



تخمین اولیه عمر مفید روغن در موتورهای دیزل به کمک تحلیل روغن

سید احمد عدنانی^{۱*}، سید جلال الدین هاشمی^۲، علیرضا شوشتری^۳

^۱گروه مکانیک، پردیس تحصیلات تکمیلی علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران، ah_adnani@yahoo.com

^۲دانشگاه صنعت نفت اهواز، اهواز، ایران، hashemisj@yahoo.com

^۳دانشگاه بوعلی همدان، همدان، ایران، al.shoostari@gmail.com

*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۹۱۶۳۱۳۶۸۳۴

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۱ بهمن ۱۳۹۱

پذیرش: ۰۱ اردیبهشت ۱۳۹۲

کلیدواژه‌ها:

سایش

موتور دیزل

تحلیل روغن

خواص روغن

تخمین عمر روغن

در این مقاله، به کمک تحلیل روغن، عمر مفید روغن موتور در موتورهای دیزل که ۷۰ دستگاه می‌باشند، تخمین زده می‌شود. شایان ذکر است موتورهای مشروحه فوق در خودروهای فوق سنگین نصب شده‌اند. روش کار به این صورت است که در زمان مراجعه خودروها برای تعویض روغن براساس ساعت کارکرد روغن، کیلومترشمار، نمونه روغن کارکرده اخذ شده و پس از ارسال آن به آزمایشگاه برای تحلیل و در نتیجه اخذ نتایج آن، وضعیت سایش موتور مشخص می‌گردد. بنابراین با مطالعه شاخص‌های مختلفی نظیر: عناصر سایشی، آلاینده‌ها، ضریب همبستگی و رابطه بین آنها، گراندرو، عدد بازی، عدد اسیدی، نوع و میزان سایش موتور در شرایط کاملاً یکسان از لحاظ الگوی موتور، روغن مصرفی، شرایط محیطی و کاری، به تعیین عمر مفید روغن پرداخته شده است. شایان ذکر است هر چقدر تعداد نمونه‌های اخذ شده بیشتر شود، میزان خطا در نتایج کمتر خواهد بود. لذا نتایج بدست آمده صرفاً بر اساس تعداد نمونه روغن اخذ شده می‌باشد.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

(۱) مقدمه

امروزه بکارگیری فناوری پایش وضعیت ماشین‌آلات و تجهیزات از طریق تحلیل روغن به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در برنامه‌های نگهداری و تعمیرات شناخته می‌شود. حوزه بکارگیری این فناوری در صنعت دنیا، از نظر نوع تجهیزات، بسیار گسترده شده است و شاید نتوان محدوده خاصی را در بکارگیری آن متصور بود [۱].

تعیین بهترین زمان کارکرد روغن موتور از دو جنبه دارای اهمیت است: (۱) از نظر اقتصادی (۲) از نظر تأثیر آن در عمر مفید موتور. در خصوص جنبه اقتصادی باید اشاره نمود که چنانچه زمان تعویض به موقع روغن مشخص نشود، از یک طرف احتمال این که روغن موتور، زودتر از موعد آن تعویض شود بسیار زیاد است و صرفه اقتصادی ندارد. از طرفی دیگر احتمال این که دیر هنگام تعویض شود، وجود دارد که همین امر موجب بروز خسارت و سایش احتمالی در قطعات موتور می‌گردد. لذا استفاده از روش تحلیل روغن بهترین روش برای دستیابی به این هدف می‌باشد. از جمله عوامل مهمی که می‌تواند در کاهش عمر روغن مؤثر باشد عبارتست از:

- نگهداری (انبار کردن) نامناسب و آلوده شدن آن قبل از مصرف
- انتخاب نادرست روغن برای کاربرد مورد نظر و اختلاط روغن‌هایی که با هم سازگار نیستند (مثلاً موقع سرریز)
- عدم استفاده از لوازم مصرفی مناسب (صافی هوا، صافی روغن و ...)
- آلودگی روغن به سوخت، آب، گرد و خاک و غیره در حین کار
- تنظیم نبودن موتور دستگاه
- وجود ذرات سایشی بیش از حد مجاز در روغن
- پائین آمدن سطح تمییزی روغن در سامانه‌های حساس مکانیکی (گردا، تجار و هیدرولیک) [۲]

