

تشخیص نامیزانی جرمی موتور یک پمپ در پالایشگاه آبادان با کمک روش تست خاموش شدن (coast down)

حمید احمدی پاریزی^۱

شرکت مهندسی سامانه پرداز، اصفهان، کوی ولی عصر، پلاک A-490

hamparizy@yahoo.com

چکیده

در بسیاری از منابع آنالیز ارتعاشات بیان شده است که در صورت مواجهه با ارتعاشات سنکرون ($1 \times \text{RPM}$) امکان وجود عیب‌های متعددی از جمله نابالانسی جرمی وجود دارد. یکی از روش‌های تشخیص نابالانسی، وجود ارتعاشات بیشتر در جهت افقی و وجود اختلاف زاویه فاز ۹۰ درجه بین جهت‌های افقی و عمودی است. در مقاله حاضر به بررسی شرایطی خلاف موضوع یادشده و کاربرد تست Coast Down پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: Coast Down ، ضریب سختی ، سافت فوت، زاویه فاز.

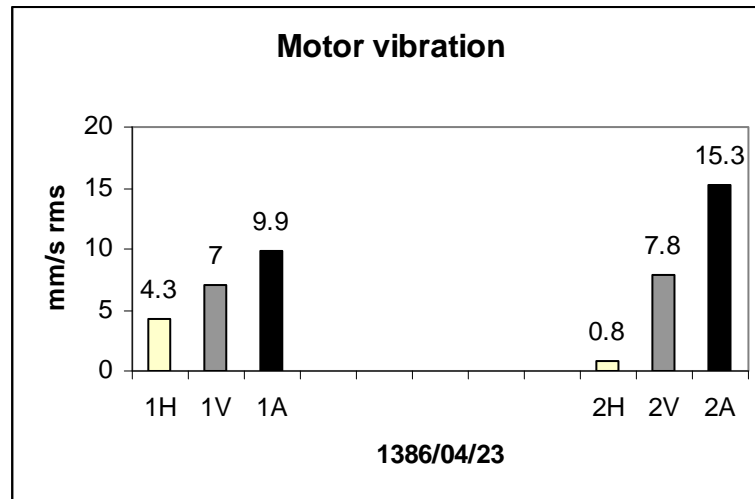
مورد مطالعاتی

پمپ 195 از واحد 75 یک پمپ افقی است که محرک آن یک الکتروموتور 200 KW با دور نامی 3000 rpm می‌باشد که توسط یک کولپینگ چرخنده‌ای به پمپ متصل می‌شود. موتور این ماشین برای مدت طولانی دچار ارتعاشات زیاد بود. بدلیل تعمیرات متعدد، این ماشین بصورت یک ماشین خاص تحت مراقبت ویژه قرار می‌گرفت. معمولاً این موتور هرگاه از نظر لرزش به شرایط بحرانی می‌رسید و احساس می‌شد که در آستانه خرابی است جهت انجام تعمیرات به کارگاه ارسال می‌شد. بدیهی است که توقفات زیاد این ماشین باعث کاهش ظرفیت تولید و افزایش هزینه‌های تعمیراتی می‌گشته است.

معمولاً این ماشین دارای ارتعاشاتی بیش از 15 mm/s بود. بر روی هر دو بیرینگ موتور بیشترین سطح ارتعاشات در دو جهت عمودی و محوری وجود داشت، درحالی‌که ارتعاشات جهت افقی در حد 4 mm/s بود. به جهت درک بهتر تفاوت دامنه

^۱ کارشناس مکانیک در زمینه پایش وضعیت ماشین‌آلات دوار

ارتعاشات در جهت های مختلف بیرینگ های موتور ، این مقادیر در نمودار میله ای شکل ۱ نشان داده شده است. در تمامی جهات اندازه گیری دامنه غالب فرکانسی برروی فرکانس 3000 rpm ($1 \times \text{RPM}$) دیده میشود .



