

عیب‌یابی و انجام اقدامات پیشگیرانه قبل از خرابی موتورهای دیزل از طریق بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی روغن (به همراه مطالعه موردی)

مجید محمدی نژاد

شرکت افرنده رسای تهران

Iemajeed78@yahoo.com

چکیده

نظر به اینکه یکی از نتایج مهم استفاده از آنالیز روغن عیب‌یابی سامانه‌های مکانیکی می‌باشد، به همین منظور با مطالعه دقیق نتایج آنالیز روغن موتورهای دیزل که به عنوان سامانه‌های احتراق داخلی می‌باشند، این نتیجه حاصل گردید که با بررسی دقیق مقادیر خواص فیزیکی و شیمیایی روغن که شامل شاخص گرانیروی، TBN، گرانیروی در دمای ۴۰ درجه (Vis 40) می‌باشد و همچنین مطالعه تغییرات و نوسانات آنها در طول زمان می‌توان بخش مهمی از عیوب موتور را پیش‌بینی نمود که به عنوان مثال می‌توان به مواردی همچون عملکرد سوزن‌های انژکتور، کمپرس موتور و ... اشاره نمود. در این مقاله سعی گردیده چگونگی تشخیص عیوب موتور از طریق بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی روغن ارائه گردد. همچنین در پایان به روشی ابداعی جهت کاهش اسیدی شدن محیط روغن اشاره خواهد گردید. این مقاله با مطالعه میدانی بر روی بیش از 75 عدد موتور دیزل صورت پذیرفته است.

واژه‌های کلیدی: مراقبت وضعیت، خواص فیزیکی و شیمیایی، عناصر فرسایشی، ویسکوزیته، عدد بازی روغن (TBN)

مقدمه

با توجه به اینکه روشهای مراقبت وضعیت از طریق آنالیز روغن دارای قابلیت بالا در تشخیص و کنترل عیوب مکانیکی بوده و به عنوان ابزار موثری امکان بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری و راهبری سیستمهای مکانیکی و کنترل‌های مختلف نظیر بررسی استهلاک، کیفیت قطعات، مواد مصرفی و کیفیت تعمیرات را فراهم می‌سازد لیکن لازمه رسیدن به اهداف مذکور تحلیل دقیق مقادیر آزمایشگاهی به همراه بررسی سوابق تعمیراتی و شرایط کارکردی تجهیزات می‌باشد. متأسفانه با گذشت بیش از ۱۰ سال از کاربری سیستم پایش تجهیزات صنعتی و خدماتی (Condition Monitoring) از طریق آنالیز روغن در صنایع مختلف اعم از صنایع راه‌سازی، صنایع معدنی و ... دیده شده که صرفاً نتایج آزمایشات آرشو گردیده و جز تحلیلهای جزئی اعم از انجام فعالیتهای سرویس و نگهداری (تعویض فیلترها، تعویض روغن و ...) کاربری دیگری ندارد.

در مقاله مذکور مطالعه میدانی بر روی موتورهای دیزل انجام یافته و از بین اطلاعات ارائه شده در نتیجه آزمایش روغن اطلاعات بخش خواص فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی دقیق و تحلیلی قرار گرفته و با توجه به فیدبک های تعمیراتی که بر مبنای نتایج آنالیز روغن صادر گردیده ، اطلاعات مذکور طبقه بندی گردیده و در این مقاله ارائه شده است .

تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی روغن

به طور طبیعی روغن موتور در حین کارکرد به علت شرایط دما و فشار کارکردی دچار تغییرات و نوسانات خواص فیزیکی و شیمیایی خواهد گردید ولی در صورت بروز هرگونه عیب و یا شرایط کارکرد غیر طبیعی این خواص نیز به صورت غیر طبیعی تغییر خواهند نمود که در این صورت می توان با پایش دقیق این تغییرات بخشی از عیوب مکانیکی موتور را تشخیص داد و اقدامات پیشگیرانه لازم را اعمال نمود .

