

تحقیق در راه اندازی اولیه الکتروموتورها و عیب یابی با روش های پایش وضعیت

Research on electromotor startup and troubleshooting using condition monitoring methods

کامران میرزا بیگی- غلامرضا عسکری^۱ - مسعود نوری^۲ - عبدالله میرزایی- عباس وکیلی

چکیده

با توجه به نبود دستورالعملی مشخص برای راه اندازی اولیه^۲ الکتروموتورها این نیاز احساس شد که برای این امر دستورالعملی سازگار با استانداردها و سازنده ها تدوین شود. برای نگارش این دستورالعمل از استانداردهای مربوطه، کاتالوگ شرکت های تولید کننده بیرینگ و روان کننده، دستورالعمل های تولیدکنندگان الکتروموتور و همچنین تجربیات راه اندازی الکتروموتور بهره گرفته شده است. در ادامه برخی از عیوب الکتروموتور که روش های پایش وضعیت^۴ می تواند جهت کشف آنها مفید باشد بررسی شده است.

کلمات کلیدی: الکتروموتور-پایش وضعیت -عیب یابی^۵

¹ Gholamreza askari, rezaaskari27182818@gmail.com

² Masood noori, masood noori 1373@gmail.com

³ Initial Commissioning

⁴ Condition monitoring

⁵ troubleshooting

۱- مقدمه

راه‌اندازی اولیه الکتروموتورها، فرآیندی فراتر از صرفاً اعمال ولتاژ و چرخش موتور است. این مرحله شامل بررسی‌های مکانیکی، الکتریکی، لرزشی و حرارتی می‌شود که هر یک در تضمین عملکرد پایدار موتور و پیشگیری از خرابی‌های زودهنگام نقش دارند. از سوی دیگر، بهره‌گیری از تکنیک‌های پیشرفته پایش وضعیت نظیر تحلیل ارتعاشات، تحلیل صدا، ترموگرافی، و آنالیز روغن، امکان شناسایی پیش‌دستانه عیوب را فراهم می‌سازد و از وقوع توقفات ناگهانی جلوگیری می‌کند.

در این مقاله، ابتدا به بررسی روش‌های راه‌اندازی اولیه الکتروموتورها پرداخته می‌شود و سپس نقش و اهمیت پایش وضعیت به عنوان ابزاری کارآمد برای عیب‌یابی و نگهداری پیش‌بینانه^۶ مورد تحلیل قرار می‌گیرد. همچنین، مزایا، چالش‌ها و الزامات اجرایی این روش‌ها در محیط‌های صنعتی به ویژه در صنایع حساس مانند پتروشیمی و نفت و گاز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- اهمیت راه‌اندازی اولیه در عملکرد الکتروموتورها

راه‌اندازی اولیه یکی از حساس‌ترین مراحل در چرخه عمر یک الکتروموتور است. این مرحله، نقطه‌ای آغاز بهره‌برداری عملیاتی از تجهیز بوده و تأثیر مستقیمی بر عملکرد، عمر مفید، قابلیت اطمینان و هزینه‌های نگهداری آینده آن دارد. هرگونه سهل‌انگاری یا اشتباه در این مرحله می‌تواند منجر به بروز آسیب‌های پنهان یا آشکار شود که اغلب در فاز بهره‌برداری نمایان شده و باعث توقف‌های اضطراری و تحمیل هزینه‌های بالا می‌شود.

۲-۱- تأثیر راه‌اندازی صحیح بر عملکرد درازمدت

در صورتی‌که راه‌اندازی اولیه بر اساس استانداردهای معتبر نظیر IEEE112، API541 و IEC60034 و دستورالعمل سازنده انجام شود، می‌توان از وقوع بسیاری از خرابی‌های رایج نظیر لقی در کوپلینگ، خرابی بیرینگ‌ها، ناپایداری حرارتی و اشکالات الکتریکی پیشگیری کرد. این اقدام باعث می‌شود موتور از همان ابتدا در شرایط پایدار، متوازن و ایمن به بهره‌برداری برسد و نیروی انسانی نیز شناخت اولیه دقیقی از رفتار تجهیز به دست آورد.

۲-۲- شناسایی عیوب پنهان پیش از بهره‌برداری کامل

بسیاری از عیوب در مراحل تولید، حمل‌ونقل، نصب یا نگهداری ممکن است به‌صورت نهفته در سیستم باقی بمانند. راه‌اندازی اولیه فرصتی است برای شناسایی این مشکلات پیش از آن‌که تحت بار کامل و شرایط عملیاتی شدید، خسارت گسترده‌تری وارد شود. به‌عنوان مثال، وجود یک بیرینگ خشک‌شده یا هم‌محوری ناقص در مراحل اولیه ممکن است تنها با یک ارتعاش خفیف یا صدای جزئی همراه باشد، اما در صورت چشم‌پوشی، می‌تواند به تخریب کامل سیستم منجر شود.