شکل ۱: ارتعاشات جهات مختلف بیرینگ های موتور

بدلیل نوع ارتعاشات این موتور همواره واحد CM توصیه به انجام عملیات بالانس برروی روتور می نمود. لیکن پس از هر مرحله تعمیرات و بالانس، واحد تعمیرات اعلام مینمود که مقدار نابالانسی باقیمانده روتور موتور به حد قابل قبولی رسانده شده است و با اشاره بر این موضوع که ارتعاشات در جهت عمودی غالب میباشد بر خراب بودن پایه ها تکیه داشتند و بر اصلاح وضعیت ماشین با استفاده از سافت فوت گیری در سایت تاکید می ورزیدند. بنابراین به جهت اطمینان بیشتر آزمایش های دیگری برروی آن انجام شد که در ادامه توضیح داده میشود:

۱- تست موتور تنها (Free Run)

بر اساس این آزمایش مشخص شد که موتور به تنهایی نیز دچار ارتعاشات زیادی میباشد بنابراین بدکار کردن موتور مستقل از پمپ است.

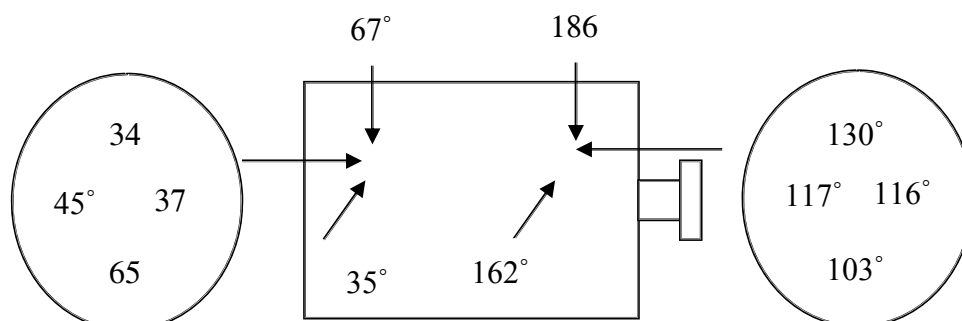
۲- تست زوایای فاز الکتروموتور

اندازه گیری زوایای فاز موتور در حالت موتور تنها انجام شد. براساس آنچه در شکل ۲ نشان داده شده است مشخص شد که:

الف- هیچگونه حرکت غیر همفازی دورتادور بیرینگ ها وجود ندارد بنابراین احتمال لق بودن بیرینگ ها (Excessive Clearance) در آن شرایط ضعیف میباشد. [1]

ب- بیرینگ ها ، پایه ها و بیس موتور نسبت به یکدیگر دارای یک حرکت همفاز میباشند. بنابراین این اجزا نسبت به یکدیگر لقی (Looseness) ندارند. [1] داده های این آزمایش نشان داده نشده است.

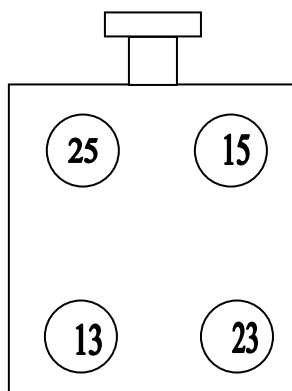
ج- در نقاط دوسر عقب و جلوی موتور در جهت عمودی اختلاف فازی در حدود 120° وجود داشت که بدلیل وجود همین اختلاف فاز در بیرینگ های موتور (که در آنجا دامنه ارتعاشات بزرگتر بود) میتوان گفت این اختلاف میتواند در اثر عاملی مانند نابالانسی دینامیکی روتور بوجود آمده باشد. [1]



شکل ۲: شماتیک زوایای فاز ارتعاشی بیرینگ های الکتروموتور

۳- تست سافت فوت موتور

به جهت آزمایش سافت فوت ، در حالتی که موتور خاموش بوده و کوپلینگ نیز باز بود، پایه ها یک به یک شل و سفت شدند و در خلال این عملیات انحراف هریک از پایه ها توسط ساعت اندیکاتور ثبت گردید که بصورت شماتیک در شکل ۳ نشان داده شده است.

