرات کلی اعمال شده بصورت زیر می باشد :

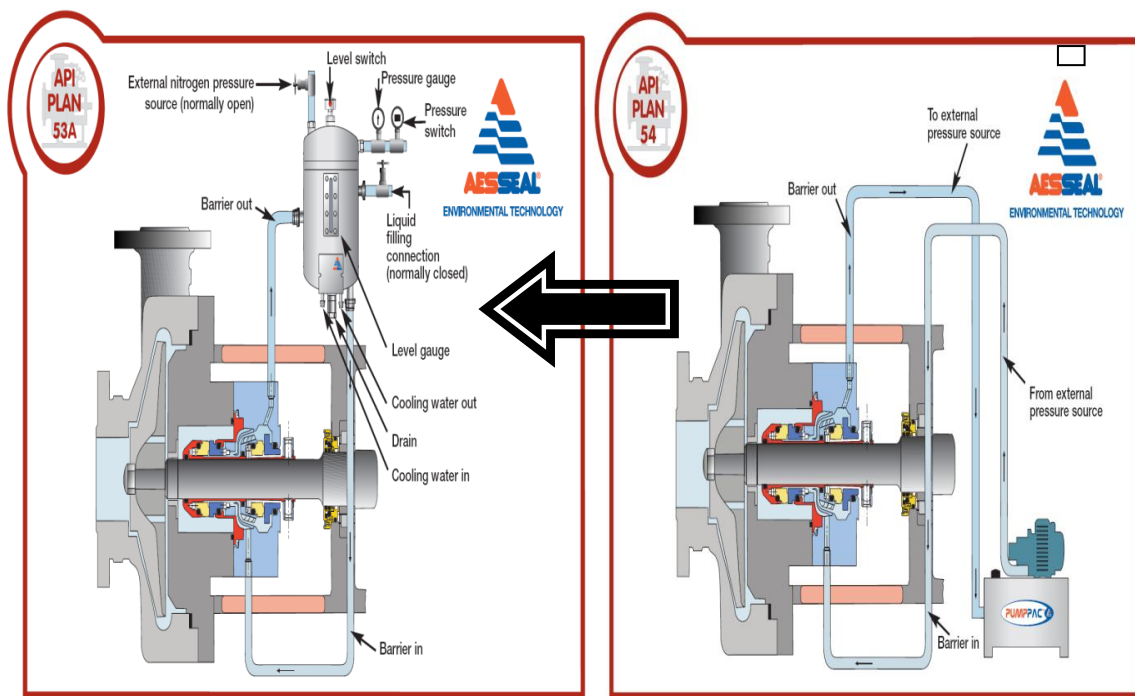
۱- تغییر تایپ بیرینگ از ۷۲۱۴ به ۷۳۱۴ و از NU ۲۱۴ به NU ۳۱۴

۲- تغییر جنس شافت از Zirconium به Stainless still 316

با توجه به قیمت بالای متریال Zirconium و قرار گرفتن آن در لیست اجناس تحریمی جهت ساخت شافت پمپ از متریال Stainless still 316 استفاده گردید که به آسانی در دسترس و ارزان قیمت می باشد. لازم به ذکر است جهت جلوگیری از ایجاد خوردگی در شافت توسط اسید با قرار دادن یک عدد O-Ring در پیشانی پیچ نگهدارنده پروانه پمپ از نشت مایع اسید بروی شافت جلوگیری بعمل آمد و با توجه به اینکه بوش ( Sleeve ) متصل به پروانه ( Impeller ) بصورت یکپارچه و تا زیر مکانیکال سیل وجود دارد دیگر هیچگونه تماسی با سیال پروسس نخواهد بود .