۲-۳- اشتباهات رایج در راه‌اندازی اولیه

در پروژه‌های صنعتی، اشتباهات زیر به‌صورت متداول در مرحله راه‌اندازی رخ می‌دهند که اغلب به دلیل شتاب‌زدگی، عدم رعایت چک‌لیست‌های فنی یا فقدان هماهنگی میان تیم‌ها است:

⁶ Predictive maintenance

- راه اندازی بدون انجام تست عایقی سیم پیچ ها^۷
- عدم بررسی و اطمینان از سفت بودن پایه الکتروموتور
- بی توجهی به وضعیت روانکاری بیرینگ ها
- انجام تست چرخش بدون پایش ارتعاشات و دما
- تنظیم نادرست پارامترهای درایو در موتورهای دارای VFD
- عدم توجه به مدت زمان لازم و کافی برای تست

۴-۲- روانکاری بیرینگ الکتروموتور

روانکاری مناسب بیرینگ موتورهای الکتریکی برای حفظ آنها در شرایط اوج کارکرد و در نهایت برای کاهش توقفشان ضروری است. گریس به دلیل سادگی کاربرد و ویژگی های منحصر به فردش اغلب به عنوان روانکار بیرینگ موتور الکتریکی استفاده می شود. وظایف اصلی گریس بیرینگ الکتروموتور عبارتند از:

- کاهش اصطکاک و جلوگیری از سایش
- محافظت از بیرینگ ها در برابر خوردگی
- به عنوان یک مانع برای جلوگیری از ورود آلاینده ها

با توجه به وظایف ذکر شده برای گریس به عنوان روان کننده و همچنین مشخصات فنی الکتروموتور مانند دور و قطر شفت نوع گریس و مقدار آن برای روانکاری های دوره ای مشخص می شود. همچنین می توان از دستورالعمل های سازندگان روانکار بیرینگ نیز استفاده کرد در زمینه مقدار گریس در محفظه بیرینگ شرکت های SKF و Exxon Mobil دستورالعمل هایی ارائه داده اند که می توان خلاصه از آن را به عنوان نمونه در اینجا آورد:

- تا ۵۰ درصد از حجم محفظه بیرینگ: برای دور های بسیار بالا باید از حد پایین استفاده کرد تا فشرده گی و گرم شدن بیش از حد گریس کاهش یابد. بیرینگ های پر شده با گریس بیش از حد گرم می شوند و در دوره های بالاتر حتی باز هم بیشتر گرم می شوند.
- ۵۰ تا ۷۵ درصد از حجم محفظه بیرینگ: برای دور های آهسته یا در صورت عدم وجود روش های دیگر برای روانکاری مجدد، محفظه را ۵۰ تا ۷۵ درصد با گریس پر می کنند. پس از پر کردن محفظه و راه اندازی موتور ساچمه ها گریس اضافی را از بین ساچمه ها به داخل محفظه فشار می دهند و تنها لایه روان کننده نازکی که برای به حداقل رساندن اصطکاک و سایش لازم است باقی می ماند.
- پر شدن کامل محفظه بیرینگ: یک محیط خیلی آلوده ممکن است نیاز به پر شدن کامل محفظه داشته باشد اما خود بیرینگ فقط حاوی گریس کافی برای روانکاری باشد.

لازم به ذکر است در مواردی امکان روانکاری مجدد بیرینگ مهیا نیست. مانند بیرینگ های سری ZZ که سازنده آنها را با روان کننده لازم پر می کند.

۵-۲- اهمیت پایش وضعیت در راه اندازی و ثبت داده های اولیه

^۷ IR Test

واحد پایش وضعیت باید از همان ابتدای راه‌اندازی در محل حضور فعال داشته باشد و با ثبت ارتعاشات اولیه (با و بدون بار^۸)، دما، جریان و سایر پارامترها، شرایط اولیه تجهیز را مستند کند. این کار، پایه‌گذار یک سیستم نگهداری پیش‌بینانه واقعی خواهد بود.

۳- مراحل راه‌اندازی اصولی الکتروموتور

مراحل راه‌اندازی اولیه قبل از استارت الکتروموتور شروع می‌شود و بعد از خاموش شدن الکتروموتور نیز ادامه می‌یابد. بنابراین اگر بخواهیم مراحل راه‌اندازی را تفکیک کنیم، به سه مرحله قبل از راه‌اندازی، حین راه‌اندازی و بعد از راه‌اندازی تقسیم می‌شود که در هر مرحله لازم است اقداماتی صورت گیرد.

۳-۱- اقدامات پیش از راه‌اندازی

آماده‌سازی تجهیز قبل از شروع استارت اولیه یکی از مهمترین مراحل راه‌اندازی است. سهل‌انگاری و عدم توجه به آماده‌سازی الکتروموتور برای استارت اولیه می‌تواند آسیب‌های جدی و دائم به تجهیز و حتی سلامتی نفرات راه‌اندازی وارد کند برخی از اقدامات قبل از راه‌اندازی عبارتند از:

- اطمینان از عملکرد مطمئن و صحیح مدارهای کنترل جریان الکتروموتور
- انجام تست‌های الکتریکی لازم مانند تست سیم اتصال به زمین و تست عایق
- ایمن‌سازی محیط کاری برای انجام کار ایمن
- تهیه تجهیزات حفاظت فردی برای پرسنل راه‌اندازی
- اطمینان از تامین روانکار مناسب و کافی با توجه به ویژگی‌های فنی یاتاقان‌ها، دستورالعمل‌ها و استانداردهای مربوطه
- تهیه و تدوین برنامه پایش وضعیت با توجه به مشخصات فنی تجهیز توسط تیم پایش وضعیت
- بررسی پایه‌های الکتروموتور و اطمینان از نصب صحیح تجهیز در محل. نصب غیر اصولی الکتروموتور و وجود لقی در پایه‌ها می‌تواند باعث ارتعاشات مضاعف شود که این خود باعث آسیب به تجهیز و قضاوت نادرست شرایط تجهیز می‌گردد.

