# عیب یابی الکتروپمپهای سانتریفوژ ایستگاه پمپاژ آب شهر یاسوج با تکنیک آنالیز ارتعاشات

**سلمان جمال فرد،مسئول واحد نت(PM) شرکت آبفا شهری استان کهگیلویه و بویراحمد**

**Salman_jamal61@yahoo.com**

## چکیده:

بهترین راه نگهداری از ماشین آلات دوار ،کشف عیب و ارزیابی آنها در حین کار است تا از توقفات ناخواسته و هزینه های ناشی از آن جلوگیری شود. انتخاب روش مناسب نگهداری و تعمیرات از یکسو باعث پایین آوردن هزینه و از سوی دیگر باعث بالا بردن ایمنی و بازده کاری سیستم می‌گردد. در زمینه عیوب مکانیکی موجود در الکتروموتورها و پمپ‌ها مناسب‌ترین روشی که در صنایع بکار گرفته می‌شود روش آنالیز ارتعاشات است زیرا اولاً کارکردن با این روش بسیار ساده‌تر از مابقی روش‌ها است و از سوی دیگر این روش بارها مورد بررسی قرار گرفته و در صنایع مختلف بکار گرفته شده است.ارتعاشات بیانگر کارکرد ماشین و شرایط قطعات داخلی آن است.با توجه به اینکه هر عیب در ماشین آلات دوار،تأثیر مشخصی بر ارتعاشات آن ماشین دارد،این روش،روش بسیار قدرتمندی است و کارآیی آن مرهون رشد نرم افزاری و سخت افزاری پردازشگرهای سیگنالها می باشد. در این تحقیق ابتدا توسط دستگاه پرتابل STD500 در۴ مرحله از الکتروپمپهای شماره ۱ و ۲ ایستگاه پمپاژ یاسوج داده برداری و عملیات ترموگرافی انجام شد.سپس در محیط نرم افزار Vibro Disigner و با تکنیک تبدیل فوریه سریع(FFT) به تحلیل داده ها و سیگنالهای حاصل در محیط نرم افزار و عکسهای حاصل از ترموگرافی پرداخته شد و به کمک این تحلیلها عیوب موجود در مجموعه الکتروپمپها کشف گردید.

**واژه های کلیدی:تحلیل عیب،آنالیز ارتعاشات،روش FFT،روش EMD و آنالیز انولوپ**

## مقدمه

به منظور کاهش هزینه نگهداری و تعمیرات که می‌تواند منجر به کاهش عمده در کل هزینه‌ها و افزایش قابلیت اعتماد گردد، روش های نگهداری به طور پیوسته در حال تغییر و تحول بوده‌اند. هدف عمده از تغییرات ایجاد شده در روش‌های قبلی، کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیر، کاهش تعداد دفعات توقف دستگاهها (افزایش دسترسی پذیری به دستگاهها[1]) و مشخص کردن و رفع دلیل اصلی ایجاد عیوب در ماشین آلات بوده است. هر یک از این شیوه‌ها دارای مزایا و معایبی است که سبب بهبود یا تضعیف عملکرد کل سیستم می‌شود. به همین خاطر روش‌های ضعیف به تدریج از صحنه رقابت تنگاتنگ صنعتی کنار گذاشته شده و روش‌های پیشرفته با قابلیت‌های بیشتر جایگزین آنها می‌شوند. هر چند در بسیاری از بخشهای صنعت کشور ما هنوز روش‌های قدیمی تعمیر و نگهداری بکار گرفته می‌شود، اما برای دستیابی به توسعه پایدار صنعتی بکارگیری روشهای پیشرفته امری ضروری می‌باشد.

در دهه۱۹۷۰،بتدریج نگهداری پیشگیرانه پاسخگوی نیازهای صنایع نبود و هزینه نگهداری با توجه به گسترش اتوماسیون در صنعت، بسیار افزایش یافته بود. همچنین بتدریج قابلیت اطمینان[2] به یک مسأله مهم در صنعت تبدیل می‌شد. از طرفی در نگهداری پیشگیرانه از عمر مفید بسیاری از اجزا،حداکثر استفاده به عمل نمی‌آمد. بنابراین بتدریج برای مشخص کردن زمان تعمیر و تعویض بجای استفاده از معیار عمر، معیارهای دیگری از جمله وضعیت کارکرد ماشین مورد توجه قرار گرفتند و نسل سوم از روش‌های نگهداری موسوم به نگهداری پیش‌بینانه یا مبتنی بر وضعیت ایجاد گردید.

برای اطمینان از کارکرد مناسب مجموعه آب و فاضلاب، یک یا تعدادی از پارامترهای عملکردی مجموعه در نقاط مختلف بر اساس تکنیک های وضعیت سنجی (Condition Monitoring) اندازه‌گیری شده و بررسی می‌گردد. برای هر پارامتر و در مورد هر قسمت، یک محدوده مجاز[3] و یک حد هشدار[4] تعیین می‌شود. در مورد اکثر انواع ماشین‌ها و پمپ‌ها برای بسیاری از پارامترها، این مقادیر در استانداردها و یا توسط سازندگان مشخص شده‌اند. این مقادیر حدی نشان دهنده آن هستند که چه زمانی خرابی قطعه قریب‌الوقوع بوده و عملیات تعمیر یا تعویض مورد نیاز است. به این ترتیب قطعات مکانیکی، لوله‌ها و اتصالات فقط زمانی که لازم است تحت تعمیر قرار می‌گیرد. بنابراین در هزینه و زمان تعمیرات و لوازم یدکی صرفه جویی شده و دسترسی پذیری ماشین و تأسیسات افزایش می‌یابد.[۱]

