# شناسایی عیوب یک الکتروگیربکس همزن مخزن با استفاده از آنالیز ارتعاشی

**محسن غیاث آبادی فراهانی[1*]، احمد عزیزی[2]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، کارشناس واحد CM، شرکت کربنات سدیم سمنان، سمنان، ایران
۲- مربی، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی**، سمنان، ایران
* اراک، ۳۸۱۷۶۱۷۱۳۵، mohsen.gh1858@gmail.com

**چکیده**

در تحقیق حاضر به آنالیز ارتعاشات یک الکتروگیربکس همزن از نوع دنده حلزونی و علل پیدایش ارتعاشات شدید در این سیستم پرداخته شده است. نصب و نگهداری نادرست این سیستم‌ها می‌تواند آسیبهای جدی را برکارایی یک ماشین وارد آورد. داده برداری ارتعاشات توسط دستگاه دیتا آنالایزر Viber X5 انجام شده و تحلیل و تفسیر آن توسط نرم افزار SpectraPro صورت گرفته است. به کمک نتایج تحلیل از مهمترین آسیب‌های جدی گیربکس و تخریب قطعات جلوگیری شد و با انجام تعمیرات به موقع و جزئی در هزینه‌ها صرفه جویی بعمل آمد. در نتیجه ی آنالیز ارتعاشات با هدف ایجاد اطمینان جهت پیدا کردن عیوب سیستم، کمک مؤثری به جلوگیری از توقف‌های ناگهانی دستگاه‌ها و فرایند شکل گیری هزینه در سیستم می شود. این امر مهم، موجب شده است تا درسال‌های اخیر تمایل به استفاده از روش‌های آنالیز ارتعاشات و پیشرفت‌های تکنولوژی در این راستا بطور قابل توجهی افزایش یابد .

**کلیدواژگان**

الکتروگیربکس، شناسایی عیوب، آنالیز ارتعاشی ، لقی

# A tank agitator motor and gearbox fault diagnosis using vibration analysis

**Mohsen Ghiasabadi[1*], Ahmad Azizi [2]**

1- Master student of mechanics, expert unit CM, Soda Ash Co. Semnan, Semnan, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran
* P.O.B. 3817617135 Arak, Iran, mohsen.gh1858@gmail.com

**Abstract**

The vibration analysis of an electric gearbox with helical gear and the causes of severe vibrations in this system is discussed in the present research. Improper installation and maintenance of these systems can make serious problems for the performance of a car. Collecting data is performed by "Viber X5" data vibration analyzer and the analysis of it is done by the "SpectraPro" software. With the help of the results of the analysis, the destruction of parts and some damages are prevented and it leads to save costs of repairing. Vibration analysis with the aim of ensuring to find the flaws in the system will help to prevent sudden shutdown of the system and the costs of it. This makes a tendency to use vibration analysis methods and technological advances in this direction increased significantly in recent years.

**Keywords**

Electric gearbox, identify errors, vibration analysis, looseness

## ۱- مقدمه

تکنولوژی مونیتورینگ ارتعاشی در سالهای اخیر پیشرفت قابل ملاحظه ای کرده و نتایج بسیار ثمر بخشی در صنایع مختلف داشته است، با ابداع روشهای پیشرفته آنالیز، توانایی روش آنالیز ارتعاشی نیز افزایش یافته و امکان عیب یابی تجهیزات مکانیکی پیچیده تر فراهم شده است.

خرابی در ماشین آلات و قطعات مکانیکی به مرور شروع شده و توسعه مییابد و در نهایت منجر به از کارافتادگی سیستم مکانیکی میشود. چنین روندی، امری طبیعی است، ولی آنچه که مهم است شناسایی خرابی‌های اولیه و جلوگیری از گسترش آنها است. برطرف کردن عیب‌های اولیه در ماشین آلات با هزینه نسبتاً کمی امکانپذیر است. در حالی که اگر خرابی‌های جزئی برطرف نشود چه بسا ممکن است بخش‌های دیگری از ماشین را نیز تحت تأثیر قرار داده و خرابی عمده ای در ماشین بوجود آید.

