

# بررسی وارنیش ایجاد شده در روغن معدنی استفاده شده در کمپرسورهای اسکرو و راه

## حل جلوگیری از آن

سیدعلیرضا هاشمی، رضا کرمی

سرپرست تعمیرات و نگهداری نیروگاه شرکت لاستیک پارس، کارشناس ابزار دقیق شرکت لاستیک پارس

Be.alireza.hashemi@gmail.com

### چکیده:

صنعت همواره در جهت حرکت خود با مشکلاتی رو به رو است، که این مشکلات تنها به یک بخش و حوزه‌ی خاص محدود نمی‌گردد. در صنعت روانکاری و روغن‌های صنعتی (معدنی یا سینتتیک) با مشکلاتی رو به رو هستیم که عمده مشکلات مربوط به روغن و روانکار، آلودگی آن‌ها می‌باشد که در نهایت منجر به ایجاد سایش و خوردگی ماشین‌آلات می‌شود. با این حال، یک مشکل بسیار جدی و بخصوص در این زمینه وجود وارنیش و لجن در روغن است. این وضعیت می‌تواند حتی در ماشین‌آلاتی که به خوبی تعمیر و نگهداری شده‌اند نیز رخ دهد. با کمال تعجب، این مشکل حتی در روغن‌هایی با ساعت کارکرد نه‌چندان بالا و چه بسا ساعت کارکرد پایین یافت. وارنیش و لجن گاهی در روغن‌هایی که آلوده نیستند نیز یافت می‌شود. دلایل بسیار زیادی برای ایجاد وارنیش و لجن شناخته شده است، تعدادی بسیار زیادی از عوامل شناخته نشده است. با بکارگیری و استفاده از تکنولوژی پایش وضعیت، خرد جمعی، ارتباط با سایر واحدهای تولیدی، ارتباط موثر بین واحدهای تعمیراتی شرکت و اعتقاد به توانایی پرسنل موفق به رفع عیب و راه‌اندازی تجهیزات با کمترین هزینه شدیم.

**کلید واژه:** وارنیش، روغن صنعتی، لجن، تعمیر و نگهداری

**محتوای مقاله:** ماشین‌آلات و تجهیزات جهت تولید تایرهای با عملکرد بهبود یافته

### مقدمه

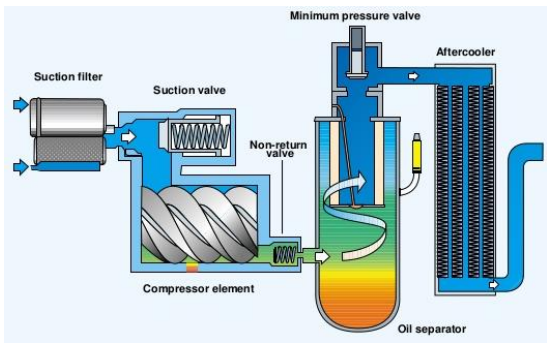
تلاش برای بهبود استفاده از منابع از اهداف هر سازمانی می‌باشد. نیروی انسانی، انرژی، مواد مصرفی در فرآیند تولید و تجهیزات و ادوات صنعتی عمده منابع مورد بررسی مدیران و سازمان‌های تولید و صنعتی هستند. وجود ساز و کارهای مناسب جهت استفاده موثر و کارآمد از این منابع از ضروریات هر سازمانی است. با پیشرفت روز افزون تکنولوژی و دانش و حجم عظیم تغییرات ماشین‌آلات صنعتی و تولیدی، سازمان‌ها نیازمند تغییر رویه به سمت پرورش پرسنل کارآمد هستند تا بتوانند با استفاده از ارتباطات درون سازمانی و رون سازمانی و با بهره‌بردن از دانش، تجربه و اطلاعات تمامی افراد در دسترس مشکلات را از میان بردارند. سرعت تغییر در سازمان‌ها باید به گونه‌ای باشد که در درجه اول از روند رو به رشد علم و فناوری عقب‌نمانند و در درجه دوم باری از دوش سازمان برداشته شود. این سرعت تغییرات در جهان امروز به گونه‌ای است که به هیچ‌عنوان امکان سکون برای سازمان‌ها نمانده است و هر نهاد و سازمانی می‌بایست برای پیشرفت و عفت نماندن از علم و تجهیزات روز تلاشی دو چندان داشته باشد. یکی از این تجهیزات که در تمام واحدهای تولید و صنعتی وجود دارد، کمپرسورهای هوای فشرده می‌باشد. انتخاب کمپرسور وابسته به نوع فرآیند، شرایط و روند تولید است. در ذیل شرح مهم‌ترین آنها بیان شده است.

