ISAV2024
چهاردهمین کنفرانس بین المللی آکوستیک و ارتعاشات
۲۱و ۲۲ آذر ماه ۱۴۰۳ کرج - ایران
دانشگاه خوارزمی
انجمن آکوستیک و ارتعاشات ایران

# ریشه یابی خرابی بیرینگ الکتروموتور فن هوای اصلی کارخانه احیاء مستقیم شرکت جهان فولاد سیرجان

سجاد گنبدکناری[1*]، بهروز پاریزی[2]، مهدی پرمی[3]

[1] سرپرست الکترومکانیک بازرسی فنی، تحقیق و توسعه، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

[2] رئیس بازرسی فنی، تحقیق و توسعه ، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

[3] مدیر بازرسی فنی، تحقیق و توسعه ، شرکت جهان فولاد سیرجان، سیرجان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: *s.gonbadkenari@sjscosteel.com*

## چکیده

عیب یابی تجهیزات دوّار به کمک پایش وضعیت(CM)، مزایای بسیاری از جمله کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات، کاهش زمان خرابی، جلوگیری از توقفات برنامه ریزی نشده و طولانی شدن عمر تجهیز 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 می نماید. باتوجه به اینکه بخش عظیمی از حوادث و رخدادها مربوط به دستگاه ها و تجهیزات در صنایع مختلف تکرارپذیرند. دستیابی به علل ریشه های مشکل و جلوگیری از تکرار مجدد آن یا سایر مسائل مشابه، تنها در قالب یک فرایند میسر است که قابل آموزش و کنترل نیز باشد. در این روش آنالیز، علل وقوع و روابط علت و معلولی حاکم بر مسئله به شکلی عمیق و مشخص و با هدف جلوگیری از تکرار آن می باشد. این تحقیق ریشه یابی خرابی بیرینگ الکتروموتور فن هوای اصلی کارخانه احیاء مستقیم از طریق آنالیز ارتعاشات و روانکار می باشد. که پس از ریشه یابی عیب عدم استفاده از روانکار مصرفی و نحوه روانکاری به اطلاع بهره بردار رسید.

**کلمات کلیدی**: ارتعاشات فرکانس بالا؛ ارتعاشات؛ آنالیز روانکار؛ ریشه یابی خرابی.

---

## ۱- مقدمه

پیشرفت دانش و تکنولوژی، اکثر فرآیندها و تجهیزات صنعتی را نسبت به گذشته پیچیده تر کرده است که این مسئله شناخت پارامترها و دلایل واقعی موثر بر نحوه عملکرد، عوامل خرابی و یا عوامل وقوع حوادث ناگوار و نامطلوب در صنایع را تبدیل به امری دشوار می نماید. وقوع حوادث غیر مترقبه ای مانند آنچه ناشی از خرابی های تصادفی و غیرتصادفی و یا اشتباهات فرآیندی است،

پیامدهای ایمنی و عملیاتی مهمی را برای مجموعه های صنعتی به همراه دارد. جلوگیری از تکرار چنین حوادثی و افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات و تأسیسات، از چالش های مهمِ پیش رویِ صنایع امروزی است. با توجه به عوامل متعدد اثرگذار، ماهیت پیچیده و ظرافت های خاص موجود در فرآیند کاری صنایع، چاره جویی برای جلوگیری از تکرار بسیاری از حوادث ناخوشایند، نیازمند انجام بررسی دقیق، فنی و کارشناسی، با بهره گیری از روشی استاندارد، کارا و تخصصی در این خصوص است. یکی از رو شهای استاندارد و معتبر در این زمینه، بهره گیری از روش تحلیل علل ریشه ای است.[1]

در تحلیل علل ریشه ای وقایع، با جمع آوری و بررسی شواهد موجود در زمینه عیب یا حادثه مورد نظر، نسبت به شناسایی و تحلیل علل ریشه ای وقوع عیب و تعیین، پیاده سازی و پیگیری راهکارهای اصلاحی مؤثر جهت جلوگیری از تکرار مجدد آن اقدام می گردد. با استفاده از این تحلیل لازم است تا راهکارهای اصلاحی یا پیشگیرانه اتخاذ گردد.