آبدالا و همکاران (۲۰۱۴ ). تشخیص نامیزانی یک گیربکس سیاره‌ای را بر اساس تجزیه و تحلیل ارتعاش بررسی کردند [۱]، زینگ وهمکاران ( ۲۰۱۵ ) به شناسایی عیب رولبرینگ بر اساس پارامتر ویژگی زمان-فرکانس و شبکه موجک عصبی پرداخته اند، در ابتدا پارامترهای ویژگی زمان از سیگنال ارتعاش استخراج شده، سپس از حالت تجربی، تجزیه سیگنال‌های رولبیرینگ را انجام داده و در نهایت از آن به عنوان نمونه گرفته شده برای آموزش شبکه عصبی موجک استفاده کرده اند. این تحقیق پایه نظری را برای تشخیص عیب در ماشین آلات دوار فراهم می‌کند[۲]، همچنین تشخیص ترک در دندانه چرخدنده گیربکس با استفاده از تجزیه و تحلیل ارتعاشات توسط نسیب و همکاران ( ۲۰۱۳) انجام شد[۳]، تیواری و بی واپورکار ( ۲۰۱۳ ) نیز به تشخیص عیب گیربکس با استفاده از تجزیه و تحلیل کپستروم[1] پراختند، در تحقیق مذکور تبدیل سیگنال لرزش از گیربکس به سیگنال ولتاژ با استفاده از یک مبدل پیزوالکتریک انجام شده و سپس این سیگنال ها در نرم افزار تجزیه و تحلیل شده و نتایج نشان می‌دهند که ضرایب طیف ، نمایانگر موثر تشخیص عیب در دنده را فراهم می‌کند [۴]، اهروار و خالد ( ۲۰۱۲) تکنیک‌های آنالیز ارتعاشات برای تشخیص عیوب گیربکس را مورد بررسی قراردادند [۵]، تحلیل ارتعاشات در ماشین‌های دوار توسط معصومی و میمندپور (۲۰۱۰) انجام گرفت [۶]، توما (۲۰۰۹) به مروری بر پیشرفت تکنیک و تجزیه و تحلیل زاویه چرخ دنده‌ها و اثر آن بر سر و صدای دنده به دلیل ارتعاشاتش پرداخت. در این ارائه مثال‌های دیگر استفاده از چنین روشی در مسائل مهندسی عملی آورده است [۷]، ای. مندل

1 .Cepstrum

و همکاران در سال ۲۰۰۹ تشخیص عیب در یاتاقان غلتکی ماشین آلات دوار در سکوهای استخراج نفت را بررسی کردند، که در این مطالعه عیوب قطعات داخلی یاتاقان‌های غلتکی در یک موتور پمپ و برای استخراج عیوب ماشین آلات از تکنیک‌های پردازش سیگنال، مانند فیلترهای فرکانس، تجزیه و تحلیل طیفی استفاده کرده‌اند [۸]، هوی‌لی و همکارش در سال ۲۰۰۹ به تشخیص عیب دنده در فرآیند سرعت بالا از روش محاسبه و تجزیه و تحلیل کپستروم و شبکه عصبی تابع شعاعی پرداختند [۹]، آداپاشانکار در سال ۲۰۰۸ تجزیه و تحلیل ارتعاش پیشرفته در جعبه دنده و حذف لرزش آن را بررسی کرد [۱۰]، هرمیتج رود در سال ۲۰۰۶ به دو روش آنالیز انولوپ[1] و ضرایب طیف به تشخیص عیب ماشین آلات دوار پرداخته است، هر دو تجزیه انولوپ و تحلیل کپستروم برای شناسایی فرکانس عیب دندانه مفید هستند و به تمیز دادن آنها از دیگر فرکانس‌ها در طیف‌ها پرداخته است [۱۱]، اریک دونالد در سال ۱۹۹۴ آنالیز ارتعاشات ماشین‌های دوار را بررسی کرد [۱۲].

## ۲- گیربکس‌ها[2]

گیربکس همان "جعبه دنده " است [۱۳]. گشتاور تولیدی توسط موتور پس از انتقال توسط کوپلینگ یا کلاچ به جعبه دنده می‌رسد. وظیفه جعبه دنده انتقال دور موتور با نسبت‌های گوناگون و رساندن آن به خطوط انتقال دور می‌باشد [۱۴].

ا جعبه دنده مورد نظر در پژوهش حاضر از نوع حلزون و چرخ حلزون می-باشد، از این نوع ترکیب دنده‌ها برای انتقال حرکت و قدرت در مواقعی که نیاز به میزان زیادی از کاهش سرعت باشد بکار می‌روند. از این چرخدنده‌ها برای انتقال توان بین شفت‌هایی که نسبت به هم دارای زاویه قائمه هستند استفاده می‌شود [۱۴].

## ۳- مشخصات کلی دستگاه

در جدول ۱ مشخصات الکتروموتور و نوع یاتاقان‌های آن، و در جدول ۲ مشخصات گیربکس و نوع یاتاقان‌های غلتکی استفاده شده در تجهیز ذکر شده است و در شکل ۱ نمایی از تجهیز، نشان داده شده است.

**جدول۱** مشخصات الکتروموتور

| | |
|---|---|
| سریال مدل | CLC۱۶۰ ایران موتوژن تبریز |
| توان | ۷٫۵کیلو وات، ۲۸۰ ولت، ۱۰آمپر |
| برق مصرفی | AC |
| سرعت | ۹۶۵ دور بر دقیقه معادل ۵۰ هرتز |
| میزان عایق | ۵۴ |
| ضریب قدرتØ | 0.80 |
| شماره یاتاقان غلتکی ابتدای موتور | ۶۳۰۹ 2Z/C3 |
| شماره یاتاقان غلتکی انتهای موتور | ۶۳۰۹ 2Z/C3 |

