بنام خدا

بررسی بروز پدیده بیت در ماشین‌آلات دوار
مطالعه موردی– بلوور آسیای مواد

قاسم طوسی- کارشناس آنالیز ارتعاشات

شرکت سیمان زاوه تربت

تابستان ۹۷

چکیده:

در صنعت رو به پیشرفت امروزی، همه صنایع و کارخانجات در پی بالا بردن قابلیت اطمینان و حداکثر استفاده از ماشین‌آلات هستند. یکی از موارد کسب قابلیت اطمینان بیشتر و همچنین پیشگیری بهتر از توقفات بدون برنامه ماشین‌آلات، نگهداری و تعمیرات مبتنی بر وضعیت است که در انواع آنالیز ارتعاشات، آنالیز روغن، ترموگرافی و ...قابل اجراست. در همین راستا، سیستم آنالیز ارتعاشات در شرکت سیمان زاوه تربت از ابتدای تأسیس مورد اجرا گذاشته شده و نتایج بسیار خوبی را در پی داشته است. در این مقاله به بررسی علل بروز پدیده بیت در یک مورد مطالعاتی و همچنین راهکارهایی برای رفع این مشکل می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: آنالیز ارتعاشات، زاویه فاز، منحنی فرکانسی، نمودار Waterfall، منحنی شکل موج

مقدمه:

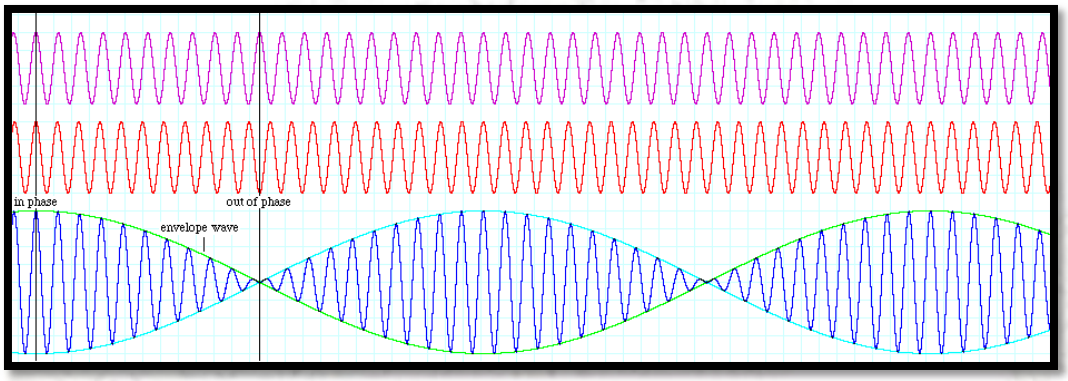
امروزه ماشین‌آلات دوار بخش مهمی از صنایع را به خود اختصاص داده است. ماشین‌آلاتی که به دلایل مختلفی دچار تغییرات در روند ارتعاشاتی خود شده که این تغییرات منجر به خرابی‌های ثانویه و در نهایت خسارات جدی می‌گردد. ولیکن شناسایی و همچنین بکارگیری روش‌های مناسب در خصوص هر یک از این رفتارهای ارتعاشاتی با توجه به تفاوت‌های ماهیتی و عملکردی تجهیزات دوار مختلف، تأثیر بسزایی در تشخیص صحیح و کشف علل تغییرات رفتار ارتعاشاتی و در نهایت توقف ناخواسته خط تولید دارد.

عوامل مختلفی منجر به افزایش دامنه ارتعاشات تجهیزات دوار در محیط‌های صنعتی می‌شود که می‌توان از مهم ترین آنها به نامیزانی ، ناهم‌ترازی ، تشدید و ... اشاره نمود. اما یکی دیگر از این عوامل که هر آنالیزور ارتعاشات قطعاً با آن مواجه شده است پدیده بیت می‌باشد که ارتعاشات حاصل از آن در صورت رشد ، بسیار مخرب خواهد بود و منجر به خرابی‌های ثانویه می‌گردد. تفاوت عمده در نحوه ایجاد ارتعاش توسط این پدیده با سایر عوامل ذکر شده، نوسانات دامنه ارتعاشات است. به عنوان مثال با نامیزانی پروانه یک فن، با توجه به ماهیت تجهیز در برخی از راستاها شاهد افزایش ارتعاش خواهیم بود که با نصب سنسور در همان راستا دستگاه ارتعاش سنج دامنه را بدون نوسان نشان خواهد داد اما در یک تجهیز که دچار پدیده بیت شده است با نصب سنسور شاهد نوسانات زیاد دامنه ارتعاشات با فواصلی زمانی یکسان خواهیم بود که این فاصله زمانی برای تجهیزات مختلف متفاوت بوده که در ادامه به جزئیات آن خواهیم پرداخت.