---

[1] Machine Availability
[2] Reliability
[3] Permissible Range
[4] Alarm Limit

# آنالیز ارتعاشات

ارتعاش عموماً جزئی جدانشدنی از یک ماشین است که در مکانیزم‌های انتقال نیرو به اجبار ایجاد می‌شود. یک ماشین نو با طراحی خوب دارای حداقل دامنه ارتعاش است. این ارتعاش، اشکالی در ماشین به‌وجود نخواهد آورد. اما با استهلاک ماشین، اجزای آن بتدریج ساییده شده و لقی‌های آن افزایش می‌یابد. درنتیجه تغییر شکل اجزا زیاد شده و فونداسیون ماشین نشست پیدا می‌کند و بطور کلی رفتار دینامیکی ماشین تغییر می‌یابد. این تغییر رفتار باعث ایجاد نیروهای ارتعاشی نامطلوب در سیستم شده و علاوه بر اعمال بار بیش از حد به اجزای مختلف، عامل اتلاف انرژی نیز می‌گردد. این نیروهای ارتعاشی به نوبه خود باعث تشدید استهلاک ماشین شده و خراب شدن ماشین را سرعت می‌بخشند.

یک حرکت ارتعاشی با سه مشخصه دامنه، فرکانس و فاز شناخته می‌شود. دامنه، نشان دهنده اندازه بزرگی سیگنال ارتعاشی است. در مورد ارتعاشات ناشی از عیوب مکانیکی مربوط به یک ماشین، دامنه ارتعاشات، شدت عیب ماشین را نشان می‌دهد. یعنی هرچه دامنه بزرگتر باشد، ارتعاشات دستگاه بیشتر است و درنتیجه مسأله حادتر است. دامنه ارتعاشات به نوع ماشین بستگی داشته و همیشه با دامنه ارتعاشات یک ماشین مشابه نو و سالم مقایسه می‌گردد. محدوده‌های مجاز ارتعاشات برای ماشین‌ها و شرایط کارکرد مختلف نیز در استانداردها و یا توسط سازندگان مشخص شده‌اند.

در تکنیک آنالیز ارتعاشات، میزان ارتعاشات ماشین، با استفاده از سنسورهای مخصوص اندازه‌گیری می‌شود. به این منظور می‌توان یکی از پارامترهای جابجایی، سرعت و یا شتاب ارتعاشات را اندازه‌گیری کرد.تصمیم‌گیری در انتخاب پارامتر اندازه‌گیری بایستی با دقت و با توجه به شرایط کاری ماشین و اهداف اندازه‌گیری انجام شود.

همانگونه که بیان گردید، دامنه ارتعاشات یک ماشین، معیاری از وضعیت سلامت آن می‌باشد. از طرفی ارتعاش پایداری زیادی داشته و تأثیرپذیری کمی از عوامل محیطی دارد و به این علت می‌تواند یک پارامتر مناسب برای تکنیک CM باشد. علاوه بر این، آنالیز ارتعاشات می‌تواند به منظور عیب‌یابی در ماشین‌ها مورد استفاده قرار گیرد. اکثر مشکلات مکانیکی ماشین‌های دوار، به صورت علائم ارتعاشی و یا تغییر در مشخصه‌های ارتعاشی سیستم ظاهر می‌گردد. از طرف دیگر هر عیب یا مشکل مکانیکی، علائم ارتعاشی مخصوص به خود ایجاد می‌کند. به این ترتیب می‌توان با تحلیل ارتعاشات ماشین، به مشکلات و عیوب آن پی برد. عیوب عمده‌ای که در ماشین‌آلات مشاهده می‌گردند و علائم ارتعاشی ایجاد می‌کنند، عبارتند از: نامیزانی[۵]، عدم هم‌محوری[۶]، خمیدگی شفت[۷]، خروج از مرکز[۸]، لقی مکانیکی[۹]، سایش روتور[۱۰]، ترک شفت[۱۱]، مشکلات یاتاقان‌های ژورنال، معایب یاتاقان‌های غلتشی، کاویتاسیون و مسائل مربوط به جعبه‌دنده‌ها. با توجه به این توضیحات مشاهده می‌شود که از این روش می‌توان برای پایش وضیت ماشین آلات بکار رفته در تأسیسات از قبیل پمپ‌ها و... استفاده کرد.

تجزیه یک سیگنال ارتعاشی به امواج سینوسی سازنده آن توسط تبدیل فوریه انجام می‌شود. این کار توسط دستگاهی بنام FFT[۱۲] Analyzer و یا توسط بسته‌های نرم افزاری مخصوص انجام می‌شود.

مراحل انجام کار به این صورت است که ابتدا سیگنال دریافتی از طریق ترانسدیوسرها، توسط آمپلی‌فایر تقویت می‌شود و سپس از یک فیلتر ضدانعکاس[۱۳] عبور داده می‌شود و بعد توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال، بصورت دیجیتال نمونه برداری می‌شود. در این حالت می‌توان نمودار دامنه بر حسب زمان را ترسیم نمود.

برای ترسیم نمودار دامنه بر حسب فرکانس، معمولاً داده‌ها از یک تابع Window عبور داده می‌شوند (برای کاهش خطا)، بدین صورت که مقادیر ورودی‌ها، در یک ضریب (که این ضریب از توابع مختلفی محاسبه می‌شود) ضرب می‌شود، و سپس از آنها تبدیل فوریه (FFT) گرفته می‌شود.

برای محاسبه دقیق حالت پایدار لازم است که عمل میانگین‌گیری نیز انجام شود که این کار را می‌توان هم قبل از مرحله FFT انجام داد و هم بعد از آن، ولی بهتر است که میانگین‌گیری بعد از FFT و در حوزه زمان انجام شود. در این مرحله می‌توان داده‌های ارتعاشی در حوزهٔ فرکانس را به صورت‌های مختلف نمایش داد تا در مرحلهٔ آنالیز و عیب‌یابی مفیدتر واقع شوند.

