

## استفاده از تکنیک های آنالیز ارتعاشات، صدای فراصوت و روانکار جهت عیب یابی الکتروموتور بلور های پروسس کارخانه احیاء مستقیم

**سجاد گنبدکناری**

سرپرست الکترومکانیک بازرسی فنی، مرکز تحقیقات، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

**حسین قاسمی نژاد زائینی**

کارشناس الکترومکانیک بازرسی فنی، مرکز تحقیقات، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

**بهروز پاریزی**

رئیس بازرسی فنی، مرکز تحقیقات، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

**معین نورمندی پور**

سرپرست بازرسی عمومی بازرسی فنی، مرکز تحقیقات، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

**مهدی پرمی**

مدیر بازرسی فنی، مرکز تحقیقات، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

### چکیده

عیب یابی تجهیزات دوار به کمک پایش وضعیت (CM)، مزایای بسیار زیادی از جمله کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات، کاهش زمان خرابی، جلوگیری از توقفات برنامه ریزی نشده و طولانی شدن عمر تجهیزات را دارد. استفاده از همه تکنیک های CM نتیجه دقیق تری دارد، زیرا روانکار به صورت مستقیم با تجهیزات در ارتباط بوده، ارتعاشات مستقیماً شدت عیب را اعلام کرده و صدای آلتراسونیک می تواند خشکی و عدم روانکاری را قبل شنیدن با گوش انسان به ما اعلام نماید. افزایش دامنه ارتعاشات فرکانس بالا و همچنین مقدار P-P صدای آلتراسونیک در الکتروموتور بلور پروسس کارخانه احیاء مستقیم می تواند یکی از دلایل خرابی زود هنگام الکتروموتور فوق باشد. باتوجه به حساسیت این کمپروسور در فرایند تولید آهن اسفنجی و بالارفتن ارتعاشات فرکانس بالا در این تجهیز که می تواند باعث توقف و کاهش تولید می باشد، از طریق تکنیک های آنالیز ارتعاشات، صدای فراصوت و همچنین آنالیز روانکار مصرفی رفع عیب گردید.

**واژگان کلیدی:** ارتعاشات فرکانس بالا، صدای آلتراسونیک، آنالیز روانکار، ارتعاشات، گریس



## مقدمه

## شرح فرآیند تولید آهن اسفنجی

پروژه تولید آهن اسفنجی (DRI) در کارخانه احیاء مستقیم بدین صورت است که گندله از طریق نوار نقاله پس از اسکرین شدن و دانه بندی مناسب وارد کوره احیاء مستقیم شده و گاز احیایی (ترکیب  $\text{CO} + \text{H}_2$ ) با دمای تقریبی 840 درجه سانتی گراد وارد کوره شده و باعث تغییر شرایط شیمیایی گندله شده و در نهایت به آهن اسفنجی تبدیل می شود. گاز احیایی تولید شده توسط کمپرسورهای پروسس به رکوپراتور منتقل گردیده و پس از اختلاط با گاز طبیعی (متان) و برخورد با کاتالیست ها، شکسته شده و به گاز احیایی تبدیل می شود.

جهت خنک کاری آهن اسفنجی تولید شده از کمپرسور کولینگ و جهت سیل نمودن سیستم از کمپرسور سیل گاز استفاده می شود. همچنین برای خنک کاری و تمیز نمودن گاز ها از آب استفاده می شود. قلب تپنده سیستم آبرسانی کارخانه (WTP) که از مهمترین واحدها بوده، پمپ های آب ماشینری می باشند. این پمپ ها وظیفه آب رسانی به قسمت های مختلف و کلیدی کارخانه از جمله لوب کمپرسورهای پروسس، کلیه مبدل های حرارتی مربوط به کمپرسور ها، فن ها، گیربکس ها و روغن های هیدرولیک را دارند.