پدیده بیت:

ارتعاشات بیت نتیجه ترکیب دو حرکت ارتعاشاتی است که فرکانس‌های آنها نزدیک به هم می‌باشند. ماکزیمم دامنه ارتعاشات زمانی ایجاد می‌شود که شکل موج‌های دو فرکانس با یکدیگر هم فاز می‌شوند و کمترین ارتعاشات زمانی بوجود می‌آید که زاویه فاز شکل موج‌ها با یکدیگر به اندازه ۱۸۰ درجه اختلاف داشته باشند. شکل شماره (۱) مربوط به دو سیگنال است که فرکانس آنها با یکدیگر ۱ هرتز اختلاف دارند. همانطور که در این تصویر مشخص است در ابتدا به دلیل هم فاز بودن دو سیگنال شکل موج‌ها بر هم منطبق شده که نتیجه آن افزایش دامنه ارتعاشات است اما به مرور زمان هر چه قدر شکل موج‌ها از هم فاصله می‌گیرند دامنه ارتعاشات نیز کاهش می‌یابد که در نهایت امر اختلاف زاویه فاز ۱۸۰ درجه منجر به خنثی شدن دو سیگنال می‌شود. این بدان معنا است که اگر دامنه ارتعاشات دو سیگنال کاملا با هم برابر باشند و هیچ فرکانس دیگری در تجهیز دوار وجود نداشته باشد باید

در مقطعی از زمان ارتعاشات به صفر مطلق برسد اما عملاً به دلیل وجود فرکانس‌های دیگر در تجهیز و همچنین احتمال بسیار پایین مساوی بودن دامنه دو سیگنال این امر بعید به نظر می‌رسد اما کاهش و افزایش ارتعاشات در تجهیزاتی که دچار پدیده بیت شده‌اند کاملاً ملموس بوده و حتی صدای تجهیز گویای این مشکل می‌باشد.



شکل شماره ۱ – روند افزایش و کاهش ارتعاشات حاصل از بیت

بررسی مورد مطالعاتی:

۱-معرفی ماشین

در صنعت سیمان تخلیه مواد خام از داخل سیلوها از طریق ایراسلایدهای نصب شده در کف سیلوها انجام می‌شود که هوای مورد نیاز این ایراسلایدها توسط بلوورهای هوادهی صورت می‌پذیرد. به ازای هر سیلو، دو عدد بلوور در محل نصب شده که یکی از آنها همواره در حال کار و دیگری به صورت استندبای در محل قرار گرفته است. زمانی-که بارگیری از هر دو سیلوی مواد خام باشد به ازای هر سیلو یک بلوور در مدار قرار می‌گیرد و زمانی‌که بارگیری تنها از یک سیلو انجام شود ، هر دو بلوور در مدار قرار می‌گیرند. از این حیث تجهیزات مذکور اهمیت بالایی در بحث تولید داشته و نیاز است همواره توسط تکنیک‌های مختلف پایش وضعیت تحت کنترل قرار بگیرند. شکل شماره (۲) مربوط به یکی از این تجهیزات بوده که دچار ارتعاشات نوسانی (بیت) شده است.

