

# رفع منشاء فرایندی ارتعاشات پمپ‌های آب گرم فرایند فولاد احیاء با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات

سعید شیروانی شاه‌عنایتی  
شرکت بهینه‌سازان ماشین‌های دوار (بسامد)  
s\_sh665@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۱

## چکیده

در بازار رقابتی امروز، نگهداری و تعمیرات یک ابزار استراتژیک به شمار می‌آید. در خوشبینانه‌ترین حالت تنها ۲۰٪ ماشین‌ها به عمر طراحی شده می‌رسند. بنابراین لازم است در نحوه استفاده از یک روش نگهداری، کمی متفکرانه عمل نمود. پایش وضعیت، نوعی نگهداری و تعمیرات است که در آن تجهیزات دوار مورد پایش قرار گرفته و با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده، سعی در تشخیص و پیشگیری رشد عیب و علت از کارافتادگی تجهیزات دارد. ماهیت پایش وضعیت به‌خوبی توسط بسیاری از کارخانه‌ها پذیرفته شده و در نقش کلیدی آن جهت کاهش هزینه‌ها تردیدی نیست. در مقاله حاضر با بهره‌گیری از روش آنالیز ارتعاشات به بررسی، تشخیص و رفع منشاء ارتعاشات پمپ‌های آب گرم مورد استفاده در مجتمع فولاد احیاء پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: پمپ، آنالیز ارتعاشات، فرکانس گذر پره<sup>۱</sup>، مشکلات فرایندی

## ۱. مقدمه

شود که واقعا نیاز به آن باشد. قابلیت دیگر پایش وضعیت، بررسی شرایط کارکردی هر تجهیز و تلاش برای بهبود آن با هدف کاهش سرعت استهلاک و افزایش عمر قطعات تجهیزات است.

یکی از مهم‌ترین پارامترهای پایش وضعیت تجهیزات دوار، آنالیز ارتعاشات تجهیز است. بالا بودن دامنه ارتعاشات در پمپ‌ها سبب مشکلاتی از قبیل هدررفت نیروی انسانی،

نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت یا پایش وضعیت در بیش از ۸۰٪ روش‌های نگهداری و تعمیرات اجرا می‌شود. طبق نظر سازمان بین‌المللی تحقیق در نگهداری و تعمیرات<sup>۲</sup>، نگهداری و تعمیرات براساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های منظم شرایط کارخانه، روند انجام کار<sup>۳</sup> پارامترها و پیش‌بینی زمان منجر به خرابی، برنامه‌ریزی می‌شود [۱]. بهترین پیشنهاد این است که کار نگهداری و تعمیرات زمانی انجام

انجام فعالیت‌های تعمیراتی غیرضروری، کاهش بازده پمپ و افزایش مصرف انرژی، خرابی سریع‌تر و کاهش عمر بیرینگ‌ها، ایجاد نشستی زیاد آب و یا روغن و درنهایت افزایش ریسک توقف تولید می‌گردد.

در پژوهش جاری و با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات به تشخیص، ریشه‌یابی و رفع منشاء ارتعاشات بالای پمپ‌های آب گرم فرایند فولاد احیاء پرداخته شده است.