**جدول۲** مشخصات گیربکس

| | |
|---|---|
| سریال و مدل | VF210 F |
| ظرفیت | 1~56 |
| توان | ۷٫۵ کیلو وات، ۳۸۰ ولت |
| میزان عایق | ۵۴ |
| شماره یاتاقان غلتکی ابتدایی شفت دنده حلزونی | ۳۲۳۱۲ |
| شماره یاتاقان غلتکی انتهایی شفت دنده حلزونی | ۳۲۰۲۴ |
| شماره یاتاقان غلتکی شفت چرخ حلزونی: | ۶۰۲۴ |

**شکل ۱** نمایی از الکتروموتور و گیربکس

## ۴- نگاهی به عیوب گیربکس‌ها

### ۴-۱-عیوب متداول در گیربکس‌ها و علایم آنها

در جدول ۳ عیوب متداول در گیربکس‌ها آورده شده است که می‌تواند به ما در تفسیر طیف‌ها کمک کند [۱۳].

1 .Envelope
2 .Gearbox

**جدول ۳** عیوب متداول در گیربکس‌ها

| عیب | دلایل |
|---|---|
| لرزش غیرمعمول گیربکس | ۱- شل بودن پیچ‌ها<br>۲- شل بودن یا خرابی اتصالات ورودی<br>۳- خرابی خار، جای خار یا فیت نبودن جای خار<br>۴- وجود جرم خارجی در گیربکس<br>۵- آسیب دیدگی و خرابی برینگ‌ها<br>۶- آسیب دیدگی و خرابی چرخ دنده‌ها |
| نشت روغن | ۱- نادرست بودن وضعیت نصب:<br>نامناسب بودن جای درپوش‌ها برای آن.<br>وضعیت نصب گیربکس.<br>۲- شل بودن در پوش‌های روغن .<br>۳- زیاد بودن سطح روغن.<br>۴- خرابی درپوش‌های روغن.<br>۵- خرابی کاسه نمدها.<br>۶- خرابی واشرها / گسکت‌ها. |
| دمای زیاد گیربکس | ۱- بار بیش از حد (ضریب کار بدرستی در نظر گرفته نشده است یا محاسبات توان گشتاور اشتباه است یا قطعات ماشین تحت فشار می‌باشند).<br>۲- مقدار روانکار کم یا زیاد است.<br>۳- روانکار مناسب استفاده نشده است.<br>۴- دمای محیطی زیاد. |
| دمای زیاد در محل برینگ‌ها | ۱- بار شعاعی زیاد است.<br>۲- مقدار روانکار کم است. |
| صدای گیربکس | ۱- مقدار کم روانکار<br>۲- خار و جای خار ورودی یا خروجی<br>۳- اشکال در سیستم ماشین (انتقال صدا به گیربکس).<br>۴- وجود جرم خارجی در محفظه پوسته گیربکس.<br>۵- خرابی کوپلینگ و اتصالات ورودی و خروجی.<br>۶- شل بودن پیچ‌های نصب پایه‌ها .<br>۷- تراز نبودن سطح نصب گیربکس.<br>۸- خرابی برینگ‌ها .<br>۹- خرابی چرخ دنده‌ها.<br>۱۰- دمای محیطی زیاد. |

### ۴-۲- ارتعاشات ناشی از عیوب یاتاقانهای غلتکی

یک یاتاقان ، المانی از ماشین است که یک قطعه همانند یک شفت را که چرخش، لغزش یا نوسان دارد، پشتیبانی می‌کند. یاتاقان‌ها به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: لغزشی و غلتشی. یاتاقان‌های لغزشی بر اساس حرکت لغزشی که با استفاده از روغنکاری انجام می‌شود کار می‌کنند و یاتاقان‌های غلتشی یا ضد اصطکاک بر اساس حرکت غلتشی کار می‌کنند که با استفاده از ساچمه یا دیگر انواع غلتک‌ها امکان پذیر است [۱۴].

عیوب یاتاقان‌های غلتکی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. ۱- پایان عمر مفید، ۲- ایجاد عیب در اثر آسیب قطعات از جمله: لقی، عدم همراستایی و... که بار بیش از حد مجاز به یاتاقان‌ها وارد می‌کند و سبب خرابی پیش از موعد آنها می‌شود. آمار نشان می‌دهد تنها ۱۰ درصد یاتاقان‌ها عمر کارکرد طراحی شان را به پایان می‌رسانند و ۴۰درصد بر اثر روانکاری نامناسب، ۳۰درصد به علت عدم نصب مناسب و عدم هم محوری و ۲۰ درصد دیگر به علت عیوب دیگر (نفوذ آب، گرد و غبار و... به داخل هوزینگ یاتاقان) خراب می‌شوند. ارتعاش یاتاقان‌های غلتکی در حالت سلامتشان در فرکانس‌های بالا در حد ۱ مگاهرتز ظاهر می‌شوند که ناشی از خطوط ریز روی محل تماس قطعات یک یاتاقان غلتکی می‌باشد [۱۳، ۱۵، ۱۶، ۲۰].