- |   |                              |   |                       |
|---|------------------------------|---|-----------------------|
| 1 | فشار هوای مورد نیاز          | 6 | حساسیت به حضور روغن   |
| 2 | دبی مورد نیاز                | 7 | بهای انرژی            |
| 3 | کیفیت هوای مورد نیاز         | 8 | قابلیت اعتماد تجهیزات |
| 4 | هزینه‌های تعمیراتی و نگهداری | 9 | قیمت اولیه            |
| 5 | حداکثر دمای مجاز             |   |                       |

در شرکت لاستیک پارس جهت تامین هوای فشرده با فشار 4 بار (کنترل و ابزار دقیق)، فشار هوای 8 بار (هوای مورد نیاز تجهیزات نیوماتیکی و عملگرها)، فشار هوای 11 بار (مورد استفاده در پست کیورهای ماشین‌آلات پخت تایر) و هوای 7 بار بدون روغن (سیستم شوتینگ دوده)، تعداد 4 دستگاه کمپرسور پارس تک مرحله‌ای روغنی از نوع اسکرو، 1 دستگاه کمپرسور اطلس کوپکو *GA315/w oil inject* تک مرحله‌ای (به صورت *twin*) جهت تامین هوای 8 بار، دو عدد کمپرسور اطلس کوپکو *GR110/w oil inject* دو مرحله‌ای جهت تامین هوای 11 بار و تعداد 2 دستگاه کمپرسور اطلس کوپکو *ZT55 oil free* جهت تامین هوای 7 بار بدون روغن مورد استفاده قرار می‌گیرد. هوای تولید شده در واحدهای هوا ساز پس از ذخیره در مخازن و عبور از دستگاه‌های خشک‌کن به سمت مصرف‌کننده منتقل می‌شوند.

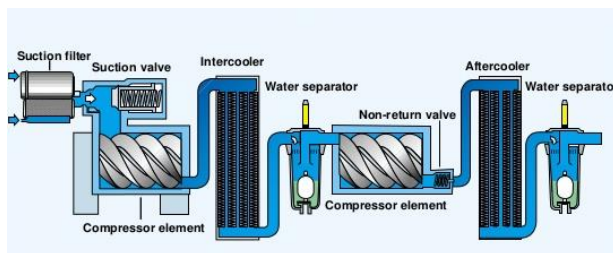
### طرز کار کمپرسور

کمپرسورهای اسکرو از متداول‌ترین نوع کمپرسورهای هوا در صنایع می‌باشند. در این نوع کمپرسور، هوا درون یک مارپیچ حلزونی فشرده می‌شود. این نوع کمپرسورها بدلیل دور پایین ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه و هزینه نگهداری بسیار کمتر نسبت به



کمپرسورهای سانتریفیوژ در حجم های زیر ۱۲۰ متر مکعب در دقیقه و فشار تا ۱۳ بار توصیه می شوند. این نوع کمپرسورها در ۲ نوع روغنی و *oil free* موجود می باشند که بسته به نوع کاربرد هوا در صنایع، از هر کدام استفاده می شود. بطور مثال کمپرسورهای *oil free* به دلیل حذف روغن از چرخه تراکم برای صنایع دارویی و غذایی و الکترونیک و حساس به روغن کاربرد دارند. در کمپرسور اسکرو روغنی هوا با روغن در واحد هواساز مخلوط و فشرده می شوند. روغن در *oil separator* جدا شده و پس از خنک شدن و فیلتراسیون به چرخه تراکم باز می گردد. هوا خروجی از *oil separator*

در *after cooler* توسط آب یا هوا خنک می شود حداقل میزان روغن در هوای خروجی در بهترین شرایط  $3\text{ ppm}$  می باشد که با مرور زمان تا  $30\text{ ppm}$  نیز افزایش می یابد.



