

آنالیز جریان کم اقبال اما کارآمد در نگهداری و تعمیرات الکتروموتورها

علی محمدی^۱ - کارشناس الکترونیک - سرپرست نت واحد برق

چکیده

افزایش کارخانجات جدیدالاحداث و یا تکمیل پروژه های افزایش ظرفیت برخی کارخانه های سیمان در کشور که باعث رشد سیمان تزریقی به بازار داخلی ، پوشش بیشتر نیاز مشتریان و رقابتی شدن بازار شده ، همچنین خارج شدن سیمان از سبد حمایتی و افزایش قیمت سوخته های مصرفی ، صاحبان این صنعت را بر آن داشت تا در جهت کاهش هزینه ها و افزایش بهره وری برای بقاء در بازار رقابتی کشور و گرفتن سهم بیشتر از بازار صادرات سیمان ، تدابیر و راهکارهای جدیدی اتخاذ نمایند .

با توجه به جایگاه ماشینهای دوار الکتریکی و سهم عمده آنها در تولید و صنعت ، توجه متولیان امر به این عناصر خط تولید جلب شده و از آنجائیکه نقش نگهداری ، کاهش هزینه های تعمیراتی و افزایش طول عمر مفید دستگاهها در سود آوری یک واحد صنعتی برکسی پوشیده نیست ، در جهت نیل به این هدف که عیوب قبل از رسیدن آسیبهای جدی به تجهیزات ، تشخیص داده شوند و یا بعبارتی پیشگویی شوند تا بتوان تعمیراتی سریع و ارزان بر روی آنها انجام داد، تلاشهای بسیاری صورت گرفت که یکی از راهکارهای انتخاب شده ، بکارگیری سیستم پایش وضعیت (condition monitoring) در صنایع سیمان است . این سیستم دارای تکنیکهای آنالیز ارتعاشات ، آنالیز روغن ، آنالیز دما ، آنالیز صوت ، آنالیز کارایی و آنالیز جریان می باشد .

با اینکه تکنیک آنالیز جریان کم خطر و کم هزینه است ولی در صنعت کمتر به کار گرفته شده . با این تکنیک می توان عیوبی مانند شکستگی و ترک میله های رتور ، خارج از مرکز دینامیکی و استاتیکی ، خرابی بیرینگ ، آنبالانسی ، ناهمراستایی ، لقی فنداسیون و عیوب مکانیکی و الکتریکی استاتور را تشخیص داد . در این مجال سعی به معرفی بیشتر و آشنایی با روشهای تشخیص عیب این تکنیک است .

واژگان کلیدی : آنالیز جریان - پایش وضعیت - نگهداری و تعمیرات

" تعمیرات " واژه ایست آشنا که قدمتی به وسعت تاریخ بشریت داشته و همواره موازی با زندگی انسانها ، ماشین آلات و صنایع به حیات خویش ادامه داده و خواهد داد ؛ دارای مقیاسها و گستره های متفاوت بوده و جالب اینکه انسان همواره در تلاش برای خلاصی از شر این واژه جهان شمول بوده و هست ، اما گریز از آن هیچگاه میسر نخواهد بود زیرا اصطکاک ، گرما ، سایش ، خوردگی و... عواملی هستند که حضور دائمی در صحنه داشته و به کمک گذر زمان ، تجهیزات را از حالت اولیه و ایده آل ، خارج ساخته و به سوی فرسودگی و خرابی پیش می برند ، لاجرم دستگاهها نیازمند تعمیرات خواهند شد . کوشش در جهت از بین بردن و یا به حداقل رساندن اثرات منفی و هزینه های تعمیرات و کسب زمان بیشتر برای تولید ، بشر را به سمت لغت آشنای دیگری به نام " نگهداری " سوق داد ، که از زمان پیدایش ، در کنار واژه تعمیرات ، زوجی جدا نشدنی را تشکیل داده و بگونه ای دارای اهمیت و اعتبار شده که عبارت " تعمیر و نگهداری " به " نگهداری و تعمیرات " - که در صنایع به اختصار " نت " نامیده می شود - تغییر کرده است . پیچیدگی دستگاهها و تجهیزات ، رقابتی شدن صنایع ، مسائل مادی ، روابط بین کشورها ، استراتژیک شدن صنایع و ... باعث شده تا در حوزه نت ، تحقیق و مطالعه بسیاری انجام پذیرفته و بصورت یک تکنیک تخصصی و کاربردی در تمام حوزه های زندگی بشر به صور گوناگون مورد استفاده قرار گیرد. در زمینه نت کتابهای بسیاری نوشته و ایدئولوژیهای متفاوتی مطرح شده که در طول سالها با آزمایشها و تجارب عملی فراوان به سمت اصلاح ، پیشرفت و بازده بالاتر ، حرکت کرده است .

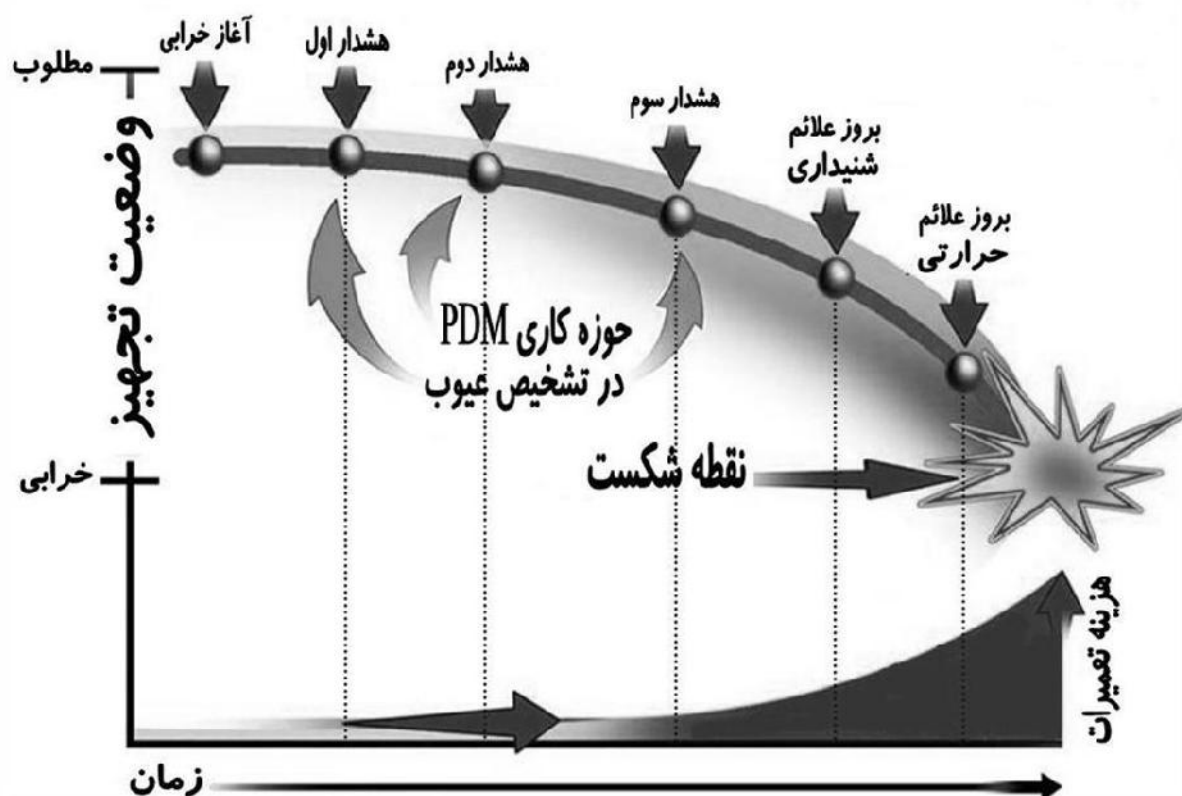
زمانیکه " نگهداری " هنوز نمود خارجی پیدا نکرده بود ، " تعمیرات " به تنهایی در عرصه کار و صنعت میدان داری می کرد و سیستم کاری صنایع " تعمیرات عکس العملی یا حرکت تا خرابی (Run to failure) " بود ، بدین معنی که دستگاهها آنقدر کار کنند تا خراب شوند و برنامه ای برای مراقبت و افزایش طول عمر کاری تجهیزات در میان نبود ولی بنا به دلایلی که در بالا ذکر شد سیستم کاری تغییر پیدا کرد و " تعمیرات پیشگیرانه یا برنامه ریزی شده " که در صنعت به نام PM (Preventive Maintenance) شناخته میشود، استقرار یافت . با توجه به اینکه PM یک سیستم کلی و قابل بسط بود به سرعت تمامی صنایع را تحت پوشش گرفت و برای مدتها در صنعت یکه تازی کرد . در ایران نیز روش تعمیراتی غالب PM است که بر مبنای بازرسیهای چشمی و برنامه ریزی دوره ای جهت تعمیرات کلی که تحت عنوان "اورهال" شناخته می شود ، استوار است. این روش از روش قبلی بهتر بوده و درصد توقفات را پایین تر می آورد (نمودار شماره ۲) ؛ ولی ایرادی که میتوان به این سیستم گرفت اینست که چون برنامه تعمیرات بصورت کلی و برای اکثر تجهیزات طرح می شود ، ممکن است دستگاهها و تجهیزاتی که سالم بوده و در برنامه قرار گرفته اند در بازرسیها دچار آسیب شده و نیازمند تعمیرات شوند و یا عمر مفید کاری آنها به واسطه یک آسیب جزئی ، کم گردد .