شکل شماره ۲- تصویری از بلوور با سیستم انتقال قدرت تسمه و پولی

مشخصات الکتروموتور:

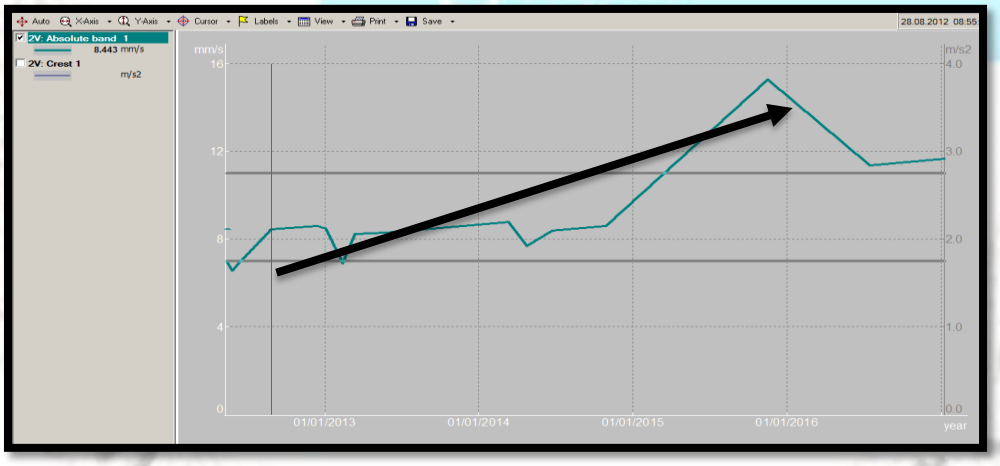
سازنده	توان	دور
Siemens	15KW	3000RPM=50HZ

مشخصات بلوور:

سازنده	نوع	دور
Aerzen	Rotary Piston Blower Stage-GM7L	4310RPM=71.83HZ

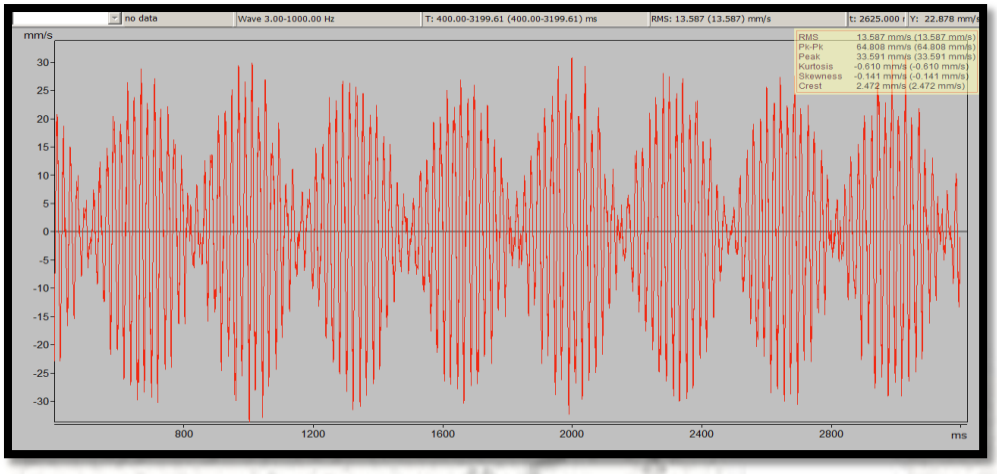
۲-عیب یابی:

شکل شماره (۳) مربوط به رفتار ارتعاشاتی سمت درایو و در راستای **Vertical** الکتروموتور این تجهیز می‌باشد و همانطور که مشهود است ارتعاشات به مرور زمان افزایش یافته و دامنه آن در نهایت (به صورت میانگین)به **13mm/s** رسیده است. اگر چه در این گراف شاهد نوساناتی در مقادیر ارتعاشات این تجهیز می‌باشیم اما با مقایسه کلی میتوان سیر صعودی را مشاهده نمود.