تحلیل علل ریشه ای خرابی ها و رخدادهای نا منطبق با هدف جلوگیری از تکرار چنین وقایعی، حلقه ای کلیدی در تکمیل چرخه بهبود مستمر است. چنانچه دراستاندارد PAS55 نیز تشریح شده سازمان ها باید رویه ها و فرایندهایی را برای بررسی و رسیدگی به خرابی ها، پیشامد های حوادث و عدم تطابق های مرتبط با دارایی های فیزیکی، سیستم ها و فرایند مدیریت دارایی ها ایجاد، اجرا و نگهداری کنند. این موضوع همیشه دغدغه های جدی برای مدیران صنعت بوده و البته در پیاد هسازی، دشواری های خاص خود را به همراه داشته است. در صورتی که با عمق و تأثیرگذاری کافی به ریشه های خرابی ها، حوادث و سایر رخداد های نا منطبق پرداخته نشود و در شلوغی فعالیت های روزمره فقط اقداماتی جهت رفع آثار این مشکلات صورت گیرد، شکی نیست که این مشکلات دوباره بازگشته و این بار شاید در نقطه ای حساس تر ضربه را وارد کنند. درصورتی که هوشمندانه این موضوع دیده نشود و چاره ای برای آن لحاظ نگردد، چنین چرخه معیوبی بارها تکرار خواهد شد. یک متدولوژی موثر برای آنالیز علل ریشه ای باید بتواند کار گروهی و مشارکت در جستجو و به اشتراک گذاشتن اطلاعات را تقویت و درکی بسیار روشن از روابط علت و معلولی در پس مشکل ایجاد نموده و توانایی کشف و به کارگیری موثرترین راهکارها را برای جلوگیری از تکرار هرچه بیشتر تقویت نماید.

## ۱-۱ شرح فرآیند تولید آهن اسفنجی

پروسه 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 CO+H2) 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. فن هوای اصلی در این کارخانه وظیفه تامین هوای مورد نیاز سوخت مشعل های اصلی را بر عهده دارد. افزایش ارتعاشات فرکانس بالا در این تجهیز و در نتیجه توقف ناخواسته آن باعث عدم ورود هوا به ریفرمر و در نتیجه پایین آمدن دمای محفظه و نهایتاً توقف تولید که مهمترین مساله هر کارخانه تولیدی می باشد، گردد.[ 2]

مجموعه این فن شامل الکتروموتور و فن که به صورت بیت وین بیرینگ می باشد که شکل شماره (1) موقعیت آن را در کارخانه احیاء مستقیم شرکت جهان فولاد سیرجان نشان داده و جدول شماره (1) نیز مشخصات آن را ارائه می کند.

**شکل ۱: موقعیت فن هوای اصلی در کارخانه**

**جدول ۱: مشخصات فنی**

| ردیف | تجهیز | توان | دور | شماره بیرینگ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | الکتروموتور فن هوای اصلی | 2000KW | 1493RPM | DE: 6034 C3 & NU1034<br>NDE: NU1032 |

## ۲-۱ استاندارد مورد استفاده

در این تحقیق از استاندارد ISO 10816-3 [3] 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.