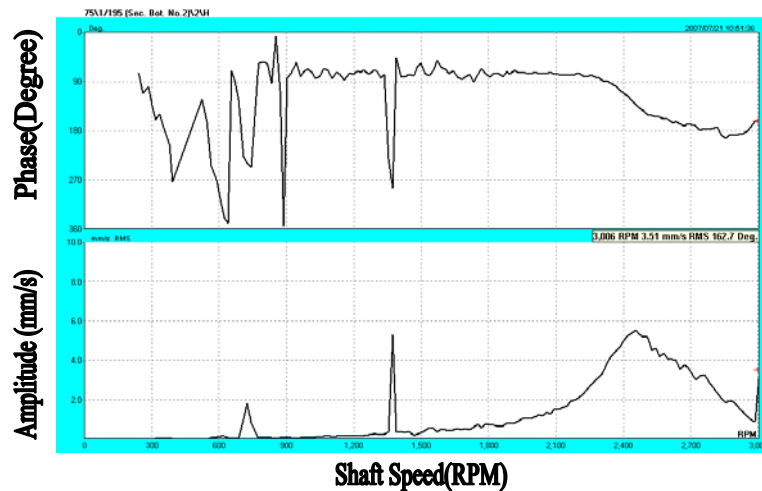


شکل ۳: شماتیک ساده موتور و انحراف هریک از پایه ها در اثر شل کردن پیچ همان پایه بر حسب صدم میلیمتر

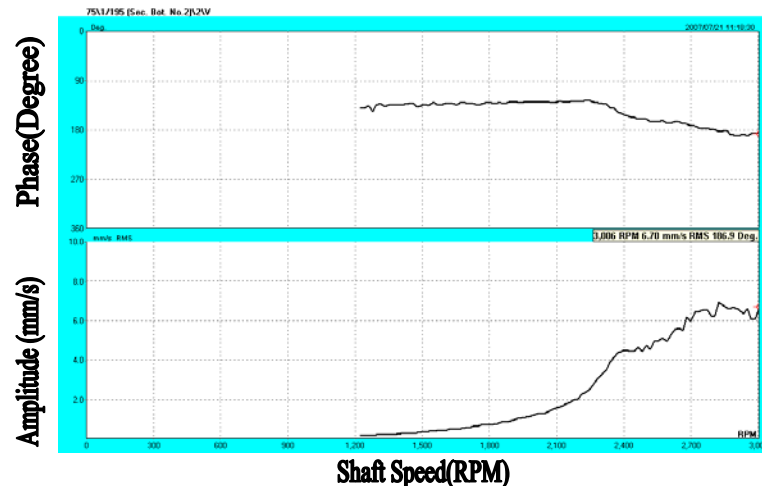
براساس داده های فوق میتوان گفت این موتور دارای اندکی سافت فوت زاویه ای میباشد ولی این مقدار انحراف $(0.25 - 0.13 = 0.12 \text{ mm})$ نمیتواند برروی این موتور تاثیر زیادی داشته باشد. [2]

۴- اندازه گیری ارتعاشات ماشین در حین خاموش شدن (Coast down)

این آزمایش توسط دستگاه Easy-Viber در صورت دو کاناله در حالتی انجام شد که دو سنسور شتاب سنج یکی در جهت افقی و دیگری در جهت عمود بر بیرینگ سمت کوپل موتور قرار داده شده بود و اندازه گیری بصورت همزمان انجام شد. نمودار Coast down هر دو جهت در شکل ۴ نشان داده شده است. از مقایسه این دو شکل میتوان چنین نتیجه گرفت که این موتور در جهت افقی دارای دور بحرانی در حدود سرعت 2400 rpm است ولی در جهت عمودی دور بحرانی موتور در حدود سرعت کارکرد آن (3000 rpm) میباشد. بنابراین در این مورد به دلیل نزدیک بودن دور کارکرد به دور بحرانی در جهت عمودی، ارتعاشات این جهت نسبت به جهت افقی در فرکانس چرخش بزرگتر میباشد. [3]