شکل شماره ۳- افزایش ارتعاشات الکتروموتور در راستای **Vertical**

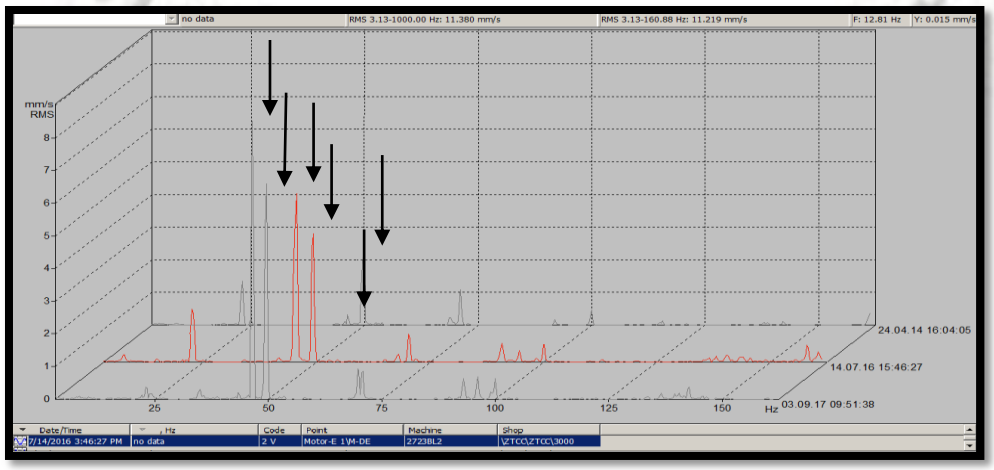
نوسان ارتعاشات در حین دیتا برداری نیز کاملا محسوس بود(تغییرات دامنه ارتعاشات در شکل شماره ۳) به نحوی که در یک بازه زمانی چندین مرتبه دامنه با شیب ملایم افزایش و مجدداً کاهش می‌یافت. با بررسی شکل موج (شکل شماره ۴) این ماشین اطمینان حاصل گردید عامل این نوسانات ارتعاشات، پدیده بیت می‌باشد. با دقت در این شکل می‌توان دریافت با هم فاز شدن دو شکل موج که مربوط به دو فرکانس مجزا می‌باشند ، دامنه در بیشینه مقدار خود به **30mm/s** رسیده و با غیر هم فاز شدن(۱۸۰ درجه اختلاف فاز) دامنه به شدت کاهش یافته است.



شکل شماره ۴- شکل موج حاصل از بیت

حال با توجه به اینکه ایراد شناسایی گردید می‌بایست به دنبال فرکانس‌هایی باشیم که منجر به بروز این عیب شده‌اند. برای پیدا نمودن فرکانس‌های مذکور ضروری است که از یک رزولوشن مناسب استفاده شود تا بتوان فرکانس‌هایی که قطعاً نزدیک به هم بوده و عامل این نوسانات هستند را تفکیک نمود. اگر از یک رزولوشن مناسب استفاده نگردد دو پیک نزدیک به هم به شکل یک پیک در طیف فرکانسی پدیدار شده و کار برای یک آنالایزر ارتعاشات سخت می‌گردد. از آنجا که نمودار آبشاری **(Waterfall)** قابلت بررسی چندین طیف فرکانسی را در کنار هم دارد، می‌توان گفت بهترین ابزار برای بررسی تغییرات دامنه کلی ارتعاشات و همچنین دامنه فرکانس-های عامل بیت می‌باشد. شکل شماره (۵) نمودار آبشاری **(Waterfall)** موتور تجهیز بررسی شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

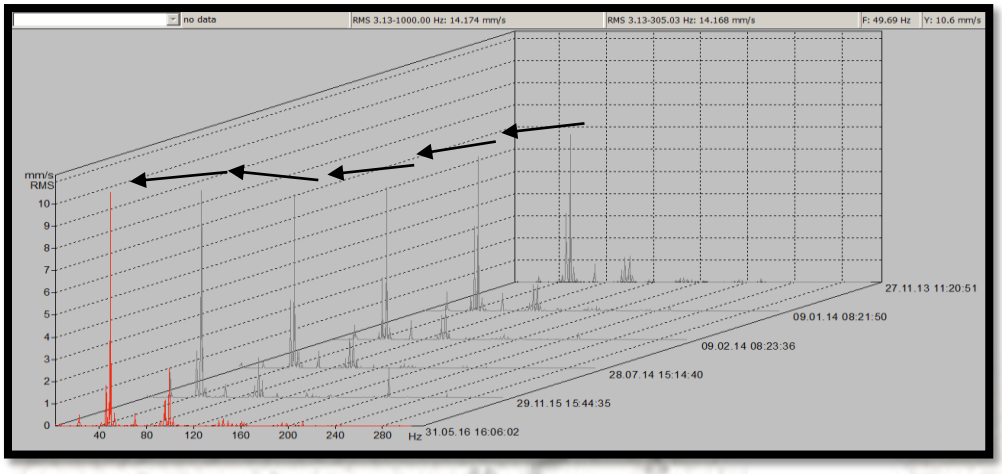
پس از اینکه از یک رزولوشن مناسب استفاده شد با استفاده از نمودار آبشاری مشخص گردید که دو فرکانس **46.2** و **49.69** هرتز به مرور زمان در طیف فرکانسی پدیدار شده و دامنه آنها افزایش یافته است. همچنین نکته بسیار مهم آنست که با افزایش و کاهش دامنه کلی ارتعاشات ثبت شده در نرم افزار ارتعاشات ، دامنه فرکانس‌های عامل بیتینگ نیز به همان نسبت تغییر می‌کند .