کمپرسور های پروسس در کارخانه احیاء مستقیم وظیفه تامین فلو و فشار مورد نیاز جهت تامین گاز های احیایی را دارند. افزایش ارتعاش در بیرینگ الکتروموتور کمپرسور پروسس 48A علاوه بر هزینه تعویض بیرینگ باعث توقف کمپرسور های پروسس شده که در نتیجه توقف تولید می گردد. مجموعه کمپرسور مورد نظر شامل الکتروموتور، گیربکس و کمپرسور می باشد که شکل شماره 1 موقعیت تجهیز مورد نظر در کارخانه احیاء مستقیم بوده و جدول شماره 1 مشخصات آن را بیان می کند.



شکل 1: موقعیت کمپرسور

جدول 1: مشخصات فنی



تجهیز	الکتروموتور		گیربکس			کمپرسور
کمپرسور 48A	دور	توان	دور ورودی	نسبت تبدیل دور	دور خروجی	دور ورودی
	1491RPM	3000Kw	1491RPM	0.3095	461.4RPM	461.4RPM

### استاندارد مورد استفاده

در این تحقیق از استاندارد ISO 10816-3 [2] جهت شناسایی محدوده مجاز ارتعاشات استفاده شده است. با توجه به اینکه توان این موتور بالاتر از 300 کیلووات و کمتر از 50 مگاوات بوده، محدوده مجاز ارتعاشات طبق استاندارد فوق در جدول شماره 2 آمده است.

جدول 2: محدوده مجاز ارتعاشات مطابق استاندارد ISO 10816-3

نوع فونداسیون	مرز ناحیه	mm/s(شدت ارتعاشات)	μm(شدت جابجایی)
صلب	A/B	2.3	29
	B/C	4.5	57
	C/D	7.1	90
الاستیک	A/B	3.5	45
	B/C	7.1	90
	C/D	11	140

### ابزارهای مورد استفاده

دیتابرداری های این تجهیزات دوآر توسط دستگاه آنالایزر ارتعاشات Falcon مدل Ultimate ساخته شده توسط شرکت Oneprod و همچنین تحلیل توسط نرم افزار Nest انجام شده است. شکل شماره 2 نمایانگر این دستگاه آنالایزر ارتعاشات می باشد. دستگاه آنالیز صدای آلتراسونیک UE15000 به همراه نرم افزار های مربوطه، شکل شماره 3 این تجهیز را نشان داده است.