در مطالعه انجام یافته که بر روی 75 موتور دیزل که بر روی ۳۵ واگن مولد برق قطارهای مسافربری نصب گردیده تغییرات غیر نرمال خواص فیزیکی و شیمیایی روغن در این موتورها بررسی و در سه گروه ذیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است . در حالت اول تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی به همراه بالا رفتن میزان عناصر فرسایشی اعم از آهن ، کروم ، مس و مورد بررسی قرار گرفته است . در این حالت بروز عیوب مکانیکی و یا ساعات کارکرد بالای روغن باعث تغییرات در این خواص گردیده که در بیشتر حالات می توان به شناسایی عیوب مکانیکی موتور پرداخته و به دنبال آن اقدامات پیشگیرانه را اعمال نمود. آمار مربوطه در تعدادی از موارد در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است . لازم به ذکر است در مواردی خاص به علت استفاده از روغن های نامناسب بدون وجود عیوب مکانیکی در موتور ، تغییر غیرنرمال خواص همراه با بالا رفتن عناصر فرسایشی بوده که بایستی با انجام تست های مکمل در آزمایشگاه نظیر پایداری برشی (Shear stability) ، خوردگی مس (Copper Corrosion) و به این پدیده پی برد.

در حالت دوم تغییر و نوسانات خواص فیزیکی و شیمیایی به همراه بالا رفتن عنصر سیلیس بوده که قابل بحث می باشد .

در حالت سوم تغییر و نوسانات خواص فیزیکی و شیمیایی بدون افزایش قابل توجه عناصر فرسایشی بوده ولی با توجه به اینکه تغییرات غیر نرمال محسوب می گردید ، علل این تغییرات بایستی مورد بررسی قرار گرفته که بعد از بررسی های گسترده بر روی این موضوع ، این نوسانات را بایستی معمولاً ریشه در شرایط دما و فشار کارکردی غیرنرمال ، اختلاط در تنظیمات سوپاپهای هوا و دود (نیاز به فیلرگیری) و ... جستجو نمود .

بررسی تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی همراه با بالا رفتن میزان عناصر فرسایشی (حالت اول)

یکی از مهمترین عوامل فرسایش از بین رفتن خواص فیزیکی روغن که به دنبال آن عدم وجود فیلم روغن بین قطعات ، از بین رفتن خاصیت ضربه پذیری و ارتجاعی بوده که حاصل آن آغاز سایش شدید قطعات می باشد. در جدول شماره ۱ نمونه هایی ارائه گردیده که بیانگر شروع سایش حاصل از افت ویسکوزیته می باشد.

مهمترین عواملی که باعث تغییر غیرنرمال در خاصیت ویسکوزیته و عدد بازی روغن (TBN) روغن می گردد را می توان به شرح ذیل طبقه بندی نمود :

۱-۱- آلودگی سوخت حاصل از نفوذ سوخت از مسیرهای سیستم سوخت رسانی به داخل روغن

ورود سوخت به گالری روغن در موتور می تواند حاصل از نشتی گازوییل از سوزن های انژکتور ، پمپ سه گوش و یا پلانترهای پمپ انژکتور باشد . مکانیزم نشت سوزن در روغن حین احتراق و یا زمان خاموش بودن موتور مبحث گسترده ای دارد که از حوزه این مقاله خارج می باشد . در جدول شماره ۱ کلیه مواردی که منجر به تست و تعویض سوزن های انژکتور ، تعویض پمپ سه گوش و یا تعویض پمپ انژکتور با دستور واحد آنالیز روغن حاصل از نتیجه آنالیز صادر گردیده ، اشاره شده است .

اختلاط سوخت در روغن باعث گردیده ویسکوزیته به شدت افت کرده و همچنین عدد بازی روغن (TBN) نیز افت نماید . البته در صورتیکه عیب مکانیکی صرفا اختلاط سوخت باشد میزان افت عدد بازی روغن (TBN) کمتر از ویسکوزیته می باشد . این در حالیست که در صورتیکه نشت سوخت همراه با احتراق ناقص باشد (به عنوان مثال در صورتیکه سوزن های انژکتور خراب شوند علاوه بر پاشش معیوب که باعث احتراق ناقص می شود سوخت نیز به محفظه روغن وارد می شود) عدد بازی روغن (TBN) نیز افت شدیدی خواهد داشت .