عیوب قطعات مختلف یاتاقان‌های غلتکی، ارتعاشات با فرکانس بالا ایجاد می‌کنند. فرکانس‌های ارتعاشات لزوماً مضربی از دور شفت نیست ولی مقدار حدود نرمال تا خطر فرکانس خرابی یاتاقان‌های غلتکی به دور شفت بستگی دارد، میزان آن با توجه به دور شفت طبق شکل ۲ بدست می‌آید. برای مثال حالتی که ساچمه‌های یاتاقان تمایل به چسبیدن یا سر خوردن پیدا می‌کنند، فرکانس ارتعاشات مستقیماً با عمل ساییدن و برخورد مرتبط خواهد بود و با دور شفت ارتباطی ندارد. دامنه ارتعاشات به میزان خرابی یاتاقان‌های غلتکی بستگی خواهد داشت[۲۰، ۲۳].

**شکل ۲** استاندارد خرابی یاتاقان‌های غلتکی بر حسبg [۲۳]

با پیدایش خرابی یاتاقان‌های غلتکی و همچنین مشکلات دیگری همچون روانکاری، وجود ذرات درون گریس یا روغن، که باعث برخورد اجزاء داخلی یاتاقان‌های غلتکی گردد (تماس دو فلز با هم)، ارتعاشات فرکانسهای بالا، افزایش می‌یابد، که با تحت کنترل قرار دادن وضعیت یاتاقان‌های غلتکی می‌توان در زمان مناسب به خرابی آنها پی‌برد [۱۴].

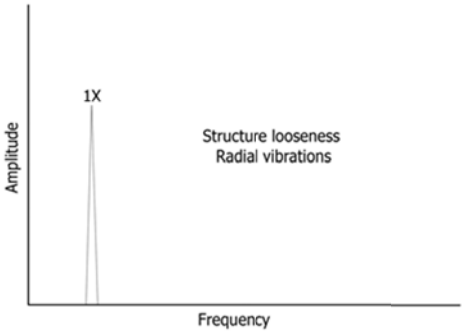
### ۴-۳- لقی[1] در ماشین آلات دوار

لقی در سیستم‌های دوار ممکن است ناشی از تلرانس زیاد در یاتاقان‌ها، شل شدن یاتاقان‌ها روی تکیه گاه‌ها، صلب نبودن فوندانسیون یا لقی دیسک روی محور باشد. لقی می‌تواند سبب ارتعاش روتور با دامنه بالا گردد [۱۸، ۱۹، ۲۱].

#### ۴-۳-۱- لقی در فوندانسیون[2]

در عیب لقی فوندانسیون، هیچ گونه لقی در توربوماشین و قطعات متصل به آن و اتصال مجموعه به فوندانسیون مشاهده نمی‌شود و عیب اصلی در طراحی فوندانسیون و علت اصلی آن، تغییر شکل فوندانسیون است. در این حالت مولفه یک برابر دور بر دقیقه[3] (شکل ۳) در جهت شعاعی روی فوندانسیون و سیستم مشخص است [۱۸، ۱۹، ۲۱].

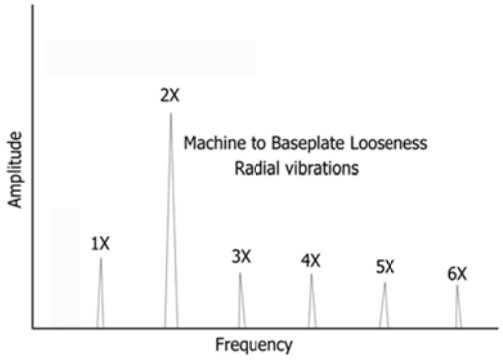
1 .looseness
2 .foundation
3 .Revolutions Per Minute(RPM)