شکل ۲: دستگاه آنالیز ارتعاشات

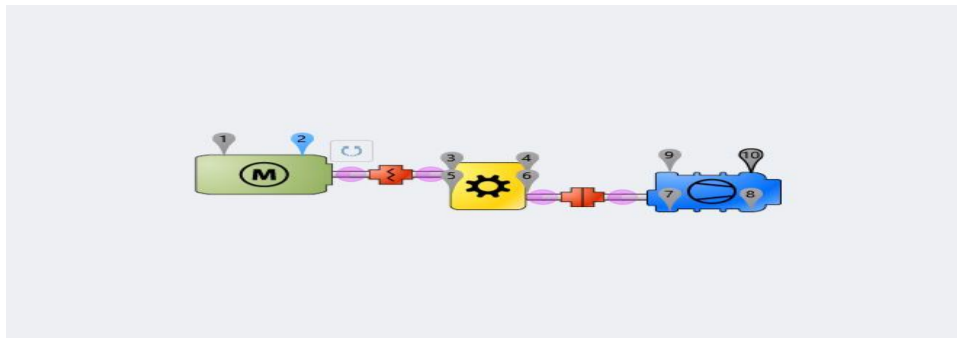


شکل ۳: دستگاه آنالایزر صدایอัลتراسونیک



## روش تحقیق

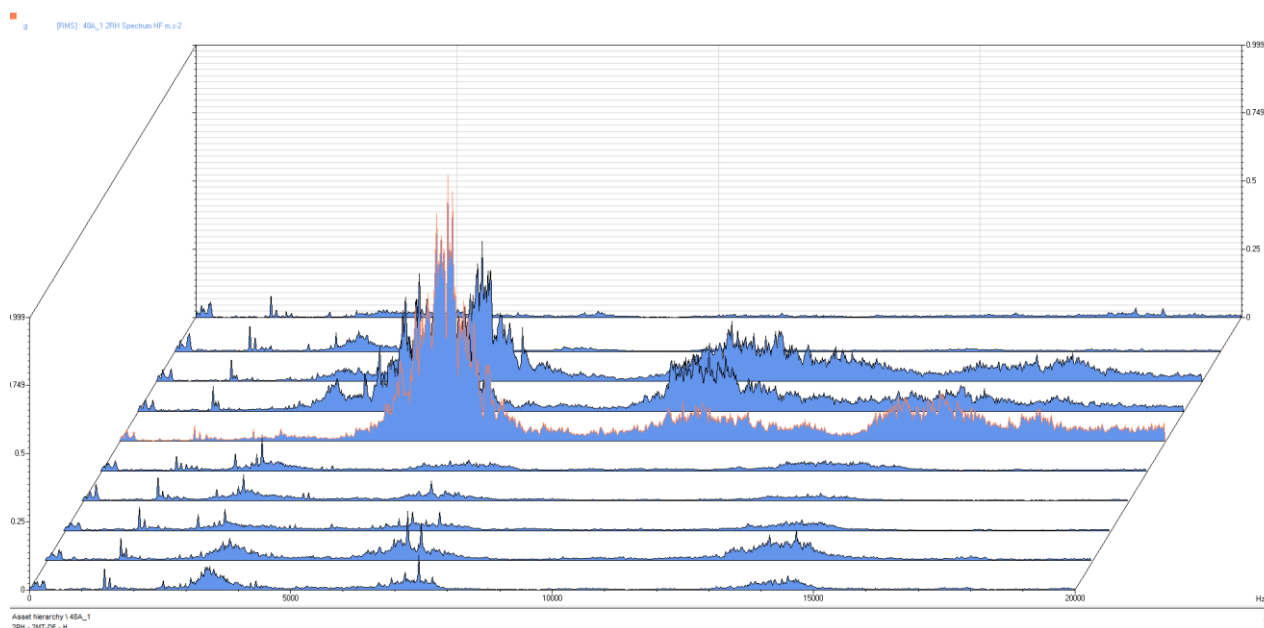
تکنیک های پایش وضعیت می تواند کمک بسیار زیادی به عیب یابی مجموعه های صنعتی جهت جلوگیری از توقفات ناگهانی سیستم انجام دهد که در این میان، واحد بازرسی فنی با توجه به ماهیت کار خود در ابتدا دیتابرداری ارتعاشی و صدای آلتراسونیک از نقاط و جهت های مختلف (سه جهت عمودی، افقی و محوری) تجهیز طبق شکل شماتیک شماره 4 انجام داد.