## ۲. پیشینه پژوهش

آنالیز ارتعاشات، پرکاربردترین و مفیدترین روش برای پایش وضعیت تجهیزات دواری مثل پمپ‌هاست. زمانی که یک پمپ با وضعیت هم‌راستایی خوب، ارتعاشات و نویز کم، کار کند، انرژی کمتری مصرف کرده و هزینه نگهداری و تعمیرات آن نیز به مراتب کمتر است. با گسترش کاربرد آنالیز ارتعاشات در تجهیزات دوار از قبیل پمپ‌ها، فن‌ها، کمپرسورها، توربین‌ها، گیربکس‌ها و ... فعالیت‌های تحقیقاتی فراوانی در این زمینه صورت پذیرفته است. در ایران هم تحقیقات فراوانی در زمینه پایش وضعیت و عیب‌یابی پمپ‌ها صورت گرفته است. پرهون و همکاران در یک بررسی موردی به مطالعه عوامل ارتعاشات پمپ سانتریفیوژ تک مرحله‌ای با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات در یکی از مراکز فرآورش نفت پرداخته‌اند [۲]. مهربانی و عاصمی ضمن بررسی رفتار ارتعاشی یاتاقان‌های غلتشی یک دستگاه پمپ سانتریفیوژ با استفاده از نرم افزار تحلیل ارتعاش اسپکترا پرو، به بررسی مراحل و علت‌های بروز خرابی و تأثیر آن بر عملکرد پمپ مورد بررسی پرداخته‌اند [۳]. ایشان همچنین به بررسی رفتار ارتعاشی یک دستگاه پمپ سانتریفیوژ چند مرحله‌ای فشار بالا از نظر تأثیر انواع ناهم‌محوری بر روی رفتار ارتعاشی تجهیز، با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات و علت بروز و تأثیرهای مخرب انواع ناهم‌محوری بر عملکرد پمپ سانتریفیوژ پرداخته‌اند [۴]. ساعتچی و همکاران به بررسی خوردگی کاویتاسیون در پمپ‌های گریز

از مرکز مجتمع فولاد صبا با استفاده از سیگنال‌های ارتعاشی پرداخته‌اند [۵]. صفی‌زاده و همکاران به بررسی پدیده کاویتاسیون و اثرات آن بر پمپ‌های گریز از مرکز با استفاده از سیگنال‌های ارتعاشی پرداخته‌اند [۶].

در پژوهش جاری با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات به تشخیص، ریشه‌یابی و رفع منشاء فرایندی ارتعاشات پمپ‌های آب گرم فرایند فولاد احیاء پرداخته شده است. یکی از اهداف پژوهش حاضر بیان این نکته است که ارتعاشات غیر مجاز لزوماً به معنی وجود مشکل مکانیکی یا الکتریکی در تجهیزات دوار نیست و لازم است پیش از صدور درخواست کارهای غیرضروری از جمله الاینمنت، تعویض قطعات و ... شرایط فرایند تجهیز نیز مورد بررسی قرار گیرد.

## ۳. روش پژوهش

ارتعاشات می‌تواند اطلاعات جامعی از وضعیت یک ماشین ارائه دهد. تغییر در رفتار ماشین در حین بهره‌برداری یا تغییر هر یک از پارامترهای دامنه ارتعاشات، راستای ارتعاشات، اجزای فرکانسی اسپکترا و فاز یک برابر دور، همگی مستندات برای عیب‌یابی تجهیزات دوار است که با استفاده از چارت‌های عیب‌یابی می‌توان به عامل ارتعاشات پی برد. تجهیزاتی که در پژوهش جاری مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، پمپ‌های گریز از مرکز مورد استفاده جهت تأمین آب گرم فرایند احیاء فولاد<sup>۴</sup> هستند که از تجهیزات حساس در خط تولید یک کارخانه گندله‌سازی به شمار می‌آیند. تأمین آب تغذیه مدارهای خنک‌کننده ماشین‌آلات و تجهیزات کارخانه احیاء فولاد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که بیشترین مصرف آب در فرایندهای غبارگیری و خنک‌کاری تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه است. مشخصات فنی پمپ‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است اندازه‌گیری ارتعاشات در هر نقطه در سه راستای عمودی، افقی و محوری انجام شده است که به ترتیب با نماد  $H$ ،  $V$  و  $A$  نمایش داده خواهند شد.

ارتعاشات تجهیز می‌تواند براساس سه کمیت جابه‌جایی، سرعت و شتاب اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری ارتعاشات ماشین‌ها با استفاده از ترانسدیوسرها از روی بیرینگ‌ها برای پایش ارتعاشات و در سه جهت افقی، عمودی و محوری صورت می‌پذیرد. پس از داده‌برداری نوبت ارزیابی شدت

ارتعاشات است. عامل ارتعاشات غیر قابل قبول می‌تواند ریشه در خرابی و عیوب داخل ماشین و یا متأثر از محیط اطراف تجهیز باشد. شدت ارتعاشات بسته به دور کارکردی تجهیز بر اساس جابه‌جایی، سرعت و یا شتاب بیان می‌شود.