در سال ۱۳۸۷، آقای احمدی و همکاران، تحقیقی را درباره تعیین بهترین زمان تعویض روغن برای موتور یک دستگاه جرثقیل آر تی جی^۱، انجام داده‌اند. آنها با ۴ نوبت نمونه‌گیری در ساعت‌های مختلف از روغن موتور جرثقیل و تحلیل نتایج تحلیل روغن، عناصر سایشی و مقایسه خواص روغن شامل: گرانروی، عدد اسیدی و بازی، توانستند زمان مناسب را برای تعویض روغن موتور بدست آورند و جایگزین زمان آن به روش تجربی بر حسب ساعت، نمایند [۳]. تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۸ میلادی توسط آقای کالی^۲ و همکارش درباره تخمین عمر مفید روغن ۴ دستگاه موتور دیزل ۲۰ استوانه با درجه ۳۰ انجام شد. آنها در ابتدا با نمونه‌گیری از روغن کارکرده در هر ۴۰ ساعت و آزمایش آن در آزمایشگاه، به بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی روغن و میزان عنصر سایشی آهن در روغن موتور پرداختند که به کمک آن بتوانند وضعیت روغن و سایش قطعات موتور را

پیش‌بینی نمایند. آنها از لحاظ جنبه اقتصادی هم بررسی‌های لازم را انجام دادند و سپس به این نتیجه رسیدند که به جای ۳۰۰ ساعت، باید در ۷۷۵ ساعت روغن موتور تعویض شود [۴]. در سال ۲۰۱۱ میلادی آقای گوان^۳ و همکارانش تحقیقی را درباره کاربرد روش اسپکتروسکوپی دی الکترونیک، برای پایش افت خواص روغن موتور انجام دادند. آنها دریافته‌اند که با ترکیبی از این روش و نگاهت چند متغیره می‌توان ۳ خاصیت اصلی روغن موتور را شامل مدت زمان اکسایش، عدد اسیدی و میزان نامحلولی آن از لحاظ کمی و به صورت دقیق بدست آورند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که این روش می‌تواند بر پایش و تحلیل روغن تأثیر داشته باشد [۵]. در سال ۲۰۱۱ میلادی آقای چن^۴ تحقیقی را درباره شبیه سازی عمر موتور در اثر مصرف غیرعادی روغن انجام دادند. ایشان با پایش بینی مدت زمان واقعی تغییر در میزان سایش سطوح حلقه سمبه، شیار حلقه و دهانه استوانه، تغییر در فاصله انتهایی هر حلقه و حجم بنزین مخزن را محاسبه نمودند. سپس میزان مصرف روغن و سایش قطعات موتور محاسبه شده و با میزان مصرف عادی روغن و سایش عادی قطعات موتور مقایسه شده است. سپس حد دوام سمبه، حلقه و دهانه استوانه پایش بینی شد و در نهایت طول عمر موتور بر اساس مصرف غیرعادی روغن برآورد شده است [۶].

در سال ۲۰۱۲ میلادی، آقای ونگ^۵ و همکارانش به صورت موردی یک الگوی تصمیم‌گیری را در خصوص نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط و بر اساس غلظت فلزات موجود در نمونه‌های روغن اخذ شده از موتورهای دیزل دریایی ارائه نمودند. این الگوی تصمیم‌گیری، برای بهینه نمودن زمان جایگزینی موتورهای دیزل بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده به کار می‌رود. آنها به کمک یک شیوه به نام صافی تصادفی^۶، توزیع زمان باقیمانده مورد نیاز این الگو را رابطه‌مند نمودند و در نهایت خروجی‌های آن را مورد بحث قرار دادند [۷]. اما در این مقاله برخی از روش‌های فوق بررسی شده است با این تفاوت که در ابتدا تحقیق کنونی را با جامعه آماری وسیعتر (۷۰ دستگاه موتور دیزل) با شرایط متفاوت و خاص خود به کار برده و عمر روغن علاوه بر ساعت، بر حسب کیلومتر نیز برآورد شده است و نوآوری که به بررسی آن پرداخته شده است شامل: تعیین ضریب همبستگی و میزان ارتباط بین آلاینده سیلیس^۷ و عناصر سایشی است که اولاً به واسطه آن بتوان اثرات سایشی این آلاینده را در قطعات موتور شناسایی کرده و تمهیدات لازم برای مقابله با آن را که منجر به کاهش عمر روغن می‌شود، بکار برد، ثانیاً بتوان صحت حد مجاز عنصر سیلیس را بررسی نمود و در تعیین عمر مفید روغن موتور خودروها بکار برد. به طور خلاصه در این مقاله شاخص‌های مختلفی