سیستم جدید تعمیرات که سالهاست در کشورهای پیشرفته جهان ، مراحل آزمایشی را طی کرده و به پختگی رسیده " تعمیرات پیشگویانه (Predictive Maintenance) یا PDM " است - در ایران به نام CM (Condition Monitoring) و یا CBM (Condition Base Monitoring) شناخته میشود که CM در اصل ، هسته مرکزی سیستم PDM می باشد- در این روش همانگونه که از نامش پیداست هدف بر محور پیش بینی و پیشگویی وضعیت و طول عمر تجهیزات ، به کمک یکسری دستگاهها ، تجهیزات و نرم افزارهای خاص و پیشرفته ، جهت جلوگیری از توقفات بی مورد استوار است و به کمک تکنیکهای پایش وضعیت (CM) و نت اقتصادی (CBM) که شامل دیتابرداری و آنالیزهای مستمر ، منظم و پریودیک است ، این امر محقق می گردد . تکنیکهای CM که هر کدام مستقل از دیگری بوده و می تواند دسته ای از عیوب را شناسایی نماید ، عبارتند از :

*آنالیز ارتعاشات	*آنالیز دما	*آنالیز روغن
*آنالیز صوت	*آنالیز جریان	*آنالیز کارایی

برای توضیح و درک بهتر هدف و کاربرد CM توجه شما را به نمودار پتانسیل خرابی (نمودار شماره ۱) که در ذیل آمده جلب می نمایم . این نمودار دارای ۲ منحنی وضعیت تجهیز (در بالا) و هزینه تعمیرات (در پایین) می باشد که به موازات

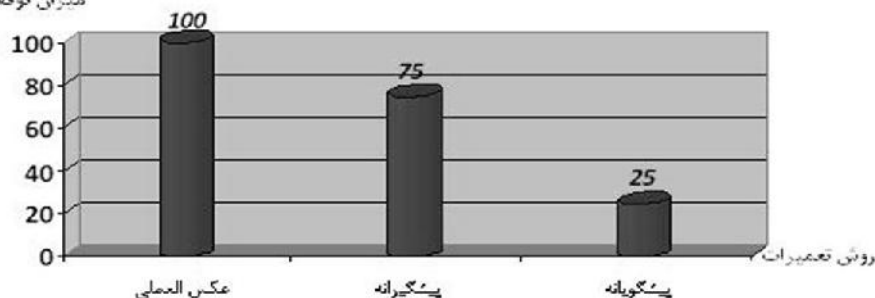
محور زمان و در جهت حرکتی عکس یکدیگر ترسیم شده اند . هدف CM شناسایی عیوب در محدوده هشدار اول تا سوم و قبل از رسیدن به مراحل بحرانی (صدا و حرارت) به منظور افزایش طول عمر مفید تجهیز و کاستن هزینه تعمیرات میباشد. با توجه به خطوط نقطه چین عمودی ، به وضوح می توانید تفاوت هزینه (سطح زیر منحنی هزینه تعمیرات) مابین نقطه هشدار اول و نقطه شکست را ببینید ، هزینه تعمیرات در زمان رسیدن به نقطه هشدار اول - البته در صورت تشخیص عیب - بسیار کم بوده و با رنگ روشن مشخص شده اما هزینه در نقطه شکست که همان زمان خرابی تجهیز می باشد به اندازه کل سطح زیر منحنی لگاریتمی تعمیرات (قسمت روشن + قسمت تیره) است که ملاحظه می فرمایید ، هزینه ها قابل مقایسه با یکدیگر نیستند ، مضاف بر اینکه در نقطه شکست علاوه بر تحمل هزینه ، تجهیز را نیز از دست داده ایم که با توجه به اهمیت تجهیز در خط تولید و امکان تأخیر و توقف در تولید ، از این حیث نیز متحمل خسارات بیشتری خواهیم شد .



نمودار شماره ۱ : نمودار پتانسیل خرابی (Potential Failure)

بنابراین در صورت اجرای موفق و کامل CM در یک مجموعه صنعتی ، می توان با کاستن هزینه تعمیرات و افزایش زمان کارکرد تجهیزات و حجم تولید ، به سودآوری قابل توجهی دست یافت . به منظور اثبات این مدعا و پی بردن به ارزش این سیستم نوین ، نتایج پیاده سازی CM در صنعت ، طی سالیان متمادی در کشورهای صنعتی جهان بصورت نمودار شماره ۲ و جدول شماره ۱ و آمار یک تجربه عملی در کشورمان در قالب نمودار شماره ۳ ، ارائه می گردد .