۳-۲- اقدامات حین راه‌اندازی

برای بررسی شرایط کارکرد الکتروموتور نیاز است که تیم راه‌اندازی از قبل استارت اولیه و همچنین در حین استارت و کارکرد تجهیز در محل حضور داشته باشند.

مدت زمان روشن بودن تجهیز با توجه به هدف راه‌اندازی و تست‌های مربوطه می‌تواند متفاوت باشد به عنوان مثال اگر هدف از تست تجهیز تنها مشخص کردن جهت دوران صحیح الکتروموتور باشد مدت زمان کارکرد تنها چند ثانیه است. چنانچه هدف ما بررسی شرایط یاتاقان‌ها در حین کارکرد باشد مدت زمان کارکرد می‌تواند بین ۱۰ دقیقه تا ۶۰ دقیقه لحاظ گردد. لازم به ذکر است در مورد مدت زمان مجاز کار کردن بدون بار یاتاقان‌های غلتشی کمی اختلاف نظر بین سازندگان مختلف وجود دارد. به عنوان مثال شرکت SKF به عنوان یکی از سازندگان معتبر یاتاقان الزام می‌کند که یاتاقان‌ها حین کارکرد بدون بار می‌بایست تحت بار خارجی حداقل ۱ تا ۲ درصد ظرفیت دینامیکی بار یاتاقان^۹ قرار گرفته شود. دلیل این امر جلوگیری از ایجاد لغزش در یاتاقان‌های غلتشی است. همچنین بخش ۵.۶.۲ استاندارد-IEEESTd112TM 2017 بیان می‌کند: ((برخی موتورها ممکن است تا زمانی که یاتاقان‌ها به وضعیت عملیاتی پایدار

⁸ Free run

⁹ C load

نرسند، دچار تغییر در تلفات اصطکاکی شوند. در یاتاقان‌های غلتشی روان‌کاری‌شده با گریس، پایداری زمانی حاصل می‌شود که دیگر گریس اضافی در مسیر قطعات متحرک وجود نداشته باشد. این موضوع ممکن است نیاز به چندین ساعت کارکرد موتور داشته باشد تا توان ورودی بدون بار به‌طور کامل پایدار شود. می‌توان پایداری را زمانی در نظر گرفت که توان ورودی در حالت بدون بار، در دو قرانت پیاپی که با فاصله زمانی نیم ساعت و در یک ولتاژ ثابت انجام می‌شوند، بیش از ۳٪ تغییر نکند. انجام آزمون پایداری تلفات یاتاقان در صورتی که آزمون دمایی پیش از آزمون بدون بار انجام شده باشد، ممکن است ضروری نباشد.))

بهتر است با توجه به شرایط تجهیز در مورد مدت زمان کارکرد دستگاه و همچنین نیاز و عدم نیاز به بار اولیه برای یاتاقان تصمیم‌گیری شود.

برخی از اقدامات حین راه‌اندازی عبارتند از:

- حفظ فاصله ایمن از تجهیز روشن و اولویت قرار دادن مسائل ایمنی در طول مدت زمانی که الکتروموتور روشن است.
- ثبت دقیق جریان راه‌اندازی اولیه و جریان کارکرد پایه از الکتروموتور
- اندازه‌گیری گشتاور و توان الکتروموتور در مواردی که لازم است
- اندازه‌گیری و بررسی دقیق روند تغییر دمای یاتاقان‌ها
- ارتعاش سنجی^{۱۰} و بررسی نمودارهای ارتعاشی تجهیز توسط تیم پایش وضعیت
- استفاده از تکنیک‌های پوش منحنی^{۱۱}، Shock pulse و یا سایر تکنیک‌های فرکانس بالا برای پایش وضعیت یاتاقان‌ها

لازم به ذکر است چنانچه شرایط کارکرد الکتروموتور غیر معمول تشخیص داده شد یا داده‌های پایش وضعیت به گونه‌ای بود که احتمال آسیب به تجهیز به دلیل کارکرد آن وجود داشت لازم است عملیات راه‌اندازی متوقف و برای عیب‌یابی و رفع عیب اقدامات لازم صورت گیرد.

۳-۳- اقدامات بعد از پایان راه‌اندازی

پس از خاموش شدن تجهیز و پس از اتمام راه‌اندازی لازم است اقداماتی برای حفظ الکتروموتور در شرایط مطلوب و همچنین ایجاد بانک اطلاعات جهت قضاوت‌های آینده انجام شود. بررسی و ثبت دقیق داده‌ها پس از اتمام راه‌اندازی از اهمیت ویژه برخوردار است. برخی از اقدامات پس از اتمام راه‌اندازی عبارتند از:

- اطمینان از قطع جریان ورودی به کلیه الکتروموتورها و رعایت شرایط ایمنی پس از راه‌اندازی
- چنانچه الکتروموتور به مدت طولانی پس از راه‌اندازی اولیه در بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد حفاظت^{۱۲} الکتروموتور از گرد و خاک رطوبت و سایر عوامل آسیب‌زا لازم و ضروریست.
- لازم است پس از اتمام راه‌اندازی داده‌های حاصل از پایش وضعیت به دقت ثبت و بررسی شوند تا مرجع معتبری برای پایش پیش‌بینانه مهیا گردد.
- چنانچه نیاز به اقدامات اصلاحی و تعمیراتی برای تجهیز تشخیص داده شد بهتر است این اقدامات پس از راه‌اندازی اولیه و قبل از بهره‌برداری صورت گیرد. همچنین پس از تعمیرات و اقدامات اصلاحی لازم است کلیه مراحل راه‌اندازی پیش از بهره‌برداری بار دیگر تکرار شود.