---

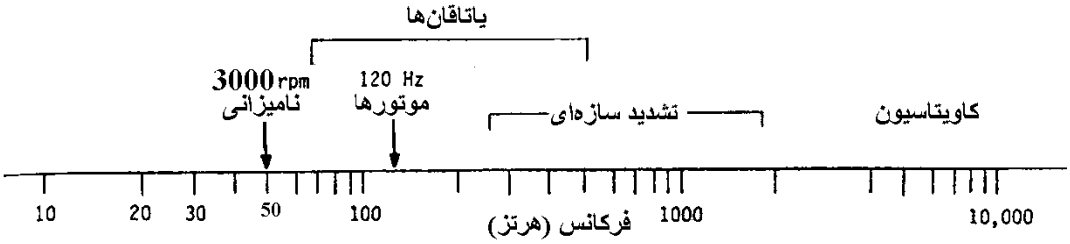
[5] Unbalance (Imbalance)
[6] Misalignment
[7] Shaft Bending
[8] Eccentricity
[9] Mechanical Looseness
[10] Rotor Rub
[11] Shaft Crack
[12] Fast Fourier Transformation
[13] Anti Aliasing Filter

## اندازه‌گیری ارتعاشات

انسانها نسبت به ارتعاشات حساسیت دارند و آنرا درک می‌کنند. زمانی‌که هیچگونه وسیله‌ای برای اندازه‌گیری ارتعاشات وجود نداشت، تمام تحلیل ارتعاشات توسط حس شنوایی و لامسه انسان انجام می‌گرفت. البته این روش هنوز هم، در جاهایی‌که به وسایل اندازه‌گیری دسترسی ندارند، استفاده می‌شود.

اما از این طریق نمی‌توان خیلی از پارامترها را اندازه‌گیری کرد. همچنین در مورد بعضی از پارامترها، با وجود اینکه انسان می‌تواند آنها را حس کند، اما به علت خطراتی که ممکن است برای انسان داشته باشد، بهتر است از وسایل اندازه‌گیری استفاده شود. همچنین اندازه‌گیری توسط انسان نسبی و تقریبی می‌باشد، مثلاً ممکن است کمیتی از جانب یک شخص مورد قبول واقع شود ولی توسط شخصی دیگر غیر قابل قبول شناخته شود.

شکل (۱) موقعیت فرکانسی تقریبی ارتعاشات متداول مکانیکی را در طیف فرکانسی نشان می‌دهد. این طیف فرکانسی تا ۱۰ کیلو هرتز ترسیم شده است، زیرا فرکانس ارتعاشات در ماشین‌آلات به ندرت از ۱۰ کیلو هرتز تجاوز می‌کند. مثلاً توربین‌هایی که با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه کار می‌کنند، معمولاً ارتعاشاتی در فرکانس ۵۰ هرتز تولید می‌کنند که این فرکانس به سختی برای انسان قابل شنیدن است ولی بوسیله ترانسدیوسرهای ارتعاشی قابل اندازه‌گیری دقیق می‌باشد.




**شکل ۱- موقعیت تقریبی عیوب ارتعاشی متداول ماشین‌های دوار در طیف فرکانسی [11]**

در اندازه‌گیری پارامترهای ارتعاشی، انتخاب وسایل مناسب از لحاظ محدوده کاربرد و محل نصب در جمع‌آوری صحیح اطلاعات ارتعاشی بسیار مهم می‌باشند. لذا در بخش‌های بعدی ابتدا ابزار اندازه‌گیری ارتعاشات یعنی ترانسدیوسرهای ارتعاشی و سپس محل اندازه‌گیری ارتعاشات بیان می‌گردد.[۱]

## روش تبدیل فوریه سریع(FFT)[۱۴]

امروزه تقسیم کردن سیگنالهای ارتعاشی پیچیده به مولفه های هارمونیک با استفاده از روش FFT انجام می گردد. مبانی اساسی برای تبدیل فوریه سریع برای نخستین بار توسط فوریه ،ریاضی دان فرانسوی در سال ۱۸۲۲ بنیاد نهاده شد . او نشان داد که هر موج متناوب می تواند به یک گروه از ارتعاشات هارمونیک با دامنه و فاز مستقل تجزیه گردد .[۲]

بعد از این طولی نکشید که انتگرال فوریه ابداع شد که امروزه هنوز هم اصول اساسی برای تبدیل سیگنالها از حوزه زمانی به حوزه فرکانسی را نشان می دهد .

$$Fx(t)=\int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-jwt}dt$$ (۲-۱)انتگرال فوریه

[14] Fast Fourier Transform

الگوریتمها و روشهای تبدیل کامپیوتری که در آنالایزرهای فوریه سریع استفاده می شوند ، از سال ۱۹۶۵ گسترش یافته و امروزه اساس همه آنالایزرهای پیشرفته را تشکیل می دهند .

در تبدیل فوریه سریع ،بخش کوچکی از موج زمانی که پنجره زمانی نامیده می شود،انتخاب شده، طیف فرکانسی با استفاده از الگوریتم فوریه سریع محاسبه می گردد.

در طول این فرآیند فرض می شود که سیگنال داخل این پنجره زمانی ، سیگنال پیوسته متناوب است یعنی در طول زمان مرتباً تکرار می گردد . با توجه به ساختار و وضعیت سیگنال پنجره زمانی ، در لبه پنجره،اعوجاج خواهیم داشت که بصورت مولفه های ارتعاشی قابل رویت نشان داده خواهد شد .