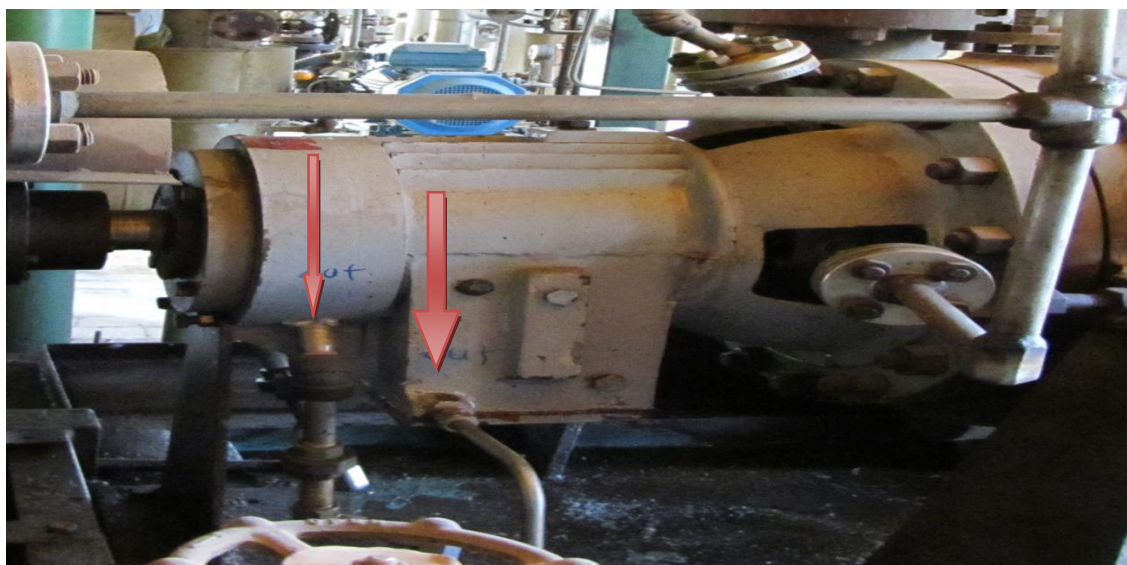
۳- جهت روانکاری و خنک کاری بهتر بیرینگ ها دو عدد رینگ روغن روی شافت تعبیه کردیم تا انتقال گرمای بهتری انجام شود .

۴- تغییر منبع تغذیه سیال خنک کاری مکانیکال سیل از API PLAN 54 به API PLAN 53A [2]



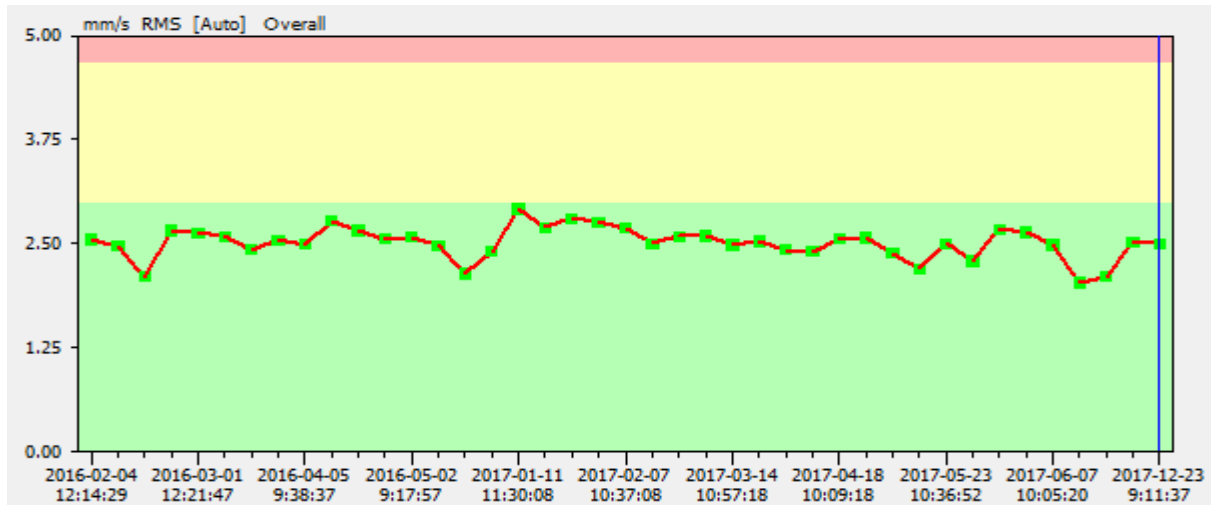
شکل ۷: شماتیک تغییر API PLAN سیستم آبندی