۱-۲- آلودگی آب حاصل از نفوذ آب از سیستم خنک کاری

اختلاط آب در روغن باعث گردیده به شدت ویسکوزیته بالا رود . همچنین در تست کارل فیشر آلودگی آب و مقدار آن در روغن نشان داده می شود .

متاسفانه با تمام توانایی های که آنالیز روغن به همراه تست های مکمل آن دارا می باشد در این مورد دارای ضعف می باشد. در چند مورد اختلاط آب و روغن که متاسفانه منجر به هزینه هنگفت تعمیرات نیز گردید آنالیز روغن نتایج مبنی بر اختلاط آب ارائه نداده است . لازم به ذکر است در موتور های احتراق داخلی فاصله زمانی ورود آب به محفظه احتراق و آسیب رساندن آن به موتور بسیار کم بوده که به همین دلیل با توجه به شرایط زمانی تناوب نمونه گیری ، آنالیز و در نهایت بررسی نتایج ، تشخیص اختلاط آب و روغن امکان پذیر نمی باشد .

بعد از تحقیقات گستره و تشکیل تیم تحقیقاتی بر روی این موضوع راهکارهایی جهت تشخیص ، کنترل و در نهایت پیشگیری از آن ارائه گردیده که در صورت لزوم در اختیار علاقه مندان قرار خواهد گرفت ..

۱-۳- همراه بودن نوسانات شدید خواص فیزیکی و شیمیایی همراه با سایش قطعات اعم از تراشه ای ، خوردگی ، خستگی و یا لغزشی شدید

معمولا با افزایش عنصر آهن ، کروم ، آلومینیوم که عناصر تشکیل دهنده اجزا اصلی سیلندر را تشکیل میدهند و توامان با آن افت خواص فیزیکی و شیمیایی روغن ، در بیشتر حالات می توان نتیجه گرفت که حاصل از تضعیف کمپرس و یا شرایط غیرنرمال دما و یا فشار کارکرد موتور باشد.

در بسیاری از حالات در هنگام بروز یک اشکال مکانیکی در موتور اعم از عدم تنظیم سوپاپ ، رد کردن کمپرس ، لقی محوری میل لنگ ، خاک کشیدن موتور و ... که باعث سایش قطعات می گردد ، معمولا به همراه نوسانات شدید خواص مکانیکی و فیزیکی روغن می گردد . به همین علت می توان از ترکیب دو عامل سایش عناصر و تغییرات خواص مکانیکی و شیمیایی (ویسکوزیته و TBN) عیوب مکانیکی موتور را پیش بینی نمود. به عنوان مثال در بعضی از موارد ، بالا بودن عنصر کروم به همراه افزایش ویسکوزیته و کاهش عدد بازی روغن (TBN) می تواند نشان دهنده تضعیف کمپرس موتور باشد. در این حالت می توان در قدم اول با انجام فیلر گیری از تضعیف کمپرس از قسمت سرسیلندر اطمینان حاصل نموده و در صورت عدم تغییر محسوس در جهت بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی ، دستور تست تراکم ارائه نموده که بتوان از سالم بودن دیواره لاینرها و رینگ ها اطمینان حاصل نمود. در جدول شماره ۱ نمونه هایی ارائه گردیده که بیانگر این مطلب می باشد .

۴-۱- بهره برداری نادرست که حاصل آن کارکرد موتور در شرایط دما و فشار غیرنرمال می باشد. در صورت بروز مواردی همچون عدم کارایی پمپ روغن ، وجود مشکل در سیستم خنک کاری و هر عاملی که باعث بالا رفتن دمای روغن گردد ، منجر به تسریع در اکسید شدن روغن گردیده که خود عامل اسیدی شدن روغن و افت عدد بازی روغن (TBN) خواهد گردید . در این حالت نیز مقادیر عناصر فرسایشی افزایش خواهد داشت .