¹⁰ Vibration analysis

¹¹ Envelope

¹² Preservation

۴- معرفی روش‌های پایش وضعیت در عیب یابی الکتروموتورها

یکی از اهداف راه‌اندازی اولیه الکتروموتورها کشف و تشخیص مشکلات احتمالی تجهیز برای رفع عیب است برای استقرار برنامه پایش وضعیت حضور یک تیم پایش وضعیت همراه با تجهیزات مناسب و کافی جهت پایش موثر الکتروموتور الزامی است. تجهیزات لازم برای پایش وضعیت با توجه به مشخصات تجهیز و میزان اهمیت آن می‌تواند متفاوت باشد. برخی از تجهیزات برای پایش وضعیت الکتروموتور عبارتند از:

- دستگاه ارتعاش سنج
- ترمومتر یا دوربین ترموگرافی برای اندازه‌گیری دمای الکتروموتور در نقاط مختلف
- استروبو اسکوپ در مواردی که نیاز است قسمت‌های دوار در حین کارکرد به صورت چشمی بررسی شوند
- بیرینگ چکر برای پایش وضعیت بیرینگ‌های غلتشی
- استفاده از دستگاه‌های مجهز به تکنیک‌های اولتراسونیک جهت تشخیص نویز و مقدار آن
- جریان سنج‌های ثابت و قابل حمل جهت اندازه‌گیری جریان مصرفی الکتروموتور

در مواردی که الکتروموتور از سیستم روانکاری خارجی استفاده می‌کند پایش دقیق وضعیت روان کننده الزامی است. این پایش وضعیت می‌تواند شامل دماسنجی از روغن، بررسی چشمی کیفیت روغن و حتی آنالیز روغن بعد از راه‌اندازی اولیه باشد. در ادامه به معرفی برخی از روش‌های پایش وضعیت پرداخته می‌شود.

۴-۱- ارتعاش سنجی

ارتعاش سنجی یکی از تکنیک‌های موثر و کارآمد برای تشخیص عیوب مکانیکی و عیوب نصب الکتروموتور است. ارتعاش سنجی حتی در مواردی که میزان آسیب وارده به یاتاقان‌ها زیاد باشد نیز می‌تواند جهت تابید آسیب به یاتاقان‌ها مفید باشد. شیوه ارتعاش سنجی با توجه به نوع الکتروموتور می‌تواند متفاوت باشد. معمول‌ترین شیوه ارتعاش سنجی به این صورت است که با نصب یک سنسور پیزوالکتریک در مکان‌های مشخص از الکتروموتور مقدار شتاب لحظه‌ای آن نقاط اندازه‌گیری می‌شود با توجه به حرکت ارتعاشی آن نقطه مقدار شتاب نیز دائماً نوسان می‌کند. با تکنیک‌هایی چون انتگرال گیری از شتاب می‌توان سرعت ارتعاش را نیز به دست آورد. لازم به ذکر است سرعت ارتعاش نیز نوسانی است و دائماً مقدار و جهت سرعت نوسان می‌کند برای قضاوت بهتر از شرایط دستگاه، نمودارهای ارتعاشی از حوزه زمان به حوزه فرکانس منتقل می‌شود این انتقال توسط روش‌های ریاضی مانند تبدیل سریع فوری^{۱۳} و استفاده از فیلترهای مناسب صورت می‌گیرد. برای آگاهی بیشتر از شیوه ارتعاش سنجی می‌توان به مراجع تحلیل ارتعاشات، که برخی از آنها در مراجع ذکر شده‌اند رجوع کرد.

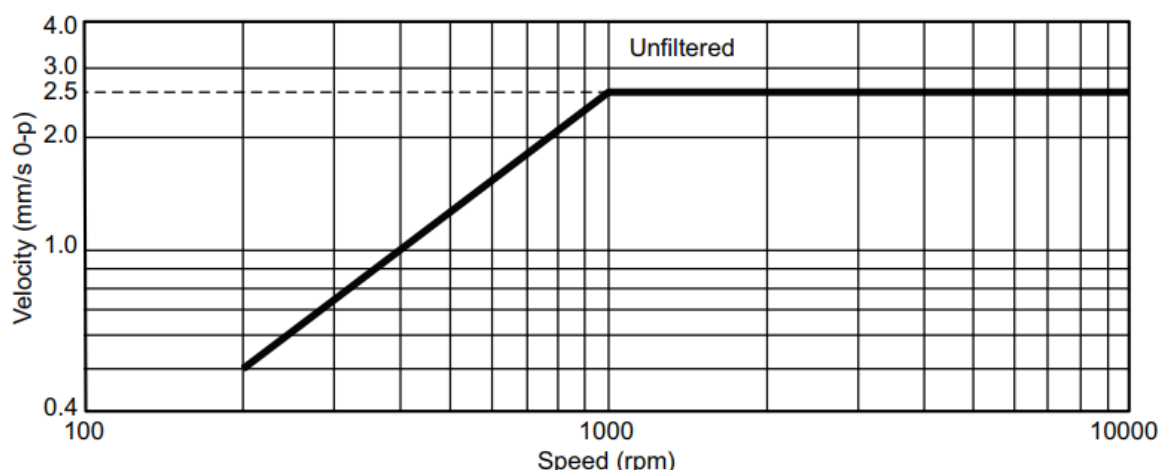
فرکانس نوسان ارتعاشات نشانگر نوع عیب احتمالی است همچنین دامنه ارتعاشات نیز شدت عیب را مشخص می‌کند.