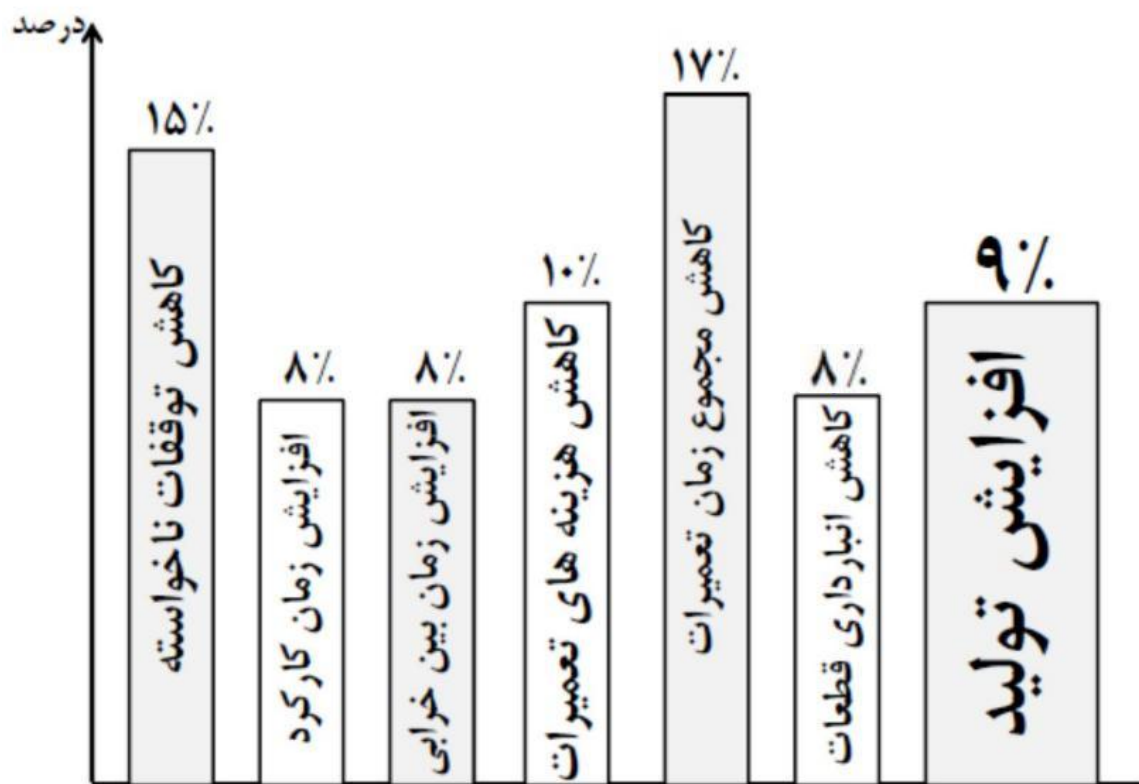
میزان توقفات (٪)



نمودار شماره ۲

جدول شماره ۱ - آمار و نتایج شگفت انگیز استقرار سیستم CM در صنایع پیشرفته جهان

کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری ماشین آلات	۵۰ تا ۸۰ درصد
کاهش میزان توقفات اضطراری	۵۰ تا ۸۰ درصد
کاهش حجم انبار یدگی	۳۰ درصد
کاهش هزینه های دستمزد و اضافه کاری	۴۰ تا ۵۰ درصد
افزایش میزان تولید و ارزش افزوده	۴۰ درصد
افزایش قدرت یازاریایی و رقابت یا حداقل ریسک	۷۰ درصد



نمودار شماره ۳ - نتایج آماری اجرای CM در شرکتهای تابعه هلدینگ سیدکو بمدت یکسال (سال ۱۳۹۰) [۱]

(۲) آنالیز جریان

پروسه ای است که در آن سیگنالهای ولتاژ و جریان موتور جهت تشخیص و ریشه یابی عیوب مختلف به روشی مشابه آنالیز ارتعاشات ، جمع آوری می شود . از مزایای این روش می توان به موارد ذیل اشاره کرد : [۲]

- عدم نیاز به توقف دستگاه (تست آنلاین انجام می شود)
- نیاز نیست حتماً نزدیک موتور شد ، فقط کافیسیت کابل و یا منبع تغذیه در دسترس باشد .
- تشخیص درست و دقیق عیوب الکتریکی و مکانیکی
- تحت پوشش قرار دادن انواع موتورهای AC و DC (القایی ، سنکرون ، ژنراتور و ...)

۲-۱) عیوب قابل تشخیص توسط تکنیک آنالیز جریان

- *خرابی میله رتور (LF)^۱ *ناهمراستایی (LF) *آنبالانسی (LF)
- *گریز از مرکز استاتیکی (HF)^۲ *گریز از مرکز دینامیکی (HF) *عیوب الکتریکی استاتور (HF)
- *عیوب مکانیکی استاتور (HF) *بیرینگهای خراب (HF) *لقی فنداسیون (LF)

۲-۲) روش کار

موتور و مشکلات مربوط به بار موتور ، و همچنین منبع تغذیه که دارای موج سینوسی خالص نیستند ، هارمونیکهایی ایجاد می کنند که فقط در نمودار جریان قابل تشخیص است . عیوب الکتریکی و مکانیکی باعث تغییراتی در میدان مغناطیسی داخل موتور شده و بنابراین هارمونیکهایی در سیگنال جریان به وجود می آید که با روی هم قرار دادن طیفهای ولتاژ و جریان ما قادر به تشخیص بین هارمونیکهای تغذیه و هارمونیکهای عیوب ، خواهیم بود . با گسترش و مطالعه بر روی هارمونیکهای عیوب (معمولاً هارمونیکهای ۱ تا ۵ کافی است) و دانستن اینکه هارمونیک ایجاد شده توسط هر عیب با بقیه متفاوت است ، می توان عیب دستگاه را تشخیص داد . جهت جمع آوری اطلاعات باید به نکات ذیل توجه داشته باشیم :

- *پراب جریان در موتورهای LV بر روی کابل تغذیه و برای موتورهای HV بر روی ثانویه CT قرار می گیرد.
- *پراب ولتاژ در موتورهای LV به ترمینال تغذیه و در موتورهای HV به باس ثانویه PT متصل می شود .
- *همه تستها را می توان از پست برق و یا کنترل پنل موتور انجام داد و نیازی به حضور در کنار موتور نیست.

۲-۳) خرابی میله رتور

دلایل بروز شکستگی میله رتور را می توان به شرح ذیل برشمرد :

- فشارهای حرارتی که می تواند به دلیل اضافه بار ، آنبالانسی ، افزایش دما و جرقه باشد .
 - فشارهای مغناطیسی که می تواند به دلیل نیروهای الکترومغناطیسی ، نابالانسی شار ، لرزش و نویزهای مغناطیسی باشد .
 - تنشهای دینامیکی که می تواند به دلیل زیاد بودن نیروی گریز از مرکز و گشتاور اعمال شده به شفت باشد .
 - ایرادهای ساخت
 - عوامل محیطی (آلودگیهای محیطی ، گرد و غبار ، رطوبت بیش از حد)
 - تنشهای مکانیکی که شامل خرابی بیرینگ ، خستگی ، شل بودن ورقه های هسته و ... می باشد .
- در صورت بروز این عیب فرکانس گذر از قطب ($PPF = \text{motor slip} \times \text{poles}$) خود را بصورت ساید باندهایی در اطراف فرکانس پایه نشان داده و پیکهایی در $F_L \pm PPF$ خواهیم داشت . بطور کلی فرکانسهای خرابی میله رتور را از فرمول ۱ به دست می آوریم :