۵-۱- استفاده از روغن نو نامناسب

یکی از پارمترهای مهم در حفظ و کنترل پایداری خواص فیزیکی و شیمیایی روغن استفاده از روغن مناسب در موتورهای دیزل می باشد . جهت دستیابی به این مهم ، در ابتدا بایستی شناخت کامل از شرایط کارکردی موتور دیزل کسب نموده و سپس بر مبنای آن اقدام با خریداری روغن نمود . از آنجاییکه در روغن های مولتی گرید افزودنیها (Additive) نقش عمده ای را بر عهده دارند ، تحلیل عناصر (Zn,P,Ca,Ba,Mg) ، مقادیر گرانیوی در دمای ۴۰ درجه (Vis 40) شاخص گرانیوی (V.I) و عدد بازی روغن (TBN) بعد از ارسال روغن نو به آزمایشگاه دارای اهمیت ویژه ای می باشد . لازم به ذکر است در بعضی از موارد جهت کسب اطمینان از مناسب بودن روغن بایستی بعد از استفاده روغن در موتور و بررسی چند نمونه آزمایش ، رفتار آن را در موتور مورد تحلیل و بررسی قرار داد .

نمونه های موردی (Case Study) که به علت نامناسب بودن روغن از نظر حفظ پایداری گرانیوی در زمان کارکرد ۱۵۰-۱۷۰ ساعت به شدت خواص فیزیکی و شیمیایی دچار نوسان گردیده و همراه با سایش قطعات بوده در آرشو موجود بوده که در صورت درخواست در اختیار علاقه مندان قرار گرفته خواهد شد .

۶-۱- ساعات کارکرد بالا

با توجه به اینکه ساعات کارکرد برای هر نوع روغن مصرفی اعم از پایه یا مولتی گرید برای موتورهای احتراق داخلی دیزل تعریف شده است لذا با افزایش کارکرد ، انتظار می رود با شکسته شدن پیوندهای مولوکولی که به دنباله آن افت خواص فیزیکی و شیمیایی روغن را به دنبال دارد ، سایش نیز در قطعات موتور به صورت تصاعدی افزایش خواهد داشت .

تغییر و نوسانات خواص فیزیکی و شیمیایی به همراه بالا رفتن عنصر سیلیس

فرایند خاک کشیدن موتور به دو صورت خواص شیمیایی و مکانیکی روغن را به طور غیر نرمال تغییر می دهد. در صورتیکه که بلافاصله بعد از مشاهده و نفوذ خاک در روغن ، واحد تعمیرات اقدام به تعویض فیلترهای هوا و بازدید مجاری هوارسانی نماید ، با این اقدام پیشگیرانه از آسیب رسیدن به قطعات جلوگیری شده که در این وضعیت دیواره بوشها و رینگهای پیستون دارای عملکرد مناسبی خواهند داشت . در این حالت در صورتیکه برای بار اول نوسان زیادی در خواص روغن مشاهده گردید و مقدار سیلیس نیز بالا باشد در این صورت می توان علت اصلی را در احتراق ناقص موتور به علت عدم هوارسانی مناسب تلقی نمود. در نمونه های اجرا شده بر روی موتور های مورد مطالعه ، بعد از تعویض فیلترهای هوا و ترمیم مسیرهای هوارسانی (جنت بین توربو شارژ و سپراتور روغن) ثبات بین خواص فیزیکی و شیمیایی در نمونه های بعد حفظ گردید .

اما در صورتیکه اقدامات پیشگیرانه به موقع انجام نگردد و ورود خاک به محفظه احتراق باعث آسیب رساندن به دیواره لاینرها گردیده که به موجب آن تضعیف کمپرس موتور و ورود دوده را به محفظه روغن را به همراه خواهد داشت . در این حالت حتی با برطرف نمودن عیوب سیستم هوا رسانی و تعویض فیلترهای هوا در چند دوره نمونه گیری افت عدد بازی روغن (TBN) و گرانیوی را خواهیم داشت .

شایان ذکر است به منظور ترمیم دیواره‌ها و رینگ پیستون مواد پلیمری ابداع گردیده که با روغن موتور ترکیب شده و تا مقدار زیادی به تقویت کمپرس موتور کمک می‌نماید. اطلاعات بیشتر در مورد این فن‌آوری در اختیار علاقه‌مندان قرار خواهد گرفت.