این اعوجاج ها همواره زمانیکه تعداد تناوبهای سیگنال در داخل پنجره زمانی عدد کاملی نباشد روی می دهد . برای حذف این اعوجاج ها، پنجره زمانی در یک تابع پنجره ای ضرب می شود .

بعد از بازسازی سیگنال توسط کامپیوتر ،همه این اعوجاج ها حذف می شوند . روشن است که این عمل سیگنال ارتعاشی را مخدوش می سازد . برای اصلاح این نقص و حفظ مقادیر واقعی دامنه ، بعد از تبدیل ، نتایج را در یک ضریب تصحیح ضرب می کنند .

روش تبدیل فوریه با وجود کارآیی،دارای نقاط ضعف می باشد . از جمله اینکه این روش با فرض یکسان بودن دامنه و فرکانس در طول زمان دیتا برداری عمل می کند در حالی که در عمل چنین فرضی صادق نمی باشد .

سیگنال مورد بررسی می تواند شامل امواج متغیر با زمان و نیز توابع ضربه باشد . در این حالت تبدیل فوریه با همان فرض سیگنال متناوب عمل کرده ،دقت پاسخ پایین می آید .

## روش تبدیل فوریه زمان کوتاه(SFFT)[۱۵]

دنیس گیبور برای از بین بردن ضعف های تبدیل فوریه در توصیف سیگنال های غیر پایا و گذرا ، تکنیک تبدیل فوریه زمان کوتاه را بر مبنای تبدیل فوریه معرفی کرد.دراین روش با استفاده از تکنیک تابع پنجره زمانی متحرک با اندازه ثابت زمانی سیگنال به قسمت های کوچک مجزا تقسیم می شود و با اعمال تبدیل فوریه مجزا بر روی هر کدام از قسمت ها ،محتوا ی فرکانسی سیگنال در بازه های زمانی مختلف به دست می آید. شکل (۲) نمایش چگونگی اعمال بر روی سیگنال را نمایش می دهد .

با ترسیم اطلاعات به دست آمده از سیگنال بر روی یک نمودار رنگی دو بعدی که X آن بیانگر زمان و محور Y بیانگر فرکانس و تیرگی رنگ هر نقطه بیانگر دامنه ارتعاش است .

اطلاعات زمانی و فرکانسی به طور همزمان در حوزه زمان و فرکانس نمایش داده می شود.

$$\mathrm{STFT}(\tau,\mathrm{w})=\int S(t).\,g(t-\tau).\,e^{-2\pi wt}\;dt \qquad (۲-۲)$$

S(t)سیگنالی است که باید آنالیز شود.

g(t) تابع پنجره ای برای انتخاب سیگنال می باشد ، این تابع در زمان کوتاه می باشد .

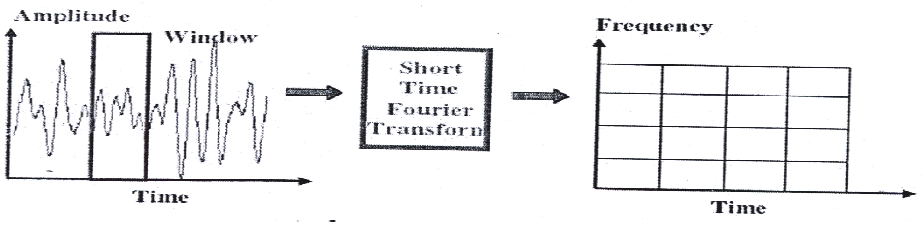
[15] Small Fast Fourier Transform

در واقع تبدیل S(t).g(t)به یک محل فرکانسی با مشخصات خود سیگنال است .انتخاب پنجره به گونه ای در نظر گرفته می شود که قسمت هایی از پنجره قبل را نیز شامل شود .

تابع پنجره در روی زمان های مختلف در طول سیگنال جابجا می شود و تبدیل فوریه اعمال شده محتوای فرکانسی سیگنال را در زمان های مختلف مشخص می کند . طول پنجره انتخابی تأثیر به سزایی دارد.اگر طول پنجره کوتاه باشد ، دقت در زمان بالا می رود ولی دقت نمایش فرکانس کاهش می یابد و بالعکس اگر طول پنجره زیاد باشد ،دقت در زمان کاهش یافته، دقت فرکانسی افزایش می یابد.در حقیقت برای تعیین عیب ، طول این پنجره مهم می باشد . ضعف این روش ثابت بودن رزولوشن زمانی و فرکانسی در طی فرآیند تحلیل است .

در STFT،g(t)تابعی است که بر خصوصیات فرکانس محلی تأکید می کند .

$$|STFT(n,w)|^2=\sum_{m=\infty}^{\infty} g_m(\mathrm{m})\left|\sum_{k=-\infty}^{\infty} h_n(k)S(n+k+m)e^{-j(2\pi w)^k}\right|^2$$




**شکل۲- تبدیل فوریه زمان کوتاه**

## تعیین مکان خرابی با استفاده از طیف فرکانسی

بهترین ابزار برای تعیین محل خرابی، طیف فرکانسی سیگنال ارتعاشی است. در صورت ایجاد خرابی در اجزاء یاتاقان‌های غلتشی پیک‌هایی در این طیف مشاهده می‌شود که از روی فرکانس پیک می‌توان به محل وقوع خرابی پی برد. همانطور که پیش از این بیان شد، در یاتاقان‌های غلتشی، فرکانس‌هایی به عنوان فرکانس‌های مشخصه خرابی وجود دارند که بوسیله آنها، مکان وقوع خرابی مشخص می‌گردد. در صورتیکه خرابی در قسمتی از یاتاقان غلتشی ایجاد گردد، در طیف فرکانسی در فرکانس مشخصه مربوط به آن یک پیک مشاهده خواهد شد. برخی از این فرکانس‌ها عبارتند از[۳ ]:

- فرکانس عبور ساچمه از رینگ خارجی (BPFO)، برای خرابی موجود در رینگ خارجی

$$f_{BPFO}(Hz)=\frac{n}{2}f_r\left(1-\frac{BD}{PD}\cos\beta\right)$$

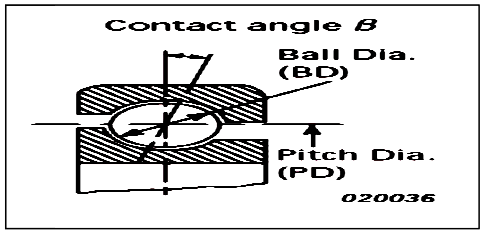
- فرکانس عبور ساچمه از رینگ داخلی (BPFI)، برای خرابی

$$f_{BPFI}(Hz)=\frac{n}{2}f_r\left(1+\frac{BD}{PD}\cos\beta\right)$$

• فرکانس عیب ساچمه (BFF) موجود در رینگ داخلی

$$f_{BFF}(Hz) = \frac{PD}{BD} f_r \left(1 - \left(\frac{BD}{PD}\cos\beta\right)^2\right)$$

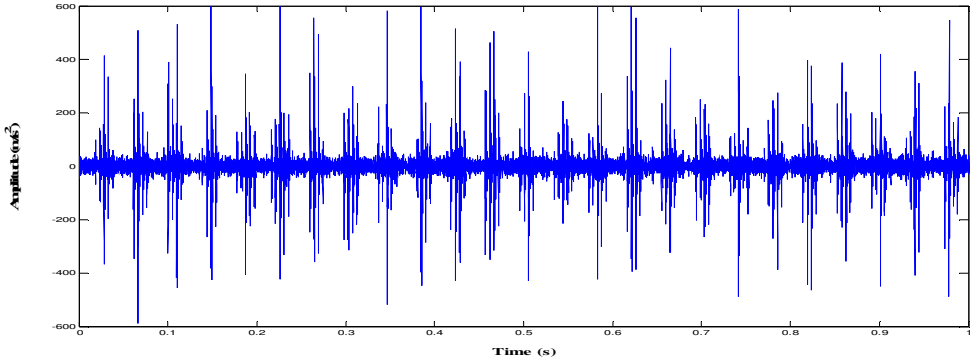
در این روابط n تعداد ساچمه‌های یاتاقان، $f_r$ فرکانس چرخش رینگ داخلی نسبت به رینگ خارجی، BD قطر ساچمه، PD قطر دایره گام و $\beta$ زاویه تماس می‌باشد. این پارامترها در شکل(۳) نشان داده شده است.



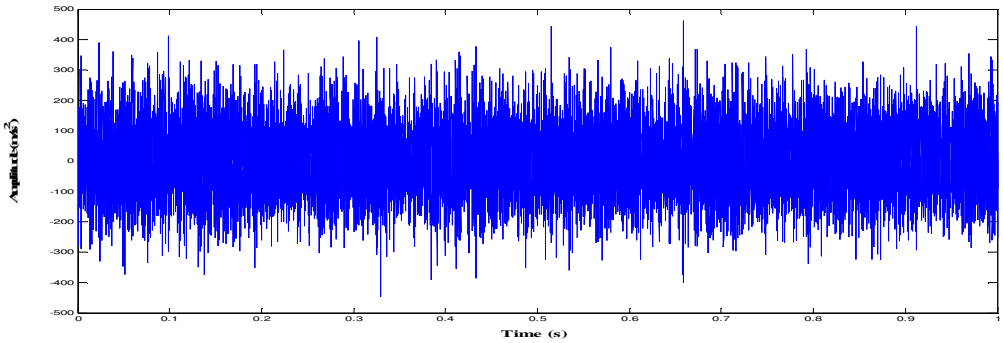

**شکل۳- پارامترهای مربوط به محاسبه فرکانس‌های مشخصه‌خرابی**

## تعیین مکان خرابی با استفاده از سیگنال زمانی

علاوه بر طیف فرکانسی، می‌توان از سیگنال زمانی برای تعیین محل خرابی استفاده کرد، چون سیگنال‌های زمانی حاصل از خرابی‌های رینگ داخلی و خارجی از نظر ظاهری متفاوت هستند. سیگنال‌های زمانی مربوط به خرابی‌های رینگ داخلی و خارجی به ترتیب در اشکال (۴) و(۵) نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، این سیگنال‌ها از نظر ظاهری تفاوت عمده دارند که این مسئله به چگونگی تحت بار قرار گرفتن ناحیه خرابی مربوط می‌شود. در خرابی رینگ داخلی با گردش شفت، رینگ داخلی چرخش داشته و ناحیه خرابی بطور متناوب تحت بار قرار می‌گیرد. با هر بار عبور ساچمه‌ها از روی ناحیه خرابی، یک سری سیگنال ضربه‌ای ایجاد می‌شود و در طول یک سیگنال زمانی این سیگنال‌ها تکرار می‌شوند. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، در قسمت‌هایی از سیگنال زمانی دامنه سیگنال افزایش یافته و در قسمت‌هایی دیگر شاهد کاهش دامنه هستیم. افزایش دامنه سیگنال مربوط به زمانی است که ناحیه خرابی تحت بار است و ساچمه‌ها از روی این ناحیه عبور کرده و سیگنال‌های ضربه‌ای با دامنه زیاد را تولید می‌کنند. در یاتاقان غلتشی با خرابی در رینگ خارجی ناحیه خرابی به علت عدم چرخش رینگ خارجی، ساکن بوده و همواره ساچمه‌ها از روی آن عبور می‌کنند. بنابراین در کل سیگنال زمانی شاهد وجود سیگنال‌های ضربه‌ای با دامنه زیاد خواهیم بود. با افزایش مساحت ناحیه خرابی، مدت زمان عبور ساچمه‌ها از روی این ناحیه بیشتر شده و بدین ترتیب مدت دوام آنها و دامنه آن‌ها افزایش می‌یابد. با توجه به مطالب بیان‌شده به علت نوع و شرایط بارگذاری بر روی ناحیه خرابی در رینگ‌های داخلی و خارجی، نمود ظاهری آن‌ها متفاوت بوده و می‌توان از سیگنال زمانی حاصل برای تعیین مکان وقوع خرابی استفاده کرد.