³ Guan

⁴ Chun

⁵ Wang

⁶ Stochastic Filtering

⁷ Silicon

¹ R.T.G

² Kaleli

۴) تخمین عمر مفید روغن موتور

برای این که بتوان عمر اولیه روغن موتور را تخمین زد، باید موارد مختلفی نظیر خواص فیزیکی و شیمیایی روغن شامل: عدد اسیدی، عدد بازی، گرانی، آلایندگی روغن، عناصر سایشی و شاخص‌های سایشی را در ساعت کارکردهای مختلف بررسی و تحلیل نمود و پس از مقایسه نمودارهای حاصل از آنها به تحلیل و بررسی در خصوص عمر اولیه روغن موتور پرداخت. همان گونه که مشخص است، خواص روغن نو پس از بهره‌برداری با شرایط آرمانی خود فاصله می‌گیرد و دچار افت می‌گردد. لذا در مرحله نخست عناصر سایشی و آلایندگی را که در افت خواص و عمر روغن تأثیر بسزائی دارند، بررسی می‌شوند.

۴-۱) بررسی عناصر سایشی

عناصر فلزی موجود در روغن عمدتاً ناشی از سایش قطعات موتور می‌باشند و هر چه شدت سایش بیشتر باشد، میزان این فلزات در روغن نیز بیشتر خواهند بود. لذا مهمترین عناصر فلزی و منشاء پیدایش آنها به شرح جدول ۳ می‌باشد [۱۰].

جدول ۳: عناصر سایشی و منشاء آنها [۲]

عناصر سایشی	قطعات موتور
دیواره استوانه، حلقه‌های سنبه، میل لنگ، میل بادامک، آهن	لایه‌های قفلی، مهره، خارها، اتصالات، بدنه موتور، تلمبه روغن
کروم	حلقه‌ها، دیواره استوانه، دریچه‌های دود
آلومینیوم	سنبه
مس	یاتاقان چشم کوچک، بادامک، آب بندها
سرب	یاتاقان‌های اصلی، یاتاقان‌های ثابت و متحرک

۴-۲) تعیین حد مجاز عناصر سایشی و سیلیس

بر اساس نتایج تحلیل روغن، تنها آلایندگی که در روغن موتور نفوذ کرده است و موجب سایش جدی در قطعات موتور خودروها شده است، آلایندگی سیلیس می‌باشد. لذا برای تعیین حد مجاز عناصر سایشی، آلایندگی سیلیس و مرز بین سایش طبیعی و غیرطبیعی در قطعات موتور، از معادله انحراف معیار مطابق با معادله ۱ استفاده می‌شود:

$$\sigma = SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{N}} \quad (1)$$

که در آن σ ، انحراف معیار، X_i مقادیر عنصر سایشی یا آلایندگی، μ ، میانگین مقادیر عنصر سایشی یا آلایندگی و N ، تعداد مقادیر آنها می‌باشد. بنابراین با توجه به مقادیر به دست آمده در خصوص عناصر سایشی و آلایندگی سیلیس در نتایج تحلیل روغن، حد مجاز آنها در کلیه موتور خودروها، معادل میانگین مقادیر بعلاوه ۱ برابر انحراف معیار است [۱] و نتایج محاسبات مطابق با جدول ۴ خواهد بود.

نظیر: عناصر سایشی، آلایندگی، ضریب همبستگی و رابطه بین آنها، گرانی، عدد بازی، عدد اسیدی، نوع و میزان سایش موتور در شرایط کاملاً یکسان از لحاظ الگوی موتور، روغن مصرفی، شرایط محیطی و کاری بررسی شده و به تعیین عمر مفید روغن پرداخته شده است.

۲) مشخصات موتور خودروها

- موتور E6-350 ECONODYNE 4VH با ۶ استوانه
- قدرت ۳۵۰ اسب بخار با فشار تراکم PSI ۴۶۰
- سال ساخت ۱۹۹۰ میلادی، ساخت شرکت ماک^۱ آمریکا
- کاربرد: نصب در خودروهای فوق سنگین ماک
- نوع سوخت: گازوئیل [۸]

۳) آزمایش موتور خودروها

موتور خودروها، بر اساس جدول ۱ و به هنگام تعویض روغن، نمونه‌گیری شده‌اند و پس از آزمایش، در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نمونه‌گیری به شکلی صورت گرفته است که از هریک از موتورها بین ۲ الی ۳ نوبت نمونه‌گیری انجام شود. با توجه به این که کلیه موتور خودروها از یک نوع روغن و شرایط کارکرد یکسان برخوردارند، لذا متغیرها در اینجا کم اند در نتیجه با افزایش تعداد نمونه روغن کارکرده اخذ شده از کلیه دستگاه‌ها، با خطای کمتری می‌توان در خصوص عمر مفید روغن موتور خودروها دآوری نمود. در ضمن روغن نو مصرفی نیز مرتب مورد آزمایش قرار گرفته و از صحت مرغوبیت و استانداردهای لازم اطمینان حاصل گردید که مشخصات آن مطابق با جدول ۲ می‌باشد. لذا نتایج بدست آمده صرفاً بر اساس تعداد نمونه‌های اخذ شده مطابق با جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱: تعداد دستگاه و نمونه‌های اخذ شده