جدول ۱. مشخصات فنی الکتروموتور و پمپ

Driver		Driven	
Driver Type	Electromotor	Driven Type	Pump
Manufacturer	SIEMENS	Manufacturer	KSB
Type	1LG43164AA60	Power	124 kW
Power	160 kW	Inlet Pressure	1 Bar
Frame Size	315 L	Outlet Pressure	8 Bar
Voltage	400 V	MAWP	10 Bar
Current	280A	Pump Temperature	60°C
Cos $\phi$	0.86	Flow Rate	Min. 307.5 M <sup>3</sup> /h
No. of Poles	4		Max. 850 M <sup>3</sup> /h
Nominal Speed	1486 RPM		Operating 450 M <sup>3</sup> /h
IP	55	No. of Vanes	3
Lubricant Type	Esso Unirex N3	Efficiency	72.6%
Bearing Type	NDE	Bearing Type	NDE NU 324
	DE		DE 2x7224BG
		NPSH	3.7 m

دو معیار ارزیابی پیرامون بررسی وضعیت ارتعاشات تجهیزات وجود دارد؛ یکی دامنه کلی ارتعاشات و دیگری تغییر در دامنه ارتعاشات. فلسفه اندازه‌گیری دامنه کلی ارتعاشات بر پایه استانداردهای اولیه است. دامنه کلی ارتعاش می‌تواند در طول بهره‌برداری نسبت به داده‌های پیشین تغییراتی داشته باشد. به‌عنوان مثال وقتی که از سطوح ارتعاشی در طول یک بازه زمانی در محدوده غیر قابل تحمل قرار گیرد، لازم است بررسی‌هایی برای یافتن علت ارتعاشات صورت پذیرد. همچنین اگر افزایش یا کاهش دامنه ارتعاشات از ۲۵٪ تجاوز کند یا بالاتر از منطقه قابل تحمل قرار گیرد نیز بایستی تمهیدات ویژه‌ای در نظر گرفته شود.

با توجه به داده‌برداری‌های انجام شده، مقادیر کلی ارتعاشات بیش از حد مجاز بوده و لازم است نسبت به عیب‌یابی و رفع

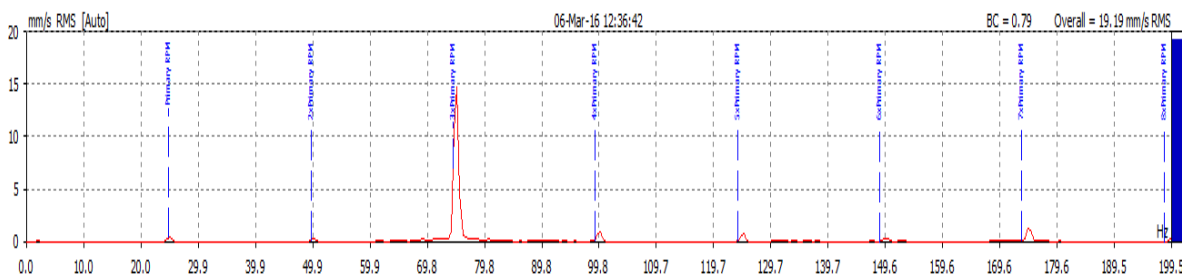
عیب اقدام گردد. گام نخست در عیب‌یابی بررسی طیف فرکانسی و تعیین پیک‌های غالب با دامنه قابل توجه است. مطابق شکل‌های ۱ و ۲ بررسی طیف فرکانسی ارتعاشات پمپ‌های مذکور، نشان از وجود ارتعاشات غالب در فرکانس گذر پره دارد. ظهور فرکانس گذر پره با دامنه قابل توجه می‌تواند ناشی از عوامل متعدد فرایندی و یا مکانیکی باشد. مشکلات فرایندی، لقی نامناسب پروانه بر روی شفت، برخورد پروانه در اثر رسوبات با جداره، شیار نوک ایمپلر، رینگ فرسوده، مشکلات پاپینگ و حتی خمیدگی شفت از عوامل ظهور فرکانس گذر پره به شمار می‌آیند [۷]. این فرکانس همواره در پمپ‌ها، فن‌ها و کمپرسورها وجود دارد و معمولاً نشان‌دهنده مشکلی نیست. زیرا هرگاه یک پره از قسمت زبانه گذر آب<sup>۵</sup> (گلوگاه بین پوسته و پروانه) عبور کند،