در کمپرسورهای *oil free* با حذف روغن از چرخه تراکم و با استفاده از ۲ المنت هواساز، هوا تا میزان ۸ بار فشرده می شود. در این نوع کمپرسورها *oil separator* وجود ندارد و روغن تنها در پوسته و داخل چرخدنده ها وجود دارد. این نوع کمپرسورها در ۲ نوع آب خنک و هوا خنک ساخته می شوند. در کمپرسورهای *oil free*، اسکروها مانند کمپرسورهای

روغنی با هم درگیر نبوده و با *clearance* بسیار کمی در کنار یکدیگر قرار گرفته اند. کمپرسورهای *oil free* به جای یک المنت از ۲ المنت *low pressure & high pressure* استفاده می کنند. هوا در المنت اول تا فشار ۲٫۵ بار فشرده شده و سپس در *intercooler* خنک می شود. سپس وارد *HP* المنت شده و تا فشار ۸ بار فشرده می شود و در *After cooler* خنک شده و خارج می گردد.

[www.eximcoiran.ir](http://www.eximcoiran.ir)

کارکرد کمپرسور اسکرو اینگونه است که هوا یا گاز بوسیله روتورهایی که در درون سیلندر هست به جریان می افتد. روتورهای کمپرسور اسکرو مثل پیچ های چند راهه ای بوده که به شکل نر و ماده در داخل یکدیگر می چرخند و با حرکت خود گاز یا هوا را به طرف جلو می برند. که در نهایت موجب بوجود آمدن خلا و ورود مداوم گاز به داخل کمپرسور می شود و با کمتر شدن فاصله بین ملکول های گاز موجب افزایش فشار آن می شوند. فاصله بین رتورها و بدنه بایستی ناچیز باشد چرا که اگر فاصله زیاد باشد باعث نشتی درونی می شود که در نهایت باعث کمتر شدن کارایی و عملکرد کمپرسور و افزایش لرزش و صدا می شود و از طرف دیگر میزان حرارت زیاد می شود. هوای محیط اطراف به درون کمپرسور کشیده می شود و در آنجا بین چرخنده (روتورها) و پوسته به دام می افتد و در برخورد با نر و مادگی روتورها با همدیگر هوا در طول کمپرسور پیش رفته و آرام آرام حجمش کاهش پیدا می کند و از دستگاه بیرون می رود به طور کلی و خلاصه در یک جمله می توان گفت هوا محیط وارد کمپرسور اسکرو می شود و متراکم شده و در آخر از دستگاه بیرون می رود.

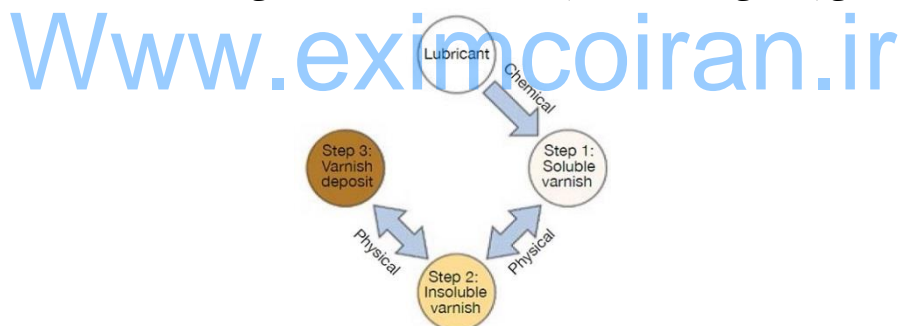
### روغن مناسب برای کمپرسور

مهم ترین و موثر ترین عامل در افزایش عمر و کیفیت عملکرد کمپرسورهای روغنی، روغن است. در نتیجه انتخاب نوع روغن مهم ترین بخش کار تعمیراتی و آنالیز شرایط کارکرد واحد هواساز می باشد. نوع کمپرسور، خواص سیال مورد تراکم، دمای مجاز، نوع سیستم خنک کاری، حداکثر فشار کاری و ... مهم ترین عوامل تاثیر گذار بر روی انتخاب نوع روغن در کمپرسورها دارد. روغن های کمپرسور های اسکرو معمولاً با درجه گرانی  $46\text{ CSt}$  و  $68$  می باشد. شاخص گرانی روغن می بایست بالای ۱۰۰ باشد. آزمون پایداری در برابر اکسیداسیون حداقل ۴۰۰۰ ساعت کارکرد را مشخص کند. عدد اسیدی  $0/1\text{ mg KOH/g}$  داشته باشد. پایداری اکسیداسیون مناسب، جداپذیری مناسب از آب، ضد کف کنندگی مناسب، قابلیت فیلتر شدن مناسب بدون جدا شدن مواد افزودنی، مقاومت مناسب در برابر کربونیزاسیون و پایین بودن پتانسیل تشکیل وارنیش از عوامل مهم در انتخاب روغن کمپرسور می باشد. مشخصه های اصلی که یک روغن کمپرسور می بایست داشته باشد.