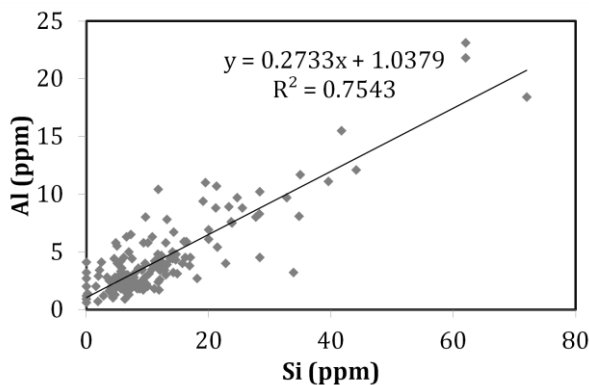
تعداد موتور مورد آزمایش	تعداد نمونه روغن اخذ شده
۷۰ دستگاه	۱۶۰ نمونه

جدول ۲: مشخصات روغن موتور نو [۹]

کارخانه سازنده	سپاهان
نام روغن	ژنراتور اسپیدی
درجه روغن (SAE)	۴۰
عدد بازی (mgKOH/g)	۱۴/۵
عدد اسیدی (mgKOH/g)	۱/۱
شاخص گرانی	۹۹
گرانی در ۴۰ درجه (cSt)	۱۶۳/۹۱
گرانی در ۱۰۰ درجه (cSt)	۱۵/۸۴
نقطه اشتعال باز (درجه سانتیگراد)	۲۴۱

¹ Mack

شکل ۱ و معادله ۲، یک رابطه خطی بین آنها بدست می‌آید. اما در خصوص عناصر دیگر به دلیل این که طبق جدول ۵، همبستگی کمی با سیلیس دارند، لذا منحنی که رفتار بین آنها را با دقت نشان دهد، قابل ارائه نیست.



شکل ۱: آلایندة سیلیس و عنصر سایشی آلومینیوم

$$Y = 0.2733X + 1.0379 \quad (2)$$

که در آن X ، میزان سیلیس و Y ، میزان عنصر سایشی آلومینیوم بر حسب ppm است. لذا، اگر $X = 14/7$ ppm آنگاه $Y = 5/06$ ppm خواهد بود، لذا نتایج حاصل شده در جدول ۴ صحیح می‌باشند.

جدول ۵: ضریب همبستگی بین عناصر سایشی و آلایندة سیلیس

عنصر اول	عنصر دوم	ضریب همبستگی
	آلومینیوم	۰/۸۶۹
	کروم	۰/۵۴۴
سیلیس	مس	۰/۲۰۸
	سرب	۰/۳۶۷
	آهن	۰/۵۲۶

۴-۴) بررسی روند سایش در موتورها

با توجه به شکل ۲ و نقاط ترسیم شده، با افزایش ساعت کارکرد روغن، میزان عنصر آهن نیز افزایش می‌یابد. نقاطی که از حد مجاز عنصر سایشی آهن ۴۲ ppm فراتر رفته‌اند، در ۱۰۰ ساعت به بالا پدیدار می‌گردند. لذا این ساعت به عنوان مرز هشدار برای عنصر آهن، مطرح می‌شود. در شکل ۳ با توجه به پراکندگی نقاط ترسیم شده، از ۱۰۰ ساعت به بعد عنصر مس از حد مجاز خود یعنی ۵ ppm فراتر رفته است. لذا ۱۰۰ ساعت یک مرز هشدار برای عنصر مس تعیین می‌گردد. در شکل ۴ با توجه به پراکندگی نقاط، با افزایش ساعت کارکرد روغن، میزان عنصر کروم نیز افزایش یافته است. از آنجا که از ۱۰۰ ساعت به بالا، نقاطی که از حد مجاز ۵/۵ ppm فراتر رفته‌اند، شدت می‌گیرند، لذا ۱۰۰ ساعت کارکرد به عنوان مرز هشدار عنصر سایشی کروم تعیین می‌گردد. شکل ۵ راجع به عنصر سایشی

همان گونه که در مقدمه ذکر شد، یکی از عوامل مؤثر در کاهش عمر مفید روغن، حضور آلایندةها است که در اینجا تنها آلایندة بر اساس نتایج تحلیل روغن، عنصر سیلیس است. لذا برای بررسی بیشترین اثر سایشی این آلایندة بر روی قطعات موتور و استفاده از قطعات مرغوب‌تر جایگزین برای مقابله با آن، به بررسی ضریب همبستگی این عنصر با سایر عناصر سایشی پرداخته می‌شود. سپس با استفاده از بیشترین ضریب همبستگی حاصله بین آلایندة سیلیس با عناصر سایشی، رابطه‌ای بین آنها بدست خواهد آمد که به واسطه آن بتوان صحت حد مجاز این آلایندة را که در جدول ۴ محاسبه شده است، بررسی نمود.