شکل 4: نقاط دیتابرداری

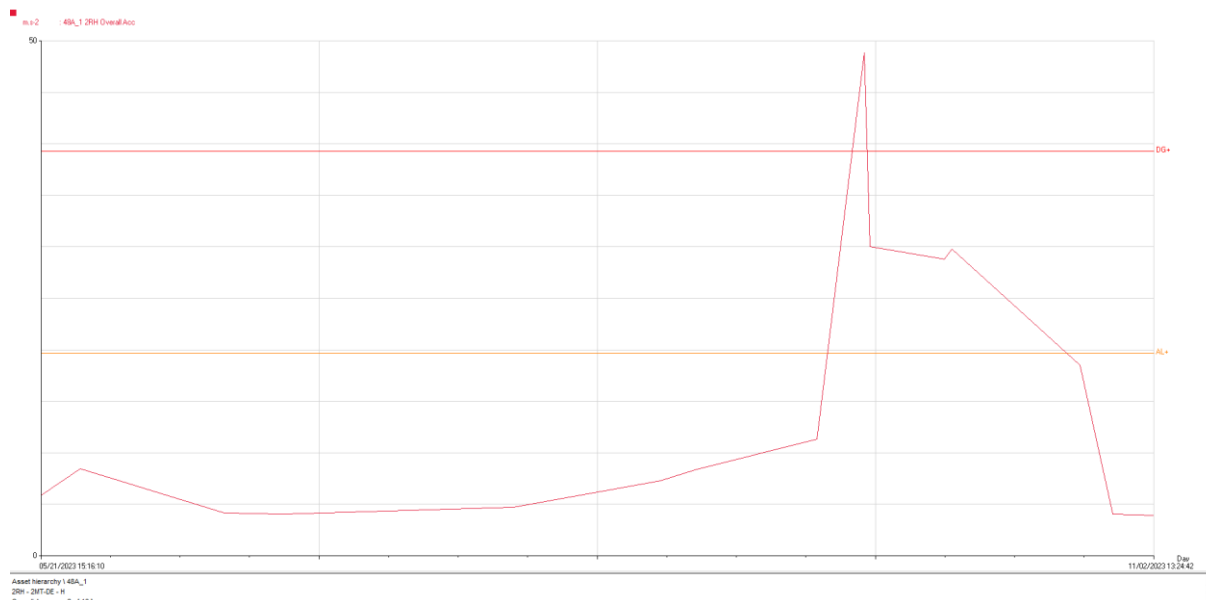
تحلیل داده های ارتعاشی و صدای آلتراسونیک از طریق مختلف انجام می پذیرد که بهترین و موثرترین راه اطلاعات سازنده دستگاه می باشد و اگر سازنده اطلاعاتی در این خصوص ارائه نداده باشد از استاندارد های موجود میتوان بهره برد، از دیگر راه ها میتوان به مقایسه داده ها با سابقه تجهیز و همچنین تجهیزات مشابه نیز اشاره نمود.

پس از انجام دیتابرداری با توجه به نقاط شرح داده شده در تصویر بالا، مقایسه میزان Overall ACC ارتعاشات این تجهیز با سابقه قبلی و ترند ارتعاشات مشخص گردید که ارتعاشات فرکانس بالا در این تجهیز به شدت صعودی شده است اشکال 5 و 6 طیف های ارتعاشی و ترند ارتعاشات فرکانس بالا را در تجهیز نشان می دهد.