شکل ۴- الف: نمودار Coast Down بیرینگ موتور در جهت افقی



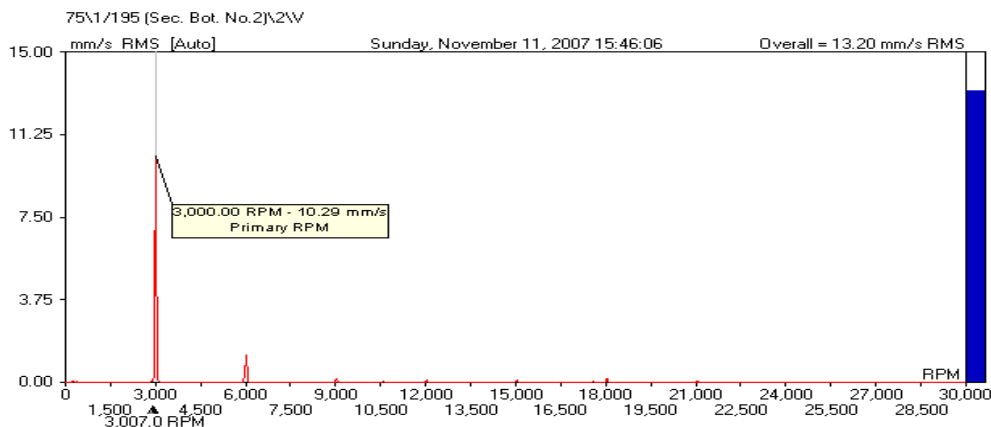
شکل ۴- ب: نمودار Coast down بیرینگ موتور در جهت عمودی

با توجه به آنچه که در بالا گفته شد میتوان گفت که خصوصیت فیزیکی این موتور به این صورت است که در صورت پدیدار شدن عیوب معمول در آن (که باعث تحریک فرکانسی در حدود 3000 rpm میشود) دامنه ارتعاشات در جهت عمودی بیشتر از جهت افقی خواهد بود. بنابراین بدلیل وجود ارتعاشات $1 \times \text{RPM}$ در بیرینگ های این الکتروموتور، بهترین توصیه تعمیراتی جهت کاهش دادن ارتعاشات آن بالانس جرمی روتور به همراه کلیه متعلقات از قبیل کوپلینگ آن بود. [1] و [3]