**جدول۲: محدوده مجاز ارتعاشات مطابق استاندارد ISO ۱۰۸۱۶-۳**

| نوع فونداسیون | مرز ناحیه | شدت ارتعاشات(mm/s) | شدت جابجایی(µm) |
|---|---|---|---|
| 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 |

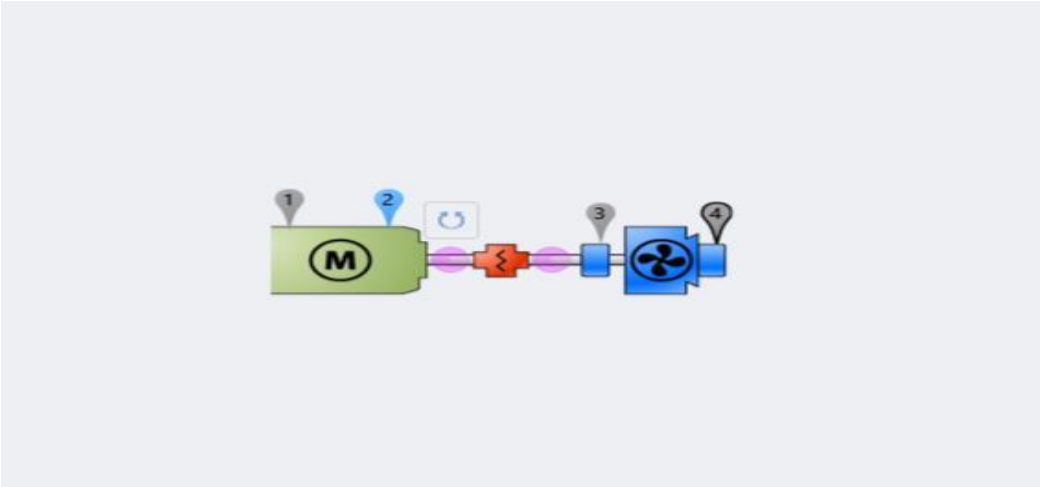
### ۳-۱ ابزارهای مورد استفاده

دیتابرداری های این تجهیزات دوّار 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.. همچنین از نتایج آنالیز گریس استفاده شده است.