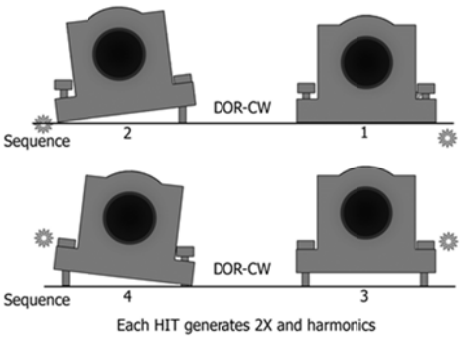

**شکل ۳** مؤلفه‌های فرکانسی در اثر پیدایش لقی [۱۸، ۱۹، ۲۱]

**۴-۳-۲- لقی اتصالات به فوندانسیون**

در حالت لقی اتصالات، لقی در اتصال سیستم به فوندانسیون، به علت شل شدن پیچ اتصال دهنده یا ترک در قالب و سازه یا خرابی در تکیه گاه یاتاقان-ها ایجاد می‌شود در این حالت، در پاسخ فرکانسی ارتعاش، علاوه بر مولفه 1X RPM، مولفه‌های 2X, 3X RPM و سوپرهارمونیک‌ها یا مضارب بالاتر دور نیز ظاهر می‌گردد (شکل ۴). پیدایش مولفه‌های دیگر نظیر 2X RPM و سوپرهارمونیک (ضرایب بالاتر) بمی تواند به این دلایل باشد: روتور با نامیزانی اولیه، در یاتاقانی می‌چرخد که در اتصال محفظه آن به فوندانسیون شل است (شکل ۵)، امتداد جهت نیروی گریز از مرکز نامیزانی به سمت پایین است، در این حالت مجموعه روی فوندانسیون فشرده می‌شود. سپس با چرخش شفت به اندازه ۱۸۰ درجه جهت نیروی نامیزانی به سمت بالا خواهد بود و کل مجموعه از روی فوندانسیون بلند می‌شود. با افزایش زاویه دوران شفت به اندازه ۹۰ درجه از موقعیت، نیروی نامیزانی در جهت افقی قرار می‌گیرد و دیگر قادر به بلند کردن مجموعه نیست و سیستم، دوباره تحت اثر وزن خود روی فوندانسیون قرار می‌گیرد. به این ترتیب با هر دور شفت دوبار نیرو به سیستم وارد می‌شود، که اولی نیروی نامیزانی و نیروی دومی، ناشی از افتادن سیستم تحت اثر وزن خود روی فوندانسیون است[۱۸، ۱۹، ۲۱].



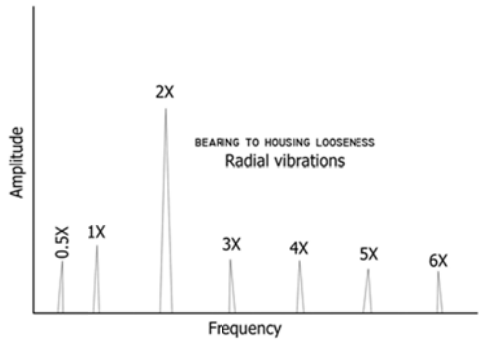

**شکل ۴** مؤلفه‌های فرکانسی در اثر پیدایش لقی [۱۸، ۱۹، ۲۱].




**شکل ۵** تصویر لقی از یک سیستم یاتاقان [۱۸، ۱۹، ۲۱].

**۴-۳-۳- لقی در قسمت‌های دوار**

در نوع دیگر، لقی یاتاقان‌های غلتکی در هوزینگ آن و لقی شفت در کنس داخلی یاتاقان می‌باشد، که معمولا از علایم این عیب ضرایب 0.5X RPM هارمونیک نمایان می‌شوند (شکل ۶) و در صورت شدت لقی ، هارمونیک‌های 0.5X, 1.5X, 2.5X RPM نیز ظاهر می‌شود. علت ظاهر شدن این هارمونیک‌ها از بین رفتن موج سینوسی ارتعاش به خاطر محدود شدن حرکت قسمت لق شده است[۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱].




**شکل ۶** مؤلفه‌های فرکانسی در اثر پیدایش لقی یاتاقان‌های غلتکی در هوزینگ [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱].

## ۵- شرح تفسیر طیف‌ها

**۵-۱- بررسی‌های انجام شده جهت تشخیص عیوب**

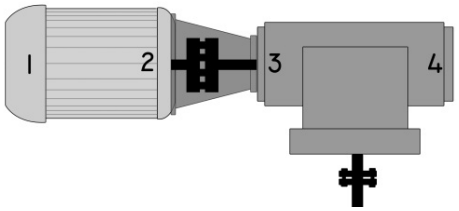
مجموعه دستگاه الکتروموتور و گیربکس به روی یک مخزن قرار گرفته و شفت همزن مخزن را به دوران در می‌آورد. ارتعاشات مجموعه بصورت دوره ای اندازه گیری شده است. در ابتدا، ارتعاش ماشین در محدوده خوب طبق استاندارد ISO 10816 (شکل ۷) قرار داشت.

| VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Machine | | Class I small machines | Class II medium machines | Class III large rigid foundation | Class IV large soft foundation |
| | in/s | mm/s | | | | |
| Vibration Velocity Vrms | 0.01 | 0.28 | | | | |
| | 0.02 | 0.45 | | | | |
| | 0.03 | 0.71 | | GOOD | | |
| | 0.04 | 1.12 | | | | |
| | 0.07 | 1.80 | | | | |
| | 0.11 | 2.80 | | satisfactory | | |
| | 0.18 | 4.50 | | | | |
| | 0.28 | 7.10 | | unsatisfactory | | |
| | 0.44 | 11.2 | | | | |
| | 0.70 | 18.0 | | | | |
| | 0.71 | 28.0 | | unacceptable | | |
| | 1.10 | 45.0 | | | | |

**شکل ۷** استاندارد ارتعاشات بر حسب سرعت [۱۸- ۱۹].

با مشاهده نمودار روند ارتعاشات[1] در نرم افزار SpectraPro مشخص شد پس از مدت چند ماه کارکرد مقدار ارتعاشات و سطح صدای مجموعه الکتروگیربکس تا بالای حد توقف افزایش یافته که بیشترین مقدار در قسمت الکتروموتور و ناحیه کوپلینگ‌ها دیده شد . بررسی و آنالیز طیف‌ها به کمک نرم افزار SpectraPro منجر به شناسایی عیوب گردید. در پایش وضعیت‌های انجام شده، عیوبی از قبیل لقی‌ها[2]، نامیزانی جرمی[3]، عدم همراستایی محورها[4]، عیوب الکتریکی[5] در موتورها و خرابی یاتاقان‌ها[6]، مورد شناسایی قرار گرفته و نسبت به احتمال وجود این عیوب در تجهیز و رفع آنها، اقدامات لازم برنامه ریزی شد.