میزان ارتعاشات مجاز برای الکتروموتور در حین کارکرد بدون بار را می‌توان از منابع و مراجع ذیصلاح به دست آورد و سپس در مورد ارتعاش تجهیز قضاوت نمود مهم‌ترین مرجع برای تعیین حدود ارتعاشات دستورالعمل‌های سازنده است. چنانچه سازنده در مورد مقدار ارتعاش مجاز حدودی مشخص نکرده باشد با توجه به مشخصات فنی الکتروموتور می‌توان به استانداردهای مربوطه مراجعه نمود برخی از این استانداردها عبارتند از:

• ISO10816

- API 541
- IEEE 112
- IEC 60034-14

در تصویر زیر که از استاندارد API 541 استخراج شده است نمونه‌ای از حدود مجاز ارتعاشات آورده شده است.



شکل ۱- حدود مجاز ارتعاشات محفظه بیرینگ^{۱۴} در جهت محوری و شعاعی

در مواردی که تجهیز دارای یاتاقان‌های ژورنال است، استفاده از تکنیک‌هایی چون orbit analysis توصیه می‌گردد. بنابراین برای پایش موثر اینگونه از الکتروموتورها استفاده از دستگاه مجهز به این تکنیک سودمند است.

۲-۴- اندازه‌گیری دما از قسمت‌های مختلف الکتروموتور

دمای قسمت‌های مختلف الکتروموتور حین کارکرد می‌تواند با توجه به شرایط عملکرد روتور و یاتاقان‌ها به صورت نقطه‌ای یا کلی افزایش یابد.

در حین انجام راه‌اندازی لازم است با استفاده از دوربین ترموگرافی و یا ترمومتر دمای قسمت‌های مختلف الکتروموتور را اندازه‌گیری و ثبت نمود افزایش بیش از حد دما در هر نقطه از الکتروموتور نشان دهنده وجود عیب در آن قسمت است. به عنوان مثال افزایش دمای بدنه الکتروموتور می‌تواند ناشی از مشکلات الکتریکی در استاتور و یا لقی نامناسب بین روتور و استاتور باشد همچنین افزایش بی‌رویه دمای محفظه بیرینگ نیز نشان دهنده وجود عیب در قسمت بیرینگ می‌باشد که این خود می‌تواند ناشی از عدم روانکاری مناسب، خشک شدن بیرینگ و نامناسب بودن لقی^{۱۵} بیرینگ باشد مهمترین مرجع برای تعیین میزان مجاز افزایش دمای بیرینگ دستورالعمل سازنده است. مراجع و استانداردهایی نیز برای تعیین محدوده افزایش دما وجود دارد به عنوان مثال استاندارد API محدوده افزایش دما برای یاتاقان‌های غلتشی را این گونه مشخص می‌کند:

- برای یاتاقان‌های غلتشی دارای آب بند حداکثر دمای ۵۲ درجه سانتیگراد محفظه بیرینگ و یا افزایش ۱۵ درجه سانتیگراد نسبت به دمای محیط هر کدام که بیشتر باشد.

¹⁴Bearing housing

¹⁵ Clearence

- برای یاتاقان‌های غلتشی بدون آب بند حداکثر دمای ۸۲ درجه سانتیگراد محفظه بیرینگ و یا افزایش ۴۰ درجه سانتیگراد نسبت به دمای محیط هر کدام که بیشتر باشد.

۳-۴- اندازه‌گیری نویز محفظه بیرینگ با استفاده از روش‌های اولتراسونیک^{۱۶}

اولین علائم خرابی یاتاقان‌های غلتشی به شکل ظهور نویزهای فرکانس بالا قابل تشخیص است. اندازه‌گیری میزان نویز می‌تواند برای قضاوت در مورد شرایط بیرینگ و عمر باقی مانده آن و همچنین شرایط روانکاری کمک کننده باشد در مورد تکنیک‌های اولتراسونیک و محدوده مجاز نویز، استاندارد مشخصی وجود ندارد. بهترین شیوه قضاوت در مورد میزان نویز یاتاقان، مقایسه میزان نویز در طول زمان و روند آن و همچنین مقایسه با الکتروموتورهای مشابه است.

تولید کنندگان دستگاه‌های ارتعاش سنجی هر یک روش‌های اندازه‌گیری نویز مختص به خود را دارند به عنوان مثال شرکت SPM از تکنیک Shock pulse و HD envelope بهره می‌برد.