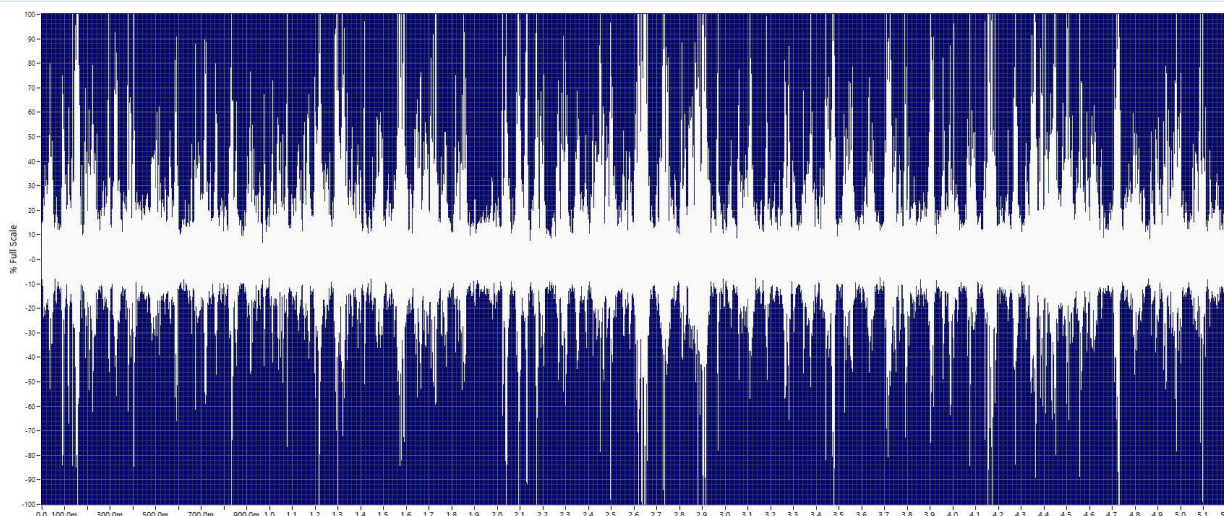
شکل 5: طیف ارتعاشات





شکل 6: ترند ارتعاشات

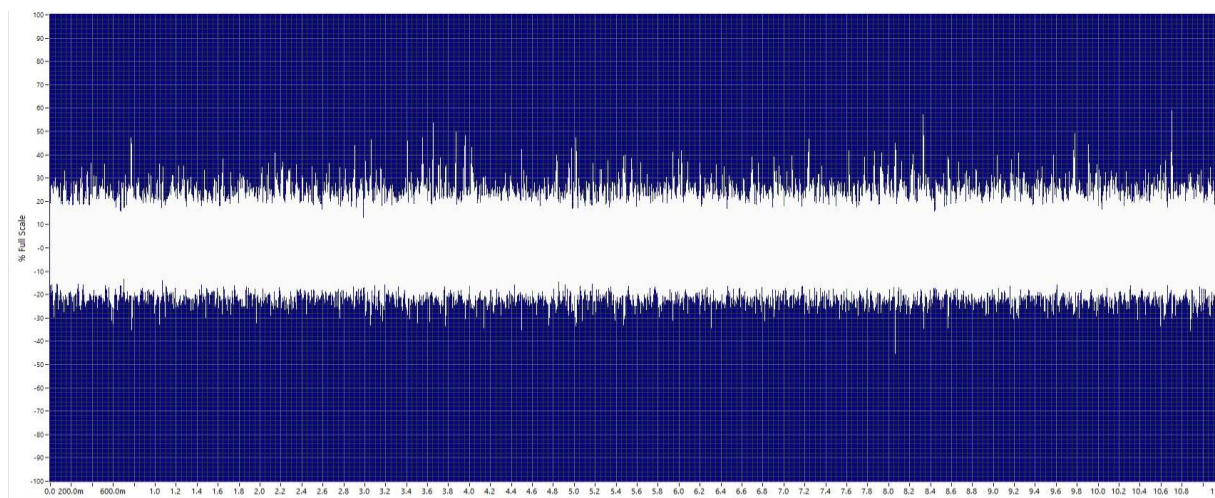
همانگونه که در شکل شماره 5 مشاهده می شود ارتعاشات فرکانس پایین آن تغییر زیادی نداشته اند و فقط ارتعاشات فرکانس بالا که میتواند عیوبی همانند شروع خرابی یا عدم روانکاری مناسب بیرینگ، وجود ضربه و ... را در برداشته باشد رشد زیادی داشته است. سپس با استفاده از دستگاه صدای آلتراسونیک دیتابرداری انجام شد و مشخص گردید که میزان Pake to این تجهیز به شدت زیاد شده و همچنین خشک کار کردن این تجهیز طبق صدای شنیده شده محرز بود، شکل شماره 7 طیف تایم سیگنال صدای آلتراسونیک هنگام خشک کارکردن تجهیز را نشان می دهد. این موضوع جهت انجام روانکاری به واحد نت اطلاع رسانی گردید. سپس طی یک مرحله گریسکاری و گذشت یک روز از زمان تزریق گریس مجدداً دیتابرداری انجام و مشاهده گردید که میزان شتاب و P\_P صدای آلتراسونیک این تجهیز نیز تغییری نداشت، این موضوع به واحد نت دوباره ارجاع گردید که طبق اعلام آن واحد روانکاری مجدد صورت گرفته است و نتیجتاً روز بعد دیتابرداری انجام گردید که مجدداً مشاهده شد، ارتعاشات فرکانس بالا رشد بیشتری داشته شده است. این روال چند روز ادامه داشت.