با پایش وضعیت از طریق اندازه گیری ارتعاشات، نقاط مربوط بر روی ماشین آلات شناسایی شده و اندازه گیری‌های اولیه در بازه‌های زمانی مختلف به این ترتیب در ۴ نقطه الکتروموتور و گیربکس ( ۲ نقطه، یکی در ابتدا و یکی انتهای موتور و ۲ نقطه دیگر، یکی در ابتدا و دیگری در انتهای شافت گیربکس با توجه به تعداد یاتاقان‌های غلتکی در تجهیزات)صورت گرفت. (شکل ۸)



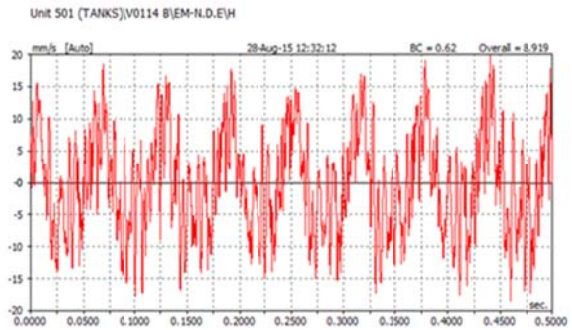

**شکل ۸** نقاط دیتا برداری

**۵-۲-تفسیر طیف‌ها**

نمودار سیگنال زمانی و پاسخ فرکانسی، با دستگاه دیتاکالکتور Viber X5 داده برداری گردیده و با نرم افزار SpectraPro آنالیز شده و خروجی حاصل از آن در شکل‌های ۹ تا ۱۲ نشان داده شده است. روند ارتعاشات، مشخص کردن فرکانس‌های خرابی قطعات یاتاقان‌های غلتکی و فرکانس‌های ضریب دور، اعمال حدود استانداردهای ISO 10816 و استاندارد شتاب[7]، وارد کردن نوع یاتاقان‌های غلتکی در فایل مربوط به هر دستگاه برای محاسبه فرکانس خرابی یاتاقان‌های غلتکی و مشخص کردن فرکانسها روی طیف‌ها به کمک نرم افزار SpectraPro انجام می‌گردد.

سلامت سنجی یاتاقان‌های غلتکی ماشین آلات با مقایسه روند ارتعاشات[8]، طیف سیگنال زمانی[9]، طیف تبدیل فوریه سریع[10]و وضعیت یاتاقان‌های غلتکی [11] با حدود استاندارد هشدار و خطر برای معیارهای سلامت سنجی یاتاقان‌های غلتکی با توجه به مقادیر پیشین و وضعیت یاتاقان‌های غلتکی در شرایط بهره برداری صحیح بررسی گردید، ( مقدار BC ثبت شده روی طیف‌ها در شکل‌های ۹ تا ۱۲ مشاهده می شود) اعمال مشخصه‌های هارمونیک‌های مربوط به فرکانس خرابی قطعات یاتاقان‌های غلتکی که هیچ کدام با پیک‌های موجود در طیف مطابقت نداشت و با مقادیری که از سه جهت در موقعیت یاتاقان‌های غلتکی ثبت شده در رنج نرمال می‌باشد و اولین نتیجه از تفسیر طیف‌ها، صحت سلامت یاتاقان‌های غلتکی دستگاه می‌باشد.

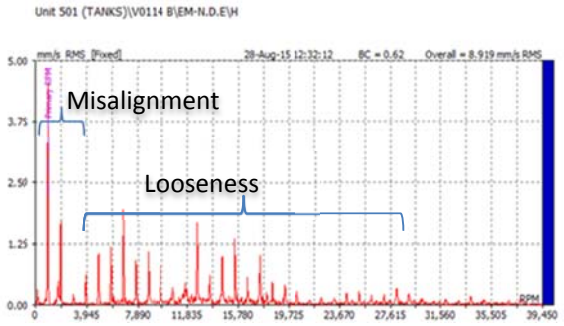
پایداری روند ارتعاشات ماشین و تحلیل فرکانسی پیدایش مؤلفه‌های 1X, 2X, 3X RPM,... و سوپرهارمونیک‌ها (هارمونیک‌های مرتبه بالاتر) و همچنین پاسخ ارتعاشی در اندازه گیری روی بخش‌های مختلف ماشین و شاسی در جهت قائم، مبین این امر است که یکی از عیوب ماشین، وجود لقی در نصب تجهیزات به شاسی می‌باشد و عیب دیگر با توجه به شکل ۱۰ که بیشترین مقدار مربوط به فرکانس 1, 2, 3X RPM می‌باشد، و باید کوپلینگ‌ها از نظر هم محوری بررسی شود و در طیف شکل ۱۲ که در جهت شعاع عمودی ابتدای موتور داده برداری شده با وجود سایدبندهای زیادی که در بین هارمونیک‌ها قرار گرفته نشان دهنده این است که، ضربه گیرهای بین دو کوپلینگ هم خراب شده است.