**شکل ۲: دستگاه ارتعاشات فالکون**

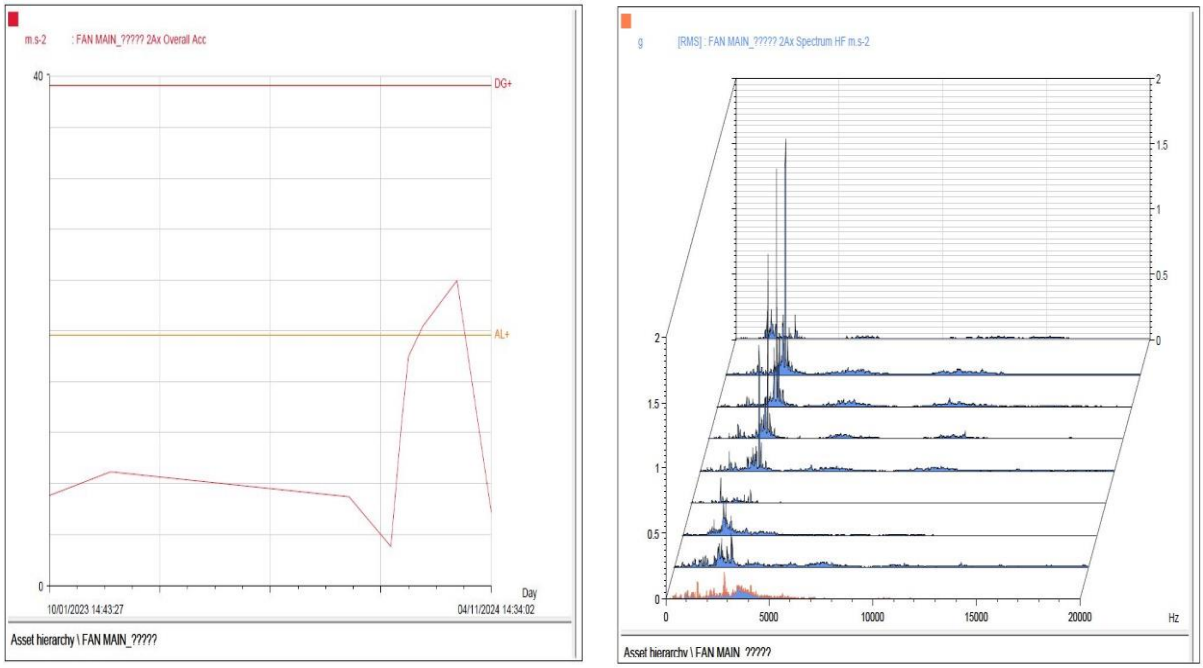
## ۲- تئوری و پیشینه تحقیق

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 انجام کار خود در ابتدا دیتابرداری ارتعاشی از نقاط متفاوت و همچنین جهت های مختلف(سه جهت عمودی، افقی و محوری) تجهیز طبق شکل شماتیک شماره (3) انجام داد.




**شکل۳: نقاط داده برداری**

تحلیل داده ها از طریق مختلف انجام می شود که مختصراً به آنها اشاره می شود. استفاده از اطلاعات سازنده نسبت به سایر روش ها ارجعیت دارد و اگر اطلاعاتی از سازنده در اختیار نباشد، استفاده از استاندارد های موجود پیشنهاد می گردد، جهت تحلیل بهتر می توان از مقایسه تجهیز با خود و همچنین مقایسه با سایر تجهیزات مشابه استفاده نمود. در این تجهیز پس از انجام دیتا برداری ارتعاشات در محدوده استاندارد قرار دارد که سپس مقایسه میزان Overall ارتعاشات این تجهیز با سابقه قبلی و ترند ارتعاشات مشخص گردید که ارتعاشات فرکانس بالا در این تجهیز به شدت صعودی شده است. شکل (4) طیف ها و ترند ارتعاشی در این تجهیز را نشان می دهد.




**شکل۴: ترند و طیف ارتعاشی**

همانگونه که مشاهده می شود ارتعاشات فرکانس پایین آن تغییر زیادی نداشته اند و ارتعاشات فرکانس بالا رشد بیشتری داشته اندو همچنین ترند ارتعاشات فرکانس بالا(شتاب) مشخص است به یکباره رشد زیادی داشته است. سپس با تحلیل طیف های ارتعاشی و مشاهده پیک خرابی بیرینگ به همراه هارمونیک های آن متوجه خرابی بیرینگ این تجهیز شده ایم که این موضوع به اطلاع واحد نگهداری و تعمیرات کارخانه رسانده شد..[4-6]

## ۳- اقدامات انجام شده

جهت جلوگیری از از توقف ناخواسته و برنامه ریزی نشده و همچنین جهت جلوگیری از خرابی بیشتر، الکتروموتور فوق برای انجام عمل تعویض بیرینگ باز شد تصاویر واقع در شکل (5) خرابی بیرینگ و خراب شدن گریس آنها را در این تجهیز نشان می دهد

**شکل۵: استفاده از گریس نامناسب**

جهت ریشه یابی این خرابی و همچنین جهت جلوگیری از خرابی های احتمالی آینده از گریس مورد استفاده آنالیز انجام شد. پس از انجام نمونه برداری نتایج گریس به شرح شکل (6) و کاتالوگ گریس شکل (7) آورده شده است.[7]

| No. | Test Name | Result | Test Method |
|---|---|---|---|
| 1 | Appearance | یکنواخت | Visual |
| 2 | Iron (Fe) -ppm | 1.5 | ASTM D6595 |
| 3 | Chromium (Cr) -ppm | 0 | ASTM D6595 |
| 4 | Aluminume (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 / کپی‌برداری از گزارش آزمون مجاز نبوده مگر بطور کامل و از تمام مندرجات آن / برای تکرار آزمایش، نمونه به مدت سه هفته نگهداری میشود.