$$F_f = (1 \pm 2KS) F_L \quad [۳] (۱)$$

S = لغزش موتور

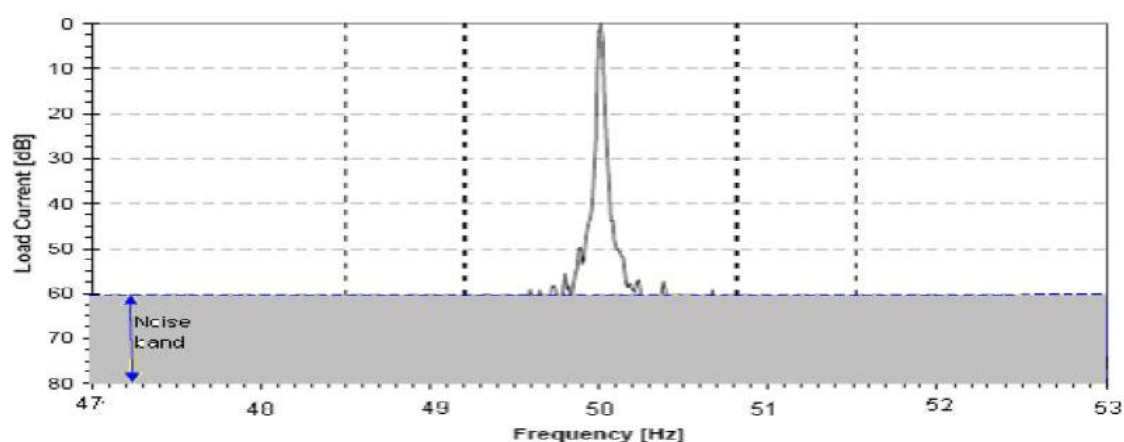
F_L = فرکانس خط

$K = 1, 2, 3, \dots$

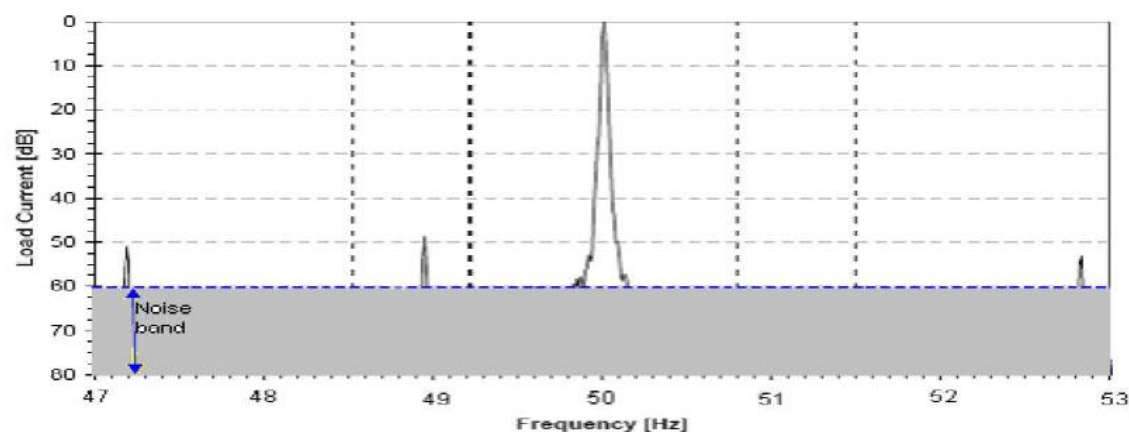
اختلاف بین دامنه پیک فرکانس خط و دامنه فرکانس عبور گذر قطب برحسب db ، نشانگر میزان سلامت میله های رتور می باشد . هنگامی که عیبی در میله های رتور بروز کند (ترک و یا شکستگی) ، میزان دامنه پیک فرکانس گذر از قطب با توجه به میزان شدت خرابی ، بالاتر خواهد رفت و میزان اختلاف با دامنه پیک فرکانس کمتر خواهد شد . جدول شماره ۲ -
حالت های مختلف رتور و اقدام متناسب با سطح آسیب را نشان می دهد .

جدول شماره ۲ - تعیین سطح آسیب و اقدام مناسب [۲]

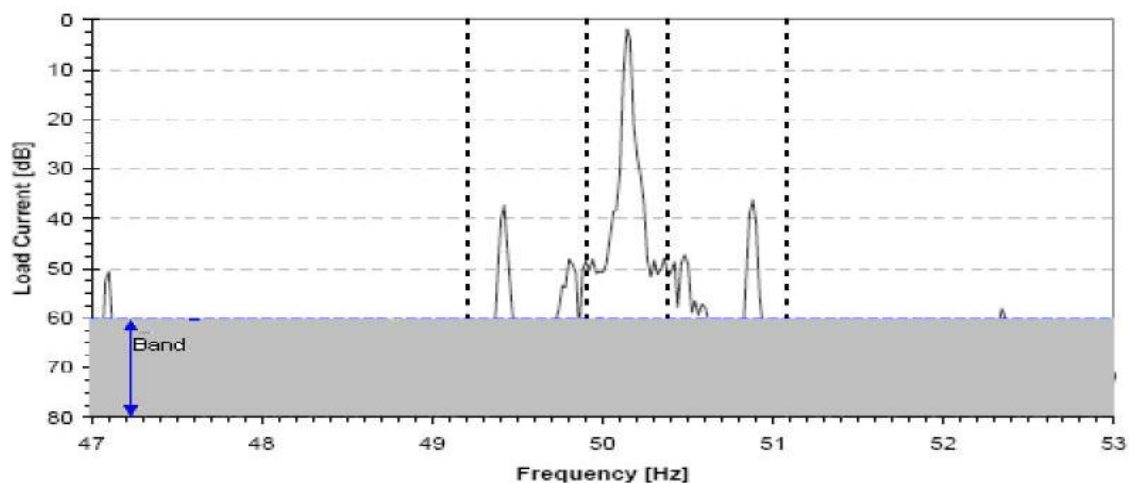
سطح آسیب	F_L / F_p (db)	F_L / F_p (ratio)	F_p / F_L (ratio %)	وضعیت رتور	اقدام مناسب
۱	> 60	> 1000	< 0.1	عالی	-
۲	۵۴ - ۶۰	۵۰۱ - ۱۰۰۰	۰.۱ - ۰.۲	خوب	-
۳	۴۸ - ۵۴	۲۵۱ - ۵۰۱	۰.۲ - ۰.۴	مناسب	انجام دیتا یرداری
۴	۴۲ - ۴۸	۱۲۶ - ۲۵۱	۰.۴ - ۰.۷۹	ترک میله رتور یا ایجاد امپدانس یالا	کاهش قواصل دیتا یرداری
۵	۳۶ - ۴۲	۶۳ - ۱۲۶	۰.۷۹ - ۱.۵۸	شکستگی یا ترک در یک یا دو میله رتور	آنالیز ارتعاشات یرای ریشه یابی دقیقتر
۶	۳۰ - ۳۶	۳۲ - ۶۳	۱.۵۸ - ۳.۱۶	شکستگی یا ترک در چند میله رتور	انجام تعمیرات
۷	< 30	< 32	> 3.16	شکستگی یا ترک در چند میله رتور و حلقه انتهایی	تعمیرات اساسی یا جایگزینی