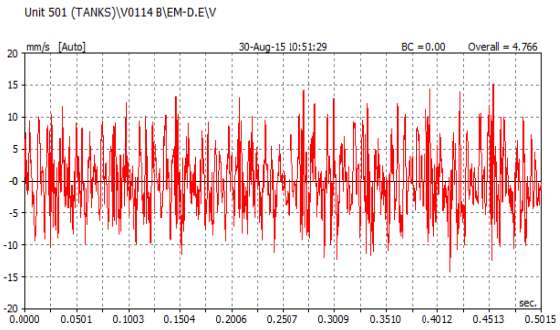

**شکل ۹** نمودار زمانی پاسخ ارتعاشی ماشین

1 .Trend
2 . LOOSNESS
3 . UNBALANC
4 . MISALIGNMENT
5 .Electrical problems
6 .FULT BEARING
7 . G-SE (SPIKE ENERGY ACCELERATION IN "g" UNITS

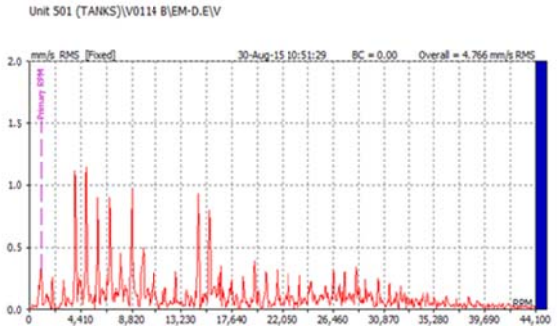
8 .Trend
9 .Waveform
10 .Fast Fourier Transform (FFT)
11 .Bearing Condition(BC)




**شکل ۱۰** نمودار پاسخ فرکانسی ماشین




**شکل ۱۱** نمودار پاسخ فرکانسی ماشین




**شکل ۱۲** نمودار پاسخ فرکانسی ماشین

**۵-۳- پیدا کردن عیوب تشخیص داده شده در طیف‌ها**

بعد از تشخیص عیب، با بررسی مستندات ذکر شده، در ابتدا کوپلینگ‌های موتور و گیربکس بررسی شد که نسبت به هم در یک راستا قرار نداشتند . این عیب با توجه به نحوه اتصال موتور به گیربکس به هیچ عنوان در این سیستم نباید بوجود آید. چون واسطه نگهدارنده طوری طراحی شده که نیاز به تنظیمات هم محوری هنگام نصب نمی‌باشد. پس این احتمال بوجود آمد که علت پایین بودن موتور نسبت به گیربکس بررسی شود، با اهرم کردن زیر موتور وجود لقی در یکطرف واسطه مخروطی دو سر فلنچی بین موتور و گیربکس (شکل ۱۳) که بعبارتی نگهدارنده الکتروموتور می‌باشد، مشاهده شد. (نگهدارنده موتور یک مخروط ناقص می‌باشد که در دو طرف آن فلچهایی تعبیه شده، فلنچ بزرگ این مخروط توسط جوش به مخروط متصل شده و فلنچ کوچک توسط پیچهای آلن از داخل مخروط به هم متصل شده است. فلنچ بزرگ به بدنه موتور متصل می شود و فلنچ کوچک به گیربکس.)، تمام وزن موتور روی فلنچ کوچک می‌باشد و عامل این لقی ناشی از شل شدن جزئی پیچهای داخلی فلنچ کوچک می‌باشد. همین عامل باعث شده تا موتور به سمت پایین رفته و کوپلینگ‌ها از هم محوری خارج شده و ارتعاش و صدای ایجاد شده از عدم هم محوری با وجود لقی مقدارش تشدید شود.

تمام اتصالاتی که می‌توانست عامل بوجود آورنده عیب لقی باشد چکاپ گردید، چون این الکتروگیربکس شفت یک همزن[1] را به دوران در می‌آورد، اتصالات شفت همزن در تمام نقاط از لحاظ لقی و شل شدن احتمالی پیچها مورد بررسی قرار گرفت، که موردی پیدا نشد.

**شکل ۱۳** مشخص کردن محل لقی در واسطه نگهدارنده الکتروموتور

**۶- اقدامات تعمیراتی**

تنها با، باز کردن واسطه (نگهدارنده موتور) و تعویض ضربه گیرها و سفت کردن پیچهای الن خور داخلی، لقی ناشی از این شل شدگی برطرف شد و با سفت کردن پیچها موقعیت موتور به حالت طبیعی بازگشته و با آمدن موتور در موقعیت اولیه، کوپلینگ‌ها نیز هم محور شد و صدا و ارتعاشات در شرایط استاندارد خود رسید.

