

به عنوان متخصص آنالیز ارتعاشات و پایش وضعیت (Condition Monitoring)، برنامه عملیاتی کامل برای عیب‌یابی و سنجش ارتعاشات دستگاه شما به شرح زیر تنظیم گردیده است:

۱. اصلاح و استانداردسازی اطلاعات ورودی

در تحلیل ارتعاشات، تمام فرکانس‌ها بر اساس دور بر ثانیه (Hz) یا دور بر دقیقه (RPM) محاسبه می‌شوند:

$$\bullet \text{ سرعت دوران چرخ‌دنده محرک (N): } \text{OperatingSpeed} = \frac{\text{RPM}}{60}$$

• نکته: اگر سرعت دستگاه برابر با X دور بر ۱۰ دقیقه باشد، سرعت پایه (فرکانس X۱) برابر است با:

$$\bullet f_{X1} = \frac{X}{10 \times 60} = \frac{X}{600} \text{ Hz}$$

۲. نقاط نصب سنسورها (Sensor Placement Locations)

از شتاب‌سنج‌های مغناطیسی یا پیچ شونده (Accelerometers) روی بدنه ثابت یاتاقان‌ها (Non-rotating parts) استفاده کنید. نصب سنسور با دست (Handheld Probe) برای فرکانس‌های درگیری چرخ‌دنده به هیچ وجه توصیه نمی‌شود.

جهت‌گیری نقاط اندازه‌گیری:

برای هر پوسته یاتاقان (Bearing Housing)، سنسور باید در ۳ جهت قرار گیرد:

۱. افقی (H - Horizontal): حساس به عدم توازن (Unbalance) و لق زدن.
۲. عمودی (V - Vertical): حساس به نارسایی فونداسیون، پایه نرم (Soft Foot) و صلبیت ساختاری.
۳. محوری (A - Axial): حساس به عدم هم‌راستایی (Misalignment) و خمی شافت.

موقعیت‌های فیزیکی سنسور:

- موقعیت ۱: روی پوسته یاتاقان ورودی گیربکس / ورودی شافت چرخان (محرک).
- موقعیت ۲: روی پوسته یاتاقان خروجی / شافت متحرک.
- موقعیت ۳: نزدیک‌ترین نقطه بدنه گیربکس به منطقه درگیری چرخ‌دنده‌ها (Point Gear Mesh).

۳. تنظیمات دستگاه و بازه‌های فرکانسی (Frequency Ranges)

سیگنال‌های ارتعاشی باید در دو حوزه سرعت (Velocity) و شتاب (Acceleration) ثبت شوند:

- بازه فرکانسی پایین (F_{min} تا F_{max}):
 - بازه: 2 Hz تا 1,000 Hz (جهت ارزیابی کلی بر اساس ISO 10816 و عیوب مکانیکی پایه).
 - پارامتر: RMS Velocity (mm/s).
- بازه فرکانسی بالا (High Frequency - F_{max}):
 - بازه: حداقل $3.2 \times GMF$ (معمولاً 5,000 Hz یا 10,000 Hz).
 - پارامتر: Acceleration Peak/gRMS (m/s^2 یا g) جهت تشخیص عیوب درگیری چرخ‌دنده‌ها و یاتاقان‌ها.
- وضوح تصویر (Resolution): حداقل 1600 lines (ترجیحاً 3200 lines) برای تفکیک باندهای جانبی (Sidebands).

۴. فرکانس‌های خرابی پیش‌بینی‌شده برای چرخ‌دنده‌ها (Expected Fault Frequencies)

با داشتن تعداد دندانه چرخ‌دنده محرک (Z_1) و چرخ‌دنده متحرک (Z_2):

1. فرکانس درگیری چرخ‌دنده (**GMF - Gear Mesh Frequency**):

$$GMF = f_{x1} \times Z_1 = f_{x2} \times Z_2 \quad 2.$$

○ علامت عیب در طیف (FFT): ظهور پیک در فرکانس GMF و هارمونیک‌های آن
 $(\text{GMF} \times \text{GMF}), (3 \times \text{GMF})$.

3. باندهای جانبی (Sidebands):

- فاصله باندهای جانبی اطراف GMF نشان‌دهنده قطعه معیوب است:
- باندهای جانبی با فاصله $f_{x1} \rightarrow$ عیب در چرخ‌دنده محرک (لنگی، ترک دنده، خوردگی).
- باندهای جانبی با فاصله $f_{x2} \rightarrow$ عیب در چرخ‌دنده متحرک.

4. فرکانس عبور دندانه شکارچی (**HTF - Hunting Tooth Frequency**):

$$HTF = \frac{GMF \times N_A}{LCM(Z_1, Z_2)} \quad 5.$$

6. (که در آن N_A ب.م.م تعداد دندانه‌ها و LCM ک.م.م آنهاست)؛ ظهور این فرکانس نشان‌دهنده آسیب همزمان روی دندانه‌های درگیر است.

5. معیارهای پذیرش و ارزیابی بر اساس **20816 ISO 10816 / ISO**

ارزیابی بر اساس مقدار مجموع سرعت ارتعاشات (**Broadband RMS Velocity**) در محدوده 10 Hz تا 1000 Hz روی پوسته‌های باتاقان انجام می‌شود:

گروه‌بندی فونداسیون و دستگاه (**ISO 10816-3**):

- گروه ۲ (تجهیزات متوسط ۱۵ تا ۳۰۰ کیلووات):
- فونداسیون صلب (**Rigid Base**): مرزهای مناطق ارتعاشی سخت‌گیرانه‌تر است.
- فونداسیون انعطاف‌پذیر (**Flexible Base / لرزه‌گیر**): مقدار ارتعاش مجاز بالاتر است.

جدول حدود مجاز ارتعاشات (V_{rms} بر حسب mm/s):

موقعیت دستگاه	فونداسیون صلب (Rigid)	فونداسیون انعطاف‌پذیر (Flexible)	منطقه ارتعاشی (Zone)
Zone A	$< 1 \text{ mm}^4/\text{s}$	$< 2 \text{ mm}^3/\text{s}$	دستگاه نوساز / تازه اورهال شده
Zone B	$1.4 - 2 \text{ mm}^8/\text{s}$	$2.3 - 4 \text{ mm}^5/\text{s}$	کارکرد مجاز و بدون محدودیت (Good)
Zone C	$2.8 - 4 \text{ mm}^5/\text{s}$	$4.5 - 7 \text{ mm}^1/\text{s}$	غیرقابل قبول برای کارکرد طولانی (هشدار / برنامه‌ریزی تعمیرات)

Zone D	خطری (خطر آسیب شدید / توقف فوری)	$> 4.mm5/s$	$> 7.mm1/s$
---------------	-------------------------------------	-------------	-------------