شکل شماره (۵) - رشد دامنه ارتعاشات فرکانس های **46.2** و **49.69** هرتز

۲-۱- بررسی عامل افزایش دامنه فرکانس 49.69HZ :

همانطور که قبلا نیز ذکر شد یکی از دو فرکانس نزدیک به هم که منجر به بروز بیت شده است فرکانس **49.69HZ** می‌باشد که افزایش دامنه آن در راستای **Vertical** به مرور زمان در شکل شماره (۶) کاملاً مشهود است.



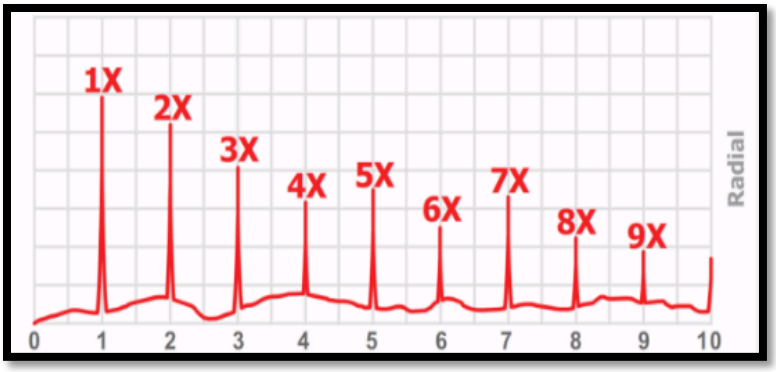
شکل شماره ۶- افزایش دامنه فرکانس 49.69HZ

این فرکانس مربوط به دور الکتروموتور می‌باشد اما نکته قابل توجه آن است که علاوه بر افزایش دامنه آن ، ضرایب صحیح این فرکانس نیز با گذشت زمان در طیف فرکانسی پدیدار شده و شاهد افزایش دامنه آنها بودیم.جدول شماره ۱مربوط به تغییرات دامنه این فرکانس ها می‌باشد.

تاریخ	دامنه فرکانس 49.69 (دور موتور)	دامنه فرکانس 99.38HZ (ضریب دوم فرکانس دور موتور)	دامنه فرکانس 149.07HZ (ضریب سوم فرکانس دور موتور)
2013/11/27	6.7mm/s	1.2 mm/s	0.02 mm/s
2014/01/09	7mm/s	1.25 mm/s	0.02 mm/s
2014/02/09	7.1mm/s	1.58 mm/s	0.04 mm/s
2014/07/28	7.9 mm/s	1.58 mm/s	0.12 mm/s
2015/11/29	9.37 mm/s	1.5 mm/s	0.32 mm/s
2016/05/31	10.6 mm/s	2.61 mm/s	0.68 mm/s