عکس شماره ۱ : طیف جریانی یک موتور سالم

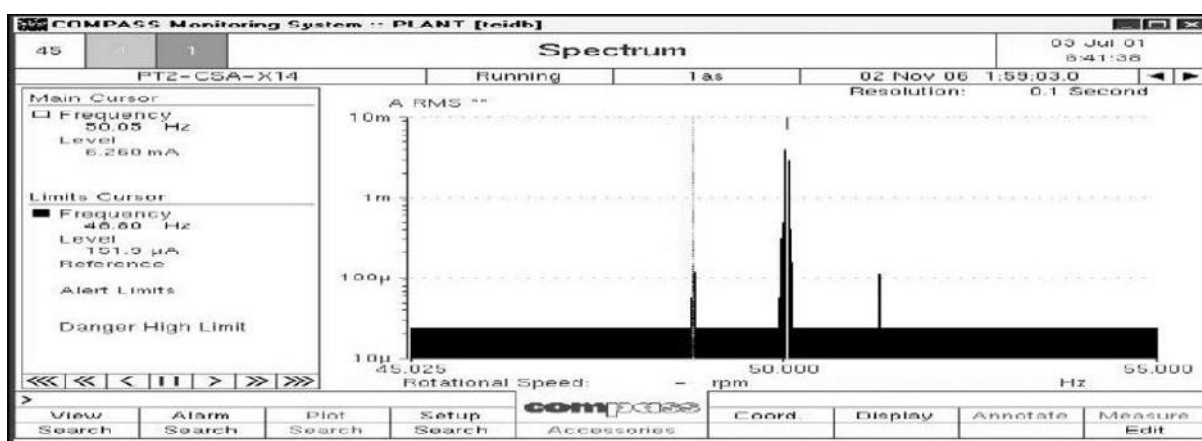


عکس شماره ۲ : بروز نشانه های اولیه خرابی رتور

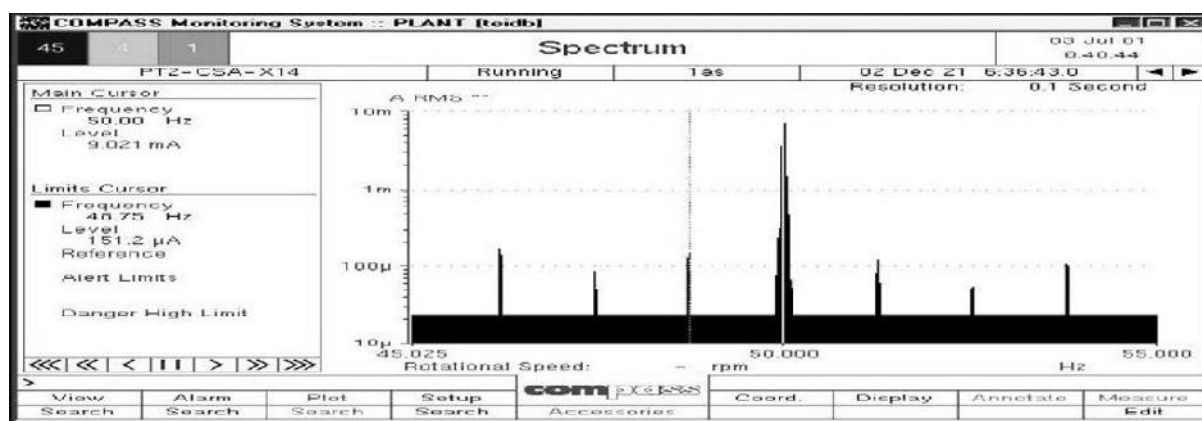


عکس شماره ۳: طیف جریانی یک رتور آسیب دیده

عکسهای شماره ۴ و ۵ مربوط به تحقیقی در شرکت فولاد مبارکه اصفهان بوده که نشان دهنده خرابی میله رتور میباشد. عکس شماره ۴ نشان دهنده بروز عیب و عکس شماره ۵ نشان دهنده پیشرفت و توسعه عیب پس از یکماه است که به دلیل افزایش عمق ترک و یا شکستگی، امپدانس رتور بالا رفته و به دنبال آن دامنه پیک فرکانسی نیز افزایش یافته است.



عکس شماره ۴: بروز عیب در نمونه تحت آزمایش شرکت فولاد مبارکه [۴]



عکس شماره ۵: گسترش و پیشرفت عیب در نمونه تحت آزمایش شرکت فولاد مبارکه

۴-۲) خارج از مرکزی استاتیکی

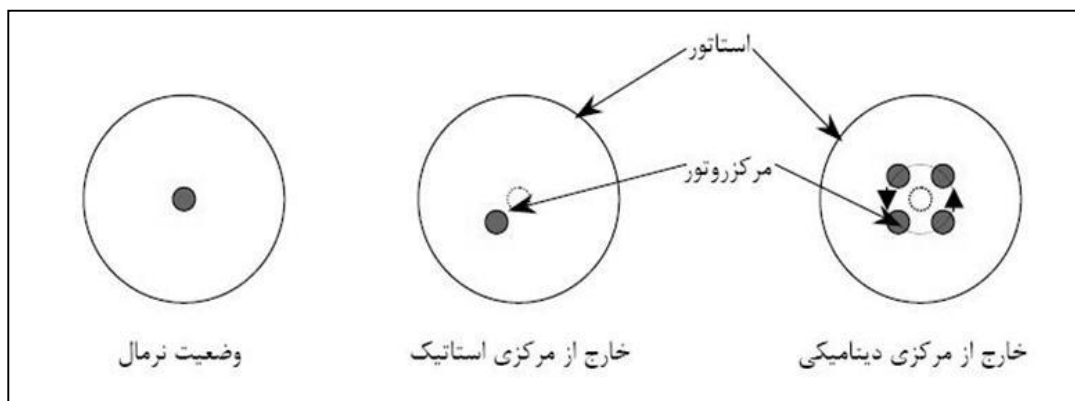
به دلیل یکسان نبودن فاصله هوایی بین استاتور و رتور این عیب بروز می کند (عکس شماره ۶) که میتواند ناشی از ناهمراستایی بیرینگ و یا لقی پایه فونداسیون باشد. می توان نشانه های این عیب را در فرکانسهای زیر پیدا کرد:

$$F_f = R_B \times R_S \pm NF_L \quad (2)$$

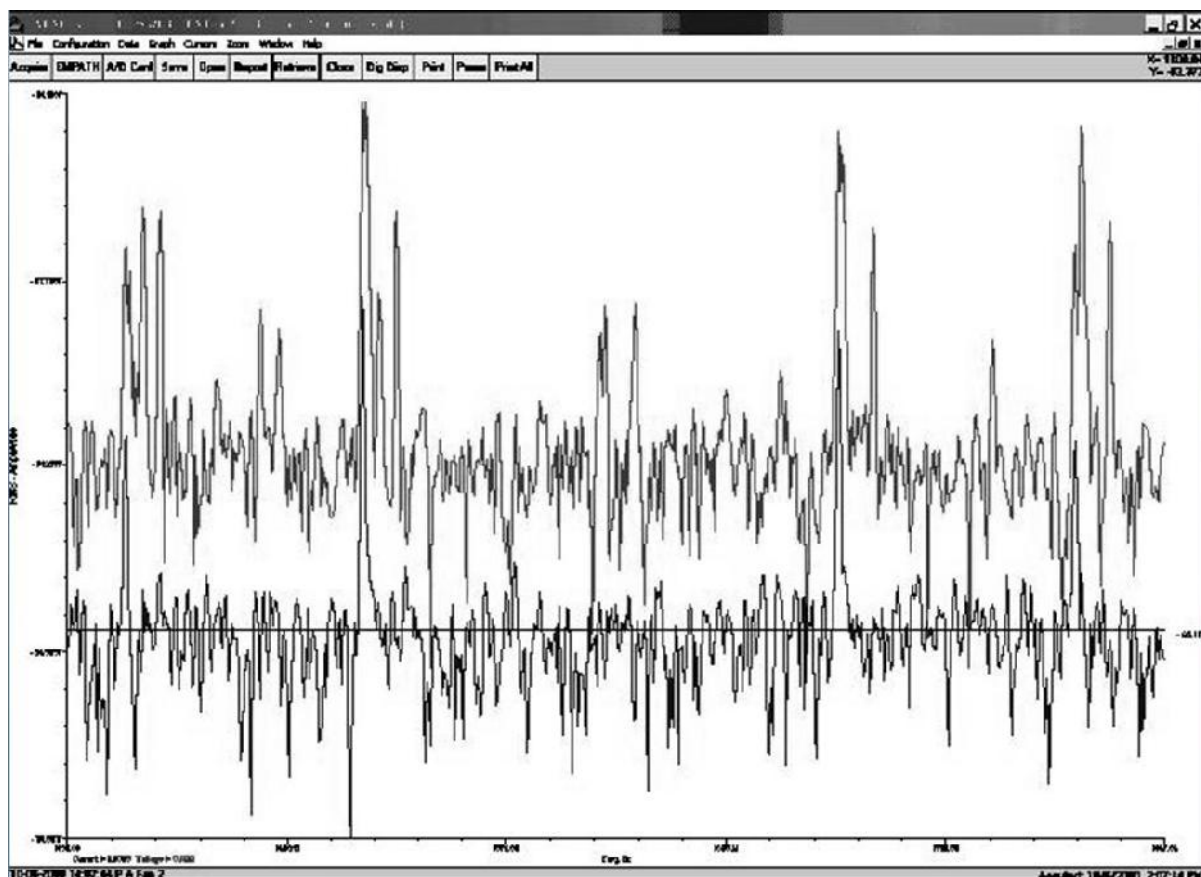
R_B = تعداد میله های رتور

R_S = سرعت چرخش رتور

N = هارمونیکهای فرد فرکانس خط



عکس شماره ۶ - انواع خارج از مرکزی



عکس شماره ۷ : خارج از مرکزی استاتیکی (طیف بالا مربوط به ولتاژ و طیف پایین مربوط به جریان می باشد)

۵-۲) خارج از مرکزی دینامیکی

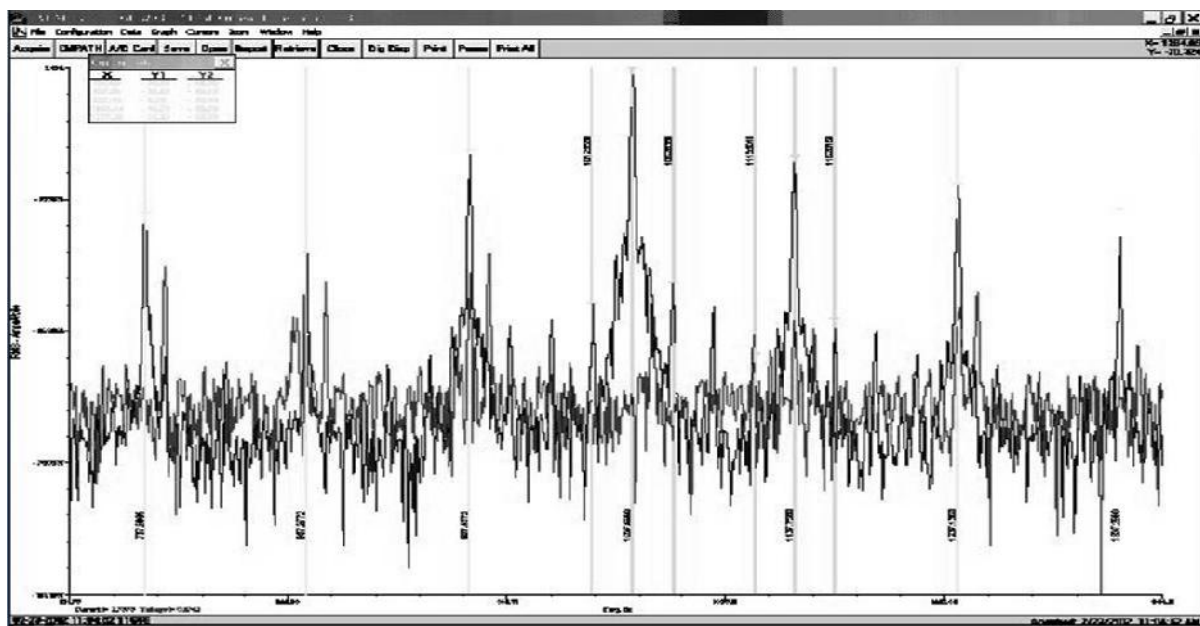
این عیب پدیده ای است ناشی از فاصله هوایی متغیر رتور - استاتور (عکس شماره ۶) که بصورت سایدبانهایی در اطراف فرکانس اصلی عبور میله رتور و هارمونیکهای آن دیده می شود .