یک ضربه فشاری ایجاد می‌شود. در نتیجه ارتعاشی متناسب با نرخ گذر پره‌های پروانه پدیدار خواهد شد که برابر با تعداد پره‌های ایمپلر<sup>۶</sup> ضرب در دور دورانی است. هارمونیک‌هایی نیز ممکن است با مضاربی از این فرکانس تشکیل شوند. تأثیر این ارتعاشات در نقطه بهترین راندمان به حداقل خود می‌رسد و در ۲۵٪ افزایش یا کاهش دبی<sup>۷</sup> این تأثیر دو برابر خواهد شد. معمولاً در این‌گونه مسائل ارتعاش فرکانس گذر پره می‌تواند با افزایش فاصله هوایی بین زبانه و گذر آب و پرها افزایش پیدا کند. به عبارت دیگر اگر فاصله میان پره‌های ایمپلر پمپ و دیفیوزرهای ثابت در کل محیط ثابت نباشد، می‌تواند به ایجاد فرکانس گذر پره با دامنه بالا منجر شود. همچنین ممکن است این فرکانس با فرکانس طبیعی سیستم منطبق شده و موجب ایجاد بازآوایی<sup>۸</sup> در سیستم و در نتیجه ارتعاشات شدید شود. اگر رینگ سایشی ایمپلر بر روی شفت گیر کند یا اگر جوش‌های نگهدارنده دیفیوزر دچار

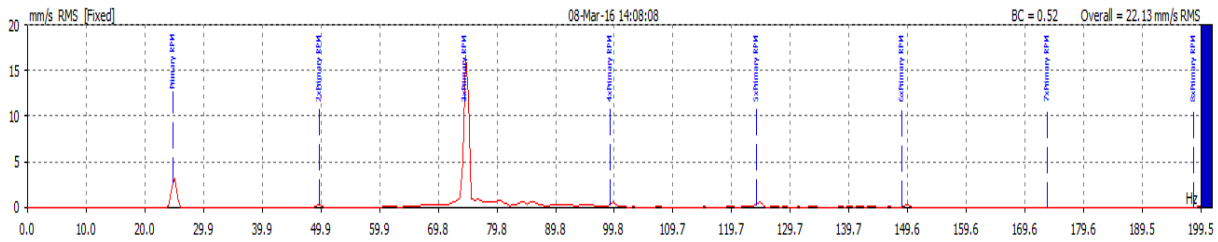
شکست شود، فرکانس گذر پره با دامنه قابل توجه ایجاد می‌گردد. افزون بر این فرکانس گذر پره با دامنه بالا می‌تواند در اثر خم‌های ناگهانی در لوله‌کشی<sup>۹</sup> و یا وجود موانعی که باعث ایجاد اغتشاش سیال می‌شوند و یا در اثر خارج از مرکزیت چرخانه<sup>۱۰</sup> در داخل محفظه نیز ایجاد گردد [۸].

با توجه به نوسانی بودن هم‌زمان ارتعاشات پمپ‌های مذکور و مشاهده ارتعاشات غالب در فرکانس گذر پره بدون وجود باند جانبی در طیف فرکانسی، وجود مشکل در شرایط بهره‌برداری از پمپ محتمل‌تر از وجود مشکل مکانیکی است. در نتیجه ضمن برنامه‌ریزی در خصوص بررسی وضعیت عملکرد پمپ و به‌منظور پایش دقیق وضعیت تجهیز هم‌زمان با اندازه‌گیری ارتعاشات، وضعیت فشارهای ورودی و خروجی و همچنین دبی مصرفی در نقاط مختلف، داده‌برداری و ثبت گردید.