تغییر و نوسانات خواص فیزیکی و شیمیایی بدون افزایش قابل توجه عناصر فرسایشی

این حالت زمانی در موتور دیزل اتفاق خواهد افتاد که موتور برای مدت کوتاهی با فشار و یا دمای نامناسب کار کرده (جوش آوردن موتور) و یا زمان نمونه‌گیری از روغن مصادف با آغاز خارج شدن موتور از تنظیمات اعم از بهم خوردن فیلر سوپاپ‌ها، اختلال در سیستم سوخت‌رسانی موتور و ... باشد.

قابل ذکر است در حالت سوم افت شدیدی در خواص مکانیکی و شیمیایی قابل رویت نمی‌باشد و صرفاً جهت انجام اقدامات پیشگیرانه قابل ملاحظه می‌باشد.

مطالعه موردی: فیلترهایی از جنس روی برای افزایش دوام عمر روغن

در بخش‌های مختلف مقاله اشاره به این موضوع گردیده که ورود دوده به محفظه روغن باعث افت عدد بازی روغن (TBN) و افزایش ویسکوزیته گردیده که در صورت بالا بودن مقادیر تغییرات بایستی روغن تعویض گردیده و عیوب مکانیکی مربوطه حذف گردد. استفاده از فیلترهایی از جنس روی که به عنوان یک نوآوری محسوب می‌گردد، در مسیر روغن نصب گردیده و با انجام واکنشهای شیمیایی در محیط روغن، میزان افت عدد بازی روغن (TBN) را جبران نموده و عمر کارکرد روغن را افزایش دهد. بررسی مکانیزم دقیق عملکرد این فیلتر در صورت لزوم در اختیار علاقه‌مندان قرار خواهد گرفت. (۱). شکل (۱) نمایی از این فیلتر را نشان داده است.



نتیجه‌گیری

کاراثرین و اثر بخش‌ترین مراقبت وضعیت ماشین‌آلات از طریق آنالیز روغن زمانی محقق خواهد گردید که تحلیل دقیقی بر روی نتایج آنالیز آزمایشگاه صورت پذیرفته و سپس نتیجه این تحلیل در کنار تجربیات حاصل از شناخت دقیق سامانه مکانیکی قرار گرفته و در آخر تلفیق این دو دانش با شرایط کارکرد و طریقه بهره‌برداری سامانه مکانیکی مورد نظر قرار گرفته که حاصل آن می‌تواند نتایج بسیار مطلوبی از وضعیت سامانه مربوطه اعم از وضعیت سایش قطعات، نیازمندیهای نگهداری و تعمیرات و ... ارائه نماید. مقاله مذکور حاصل نتایج تحلیلی گروهی از کارشناسان بر روی مراقبت وضعیت از طریق آنالیز روغن بیش از ۷۵ موتور

دیزل MTU(OM444) در مدت یکسال فعالیت تحقیقاتی بوده که امید است قابل استفاده برای کلیه کارشناسان و پژوهشگران در این حوزه باشد.

فهرست مراجع و ماخذ.

1- Soot & Acid Control in Diesel Lubricating Systems
Author: Brent L. Birch

جدول شماره ۱: تاثیر صیقل‌دهی و وجود عناصر سایشی بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی روغن