البته روغن مناسب برای هر کمپرسور توسط سازنده آن پیشنهاد می شود. شرکت اطلس کوپکو برای کمپرسور های روغنی روانکار *Roto Inject Fluid* و برای کمپرسور بدون روغن، روانکار *Roto Z* را پیشنهاد کرده است، که با توجه به شرایط کارکرد و ساخت کمپرسور (واحد هواساز یا ایرند) ساخته شده، توسط بهره بردار برای بیشترین بازدهی می بایست مورد استفاده قرار گیرد.

## وارنیش

صنعت همواره در جهت حرکت خود با مشکلاتی رو به رو است، که این مشکلات تنها به یک بخش و حوضه ی خاص محدود نمی گردد. به جرات می توان گفت که همه ی صنایع با مشکلات صنعتی دست و پنجه نرم می کنند، مانند صنایع نفت و گاز، صنایع غذایی، نیروگاه ها، صنعت نساجی و بسیاری دیگر. در صنعت روانکاری و روغن های صنعتی نیز با مشکلاتی رو به رو هستیم. عمده مشکلات مربوط به روغن و روانکار، آلودگی آن ها می باشد که در ماشین آلات منجر به سایش و خوردگی می شود. با این حال، یک مشکل بسیار جدی و بخصوص در این زمینه وجود وارنیش و لجن روغن است. این وضعیت می تواند حتی در ماشین آلاتی که به خوبی نگهداری شده اند نیز رخ دهد. با کمال تعجب، این مشکل را نیز می توانید هنگامی که روغن به نحوی مسن و آلوده نیست، یافت و حتی در بیشتر روان کننده های مصنوعی مقاوم در برابر حرارت و سیالات هیدرولیک نیز می توان وارنیش را مشاهده کرد. در حالی که بسیار دلیل شناخته شده وجود دارد که چرا در روغن لجن به وجود می آید، به همان تعداد و حتی به صراحت می توان گفت به مقدار مساوی دلایلی هستند که شناخته نشده و یا درک نشده اند. وارنیش یک آلاینده ی نرم است، یک جسم با وزن مولکولی بالا که در روغن های صنعتی نامحلول، دارای خاصیت چسبندگی، و بطور معمول بر روی سطح فلزات می نشیند. مواد وارنیش در روغن معمولاً از حالت معلق در آمده و سطح کار را پوشش می دهند که در این محل سخت گشته و مانع حرکت درست قطعات مکانیکی می گردند. در محلی که وارنیش انباشته می شود، شیر ها و سایر قطعات متحرک مسدود، و منتهی به خاموشی دستگاه ها از قبیل خاموشی توربین نیروگاه ها می شود. به این علت که رسوبات وارنیش چسبندگی هستند، آن ها آلاینده های جامد مانند فلزات و آلودگی ها را جذب می کنند، که باعث تشکیل مایعی ساینده می گردد. به طور کلی وارنیش در روان کننده به عنوان یک رسوب و آلاینده ی سخت، براق، نفتی نامحلول و نازک تعریف می شود، که عمدتاً از پس مانده آلی تشکیل شده اند. وارنیش معمولاً توسط شدت رنگ تعریف می گردد و به راحتی پاک نمی شود. شکل زیر چرخه تشکیل وارنیش را نشان می دهد.



چرخه تشکیل وارنیش (به طور خلاصه)

1) اکسیداسیون: یک واکنش شیمیایی بین پایه روغن روان کننده و اکسیژن موجود در هوای اطراف آن است. اکسیداسیون غیر قابل اجتناب است و همواره یک سیال برای اولین بار در معرض هوا قرار می گیرد، صرف نظر از اینکه آیا سیال به کار گرفته می شود یا نه. مانند تمام واکنش های شیمیایی دیگر، میزان اکسیداسیون به معادله آرنیوس، که بیان می کند سرعت واکنش برای هر 10 درجه ی سانتی گراد (18 درجه ی فارنهایت) افزایش درجه حرارت دو برابر خواهد شد، وابسته است. (در قسمت بعدی این گزارش مفصل در باره ی اکسیداسیون در روغن بحث خواهد شد).