PUMP(PU-GE61 A)(P3)H3



شکل ۱. طیف فرکانسی پمپ PU-GE61A در H3 پمپ از رفع مشکل فرایندی (محور افقی بازه فرکانسی و محور عمودی دامنه کلی ارتعاشات)



شکل ۲. طیف فرکانسی پمپ PU-GE61C در H3 پیش از رفع مشکل فرایندی (محور افقی بازه فرکانسی و محور عمودی دامنه کلی ارتعاشات)

و B وجود دارد. تفسیر نتایج بیانگر دو نکته است. نخست اینکه افزایش و کاهش ارتعاشات در پمپ‌های موازی مورد مطالعه، به‌صورت هم‌زمان رخ می‌دهد. از سوی دیگر همواره افزایش ارتعاشات در پمپ‌های A و B با کاهش دبی آب مصرفی در TV.XE02.1 و کاهش ارتعاشات در پی افزایش دبی آب مصرفی مشاهده می‌گردد. به‌عبارت‌دیگر میزان ارتعاشات با درصد ولو مذکور نسبت معکوس داشته و به ازای درصد خاصی از ولو تخلیه، میزان ارتعاشات به‌صورت تصاعدی افزایش یافته است.

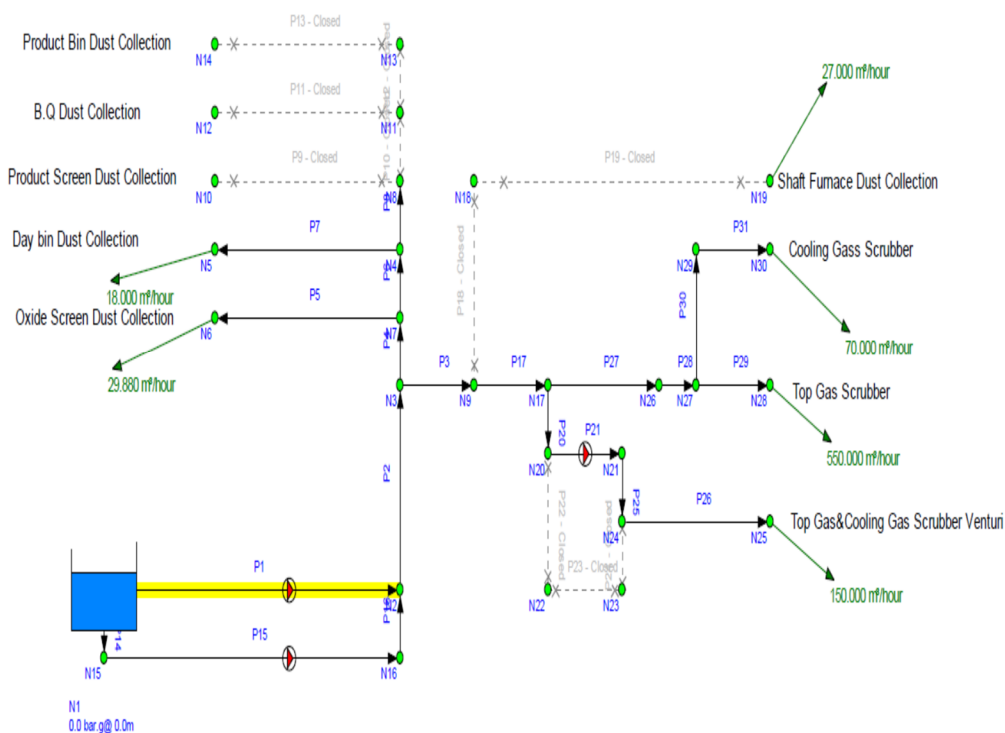
با توجه به وابستگی معکوس میزان ارتعاشات به درصد ولو TV.XE02.1 می‌توان نتیجه گرفت علت ارتعاشات حالت خاصی از کارکرد پمپ است. این حالت معمولاً در زمان کارکرد پمپ با دبی کم اتفاق می‌افتد.

همان‌طور که در برگه مشخصات<sup>۱۳</sup> مربوط به پمپ مورد مطالعه ذکر شده است، کمترین مقدار دبی مجاز ۳۰۷ مترمکعب بر ساعت است.