چنانچه دستگاه پایش بیرینگ^{۱۷} یا دستگاه‌های مشابه به صورت جداگانه تهیه شده باشند از آنها می‌توان برای تحلیل دقیق‌تر شرایط بیرینگ استفاده کرد

در قسمت‌های بعدی این تحقیق نمونه‌ای از روش التراسونیک به عنوان مورد کاوی آورده شده است.

۴-۴- آنالیز روغن و بررسی مدارهای روانکاری:

الکتروموتورهای با توان بالا به دلیل اصطکاک و اتلافات حرارتی زیاد در قسمت بیرینگ در اغلب از سیستم روانکار خارجی استفاده می‌کنند. در حین راه‌اندازی، بررسی مدارهای روانکاری سیستم خنک کاری^{۱۸} و دمای روانکار الزامی است. افزایش دمای بیش از حد روغن می‌تواند نشان دهنده کارکرد نادرست سیستم خنک‌کاری و یا ایجاد حرارت زیاد در یاتاقان‌ها ناشی از شرایط کاری نامطلوب آنها باشد. در حین راه‌اندازی اولیه این گونه از الکتروموتورها الزامی است از عملکرد صحیح سنسورها و شیرهای کنترل دما^{۱۹} اطمینان حاصل نمود. چنانچه به دلیل عملکرد نادرست سیستم‌های ابزار دقیق، تجهیز دچار توقف اضطراری شود لازم است کلیه مراحل راه‌اندازی اولیه از ابتدا انجام شود.

در مواردی که تجهیز از اهمیت بالایی برخوردار باشد می‌توان بعد از اتمام راه‌اندازی اولیه مقداری از روغن کارکرده را به عنوان نمونه برای انجام آزمایشات آنالیز روغن^{۲۰} به آزمایشگاه فرستاد و نتایج آزمایش را با نمونه‌ای از روغن تازه مقایسه نمود. با آنالیز روغن می‌توان بسیاری از عیوب را قبل از رسیدن به مرحله آسیب‌زا شناسایی و برطرف کرد. برخی از مشکلاتی که با آنالیز روغن کشف می‌شوند عبارتند از: وجود رطوبت در روغن، وجود ذرات فرسایشی در روغن و کاهش کیفیت روغن. در مورد شیوه آنالیز روغن می‌توان به مراجع معتبر در این زمینه مراجعه نمود.

۵- موردکاوی

در این قسمت به بررسی چند مورد از تجربه‌های راه‌اندازی الکتروموتور در شرکت پتروشیمی صدف پرداخته می‌شود. جهت کشف عیوب احتمالی و پایش وضعیت الکتروموتور در طول راه‌اندازی از روش‌های ارتعاش سنجی، اولتراسونیک و دماسنجی بهره برده شده است. اغلب الکتروموتورها در این

¹⁶ Ultra sonic

¹⁷ Bearing checker

¹⁸ Cooling system

¹⁹ TCV

²⁰ Oil analysis

پتروشیمی مدت زمان زیادی خارج از سرویس بوده‌اند. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه عسلویه و قرار گرفتن الکتروموتورهای مذکور در این محیط انتظار می‌رفت که بسیاری از تجهیزات در قسمت بیرینگ دچار آسیب جدی شده باشند. بنابراین پایش وضعیت شرایط پاتاقان‌ها و تعیین میزان سلامت آنها برای راه‌اندازی و بهره‌برداری نهایی از اهمیت ویژه برخوردار بوده است. همانطور که در قسمت‌های قبلی بیان شد برای کشف عیوب بیرینگ در مراحل اولیه خرابی بهتر است از تکنیک‌های اولتراسونیک استفاده کرد. چنانچه میزان خرابی گسترش یافته باشد، تکنیک‌های ارتعاش سنجی نیز می‌تواند مفید باشد.

بسیاری از تجهیزات دوار قبل از راه‌اندازی اولیه به دلیل حمل و نقل نادرست، نصب غیر اصولی و عوامل دیگر دچار آسیب‌های مکانیکی می‌شوند. ارتعاش سنجی از الکتروموتور برای تشخیص و رفع عیوب مکانیکی آن در مرحله راه‌اندازی اولیه بسیار کارآمد است.

منابع و مراجع گوناگونی در مورد ارتعاش سنجی و شیوه کشف عیوب وجود دارد. جهت کسب اطلاعات بیشتر در این مورد می‌توان به این مراجع مراجعه نمود. برخی از آنها در ادامه آورده شده است. اندازه‌گیری دما نیز برای اطمینان از کارکرد درست پاتاقان‌ها و سیستم روانکاری الزامی است.

۵-۱- الکتروموتورهای واحد ذخیره منومر²¹ (۱۱۰۰)

در قسمتی از واحد ۱۱۰۰ پتروشیمی صدف تعداد ۱۲ عدد الکتروموتور مشابه با مشخصات زیر وجود دارد:

Item No.	Power kw	Temp C	Speed rpm	Brg. No.(motor)
P_1106B	۳/۷	۳۸	۱۴۶۰	6206 ZZ_6208 ZZ

جدول ۱- مشخصات الکتروموتور MP-1106B



شکل ۲- الکتروموتور MP-1106B

راه‌اندازی اولیه این الکتروموتورها با حضور تیم پایش وضعیت و همچنین پرسنل واحد تعمیرات برق و ماشینری آغاز گردید. با روشن شدن تجهیزات مذکور صداهایی از جنس نویز فرکانس بالا قابل تشخیص بود.