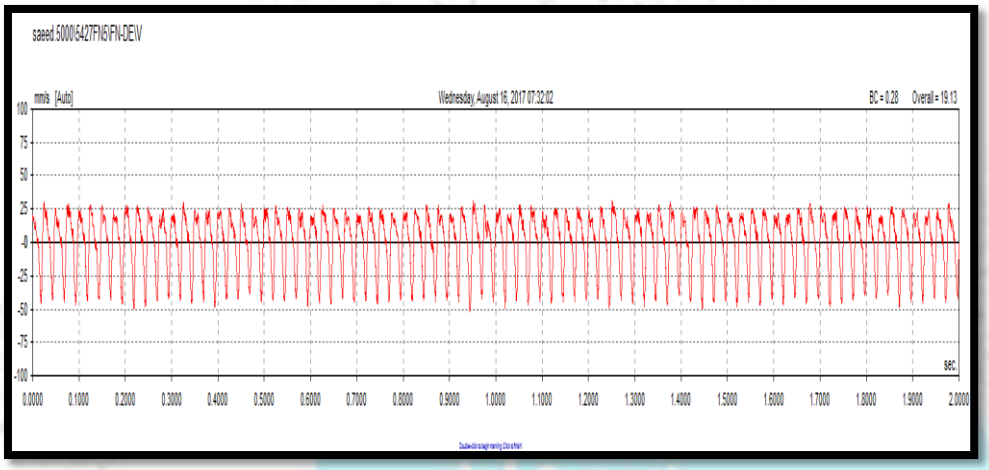
جدول شماره ۱- افزایش دامنه ضرایب دور الکتروموتور با گذشت زمان

با توجه به چنین طیفی محتمل‌ترین عیب، وجود لقی غیر مجاز در بیرینگ‌ها می‌باشد. در یک یاتاقان به دلیل ضربات بوجود آمده ناشی از لقی غیر مجاز قطعاً شاهد هارمونیک های دور خواهیم بود ولیکن دامنه ضرایب هیچگاه از قاعده خاصی پیروی نمیکند(به عنوان مثال اینگونه نیست که حتما دامنه ضریب دوم باید از ضریب سوم بیشتر باشد) اما به صورت کلی طیف فرکانسی این نوع خرابی مشابه با شکل شماره (۷) است که در مورد مطالعاتی ما در این مقاله شاهد طیفی مشابه با آن بودیم.



شکل شماره ۷- طیف فرکانسی یک بیرینگ با لقی غیر مجاز

یکی دیگر از پرکاربردترین تکنیک ها علاوه بر طیف فرکانسی (FFT) جهت تشخیص وجود لقی غیر مجاز در یک یاتاقان ، شکل موج است. شکل موج از آنجا که رفتار دقیق ارتعاشاتی تجهیز در واحد زمان را نشان می‌دهد و می-توان ضربات ناشی از لقی را در آن به راحتی رؤیت کرد. شکل شماره (۸) مربوط به شکل موج بیرینگ سمت درایو الکتروموتور تجهیز مذکور به صورت دکوپل است که در آن دامنه ضربات به 50mm/S نیز می‌رسد.



شکل شماره(۸) – ضربات با دامنه بسیار بالا با فاصله یکسان (فرکانس دور موتور) به دلیل لقی بیرینگ

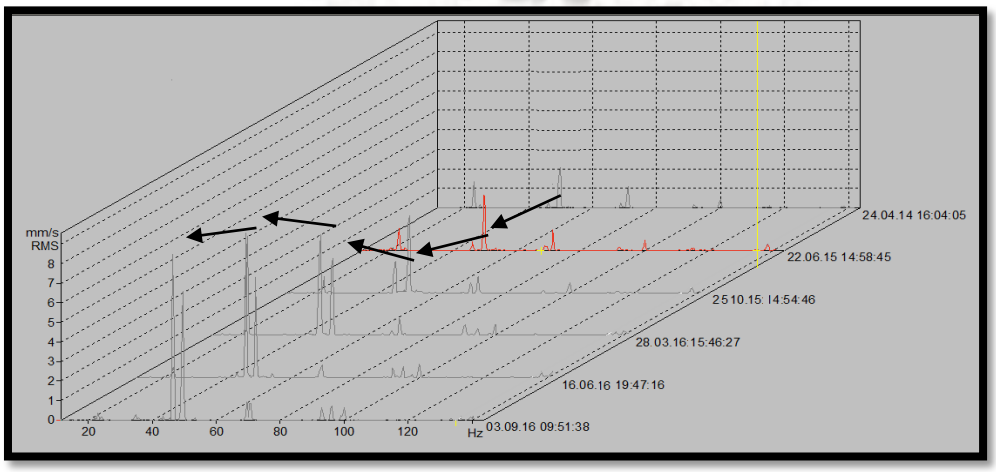
در انتها جهت حصول اطمینان تجهیز دکوپل گردید و ارتعاشات موتور بدون تسمه و پولی اندازه گیری شد که دامنه ارتعاشات سمت درایو و در راستای Vertical ،7 میلی متر بر ثانیه توسط دستگاه ارتعاش سنج ثبت گردید که با توجه به بالا بودن این عدد و همچنین صدای غیر عادی ، بیرینگ های موتور تعویض شد. جدول شماره (۲) مربوط به دامنه ارتعاشات موتور قبل از تعویض و پس از تعویض یاتاقان ها به صورت دکوپل می‌باشد.