**شکل ۴- سیگنال زمانی مربوط به یاتاقان غلتشی با خرابی در رینگ داخلی**




**شکل ۵- سیگنال زمانی مربوط به یاتاقان غلتشی با خرابی در رینگ خارجی**

با این وجود بهترین روش برای تعیین محل خرابی، طیف فرکانسی و تشخیص فرکانس‌های مشخصه خرابی در آن است، چون ممکن است دو یا چند خرابی در یک زمان در یاتاقان غلتشی وجود داشته باشد و این امر تشخیص محل خرابی را از روی سیگنال زمانی ارتعاشات دشوار سازد.

پیش از تصمیم‌گیری برای انجام عمل پایش ماشین‌آلات و نیز انتخاب روش مانیتورینگ می‌بایست با استفاده از آمار به دست آمده از خرابی‌های اخیر قسمت‌های حیاتی تأسیسات شناسایی شده و برای پایش وضعیت آن اقدام کرد. در این فصل ابتدا تجهیزات را از دیدگاه مکانیکی و الکتریکی دسته‌بندی می‌کنیم و سپس بر اساس آمار به دست آمده تجهیزاتی را که دارای خرابی بیشتر بوده انتخاب کرده تا در فصول بعد به بررسی روش‌های پایش وضعیت و امکان بکارگیری این روش پرداخته شود. در این فصل با استفاده از آمار به دست آمده از تأسیسات آب و فاضلاب کهگیلویه و بویراحمد ابتدا تأسیساتی را که دچار بیشترین خرابی شده را شناسایی کرده و روش‌هایی برای مانیتورینگ این تأسیسات پیشنهاد داده می‌شود.

## ایستگاه پمپاژ یاسوج

در شکل (۶) تصویر الکتروپمپ و در جدول (۱) مشخصات ایستگاه پمپاژ یاسوج نشان داده شده است.

**شکل۶- نمایی از الکتروپمپ ایستگاه پمپاژ یاسوج**

جدول ۱- مشخصات ایستگاه پمپاژ امام سجاد(ع) یاسوج

| ردیف | عنوان الکترو پمپ | مشخصات الکتروپمپ | | | | مشخصات بیرینگ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | توان (Kw) | سازنده | | پمپ | الکتروموتور | | پمپ | |
| | | | موتور | پمپ | مدل بیرینگها | | مدل بیرینگها | | |
| | | | | | سمت جلوی موتور | سمت عقب موتور | سمت جلوی پمپ | سمت عقب پمپ |
| ۱ | الکتروپمپ شماره ۱ | ۵۵۰ | EM | پمپیران | ۶۳۲۲ | ۶۳۲۴ | Nu ۳۲۱ | ۳۱۳۱۹ |
| ۲ | الکتروپمپ شماره ۲ | ۵۵۰ | EM | پمپیران | ۶۳۲۲ | ۶۳۲۴ | Nu ۳۲۱ | ۳۱۳۱۹ |

# تحلیل عملی روش FFT در ایستگاه پمپاژ یاسوج

در این بخش ابتدا به بررسی اجرای روش FFT به همراه آنالیز ترموگرافی در الکتروپمپهای شماره ۱ و ۲ ایستگاه پمپاژ یاسوج می پردازیم .

# اجرای روش FFT و آنالیز ترموگرافی

## الف) دستگاه جمع آوری داده ها

در این تحقیق به کمک دستگاه پرتابل STD500 و به روش Offline داده برداری انجام شده است.(شکل ۷ )این دستگاه یک دستگاه ارتعاش سنج قلمی می باشد که علاوه بر اندازه گیری مقدار کلی ارتعاشات،طیف فرکانسی(FFT)را نمایش داده و قابلیت تعریف Route دارد. این دستگاه با قابلیت های مذکور برای اولین بار در این سطح از دستگاههای اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات ساخته شده است. قیمت مناسب و کارآیی بالای این دستگاه به همراه ۱۰ ساعت کارکرد مداوم و وزن کم آن سبب شده است تا استقبال فراوانی از این دستگاه، در صنایع کوچک و بزرگ به عمل آید.

شکل ۷- دستگاه STD500

در شکل( ۳-۲۴)نحوه قرار گرفتن دستگاه حین داده برداری و تعدادی از صفحات این دیتاکالکتور نمایش داده شده است.