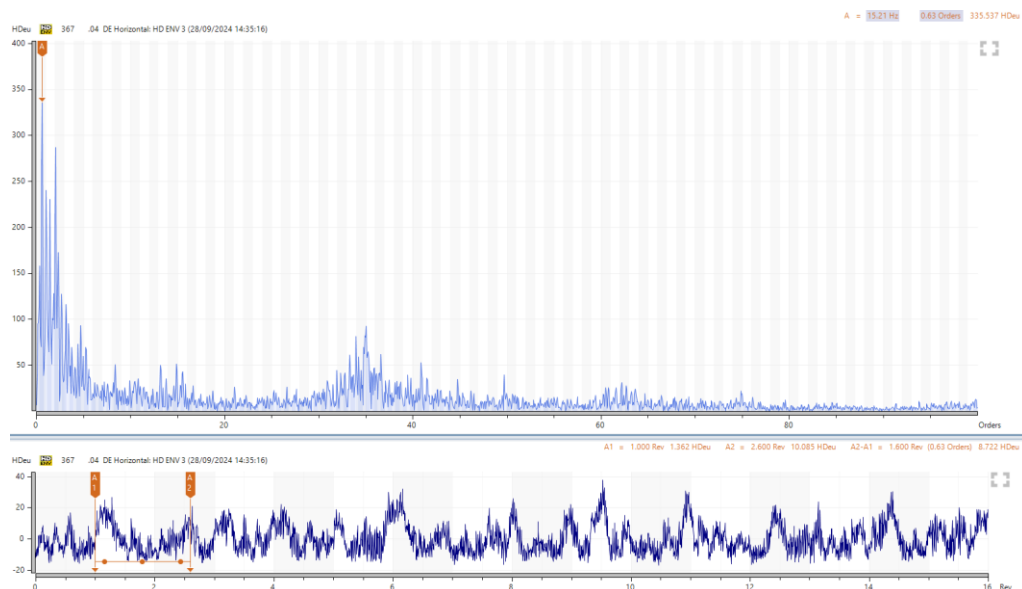
²¹ Monomer storage

ارتعاش سنجی از تجهیزات با توجه به دستورالعمل‌ها و شیوه‌ای که در مراجع ذکر شده است صورت گرفت. با توجه به مقدار ارتعاشات هیچگونه عیب مکانیکی مانند عیوب روتور و نصب الکتروموتور قابل تشخیص نبود. با توجه به وجود نویزهای فرکانس بالا تصمیم گرفته شد از تکنیک‌های فرکانس بالا برای مشخص کردن منبع و علت سر و صدا استفاده شود. تکنیک‌های مورد استفاده به همراه محدوده فرکانسی آنها در جدول زیر نشان داده شده است:

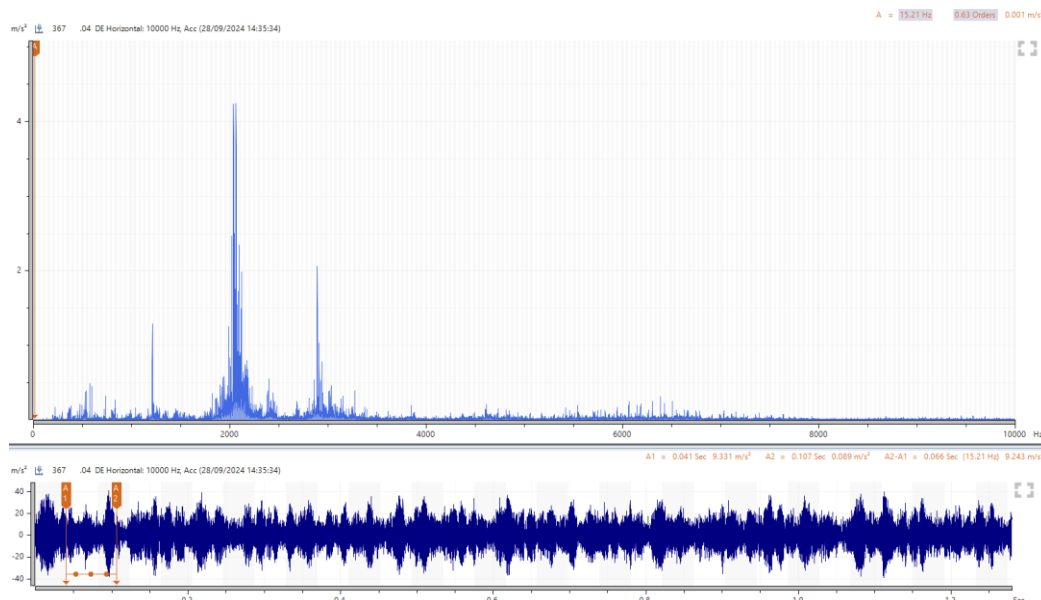
Tec:	HD ENV filter3	HD ENV filter4	ACC
Frequency(Hz):	500-10000	5000-40000	2-10000