$$F_f = R_B \times R_S \pm NF_L \pm R_S \quad (3)$$

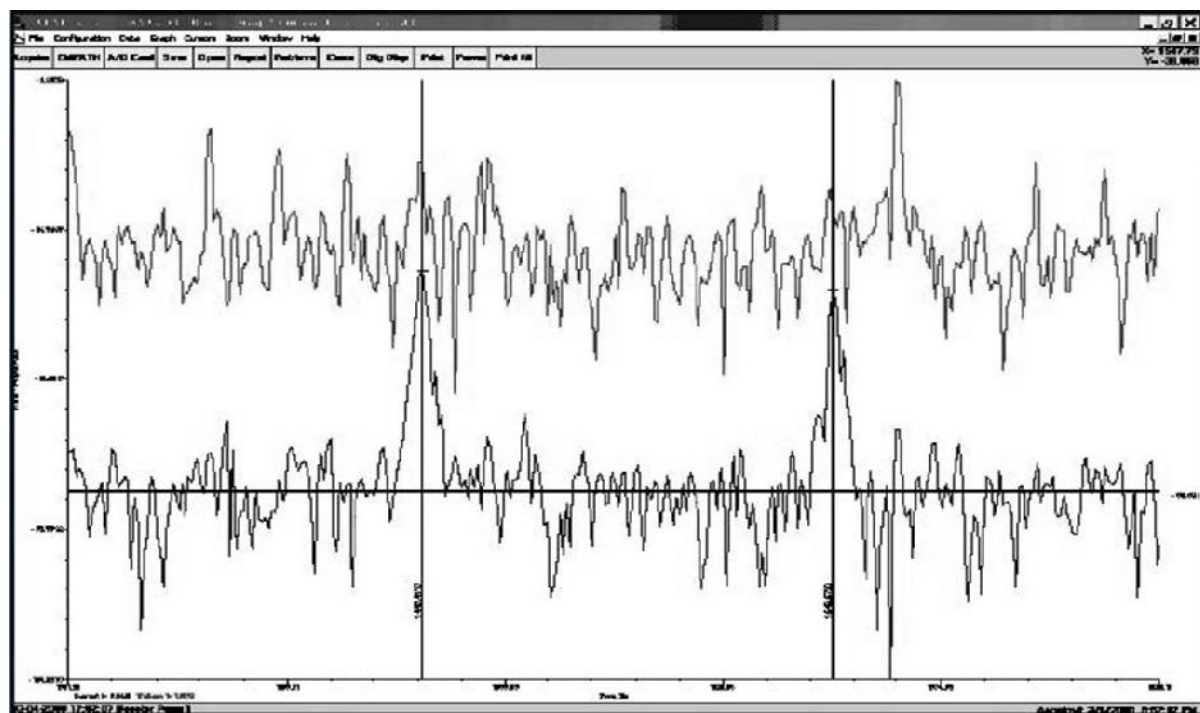
مشکلاتی نظیر ناهمراستایی شفت یا کوپلینگ ، سایش و فرسودگی بیرینگ ، خرابی قطعات غلطکی بیرینگ و مشکلات مکانیکی باعث ایجاد اختلالات دینامیکی رتور می شوند که می تواند در بلند مدت خسارات شدیدی مانند ساییدگی رتور با استاتور را باعث شود . بطور کلی می توان عیوب مکانیکی رتور که به واسطه یکی از دلایل فوق ایجاد شده را در فرکانس زیر پیدا کرد :

$$F_f = F_L \pm m F_r \quad (۴)$$

$$m = 1, 2, 3, \dots \quad F_r = \text{فرکانس چرخش رتور}$$



عکس شماره ۸ : خارج از مرکزی دینامیکی

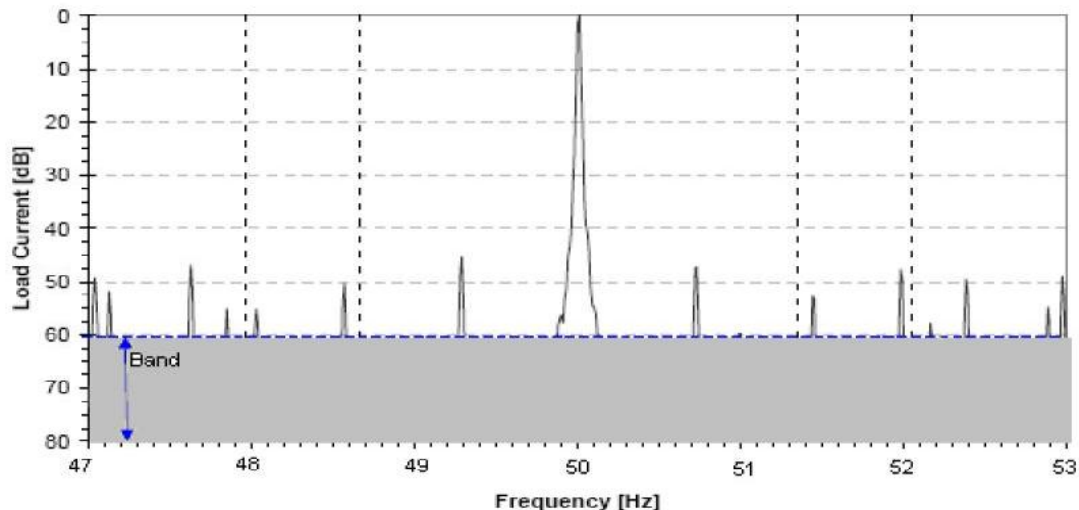


عکس شماره ۹ : طیف فرکانسی عیوب مکانیکی (طیف بالا مربوط به ولتاژ و طیف پایین مربوط به جریان می باشد)

نکته : اگر بخواهیم بطور مشخص بر روی بیرینگ تمرکز کنیم می توان بجای F_r از فرکانس مربوط به اجزاء بیرینگ (رینگ داخلی ، رینگ خارجی ، غلطکها و قفسه) استفاده کرد .

۶-۲) تأثیر گیربکس در نمودار آنالیز جریان

در موتورهای گیربکسی مراقب باشید که تأثیر ارتعاشات قطعات گیربکس در نمودار آنالیز جریان شما را به خطا در تشخیص عیوب نیندازد. عیوب خود را بصورت سایدباند در اطراف فرکانس خط و هارمونیکهای آن نشان می دهند در صورتیکه پیکهای مربوط به قطعات گیربکس دارای سایدباند نیستند. [۵]



عکس شماره ۱۰: طیف جریانی یک گیرموتور سالم

۷-۲) اتصال کوتاه در سیم پیچ استاتور :

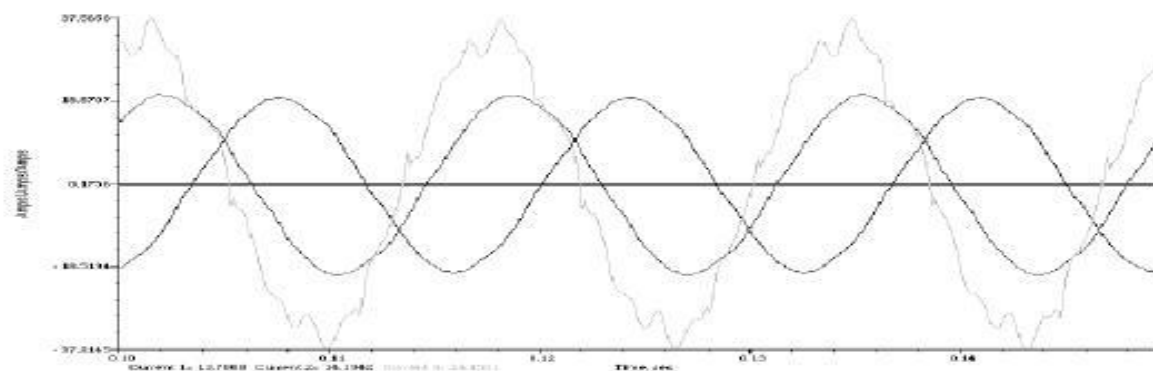
عواملی مانند دمای بالای هسته یا سیم پیچ، خرابی هسته، شل بودن ورقه های هسته و گوه، آلودگی، تنشهای راه اندازی و یا تخلیه جزئی الکتریکی می توانند در بروز عیب اتصال کوتاه در سیم پیچ استاتور مؤثر باشند. اتصال کوتاه باعث افزایش دمای سیم پیچها و نابالانسی جریان می شود.

$$F_f = (K \pm n (1 - S) / P) F_L \quad (5)$$

P = تعداد قطبها

$$K = 1, 2, 3, \dots$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, (2P-1)$$