شکل 7: طیف صدای آلتراسونیک هنگام خشک کار کردن بیرینگ

#### یافته ها

با استفاده از راهکار شنیدن صدای آلتراسونیک از طریق استفاده از هدفون دستگاه صدای آلتراسونیک در هنگام روانکاری مشخص گردید که میزان گریس تزریقی طبق برنامه به بیرینگ ها نمی رسد و می بایست گریس بیشتری تزریق شود تا صدای بیرینگ تغییر کند. در این هنگام نزدیک به 60 گرم گریس تزریق شد تا صدای آلتراسونیک تغییر کرد، شکل شماره 8 طیف تایم سیگنال صدای آلتراسونیک تجهیز پس از انجام روانکاری را نشان می دهد. همچنین طبق شکل 6 که ترند ارتعاشات در این تجهیز را نشان می دهد ارتعاشات فرکانس بالا نزولی شد. سپس در روز بعد دیتابرداری انجام شد همانگونه که مشاهده می شود همچنان ارتعاشات فرکانس بالا نزولی بوده و پس از تزریق گریس مجدد در روز سوم با استفاده از دستگاه صدای آلتراسونیک ارتعاشات فرکانس بالا به حالت قبل برگشت و این تجهیز به صورت عادی به کار خود ادامه داد. همچنین این اقدام ما را بر آن داشت که از گریس مورد استفاده آنالیز انجام شود. پس از انجام نمونه برداری نتایج گریس به شرح زیر مشخص و در شکل های 9 و 10 به صورت تفکیک شده کاتالوگ گریس و نتیجه آنالیز آورده شده است.



شکل 8: طیف صدای آلتراسونیک پس از انجام روانکاری



No.	Test Name	Result	Test Method
1	Appearance	بگنواخت	Visual
2	Iron (Fe) -ppm	1.5	ASTM D6595
3	Chromium (Cr) -ppm	0	ASTM D6595
4	Aluminum (Al) -ppm	0.8	ASTM D6595
5	Copper (Cu) -ppm	0.2	ASTM D6595
6	Lead (Pb) -ppm	1.8	ASTM D6595
7	Tin (Sn) -ppm	0	ASTM D6595
8	Nickel (Ni) -ppm	0	ASTM D6595
9	Titanium (Ti) -ppm	0	ASTM D6595
10	Silver (Ag) -ppm	0	ASTM D6595
11	Molybdenum (Mo) -ppm	0	ASTM D6595
12	Silicon (Si) -ppm	5.3	ASTM D6595
13	Sodium (Na) -ppm	16.1	ASTM D6595
14	Boron (B) -ppm	0	ASTM D6595
15	Vanadium (V) -ppm	0	ASTM D6595
16	Zinc (Zn) -ppm	744	ASTM D6595
17	Phosphorus (P) -ppm	0	ASTM D6595
18	Calcium (Ca) -ppm	14.4	ASTM D6595
19	Barium (Ba) -ppm	1242	ASTM D6595
20	Magnesium (Mg) -ppm	2.5	ASTM D6595
21	Manganese (Mn) -ppm	0.2	ASTM D6595
22	Cadmium (Cd) -ppm	0	ASTM D6595
23	Color	Blue	ASTM D1500
24	Grease Worked Penetration 1/10 mm	224	ASTM D217
25	NLGI	3	ASTM D217
26	Grease Copper Corrosion @ 24hr & 100 °C	1b	ASTM D4048
27	Dropping Point Over Wide Temp. Range - °C	263	ASTM D2265

این نتایج فقط مربوط به نمونه مورد آزمون می‌باشد / گنج‌برداری از گزارش آزمون مجاز نبوده مگر بطور کامل و از تمام مندرجات آن / برای تکرار آزمایش، نمونه به مدت سه هفته نگهداری می‌شود.

وضعیت کلی: **گریس**

وضعیت روغن: --

وضعیت دستگاه: --

نظریه و توصیه: -- نتایج آزمون های NLGI و Penet. W مغایر با جدول مشخصات گریس SKF LGHP2/1 می باشد و درجه (NLGI) گریس ارسالی 3 است-