## ج) روش انجام کار

ابتدا با اتصال دستگاه STD500 به نرم افزار یکسری Route در دستگاه جهت داده برداری از ماشینهای مشخص تعریف می نماییم. Route ها در واقع معرفی شناسنامه کامل یک ماشین به دستگاه هستند. البته می توانیم بدون ساختن Route و به کمک خود دستگاه نیز عملیات داده برداری را انجام داد. اما از آنجا که می خواهیم در چند مرحله زمانی مشخص و برای یک ماشین داده برداری نماییم پس لازم است که تعریف مشخصی از ماشین و ثبت منظم داده ای داشته باشیم که این عمل به کمک ساختن Route برای ماشین امکانپذیر است. سپس به کمک دستگاه STD500 از محلهای مورد نظر در الکتروپمپها داده برداری انجام می گیرد. این محلها هوزینگ بیرینگها می باشد،چراکه هم امکان دسترسی به آنها ساده تر است و هم معمولا سیگنالهای مناسبتری از آنجا دریافت می شود. باید دقت شود که این محلها علامت گذاری شوند تا در داده برداریهای متعددی که قرار است برای مطالعه رفتار ارتعاشی ماشین در دوره های زمانی مشخص انجام گیرد،یک نقطه مشخص جهت مطالعه و نتایج دقیق تر مورد استفاده قرار گیرد. داده برداری در نقاط مشخص باید در سه جهت محوری،افقی و عمودی انجام گیرد. در هر سه حالت باید دستگاه داده برداری در آن جهت کاملا عمود بر

نقطه مورد نظر باشد و دستگاه کمی به محل مورد نظر جهت تماس مطمئن،فشار داده شود. حال به کمک دکمه های دستگاه و با وارد شدن به Route هایی که قبلا با نرم افزار ساخته ایم شروع به داده برداری از الکتروپمپها می نماییم. پس از عملیات داده برداری دستگاه را به نرم افزار متصل نموده و به روشهای مختلف که در قسمت معرفی نرم افزار بیان گردید(نظیر نمایش طیف فرکانسی یا نمایش Trend) شروع به تحلیل می نماییم.

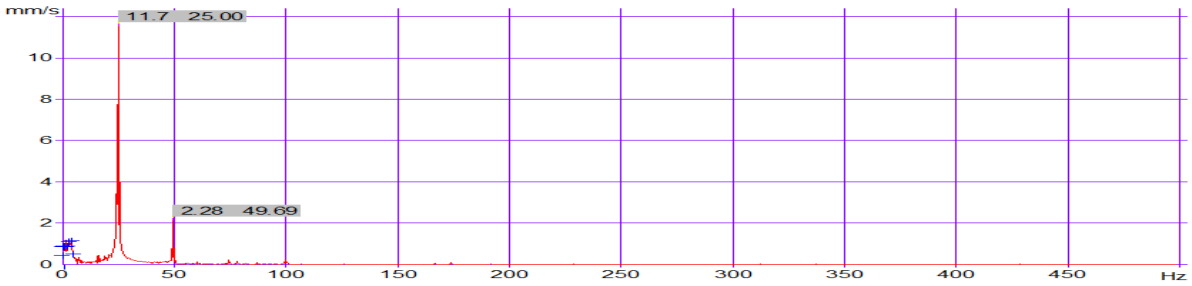
در این تحقیق ما از روشهای نمایش طیف فرکانسی سیگنالهای ارتعاشی و مقایسه با استاندارد ارتعاش الکتروپمپها و همچنین نمایش Trend الکتروپمپها برای بررسی عیوب احتمالی در مجموعه الکتروپمپها استفاده نموده ایم.

## استفاده از استانداردها

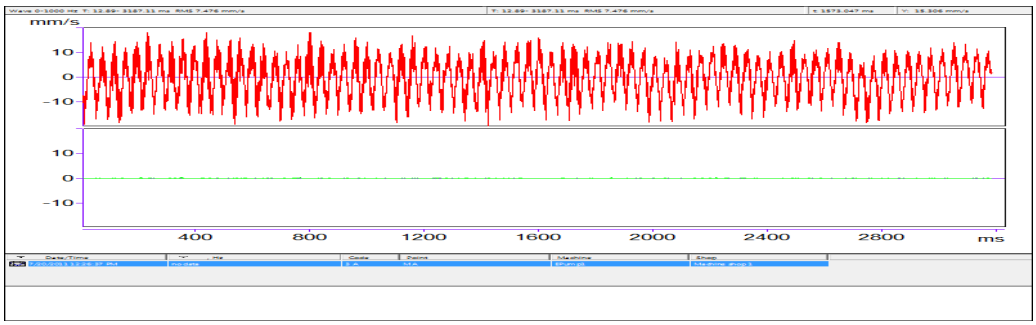
در این تحقیق از استانداردهای ISO2372 و ISO10816-3 جهت تحلیل وضعیت ماشین استفاده شده است. این استانداردها تفاوت چندانی با هم ندارند. خلاصه ای از استاندارد ISO10816-3 نیز در جدول (۲) آورده شده است. در این مرحله میزان ارتعاش الکتروپمپها با استاندارد مقایسه گردیده و وضعیت آنها مشخص می گردد و سپس به کمک آنالیز طیف فرکانسی و نمایش Trend آن،نوع عیب الکتروپمپ بیان می گردد.[۴]

**جدول ۲- استاندارد ISO10816-3**

| وضعیت ارتعاش | محدوده ارتعاش(mm/s) | وضعیت ماشین |
|---|---|---|
| A | $\leq 2.3$ | ارتعاش ماشین در سطح عادی می‌باشد. |
| B | 2.3-4.5 | ارتعاش ماشین در بعضی نقاط، از حد توصیه شده استاندارد فراتر رفته و یا تغییر زیادی داشته است. با این حال، ماشین قادر به ادامه کارکرد بدون نیاز به اقدام اصلاحی (ولی تحت مراقبت بیشتر) می‌باشد. |
| C | 4.5-7.1 | شدت ارتعاش به‌حدی است که برای کارکرد طولانی‌مدت ماشین، مضر است و باید در اولین فرصت ممکن، اقدام اصلاحی انجام پذیرد. |
| D | 7.1 به بالا | شدت ارتعاش به‌حدی است که امکان آسیب‌دیدن ماشین وجود دارد و لذا باید از ادامه کار ماشین، تا برطرف شدن مشکل جلوگیری گردد. |