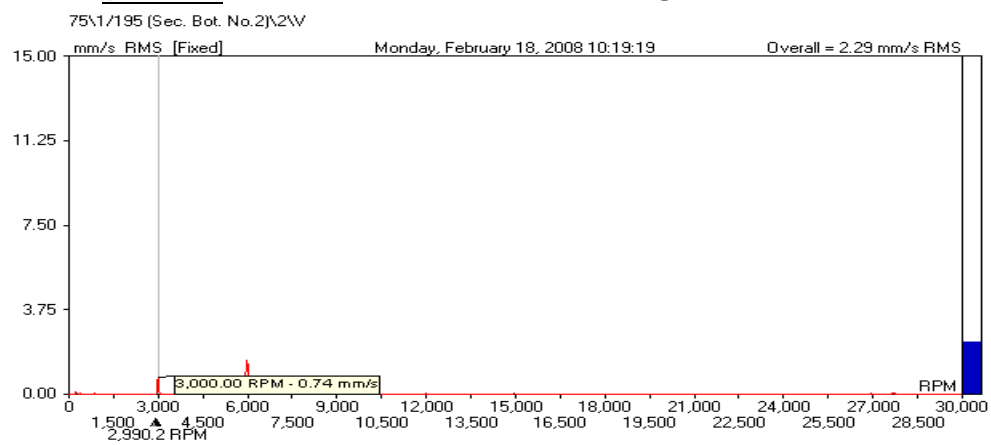
بالانس در کارگاه روتور موتور

پس از انجام بررسی های فوق روتور موتور به جهت انجام عملیات بالانس به کارگاه فرستاده شد. در آنجا روتور موتور بر روی دستگاه بالانس قرار داده شد و پس از بستن کوپلینگ آن سرعت روتور تا آخرین حد ممکن و ایمن یعنی ۹۷۵ دور بر دقیقه افزایش داده شد. در این شرایط میزان نابالانسی آن بر روی دستگاه بالانس در حد ۸ گرم نشان داده شد که با توجه به شرایط روتور (وزن تقریبی 200 kg و شعاع روتور 20 cm) این مقدار نابالانسی بر اساس استاندارد ISO-1940 و بصورت تجربی برای آن مجاز به نظر میرسید [4]. در نگاه اول موضوع کمی پیچیده به نظر میرسید ولی با نظر کارشناس CM احتمال نابالانس بودن اجزاء دوار خود دستگاه مطرح شد.

طرح آن موضوع کلید حل معما بود زیرا پس از آن با استفاده از روتور استاندارد میزان نابالانسی اجزاء دوار دستگاه بالانس مورد اندازه گیری قرار گرفت. با تعجب مشخص شد اجزاء دوار نابالانسی زیادی دارد به طوریکه مجبور شدند برای بالانس آن اجزاء پیچی با وزن 50 gr به کوپلینگ دستگاه بالانس اضافه کنند. پس از آن مجدداً روتور موتور بر روی دستگاه بالانس سوار شد و روتور مجدداً راه اندازی شد. در این حالت مشخص شد که روتور حدود 40 gr نابالانسی در نقطه مقابل پیچ اضافه شده به کوپلینگ دارد که این موضوع کاملاً طبیعی بود. تفاوت در مقدار نابالانسی اخیر و پیچ اضافه شده به علت تفاوت در شعاع کوپلینگ و شعاع پروانه بود. جرم مذکور به روتور اضافه گردید و پس از آن موتور در جای خود نصب و راه اندازی شد. جهت مقایسه میزان اثرگذاری این اقدام ، طیف های ارتعاشی بیرینگ موتور در جهت عمودی در حالت قبل و بعد از بالانس در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-الف: طیف ارتعاشی بیرینگ سمت کوپلینگ در جهت عمودی قبل از بالانس



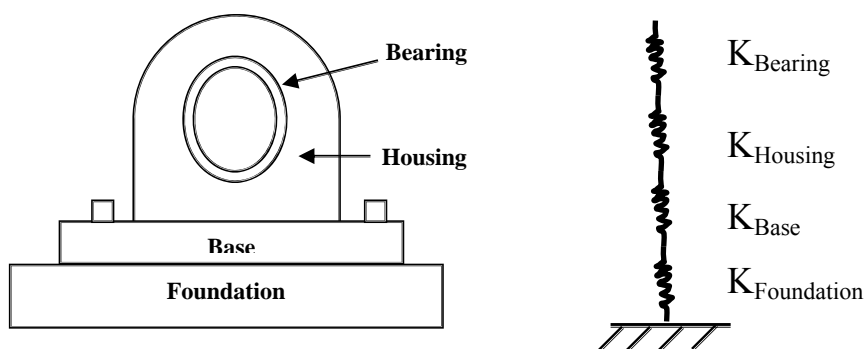
شکل ۵-ب: طیف ارتعاشی بیرینگ سمت کوپلینگ در جهت عمودی پس از بالانس

بررسی موضوع

در حالت کلی ارتعاشات در جهت افقی معمولاً بیشتر از جهت عمودی است. این بدان علت است که معمولاً جهت افقی سختی (Stiffness) کمتری نسبت به جهت عمودی دارد. این موضوع را میتوان به کمک رابطه (۱) بهتر درک نمود.

$$X = \frac{F}{K} \quad (1)$$

در این رابطه، X جابه جایی، F نیرو و K ضریب سختی فنر است. در شکل ۶ سختی های مکانیکی یک هوزینگ بیرینگ نشان داده شده است. سختی مکانیکی کلی یک سیستم از رابطه (۲) قابل محاسبه است. این رابطه بر اساس قانون فنرهای سری نوشته شده است [3]. در شرایط عادی سختی پایه و فونداسیون در جهت عمودی بسیار بیشتر از سختی در جهت افقی میباشد در نتیجه سختی کلی در جهت عمودی بیشتر از جهت افقی است.