	NDE		DE	
	V	H	V	H
قبل از تعویض بیرینگ	2.7mm/s	2.5mm/s	7.1mm/s	3.8mm/s
پس از تعویض بیرینگ	2mm/s	2.5mm/s	1.3mm/s	0.55mm/s

پس از این اقدام اصلاحی تجهیز مجدداً کوپل گردید و نکته قابل توجه کاهش دامنه ارتعاشات موتور بود ولیکن همچنان شاهد نوسانات ارتعاشات در آن بودیم که این خود نشان دهنده آنست که می‌بایست به دنبال عامل ارتعاش ساز دیگری در مجموعه تجهیز باشیم.

۲-۲- بررسی عامل ظهور و همچنین افزایش دامنه فرکانس 46.2HZ :

دیگر فرکانس مورد بحث که منجر به نوسانات ارتعاشات مجموعه تجهیز شده است فرکانس 46.2HZ است. شکل شماره (۹) افزایش تدریجی دامنه این فرکانس را نیز با گذشت زمان نشان می‌دهد.



شکل شماره ۹ – افزایش دامنه فرکانس 46.2HZ

با توجه به اینکه در بیشینه ارتعاشات تجهیز در طول نوسان، تسمه ها نیز شروع به شلاق زدن میکردند، به فرکانس گذر تسمه‌ها و یا فرکانس تشدید آن‌ها مشکوک شدیم.

محاسبه فرکانس گذر تسمه‌ها:

فرمول:

$$Belt\ Frequency = \frac{Pi * D * N}{BL}$$

که در آن:

Pi=3.14
D=Pitch Diameter of Sheave
N=Rotation Speed of Sheave
BL=Belt Length

در بلوور مورد بحث مشخصات پولی موتور و تسمه‌ها به شرح ذیل می‌باشد :

D=200mm
N=49.69HZ
BL=1350mm

در نتیجه فرکانس گذر تسمه برابر است با:

$$Belt\ Frequency = \frac{3.14 * 200 * 49.69}{1350} = 23.11HZ$$

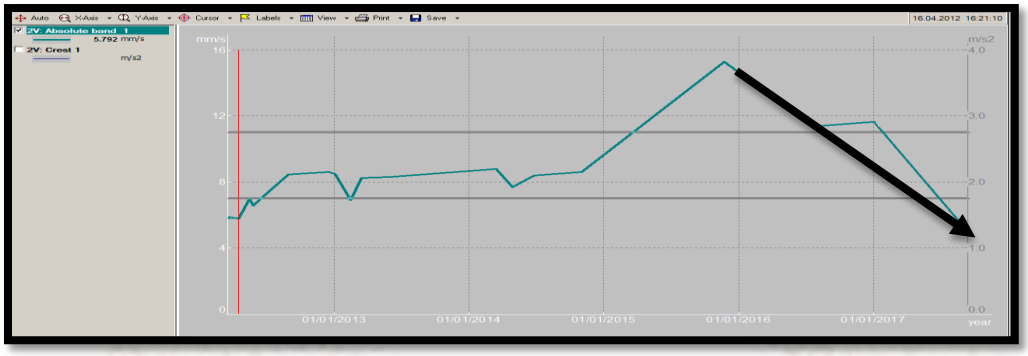
در طیف فرکانسی برخی از اندازه‌گیری‌ها شاهد ظهور فرکانس 23.11HZ بوده‌ایم اما آنچه که منجر به نوسانات ارتعاشات تجهیز شده در تمامی طیف‌های فرکانسی وجود داشته و همچنین به مرور زمان دامنه آن رشد پیدا کرده است ضریب صحیح دوم فرکانس گذر تسمه یعنی 46.2HZ بوده است.جدول شماره (۳) تغییرات دامنه این فرکانس را به مرور زمان نشان می‌دهد.