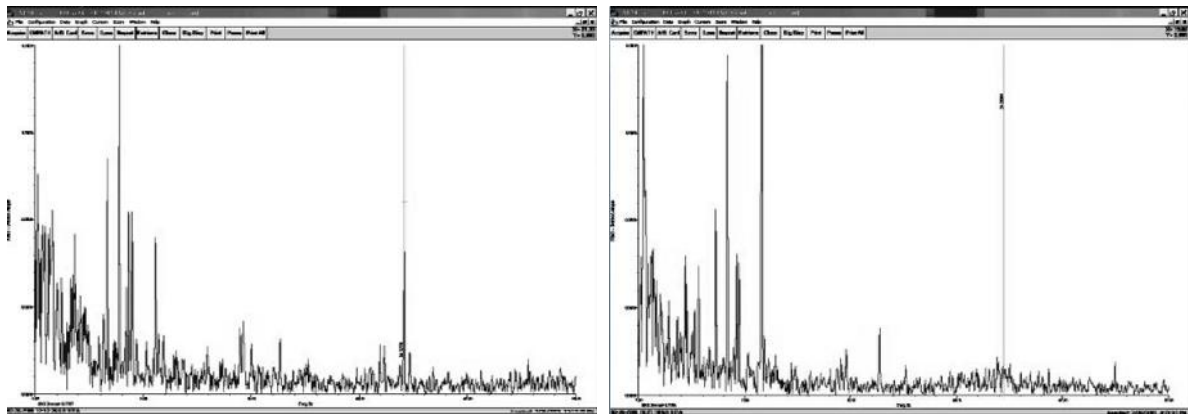


عکس شماره ۱۱: علائم خرابی یک فاز در یکدستگاه موتور سه فاز

شل بودن گوه ها می تواند باعث تخریب عایق هسته بصورت مکانیکی شود که منجر به بروز کرونا و ضعف عایقی هسته می شود. همچنین خرابی هسته می تواند باعث ایجاد اتصال کوتاه در لایه های استاتور و ایجاد منطقه گرم (به دلیل وجود جریانهای گردابی در روی هسته) شده و به مرور باعث خوردگی عایق و خرابی موتور می شود.

۸-۲) نابالانسی و لقی فونداسیون

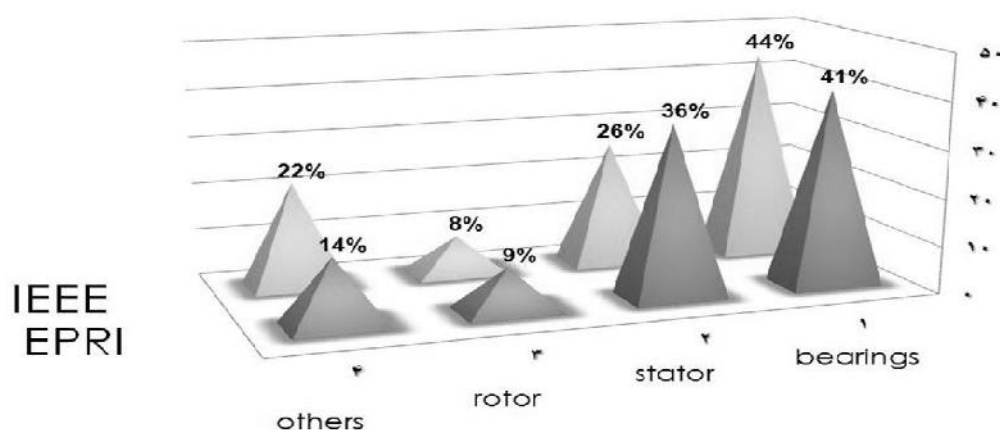
در این قسمت جهت تشخیص عیوب نیاز به بررسی و آنالیز سیگنال در حالت RMS demodulation (تفکیک مقدار مؤثر) می باشد . در این حالت فرکانس خط و هارمونیکهای آن حذف می شوند و نتیجه شبیه نمودارهای دستگاههای آنالیز ارتعاشات خواهد بود و به همان طریق آنالیز ارتعاشات ، نمودار را آنالیز می کنیم . در این حالت می توان پیک نابالانسی را در $1 \times \text{RPM}$ (فرکانس چرخش رتور) و پیک لقی فونداسیون را در $0.5 \times \text{RPM}$ (نصف فرکانس چرخش رتور) مشاهده کرد. توصیه می شود جهت تصمیم گیری و ریشه یابی دقیق تر این عیوب ، سیگنال ارتعاشات به جای سیگنال جریان مورد ارزیابی قرار گیرد .



عکس شماره ۱۲ : طیف سمت چپ نشان دهنده لقی فونداسیون و طیف سمت راست مربوط به همان موتور پس از رفع عیب

۳) نتیجه گیری

تجربه نشان داده که آنالیز ارتعاشات بین ۶۰ تا ۸۰ درصد عیوب تجهیزات مکانیکی و الکتریکی واحدهای صنعتی را تشخیص می دهد ، بنابراین برای ایجاد یک سیستم CM پویا و موفق ، ترجیحاً آنالیز ارتعاشات را پایه قرار داده و بعد برای ایجاد حاشیه امنیت ۹۵ درصدی در تشخیص عیوب و تأیید آنها ، اتخاذ چند تکنیک CM در کنار یکدیگر بسیار مؤثر خواهد بود و از همه مهمتر اینکه ما را در تأیید عیوب ، قدرتمند و توانا می سازد . با توجه به نمودار شماره ۴ که میزان بروز عیوب مختلف در الکتروموتورها را از طرف انجمنهای IEEE و EPRI پس از انجام مطالعات و تحقیقات گسترده ، نشان می دهد ، مجموع عیوب الکتریکی استاتور و رتور پس از عیوب بیرینگ از نظر فراوانی در رده دوم قرار گرفته اند ، بنابراین با توجه به مطالب ارائه شده در بالا می بینید که آنالیز جریان می تواند بسیار مفید و کارگشا باشد چون علاوه بر تشخیص عیوب تخصصی الکتریکی قدرت حرکت در تشخیص برخی عیوب مکانیکی را به موازات آنالیز ارتعاشات و باقی تکنیکها دارد . توجه کنید که آنالیز ارتعاشات بهترین راه برای پایش مشکلات الکتریکی نیست و این باید بخاطر سپرده شود .



نمودار شماره ۴ - میزان فراوانی عیوب در الکتروموتورها

مراجع :

[۱] محمد صادق سیدی (۱۳۹۱) "استقرار روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط کاری (CBM) (استراتژی ، تکنیک و تاکتیک) " – اولین کنفرانس بین المللی صنعت سیمان ، انرژی و محیط زیست (CIEE) بهمن ۱۳۹۱

[۲] Diagnostic technologies india Pvt. Ltd. " On-line condition monitoring of motor using electrical signature analysis "

[۳] R.R.Schoen , B.K.Lin , F.G.Habetter , H.J.Shlog & S.Farag (1955) " An unsupervised on-line system for induction motor fault detection using stator current monitoring " , IEEE-IAS Transaction , November / December , vol. 31 , No. 6 , PP 1280-1286

[۴] محمد کاظم صباغی هرندی ، غلامرضا شریعتی (۱۳۸۱) " مراقبت وضعیت ماشینهای دوار الکتریکی به وسیله آنالیز جریان در شرکت فولاد مبارکه " – شرکت فولاد مبارکه اصفهان

[۵] N.Mehala , R.Dahiya (2007) " Motor current signature analysis and its application in induction motor fault diagnosis " , international journal of systems application , engineering & development , vol. 2 , issue 1