۵- تعبیه سیستم جدید خنک کاری بر روی هوزینگ بیرینگ



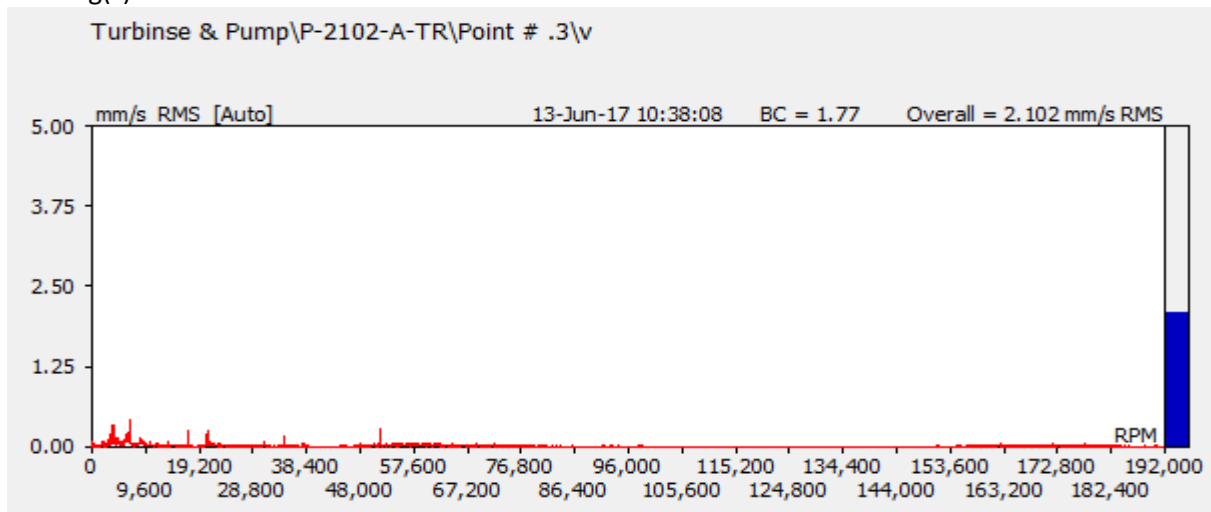
شکل ۸: محل تعبیه سیستم خنک کاری هوزینگ بیرینگ





شکل ۹: روند تغییرات ارتعاشات مربوط به پمپ بعد از اعمال تغییرات با گذشت حدود هفت سال

Total value=2.102 mm/s RMS  
 BC=1.77g  
 Shaft speed=3505 RPM  
 Bearing(s)=SKF 7314 & 314



شکل ۱۰: طیف ارتعاشات

در شکل ۱۰ طیف ارتعاشی پمپ در جهت عمودی نشان داده شده است. مقدار کلی دامنه ارتعاشات (Overall) 2.1mm/s Rms می باشد که طبق استاندارد ISO 10816 در شرایط مطبویی قرار دارد. طبق استاندارد مذکور حدود هشدار و خطر به صورت ذیل می باشد:

4.5mm/s < Alarm > 2.8mm/s Rms                      Danger > 4.5mm/s Rms

## نتیجه گیری

در این مقاله تلاش گردید نشان داده شود سازنده های ماشین آلات صنعتی (شامل پمپ ، توربین و ...) حتی اگر از برندهای معروف باشند ممکن است در طراحی ، انتخاب و حتی شاید تحلیل نیروها دچار خطا شوند که پس از نصب و راه اندازی مشکلات آنها مشخص می گردد . بنابراین لازم است در هنگام بروز مشکل در ماشین آلات دوار خصوصاً در بدو راه اندازی اولیه ، تمامی پارامترها حتی مسائل طراحی در نظر گرفته شود تا بتوان ریشه عیوب را سریع تر شناسایی و برطرف نمود .

## مراجع

General Catalog SKF [1]

Heinz P. Bloch P.E , API Piping Plans , AESSEAL Environmental Technology , P36 &41 [2]



احمد رفیق دوست



بهزاد جلالی



علی عجم



حسین رفیق دوست