**شکل ۱۶- طیف فرکانسی ارتعاشات الکترو پمپ شماره ۱ Motor-NDE-H در شهر یاسوج**




**شکل ۱۷- نمودار سیگنال زمانی از الکتروپمپ شماره ی ۱ یاسوج**

**جدول ۴- عیوب کلی تشخیص داده شده در ایستگاه پمپاژ یاسوج**

| ردیف | عیب موجود | روش تشخیص عیب | علل عیب |
|---|---|---|---|
| ۱ | شکستگی بیرینگها | آنالیز ارتعاشات، آنالیز ترموگرافی | عدم روانکاری مناسب و به موقع،عدم همراستایی پمپ و موتور، تراز نبودن الکتروپمپ،فونداسیون نامناسب الکتروپمپ |
| ۲ | خمیدگی در شفت | آنالیز ارتعاشات | عدم همراستایی پمپ و موتور، ،فونداسیون نامناسب الکتروپمپ، نصب نامناسب توسط بهره بردار |
| ۳ | وجود لقی در پمپ | آنالیز ارتعاشات | نامیزانی الکتروپمپ،فونداسیون نامناسب الکتروپمپ |
| ۴ | خرابی آببندها | آنالیز ارتعاشات،آنالیز ترموگرافی | عدم همراستایی پمپ و الکتروموتور،نامیزانی الکتروپمپ،عدم رعایت شرایط مناسب بهره برداری |
| ۵ | ارتعاش زیاد مجموعه | آنالیز ارتعاشات | عدم همراستایی پمپ و موتور، ،فونداسیون نامناسب الکتروپمپ، نصب نامناسب توسط بهره بردار |
| ۶ | لقی استاتور | آنالیز ارتعاشات،آنالیز ترموگرافی | عدم همراستایی پمپ و موتور |

# نتیجه گیری

با دقت در موارد عمده مشاهده می‌شود که عیوب مشاهده شده در پمپ‌ها دارای پراکندگی بسیاری می‌باشند ولکن تمامی این عیوب دارای نشانه‌های یکسانی هستند که نشانه در واقع افزایش ارتعاشات در ساختار پمپ است. لذا با توجه به این نکته می‌توان این گونه نتیجه‌گیری نمود که آنالیز ارتعاشات می‌تواند روش مناسبی برای پایش وضعیت پمپ‌ها باشد.

پمپ‌ها به دلیل ساختار مکانیکی آنها دارای عیوبی از قبیل لقی، خمیدگی شفت یا عدم همراستایی هستند. لذا با توجه به توضیحاتی که پیش از این بیان شد بهترین روشی را که می‌توان به منظور پایش پمپ‌ها استفاده نمود روش آنالیز ارتعاشات است که روشی با قابلیت اعتماد بالا می‌باشد و برای پمپها استفاده از روش offline بدلیل توجیه اقتصادی مناسب توصیه می گردد.

در بررسی روشهای تحلیل ارتعاشات بیرینگها مشخص شد که عیوب پیشرفته توسط کلیه روشها امکان پذیر می باشد.

تکنیک های رایج بر مبنای تحلیل طیف فرکانسی ، با استفاده از تحلیل فوریه ، ابزار خوبی برای توصیف سیگنال های پایا است . ولی برخی از نقص های این روش ،استفاده از آن را در تحلیل سیگنال های غیر پایا مشکل و در برخی موارد غیر ممکن می سازد . عدم توانایی در تحلیل دقیق و توصیف یک سیگنال غیر متناوب ،مثل سیگنال گذار (ضربه) یکی از مشکلات این روش است.این امر به دلیل فرض متناوب بودن و نا متناهی بودن طول سیگنال در تعریف تبدیل فوریه است . نقش دیگر روش های طیف فرکانسی رایج ،عدم توانایی روشها در فراهم کردن و نمایش اطلاعات زمانی مربوط به فرکانس های مختلف سیگنال است . این امر ، وقتی که محتوای فرکانسی سیگنال با زمان تغییر کند ، به مشکل بزرگی تبدیل می شود . در چنین مواردی ، توانایی برقراری ارتباط بین محتوای زمانی و فرکانسی سیگنال، بسیار مهم خواهد بود.

تبدیل فوریه در مورد سیگنالهای ضربه مانند سیگنالهای فرکانس بالا با دامنه کم ،توانایی کمتری دارد.تشخیص عیوب کوچک و سطحی در حضور عیوب بزرگتری که در پمپ یا موتور حادث می گردد با توجه به تأثیرات زیادی که این عیوب در طیفهای ارتعاشی می گذارند،کاری بسیار دشوار و گاهی غیرممکن است.شلوغی طیفهای به دست آمده ،باعث پیچیده تر شدن این عیبها می گردد.

# فهرست مراجع


۱. مهدی بهزاد، حسام میرزایی رفسنجانی،علی رضا ابراهیمی،مصطفی محمدی، امکان سنجی بکارگیری روش نگهداری پیش بینانه در تأسیسات آب وفاضلاب کشور، اولین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین آلات، تهران،۱۳۸۷

۲. آ.عباسیان،۱۳۸۷،مقایسه روشهای عیب یابی در بیرینگها و چرخدنده ها،پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه آزاد واحد خمینی شهر

3.Davies, Alan, "Handbook of Condition Monitoring", First Edition, London: Chapman And Hall Press, 1998
4.Reliability-Centred Maintenance, an Introduction, www.aladon.com