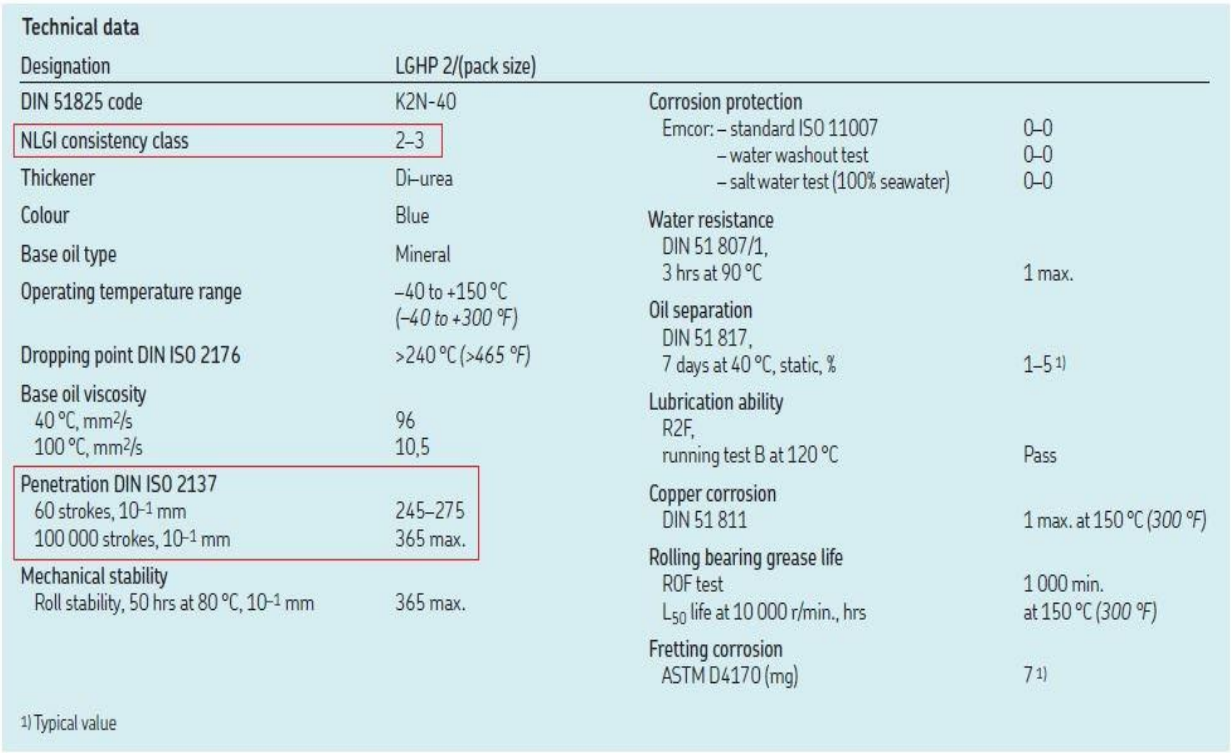
وضعیت کلی: گریس

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-

**شکل۶: نتیجه آنالیز گریس**



**Technical data**

| Designation | LGHP 2/(pack size) |
|---|---|
| DIN 51825 code | K2N-40 |
| NLGI consistency class | 2–3 |
| Thickener | Di-urea |
| Colour | Blue |
| Base oil type | Mineral |
| Operating temperature range | –40 to +150 °C (*–40 to +300 °F*) |
| Dropping point DIN ISO 2176 | >240 °C (>465 °F) |
| Base oil viscosity | |
| 40 °C, mm²/s | 96 |
| 100 °C, mm²/s | 10,5 |
| Penetration DIN ISO 2137 | |
| 60 strokes, 10⁻¹ mm | 245–275 |
| 100 000 strokes, 10⁻¹ mm | 365 max. |
| Mechanical stability | |
| Roll stability, 50 hrs at 80 °C, 10⁻¹ mm | 365 max. |