ردیف	شماره مورد	Lubrication Type	شاخص TBN	شاخص ویسکوزیته %CCl ₄	ساعت کارکرد روغن	عناصر مکمل نشانگر	تاریخ انجام	تعمیرات انجام یافته
۱	۴۶۷۱-۰-۱	بیم‌ان	۷.۳۱	۹۷.۶۶	۱۶۶	Fe-Cr-Al ۱-۳-۱۳-۵.۷	۸۷۰۴۱۷	عمل ۱: در بعضی از نوبات با بالا رفتن سیلیس نشانگر کثیفی فیلتر و عدم تنفس کامل موتور و در نهایت احتراق ناقص موتور و باعث افزایش دوده و قات TBN خواهد بود. با توجه به شروع گریزی فیلتر و متقارن شدن آن با نمونه گه‌گه‌ای مقدار عناصر فرسایشی بالا رفته است.
۲	۴۶۷۱-۰-۱	بیم‌ان	۷.۳۶	۹۰.۶۴	۱۵۲	Fe-Cr-Al ۹۱-۲.۴-۱۱	۸۶۱۲۳۳	عمل: با توجه به سابقه دار بودن خاک کشیدن و تخریب دیواره پوش و در نهایت خارج شدن ریزشی سیلندر میزان سست شدن دوده از جداره سیلندر بیشتر می‌گردد.
۳	۴۶۷۱-۰-۲	Shell Rimula X	۶.۸	۹۰.۶۴	۱۵۲	Fe-Cr-ALPQ ۹۱-۳.۴-۱۲-۶۱	۸۶۱۲۳۴	عمل ۱: در بعضی از نوبات با بالا رفتن سیلیس نشانگر کثیفی فیلتر و عدم تنفس کامل موتور و در نهایت احتراق ناقص موتور و باعث افزایش دوده و قات TBN خواهد بود.
۴	۴۶۷۰۲-۲	بیم‌ان	-----	۷۹.۲۹	۱۶۹	Fe-Cr-Al ۱۱.۷-۱.۱-۲.۵	۸۷۰۴۱۹	سایش اجزای باقی‌مانده قات چندی نداشته ولی با نیم خوردن تنظیم سوزن‌های تزکاتور قات شدید TBN و Vils را به‌مره کاهش داده است. در نمونه روغن مربوطه آلودگی سوخت مشاهده شده است.
۵	۴۶۷۱۳-۱	بیم‌ان	۷.۳۸	۸۷.۸۱	۱۵۶	Fe-Cr-Cu ۲۰.۸-۱.۱-۶.۶	۸۷۰۱۲۸	روند عناصر فرسایشی چندان نامطلوب نبوده ولی با نیم خوردن تنظیم سوزن‌های تزکاتور قات شدید TBN و Vils را به‌مره کاهش داده است. در فیلتر تعمیراتی بررسی شده سوزن‌های تزکاتور تمویج شده است.

جدول شماره ۱: تاثیر عیوب مکانیکی و وجود عناصر سایشی بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی روغن

مقادیر عناصر سایشی بالا نبوده ولی مقادیر Vis و TBN نسبت به روغن نو افت قابل ملاحظه‌ای داشته است. اختلاط در تنظیمات سوابهای هوا و دود (تأثیر به فیلترگیری)	۸۷-۵۲۸	Fe-Cr-Al ۲۰ - ۱۲ - ۲.۸	۱۳۷	۹۱۸۴	۷.۹	بهران سوپر	۴۶۷۰-۱-۱	۶
مقادیر عناصر سایشی زیاد نگران کننده نمی باشد ولی با توجه به سابقه نامناسب سرویس و نگهداری، افت شدید مقادیر Vis و TBN مشاهده می گردد (فیلتراسیون ضعیف - ارائه سابقه در شکل B)	۸۶۱۱۳۱	Fe-Cr-Al-Si ۳۱.۴ - ۲.۸ - ۱۲.۲ - ۱۸.۸	۱۳۷	۹۱۲۵	۷.۵۵	بهران سوپر	۴۶۷۰-۱-۱	۷
روغن Shell به علت دارا بودن پایداری بالا در حفظ TBN در این نمونه افت زیادی نداشته ولی بعد از بررسی فیلترک تصفیراتی این موتور نمونهی فیلتر هوا همراه با نمونهی سوزن های ازگتور بوده است.	۸۶۱۱۳۱	Fe-Cr-Al-Cu-Si ۲۱.۱ - ۵ - ۹.۷ - ۱۴.۷ - ۱.۶	۱۸۷	۹۰.۲	۸.۲۲	بهران سوپر	۴۶۷۱۲-۱	۸
علارغم بالا بودن سلفات کارکرد بالا ولی برهمتای تابع آزمایش چند نمونه فیلر، با توجه به تکرر افت TBN و وجود عناصر فرسایشی آهن و کروم در چند نمونه می توان تست تراکم را پیشنهاد داد. لازم به ذکر است مدت نظر قرار داشتن آلودگی سوخت از اهمیت بالایی برخوردار است. در این نمونه افت شدید TBN آلودگی سوخت بوده است.	۸۶۱۱۳۱	Fe-Cr-Al-Cu ۲۵.۵ - ۳.۶ - ۱۳.۷	۲۵۲	۱۰۰.۹۴	۷.۶۲	بهران سوپر	۸۶۷۰-۵-۲	۹