**۷- نتیجه گیری**

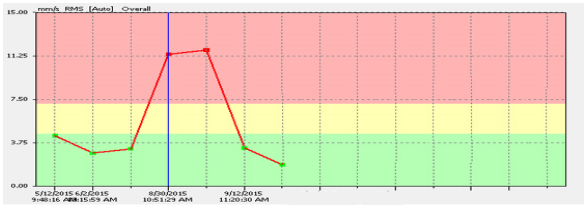
با توجه به نوع دستگاه می‌بایست سطح اطلاعات برداشتی از آن نیز از تنوع و کیفیت بالا برخوردار باشد، در این مورد اگر تکنیک‌های داده برداری به روز نبود امکان تشخیص عیب اصلی وجود نداشت.

مسئله قابل اهمیت کمک گرفتن از بررسی ظاهری و تغییرات در صدای دستگاه جهت تشخیص عیب دستگاه می‌باشد.

میزان اعتبار روش‌های پایش وضعیت در مورد دستگاه می‌باشد. گستردگی موضوعات وکاربردها در حیطه آنالیز ارتعاشات بسیار قابل اهمیت است، برای هر دستگاه از روشی متناسب با آن باید استفاده کرد.

و در پایان همیشه در تحلیل ارتعاشات بایستی خیلی ساده با مسایل برخورد کرد. مشکلات در برخی موارد بسیار بزرگ و غیر قابل حل به نظر می‌رسند. در صورتی که با تغییرات بسیار ساده می‌توان مشکلات بزرگی را حل کرد. البته اگر مسیرمان را درست اختیار کنیم. در این مورد مطالعاتی مشکل فقط شل شدن پیچهای فلنچ نگهدارنده موتور بود که تنها با آچار کشی برطرف شد و همان طور که در شکل ۱۴ سابقه ارتعاشات دیده می‌شود ارتعاشات بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت.

1 .Agitator




**شکل ۱۴** نمودار سابقه ارتعاشات قبل و بعد از تعمیر

## ۸- مراجع

[1] G. M Abdalla, X. Tian, D. Zhen, A. Ball, Misalignment diagnosis of a planetary gearbox based on vibration analysis, 2014.
[2] W. Xing, Q. Xiangdong, L. Baojin, Rolling bearing fault diagnosis based on time –frequency feature parameter and wavelet neural network, 2015.
[3] L. Nasib, K. Midzodzi, S. Sakhara, Detection gear tooth cracks using cepstral analysis in gearbox of helicopters , 2013.
[4] A. Tiwari, H. Bhiwapurkar, fault diagnosis of gear box using cepstrum analysis, 2013.
[5] A. Aherwar, Md. Saifulla Khalid, Vibration analysis techniques for gearbox diagnostic: A REVIEW, 2012.
[6] Gh. Masomi, B. Meymanadpor, Vibration Analysis of a rotary device, Machine condition monitoring and troubleshooting fourth Technical Conference, Tehran, Iran, 2010. (In Persian)
[7] J. Tuma, gearbox noise and vibration prediction and control, 2009.
[8] E. Mendel, T.W. Rauber, F.M. Varejao, Rolling Element bearing fault diagnosis in rotating machines of oil extraction rigs, 2009
[9] H. Li, H. Zheng, Gear fault detection and diagnosis under speed-up condition based on order cepstrum and radial basis function neural network , 2009.
[10] Udayashankar P.Eng, advanced vibration analysis on gear box train and vibration elimination, 2008.
[11] H. Road, Rotating machinery fault diagnosis techniques-envelope and cepstrum analysis, 2006.
[12] A. Donald, Vibration analysis of rotating machines, 1994.
[13] H. Gholizadeh, Net maintenance, mechanical principles, 2011.(In Persian)
[14] R. Keith Mobley, ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS, 2011.
[15] Gh. Kazemi, Introduction to predictive maintenance (In Persian)
[16] Gh. Kazemi, How we take care of the situation of rotating machines, (In Persian)
[17] M. Behzad, K. Sepanko, M. Asayesh, A. RohaniNasab, Principles of Vibration, pp. 89-108, Tehran: National Petrochemical Company, 2008 (In Persian)
[18] R. Keith Mobley, Machinery vibration analysis & predictive Maintenance , pp. 98-142, TS192.M625 1999.
[19] M. Nasreazadani, Vibration and its applications in the analysis of defects machineries, PP. ,Esfahan: Department of Education Esfahan Oil Refining Co. (In Persian)
[20] M. Firozpor, Preventive and predictive maintenance planning rotary , pp. 138-180, Netherlands 2015.
[21] S. Mackay, Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance , pp. 138-180, Netherlands 2004.
[22] G-SE (SPIKE ENERGY ACCELERATION IN "g" UNITS
[23] g. teylor, Handbook of vibration analysis, 1390