شکل 9: آنالیز گریس استفاده شده





## Technical data

Designation	LGHP 2/(pack size)		
DIN 51825 code	K2N-40	Corrosion protection	
NLGI consistency class	2-3	Emcor: - standard ISO 11007	0-0
Thickener	Di-urea	- water washout test	0-0
Colour	Blue	- salt water test (100% seawater)	0-0
Base oil type	Mineral	Water resistance	
Operating temperature range	-40 to +150 °C (-40 to +300 °F)	DIN 51 807/1, 3 hrs at 90 °C	1 max.
Dropping point DIN ISO 2176	>240 °C (>465 °F)	Oil separation	
Base oil viscosity		DIN 51 817, 7 days at 40 °C, static, %	1-5 <sup>1)</sup>
40 °C, mm <sup>2</sup> /s	96	Lubrication ability	
100 °C, mm <sup>2</sup> /s	10,5	R2F, running test B at 120 °C	Pass
Penetration DIN ISO 2137		Copper corrosion	
60 strokes, 10 <sup>-1</sup> mm	245-275	DIN 51 811	1 max. at 150 °C (300 °F)
100 000 strokes, 10 <sup>-1</sup> mm	365 max.	Rolling bearing grease life	
Mechanical stability		ROF test	1 000 min.
Roll stability, 50 hrs at 80 °C, 10 <sup>-1</sup> mm	365 max.	L <sub>50</sub> life at 10 000 r/min., hrs	at 150 °C (300 °F)
		Fretting corrosion	
		ASTM D4170 (mg)	7 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Typical value

شکل 10: دیتاشیت سازنده گریس

همانگونه مشاهده می کنید و با توجه به نتایج آزمایش های انجام شده درجه NLGI گریس و میزان نفوذپذیری با مشخصات اعلامی توسط تولید کننده مطابقت نمی کند. بنابراین استفاده از این گریس به هیچ عنوان توصیه نمی گردد. که این موضوع به اطلاع بهره بردار رسید.

شایان ذکر است با استفاده از این روش از خرابی بیرینگ های این الکتروموتور و سایر تجهیزات مشابه جلوگیری به عمل آمد که در این میان مقدار زیادی در هزینه های شرکت صرفه جویی شد که در جدول شماره 3 ریز هزینه های صرفه جویی انجام شده به صورت تقریبی بیان می شود.

جدول 3: سودآوری شرکت از اقدام انجام شده (مبالغ به ریال)

ردیف	اقدام	مبلغ	توضیحات
------	-------	------	---------



در صورت داشتن الکتروموتور Spare	800.000.000.124	سود خالص حاصل از 8 ساعت عدم توقف تولید کارخانه (8*120=960 تن) با توجه به قیمت آهن اسفنجی به ازای هر کیلو گرم 130.000 ریال	1
	000.000.000.6	هزینه های تعمیراتی تعویض الکتروموتور	2
	800.000.000.130	سود خالص شرکت از اقدام انجام شده	

بنابراین با استفاده از یک راه کار مناسب می توان نگهداری بهتری از تجهیزات انجام داد و همچنین به نسبت قابل توجهی در هزینه ها و سودآوری شرکت نیز کمک به سزایی انجام داد.



## نتیجه گیری

با توجه به اینکه در حال حاضر کشور ما مورد تحریم های ظالمانه قرار گرفته و ورود روانکار مناسب جهت مصارف صنعتی از برند های معروف بسیار کم شده است، پیشنهاد میگردد شرکت ها با تشکیل کمیته های روانکار نسبت به معادیایی روانکار ها با روانکار داخلی و همچنین از شرکت های دانش بنیان جهت تولید این محصولات استفاده گردد تا موارد این چینی در تولید محصولات کمتر شود. همچنین با توجه به اینکه میتواند روانکاری تجهیزات را با استفاده از دستگاه های فراصوت چک نمود حتی الامکان از این دستگاه ها برای انجام و چک روانکاری استفاده شود.



## منابع

- [1] K. AL-Atawi & M.Almuuhha, Process Manual, AL-Tuwairqi Group.
- [2] ISO 10816-3
- [3] P. Girdhar, 2004, Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance, Oxford, Elsevier.
- [4] R. K. Mobley, 1999, Vibration Fundamentals, United States of America, Elsevier.
- [5] A. G. Piersol and T. L. Paez, 2010, Harris shock And Vibration Handbook, United States of America, McGraw-Hill
- [6] Lotfi Zadeh, Fuzzy Sets, Information and Control, p338, 1965.