جدول ۲- تکنیک‌های فرکانس بالا برای شناسایی منبع نویز

بعد از ثبت داده‌ها و بررسی آنها مشخص شد که منبع نویز از قسمت یاتاقان‌ها بوده است همان گونه که در شکل‌های زیر مشاهده می‌شود مقدار HD envelope و همچنین مقدار شتاب در این تجهیزات نسبت به مشخصات الکتروموتور و مقدار آنها در تجهیزات مشابه بسیار بالاتر بوده است نتایج زیر حاصل استفاده از تکنیک اولتراسونیک برای الکتروموتور شماره MP-1106B می‌باشد. لازم به ذکر است بیرینگ این الکتروموتورها همگی از نوع آب بنددار بوده است. بنابراین امکان روانکاری مجدد آنها وجود ندارد. با توجه به اطلاعات به دست آمده از روش اولتراسونیک تشخیص داده شد یاتاقان‌ها مشکل روانکاری دارند. در واقع روانکار گریس در طول سال‌هایی که الکتروموتور در محل نصب بوده است، کاملاً از بین رفته بود. همچنین با توجه به میزان رطوبت در آب و هوای محل نصب تجهیز، حدس زده شد که بسیاری از قطعات درون الکتروموتور دچار خوردگی شده‌اند. با توجه به شرایط موجود پیشنهاد داده شد که جهت تعویض بیرینگ این نوع از الکتروموتورها اقدام شود. تصویر زیر یکی از یاتاقان‌های الکتروموتور MP-1106B است. همان گونه که در تصویر مشخص است برای بررسی دقیق، بیرینگ به خوبی شستشو و تمیز شده است. آسیب‌های حاصل از خوردگی در تصویر به خوبی مشخص است.



شکل ۳- نمودار HD Envelope مربوط به سر غیر درگیر الکتروموتور MP-1106B



شکل ۴- نمودار شتاب ارتعاشات سر غیردرگیر الکتروموتور MP-1106B



شکل ۵- بیرینگ آسیب دیده مربوط به سر غیر درگیر الکتروموتور MP-1106B

۵-۲- تشخیص ضعف ساختاری الکتروموتور

در برخی از تجهیزات به دلیل ساختار تجهیز و شیوه نصب تجهیز به فونداسیون، حرکات و نیروهای الکتروموتور و تجهیز گردنده به خوبی مهار نمی‌شود.

در ارتعاش سنجی از این تجهیزات مقدار ارتعاشات در فرکانس یک برابر دور دارای پیک است مقدار این پیک بیش از حد مجاز است. تصویری از الکتروموتوری که به صورت عمودی نصب شده است در شکل زیر آورده شده است.



شکل ۶ - الکتروموتور MP-1910 که به صورت عمودی نصب شده است.

در موردی دیگر نیز الکتروموتور به صورت افقی تنها از سمت درگیر به گیربکس متصل است و پایه دیگری که متصل به فونداسیون باشد ندارد. در اینجا نیز به دلیل ضعف ساختاری وجود مقادیر غیرمجاز ارتعاش در قسمت غیر درگیر طبیعی به نظر می‌رسد.



شکل ۷- الکتروموتور MP-1905

در هر دو مورد برای تقویت ساختار تجهیز و کاهش ارتعاش پیشنهادها ارائه شد.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق در مورد راه‌اندازی الکتروموتورها و اقدامات لازم برای بهره‌برداری مطمئن و طولانی مدت از تجهیز بحث شد. در ادامه تکنیک‌های پایش وضعیت الکتروموتور برای راه‌اندازی اولیه بررسی شدند. همانطور که مشاهده گردید چنانچه عیوب احتمالی تجهیز پیش از بهره‌برداری نهایی شناسایی و برطرف شوند، هزینه‌های تعمیراتی و توقف‌های ناگهانی کمتر خواهد شد. بنابراین به هر میزان که پایش وضعیت در شروع راه‌اندازی کامل‌تر باشد و تکنیک‌های متنوع‌تری استفاده شود، هزینه‌ها نیز کاهش خواهد یافت. در همین راستا چند نمونه از تجربه‌های راه‌اندازی الکتروموتور بررسی شد.

یاتاقان‌ها یکی از مهم‌ترین قسمت‌های هر الکتروموتوری هستند. بیرینگ‌های غلتشی در الکتروموتورها چنانچه به مدت طولانی در سرویس نباشند و نگهداری از آنها به شیوه مناسبی صورت نگیرد، پیش از راه‌اندازی دچار آسیب می‌شوند. به گفته شرکت SKF بیش از نیمی از بیرینگ‌ها به دلیل نصب و

نگهداری نامناسب پیش از راه‌اندازی، به عمر طراحی خود نمی‌رسند. این امر می‌تواند موضوع تحقیقات گسترده‌تر در مقالات آینده باشد.

۷- مراجع

- [1] IEC 60034 (all parts) 9, *Rotating electrical machines*
- [2] IEEE 112, *IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*
- [3] API STANDARD 541, *Form-wound Squirrel Cage Induction Motors—375 kW (500 Horsepower) and Larger*
- [4] BS ISO 10816-3 *Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts*
- [5] *How To Implement An Effective Condition Monitoring Program Using Vibration Analysis*, Technical Associates Of Charlotte, P.C.
- [6] *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance BEng (Mech. Eng)*, Girdhar and Associates
- [7] *Oil Analysis Basics, second edition revised and updated 2010*
- [8] SKF *Rolling bearings and seals in electric motors and generators, A handbook for the industrial designer and end-user*