تاریخ	دامنه فرکانس 46.2HZ (ضریب دوم فرکانس گذر تسمه)
2014/04/24	0.09 mm/s
2015/06/22	0.4 mm/s
2015/10/25	2.73mm/s
2016/03/28	5.2 mm/s
2016/06/16	7.02mm/s
2016/09/03	7.65mm/s

جدول شماره ۳- تغییرات دامنه فرکانس46.2HZ

با بررسی وضعیت ظاهری سیستم انتقال قدرت تجهیز مشخص شد که عامل اصلی شلاق زدن تسمه ها که نتیجتاً منجر به تحریک فرکانس آنها شده است سایش غیر یکنواخت شیار پولی ها بوده که با توجه به تشخیص این ایراد نسبت به تعویض پولی ها و همچنین تسمه ها اقدام شد.

پس از اقدامات اصلاحی ذکر شده که منجر به کاهش دامنه دو فرکانس 46.2 و 49.69 هرتز شد (فرکانس‌های عامل بیت) در نهایت شاهد کاهش چشمگیر ارتعاشات در راستای Vertical الکتروموتور از 15mm/s به 4mm/s بودیم. همچنین دامنه ارتعاشات یکنواخت بوده و از حالت نوسانی خارج شد.



شکل شماره ۱۰- کاهش دامنه ارتعاشات موتور پس از اقدامات اصلاحی

۳- نتیجه‌گیری

۳-۱- در این مقاله پی بردیم که نزدیک بودن دو فرکانس (فرکانس دور موتور ناشی از لقی بیرینگ و همچنین فرکانس گذر تسمه‌ها) که هر یک به تنهایی موجب افزایش دامنه ارتعاشات هر تجهیز دواری می‌گردند، منجر به بروز پدیده بیت در مورد مطالعاتی مورد بحث ما شد. در نتیجه می‌توان دریافت در هر محیط صنعتی و در هر تجهیز دوار، چنانچه دو یا چند فرکانس ارتعاش ساز مستقل به گونه ای در نزدیکی یکدیگر قرار بگیرند که با گذشت زمان و تغییرات زاویه فاز بر یکدیگر تاثیر مستقیم بگذارند ارتعاشات آن تجهیز را نوسانی کرده و نهایتاً منجر به افزایش کلی ارتعاشات تجهیز شود.

۳-۲- از آنجا که رفتار ارتعاشاتی حاصل از بیت یک رفتار خاص و کاملاً متفاوت از سایر عیوب می‌باشد و همچنین علائم واضحی از خود در بحث آنالیز ارتعاشات (شکل موج و طیف فرکانسی) نمایان می‌کند، تشخیص بروز آن در یک تجهیز دوار کار چندان سختی به نظر نمی‌رسد ولیکن بخش بسیار مهم و حیاتی ، شناسایی فرکانس‌های عامل بیت و در مرحله بعدی به حداقل رساندن دامنه این فرکانس‌ها می‌باشد. اهمیت درک و تشخیص پدیده بیت در آن‌است که آنالیزور ارتعاشات با روبه‌رو شدن با چنین ایرادی همواره می‌بایست به دنبال دو و یا چند علت مستقل دیگر باشد تا بتوان با رفع این عوامل ارتعاشات مجموعه تجهیز را از حالت نوسانی خارج نماید، در غیر اینصورت با عدم رفع تمام این عوامل تنها دامنه نوسانات را کاهش داده و مشکل را به صورت کامل برطرف نکرده است.

۴-فهرست منابع:

[۱]-MOBIUS INSTITUTE& VIBRATION ANALYSIS

[۲] وحید زارع" تحلیل لرزش در ماشین‌های دوار" سایت شرکت بهره برداری نفت و گاز کارون