2) با حرکت روغن در سیستم و کاهش درجه حرارت روغن، حلالیت وارنیش هم کاهش می یابد. با این پیش آمد، مواد وارنیش از فرم محلول به فرم ذرات نامحلول شروع به رسوب می کنند. مانند آب یخ زده به شکل یخ، این ریزش وارنیش یک امر فیزیکی محسوب می شود نه یک واکنش شیمیایی.

3) پس از تشکیل، ذرات وارنیش سخت شده، انباشته گشته و به فرم رسوب در می آیند، و ترجیحاً سطوح فلزی را پوشش می دهند. این رسوبات اغلب علت اصلی عدم شرایط شروع به کار و یا خاموشی سیستم هستند. مانند مرحله ی بالا این مرحله نیز یک امر فیزیکی است و نه واکنش شیمیایی.

این مدل از شکل گیری واریش پذیرفته و به خوبی شناخته شده است. امری که کمتر مورد توجه قرار می گیرد این واقعیت است که وقتی رسوب واریش تشکیل می شود، اگر حلالیت روانکار افزایش یابد، واریش می تواند دوباره جذب گردد. این امر به این دلیل است که رسوب واریش یک امر فیزیکی و برگشت پذیر است (مرحله ی 2 و 3) اما اکسیداسیون (مرحله ی اول) یک امر شیمیایی و بازگشت ناپذیر است. در راه های موفق تصفیه ی واریش روغن، در مراحل فیزیکی علیه واریش روغن، اقداماتی انجام می پذیرد.

عوامل اصلی تشکیل واریش عبارتند از:

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| (1) اکسیداسیون             | (5) آلودگی و آلاینده های خارجی              |
| (2) میکروذرات لینگ         | (6) تخلیه الکتریکی (جرقه های الکترواستاتیک) |
| (3) تنش حرارتی             | (7) هیدرولیز                                |
| (4) از بین رفتن افزودنی ها |   |

عمده مشکلاتی که واریش می تواند ایجاد کند عبارتند از:

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| (1) خرابی تجهیزات متحرک مانند بیرینگ ها و اسکروها | (6) افزایش اصطکاک          |
| (2) افزایش سایش                                   | (7) تغییر در سطح تمیزی     |
| (3) نقص شیرآلات                                   | (8) آلودگی و کاهش عمر روغن |
| (4) مسدود شده خطوط جریان                          | (9) بالا رفتن دمای بلبرینگ |
| (5) انسداد زودرس فیلتر                            |                            |

البته باید توجه داشت که تعدادی از این مشکلات در بسیاری از دستگاه ها و ماشین آلات یکسان و در بعضی متفاوت است. اما در دیدی کلی به موضوع ، این معایب در نهایت امر سبب توقف ماشین آلات جهت تعمیرات می گردند.

### مشکلات پیش آمده (بخش تجربی)



جهت راه اندازی کمپرسور GA315/w، که مدت زیادی به دلیل عدم وجود روغن Roto Inject قابل اعتماد، روغن 1281 سفارش ویژه ساخت شرکت روغن بهران به شرکت پیشنهاد شد. پس از مذاکره با کارشناسان شرکت بهران در خصوص شرایط کارکرد روغن 1281 و مقایسه با روغن Roto Inject برای راه اندازی و فلاشینگ کلیه مسیرها مقدار 40 لیتر روغن به سیستم تزریق شد که پس از مقداری کارکرد به طور کامل تخلیه و بعد از شارژ مجدد روغن به مخزن ها دستگاه مجدد راه اندازی مورد پایش دائم وضعیت (از نظر ارتعاش، دما و صدا سنجی) قرار گرفت. مقدار ارتعاش ثبت شده بین 2/1 تا 5/2 میلیمتر در ثانیه ثبت شد، که با توجه به حل اندازه گیری بر روی ایرند (واحد هواساز) کلیه نتایج قابل قبول بودند. در مورد دمای المنت های هوا ساز محدودی دمایی ثبت شده بین 70 تا 83 درجه سانتیگراد بود، که این مورد نیز با توجه به گرفتگی مسیرهای مبدل های