| | |
|---|---|
| Corrosion protection | |
| Emcor: – standard ISO 11007 | 0–0 |
| – water washout test | 0–0 |
| – salt water test (100% seawater) | 0–0 |
| Water resistance | |
| DIN 51 807/1, 3 hrs at 90 °C | 1 max. |
| Oil separation | |
| DIN 51 817, 7 days at 40 °C, static, % | 1–5 1) |
| Lubrication ability | |
| R2F, running test B at 120 °C | Pass |
| Copper corrosion | |
| DIN 51 811 | 1 max. at 150 °C (*300 °F*) |
| Rolling bearing grease life | |
| ROF test | 1 000 min. |
| $L_{50}$ life at 10 000 r/min., hrs | at 150 °C (*300 °F*) |
| Fretting corrosion | |
| ASTM D4170 (mg) | 7 1) |

1) Typical value

**شکل۷: دیتا شیت 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. و 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 سیستم پایش وضعیت از خرابی بیشتر بیرینگ های این الکتروموتور جلوگیری به عمل آمد و همچنین با دانستن ریشه عیب از خرابی سایر تجهیزات نیز جلوگیری شد، در این میان با توجه به برنامه ریزی انجام شده جهت تعویض 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 شده است.

**جدول۳: سودآوری شرکت از اقدام انجام شده(مبالغ به ریال)**

| ردیف | اقدام | مبلغ | توضیحات |
|---|---|---|---|
| 1 | سود خالص حاصل از 8 ساعت عدم توقف تولید کارخانه (120*8=960 تن) با توجه به قیمت آهن اسفنجی به ازای هر کیلو گرم 146.000 ریال | 140.000.000.000 | در صورت داشتن Spare |
| 2 | هزینه تعویض الکتروموتور | 1.000.000.000 | |
| 3 | هزینه الاینمنت | 100.000.000 | |
| 4 | خرید بیرینگ جدید | 3.000.000.000 | |
| 5 | حمل به گارگاه | 400.000.000 | |
| 6 | تعویض بیرینگ | 1.500.000.000 | |
| سود خالص شرکت از اقدام انجام شده | | 146.000.000.000 | |

## ۴- نتیجه

با توجه به حوادث و رخدادهای تکراری در صنعت و اینکه با شناسایی دلیل ریشه ای این حوادث میتوان از وقوع آنها جلوگیری کرد، استفاده از روش های مختلف تحلیل ریش های علل خرابی ها و رخداد ها می تواند در پیش گیری از این حوادث بسیار موثر باشد. چنانچه روش های تحلیل ریشه ای علل وقایع در شرکت ها نهادینه شود، باعث ایجاد دستورالعمل های پیش گیری از وقایع شده و این دستورالعمل ها می تواند بین سازمان های مختلف به اشتراک گذاشته شود تا از تکرار حوادث مشابه جلوگیری گردد.

برخی از مهمترین فواید بکارگیری روش آنالیز علل ریش های عبارتند از:

حل مشکلات واقعی مجموعه به صورت ریشه ای

افزایش قابلیت اطمینان و ایجاد محیط کاری ایمن تر

کاهش هزینه ها

همچنین 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 معادیابی روانکار ها با روانکار داخلی و همچنین از شرکت های دانش بنیان جهت تولید این محصولات استفاده گردد تا موارد این چنینی در تولید محصولات کمتر شود.

## ۵- مراجع و منابع


1. www.pamco.ir
2. K. AL-Atawi & M.Almuuhha, Process Manual, AL-Tuwairqi Group.
3. ISO 10816-3
4. P. Girdhar, 2004, Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance, Oxford, Elsevier.
5. R. K. Mobley, 1999, Vibration Fundamentals, United States of America, Elsevier.
6. A. G. Piersol and T. L. Paez, 2010, Harris shock And Vibration Handbook, United States of America, McGraw-Hill
7. www.skf.com