پس از بررسی مشخصات پمپ‌ها، مسیرها، دبی ورودی و خروجی شرایط کارکرد پمپ با دقت بیشتری بررسی گردید. شکل ۳ نشان‌دهنده دبی‌های خروجی و مصرف‌کننده‌های پمپ‌های مورد مطالعه است. پس از نتیجه‌گیری با استفاده از اطلاعات فوق نسبت به آزمایش و داده‌برداری مجدد و بررسی درصد کلیه شیرهای<sup>۱۱</sup> (ولوهای) مسیر دهش<sup>۱۲</sup> (دیس‌شارژ) جهت بررسی اثر فلو بر دامنه ارتعاشات پمپ‌ها اقدام گردید. نتایج داده‌برداری‌های انجام‌شده در جدول ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است دامنه ارتعاشات بیان شده مربوطه به نقطه H3 است که همواره دارای ارتعاشات ماکزیمم نسبت به سایر نقاط داده‌برداری است.

#### ۴. تفسیر نتایج

با توجه به بررسی‌های انجام شده، ارتباط معنی‌داری بین درصد ولو TV.XE02.1 (آب سرد و گرمی که مخلوط شده و برای ۲/۳ فرایند مصرف می‌شود) و ارتعاشات پمپ A



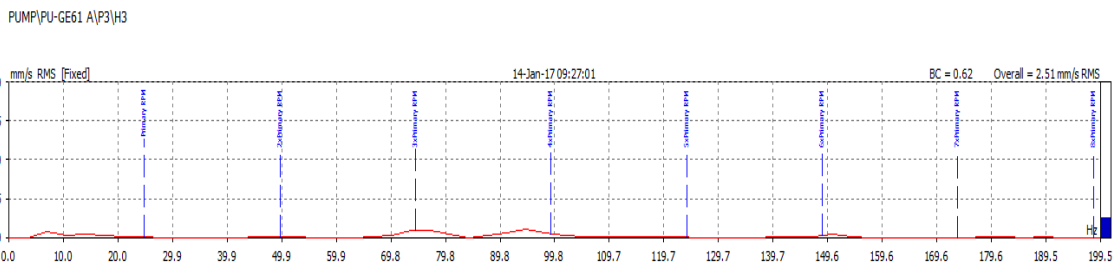
شکل ۳. مشخصات مسیر و مصرف کننده‌های تغذیه شده توسط پمپ‌های آب گرم و غبارگیر به همراه دبی مصرفی

جدول ۲. داده‌برداری‌های انجام شده به ازای شرایط مختلف بهره‌برداری

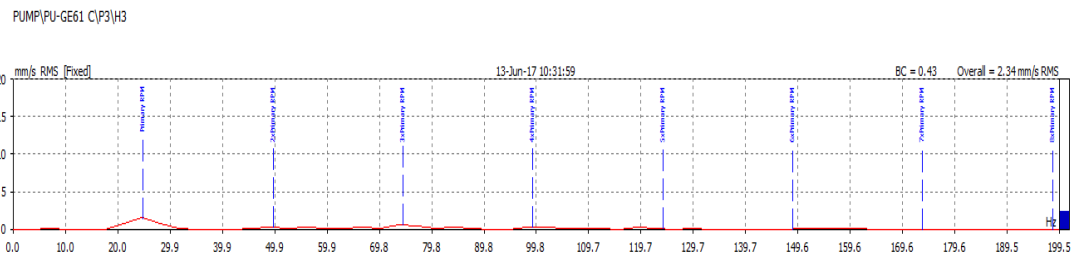
دامنه ارتعاشات پمپ B rms(mm/s)	دامنه ارتعاشات پمپ A rms(mm/s)	شدت جریان مصرفی الکتروموتور B (Amper)	شدت جریان مصرفی الکتروموتور A (Amper)	فشار خروجی پمپ B (bar)	فشار خروجی پمپ A (bar)	درصد ولو تخلیه TV.XE2.1	درصد ولو تخلیه پمپ B	درصد ولو تخلیه پمپ A	
۲/۳	۲/۵	۲۴۶	۲۴۹	۵/۹	۵/۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱
۲/۱	۲/۵	۲۴۵	۲۴۹	۶	۶	۱۰۰	۹۰	۹۰	۲
۲/۹	۲/۹	۲۴۴	۲۴۹	۶/۶	۶/۶	۱۰۰	۸۰	۸۰	۳
۴/۳	۵/۱	۲۳۶	۲۴۰	۶/۶	۶/۶	۹۰	۸۰	۸۰	۴
۶/۵	۷	۲۲۷	۲۳۰	۶/۸	۶/۸	۸۰	۸۰	۸۰	۵
۸/۴	۷/۵	۲۲۷	۲۳۰	۶/۸	۶/۸	۷۰	۸۰	۸۰	۶
۹	۷/۲	۲۱۹	۲۲۲	۶/۹	۶/۹	۶۰	۸۰	۸۰	۷