خنک کننده و مقدار مصرف هوای فشرده قابل قبول بودند. تنها ایرادی که وجود داشت اختلاف دما بین المنت های شماره 1 و 2 بود که به مرور زمان اختلاف بیشتر شد. حتی در یکی از موارد پیش آمده به دلیل دمای بالا (102 درجه سانتیگراد) کمپرسور خاموش شد. پس از بررسی و کنترل مسیر روغن و شرایط کارکرد هر المنت مشخص شد که دلیل اصلی تشکیل واریش و رسوب آن بر روی لوله های مبدل خنک کننده می باشد. که طی چند مرحله شستشو با مایع شستشو 1206 محلول در آب، در نهایت هر دو المنت به شرایط نرمال دمایی برگشتند. پایش وضعیت دما، ارتعاش و صداسنجی به مدت 1 ماه به طور مداوم در هر ساعت انجام شد که در نهایت تمامی تغییر شرایط در جهت بهبود وضعیت دما و ارتعاش بودند. با توجه به تجربه راه اندازی یکی از کمپرسور ها توسط روغن 1281 سفارش ویژه بهران و با در نظر گرفتن این موضوع که حلالیت روغن تدریجاً موجب حذف حجم بیشتر واریش تشکیل شده در کمپرسور شد، این روغن در کمپرسور GR110/w شماره 2 نیز تزریق شد که پس از پایش وضعیت این کمپرسور نیز تمامی نتایج مناسب و قابل قبول بودند. در مورد کوپکو شماره 3 (GA315/w) مقدار واریش که از قبل در سیستم تشکیل شده بود توسط روغن حل و به مرور با تعویض های روغن در 4000 ساعت کارکرد از سیستم خارج شد

طبق پایش وضعیت و بررسی های انجام شده بر روی کمپرسورها، مشخص شد وارنیش در تعدادی از کمپرسورها تشکیل و در تعدادی دیگر در حال تشکیل است. در مورد کمپرسور *GR110* شماره 1 وارنیش به طور کامل تشکیل شده بود و حتی در یک مورد موجب بسته ماندن *Oil stop valve* شد. که در نهایت با افزایش ناگهانی دما، کنترل دستگاه به طور اتوماتیک کمپرسور را از خط خارج کرد. عاملی که در این مورد موجب تشکیل وارنیش شد، روغن *Roto Inject* سر ریز شده به مخزن سپراتور بود. در اصل آلودگی یا از طریق روغن به سیستم وارد شده بود و یا پایه روغن اضافه شده با روغن وجود در سیستم یکسان نبود. نکته اساسی در مورد این چینی اقدام سریع می باشد. همانطور که پیشتر گفته شد تشکیل وارنیش در مرحله فیزیکی قابل برگشت است و چنانچه از افت دما در سیستم روانکاری تا زمان استارت مجدد جلوگیری شود، امکان حل شدن وارنیش توسط روغن ( در صورت داشتن حلالیت مناسب) وجود دارد. در این مورد پس از شستشوی کامل مسیر های عبور روغن (تا حد امکان و در دسترس)، روغن روتو اینجک تخلیه شد و توسط روغن 1281 فلاشینگ صورت گرفت و پس از تخلیه فلاشینگ، روغن 1281 به سیستم تزریق شد و تجهیز راه اندازی شد.

### بحث و نتیجه گیری

در تمامی موارد پیش آمده عامل خارجی (آلودگی خارج از سیستم مانند روغن آلوده، آلودگی عبوری از فیلتر و ...) موجب تشکیل وارنیش بودند. تنها با کنترل عوامل خارجی بخش اعظمی از عوامل تشکیل وارنیش از بین خواهد رفت. در یکی از مواردی که موجب تشکیل وارنیش شد، قطعات جدا شده از چسب و رزین فیلتر هوای مکش بود که موجب تشکیل وارنیش در کمپرسور شماره 2 شد. در این مورد تنها راه پیشنهادی چک و بازدید دوره ای و مرتب و تهیه فیلتر از برندهای معتبر بازار است. پایش وضعیت می بایست به طور دائم انجام شود. با توجه به وجود روغن های غیر اصل و تقلبی در بازار بهتر است روغن معادلی به تامین کننده معتبر جایگزین شود.

### مراجع:

- 1) عیب یابی و اصلاح مشکل افزایش دما در کمپرسورهای هوای فشرده، علی سیستانی نیا، کنفرانس ملی کیفیت و بهره وری انرژی، سال 96
- 2) آشنایی با آلودگی های روغن، انواع آنالیز و روش های تصفیه، سید علی تراب، نشریه بهران
- 3) *The root cause of varnish formation, Buddy Atherton, technical sales manager, united air specialists*
- 4) *Basics of rotary screw compressor lubricants, wayne perry, technical director, kaeser compressors*