شکل ۶: شماتیک ترکیب سختی های یک سیستم هوزینگ بیرینگ

$$\frac{1}{K_{total}} = \frac{1}{K_{Bearing}} + \frac{1}{K_{Housing}} + \frac{1}{K_{Base}} + \frac{1}{K_{Foundation}} + \frac{1}{K_{...}} \quad (2)$$

در این رابطه، K_{Total} ، $K_{Bearing}$ ، $K_{Housing}$ ، K_{Base} ، $K_{Foundation}$ و $K_{...}$ به ترتیب معادل ضرایب سختی نهایی معادل، بیرینگ، هوزینگ، پایه، فونداسیون و اجزاء دیگر (از قبیل پیچ، مهره و غیره) است. در برخی از ماشینها مانند ماشین مورد مطالعاتی، ارتعاشات در جهت عمودی بزرگتر از دامنه ارتعاشات در جهت افقی است. یکی از پدیده هایی که باعث بوجود آمدن این شرایط میشود اینست که دور بحرانی ماشین نزدیک به فرکانس تحریک (که در مورد پدیده نابالانسی فرکانس برابر $1 \times RPM$ است) و کوچکتر از آن باشد. برای توضیح این مسئله یک سیستم یک درجه آزادی در نظر گرفته میشود. براساس رابطه (۳) فرکانس طبیعی سیستم اینگونه محاسبه میگردد:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (3)$$

در این رابطه ω_n فرکانس طبیعی، K ضریب سختی و m جرم معادل میباشد.

بر طبق رابطه اخیر در صورتی که ضریب سختی در جهت عمودی بیشتر از ضریب سختی جهت افقی باشد فرکانس طبیعی سیستم در جهت عمودی بزرگتر از فرکانس طبیعی در جهت افقی خواهد بود. اگر در مورد یک ماشین (مانند ماشین مورد مطالعاتی) شرایط فوق صدق کند یعنی اینکه دور بحرانی ماشین کوچکتر از فرکانس تحریک و در نزدیکی آن باشد، پدیده رزونانس جهتی (Directional Resonance) پیش خواهد آمد و دامنه ارتعاشات در جهت عمودی به شکل قابل توجهی بزرگتر از جهت افقی خواهد بود. [1]

نکته قابل توجه دیگر اینست که گفته میشود که در صورت وجود پدیده نابالانسی جرمی در اندازه گیری فاز ارتعاشی در دو جهت افقی و عمودی، با اختلاف فاز ۹۰ درجه مواجه خواهیم بود [1]. یکی از پدیده هایی که باعث میشود شرایط دیگری حادث شود نزدیک بودن دور بحرانی به فرکانس چرخش روتور میباشد. همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده، این موضوع در ماشین مورد مطالعه وجود داشته است.

نتیجه گیری

آنالیز شرایط برخی از ماشینها و عیب یابی آنها گاهی دچار پیچیدگی میشود. این پیچیدگی ها عموماً در اثر آشنا نبودن با رفتار فیزیکی ماشین بوجود می آید. در مورد آنالیز ارتعاشی ماشین آلات، دانستن فرکانس های طبیعی سیستم یا حداقل اولین فرکانس طبیعی به فرد تحلیلگر کمک میکند تا بتواند عیب یابی صحیحتری داشته باشد. تست Coast Down/Up علاوه بر تعیین دور بحرانی اطلاعات بیشتری در اختیار فرد میگذارد.

مراجع

[1] Wowk V., Machinery Vibration Measurement and Analysis, Mc Graw Hill, New York, 1991

[2] Wowk V., Machinery Vibration Alignment, Mc Graw Hill, New York, 2000

[3] Eisenmann R., C., Machinery Malfunction Diagnosis and Correction, Hewlett-Packard, New Jersey, 1998

[4] Balance Quality Requirements of Rotating Rigid Bodies; Part1. "Determination and Verification of Balance Tolerance," ISO 1940-1,1998 ; Part 2. "Balance Errors," ISO 1940-2, 1998