این پمپ‌ها، استفاده از مسیر بای‌پس<sup>۱۶</sup> به مخزن آب گرم است. مطابق شکل‌های ۴ و ۵ کاهش دامنه ارتعاشات در فرکانس گذر پره نشان از رفع مشکلات فرایندی در زمان کارکرد پمپ دارد. همان‌طور که در شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، با رفع عیب و کاهش دامنه کلی ارتعاشات، وضعیت ارتعاشات تجهیز بهبود یافته است.

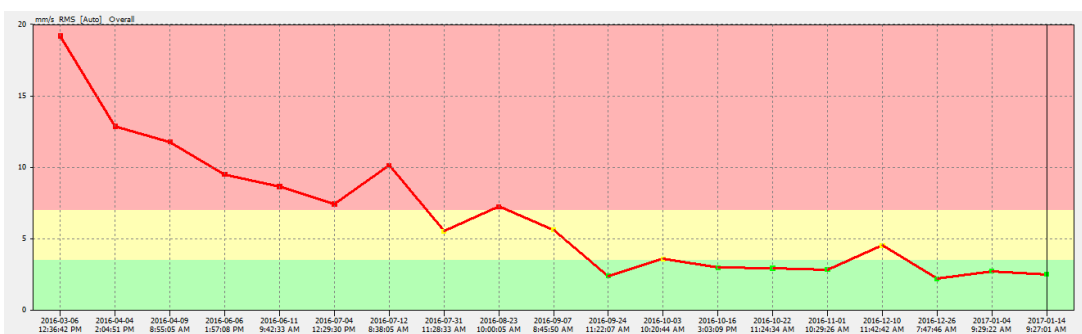
با توجه به بررسی‌های انجام‌شده مشخص گردید اعمال تغییراتی در شرایط فرایند لازم است. با توجه به اینکه دبی مصرف آب گرم مربوط به غبارگیر کوره و بریکت‌سازی و غبارگیر مخزن محصول<sup>۱۴</sup> و اسکرین<sup>۱۵</sup> محصول در برخی از فصول سال کاهش می‌یابد و میزان مصرف آب مربوط به ولو TV.XE02.1 با توجه به شرایط دمایی به‌صورت خودکار کنترل می‌گردد؛ تنها راه حل رفع مشکل ارتعاشات



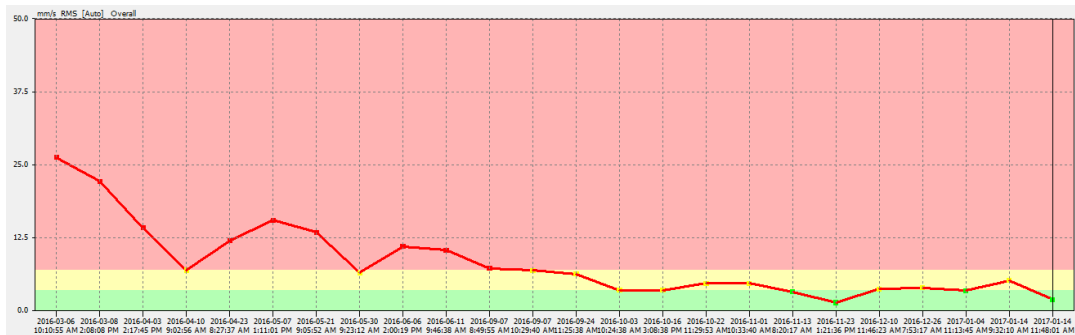
شکل ۴. طیف فرکانسی پمپ PU-GE61A در H3 پس از رفع مشکل فرایندی (محور افقی بازه فرکانسی و محور عمودی دامنه کلی ارتعاشات)



شکل ۵. طیف فرکانسی پمپ PU-GE61C در H3 پس از رفع مشکل فرایندی (محور افقی بازه فرکانسی و محور عمودی دامنه کلی ارتعاشات)



شکل ۶. ترند ارتعاشات پمپ PU-GE61A در H3 (محور افقی تاریخ داده‌برداری و محور عمودی دامنه کلی ارتعاشات)



شکل ۷. ترند پمپ PU-GE61C در H3 (محور افقی تاریخ داده برداری و محور عمودی دامنه کلی ارتعاشات)

## ۵. نتیجه گیری

مورد مطالعه متغیر و وابسته به شرایط فرایندی است، پیشنهاد گردید ضمن استفاده از روش‌های موقت کنترل دبی با اجرای مسیر بای پس در مسیر دهش پمپ به مخزن به عنوان یک راه کار بلندمدت، از کارکرد پمپ در فلوی کمتر از دبی نامی جلوگیری گردد.

نتایج حاصل از پژوهش جاری نشان می‌دهد بهره‌برداری از پمپ‌های سانتریفیوژ در دبی کمتر از دبی نامی سبب افزایش دامنه ارتعاشات پمپ می‌گردد. افزایش دامنه ارتعاشات نیز موجب ظهور مشکلات بعدی خواهد شد. لذا جهت جلوگیری از بروز این حالت و با توجه به اینکه فلوی مصرفی پمپ‌های

## ۶. مأخذ

- [۱] ا، میرزایی، "کاربرد پایش وضعیت در نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه پمپ‌ها"، ارکان دانش، ۱۳۹۰.
- [۲] س، پرهون، م، رضایی، ک، فرهمندفر، "مطالعه موردی عیب‌یابی پمپ سانتریفیوژ تک مرحله‌ای با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات"، ششمین کنفرانس بین‌المللی اقتصاد، مدیریت و علوم مهندسی، بلژیک، ۱۳۹۴.
- [۳] ا، مهرابی گوهری، م، عاصی، "آنالیز رفتار ارتعاشی یاتاقان‌های غلتشی پمپ سانتریفیوژ با استفاده از نرم‌افزار تحلیل ارتعاش اسپکتراپرو"، کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در علوم مهندسی، دبی، ۱۳۹۴.
- [۴] ا، مهرابی گوهری، ع، مرتضوی میرمحل، "تحلیل تجربی اثر نا هم‌محوری بر عملکرد پمپ سانتریفیوژ با استفاده از نرم‌افزار تحلیل ارتعاشات"، اولین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران، گرگان، دانشگاه گلستان، ۱۳۹۳.
- [۵] ا، ساعت چی، ا، پیشنمازی، م، عادل، ع، ساعت چی، "بررسی خوردگی کاپیتاسیون در پمپ‌های مجتمع فولاد صبا"، ششمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران، ۱۳۸۹.
- [۶] س، صفی‌زاده، س، محمدی، م نوری، "پایش کوبیتیشن در پمپ‌های گریز از مرکز با استفاده از سیگنال‌های ارتعاشی"، چهارمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب‌یابی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۸.
- [۷] ح، کریمی، خ، سیاوشی، "هندبوک آنالیز ارتعاشات"، کنکاش، ۱۳۹۰.
- [۸] س، اسماعیل‌زاده خادم، م، نسربین امیدخواه، ا، درویزه، "بالانس فن‌های گریز از مرکز و عیب‌یابی ماشین‌آلات"، دانشگاه گیلان، ۱۳۸۰.



1. Blade Pass Frequency
2. IFIRM
3. Trending
4. Hot Process and Dust Collection Water Pump
5. Cutwarwer
6. Impeller
7. Flow/ (به فرانسوی: débit)
8. Resonance frequency
9. Piping
10. Rotor
11. Valve
12. Discharge
13. Data sheet
14. Product
15. Oxide Screen
16. Bypass