جدول ۴: حد مجاز عناصر سایشی و سیلیس بر حسب ppm [۱۱-۱۲]

عناصر	سیلیس	سرب	مس	کروم	آلومینیوم	آهن
میانگین	۸/۱	۲/۸	۲/۷	۲/۸	۳/۲	۲۶
انحراف معیار	۵/۶	۲	۲/۴	۲/۴	۱/۸	۱۶
حد مجاز	۱۴	۵	۵	۵/۵	۵	۴۲

۴-۳) میزان همبستگی بین عناصر سایشی و آلایندة سیلیس

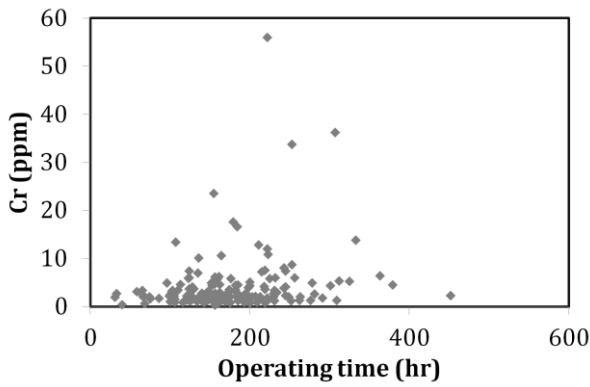
یکی از تعاریف اساسی در علم آمار تعریف همبستگی و رابطه بین دو متغیر می‌باشد. به طور کلی شدت وابستگی دو متغیر به یکدیگر، همبستگی تعریف می‌شود. به طور کلی ضرایب همبستگی بین ± 1 تغییر می‌کنند. رابطه بین دو متغیر می‌تواند مثبت و یا منفی باشد. هرچه ضریب همبستگی به یک نزدیک‌تر باشد آنگاه میزان وابستگی بین دو متغیر بیشتر است [۱۳]. در اینجا با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون^۱ و استفاده از نرم‌افزار تحلیل آماری داده‌ها، اسپاس^۲، ضریب همبستگی بین عناصر سایشی و آلایندة سیلیس بدست آمده است. لذا نتایج ضرایب همبستگی در جدول ۵ قابل مشاهده است. طبق داده‌های جدول، آلومینیوم و سیلیس بیشترین، در حالیکه سیلیس و مس کمترین همبستگی را با هم دارند. در واقع با ورود سیلیس در روغن بیشترین اثرات سایش در قطعاتی اتفاق می‌افتد که از جنس آلومینیوم می‌باشند مانند: سمبها و بر حسب میزان همبستگی، اثر سایشی در قطعات مختلف موتور متغیر است. بنابراین راهکار لازم برای جلوگیری از سایش، استفاده از صافی هوا و آب بندهای مرغوب است و پس از آن استفاده از قطعات آلومینیومی مرغوب نظیر سمبها است. سایر قطعات نیز با توجه به این که ضریب همبستگی کمتری با سیلیس دارند در اولویت‌های بعدی قرار دارند. با توجه این که عنصر آلومینیوم و آلایندة سیلیس بیشترین همبستگی را با هم دارند، لذا با استفاده از نرم افزار اکسل^۳ مطابق با

¹ Pearson

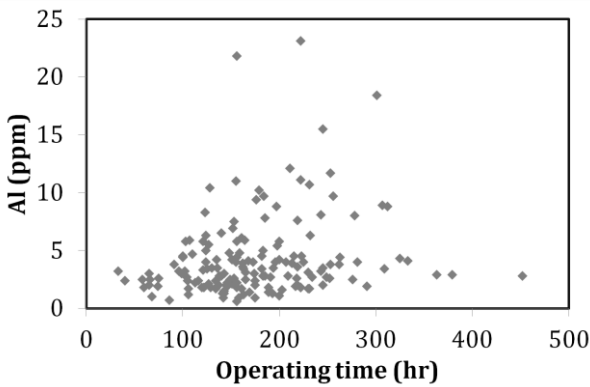
² S.P.S.S (Statistical package for social science)

³ Excel

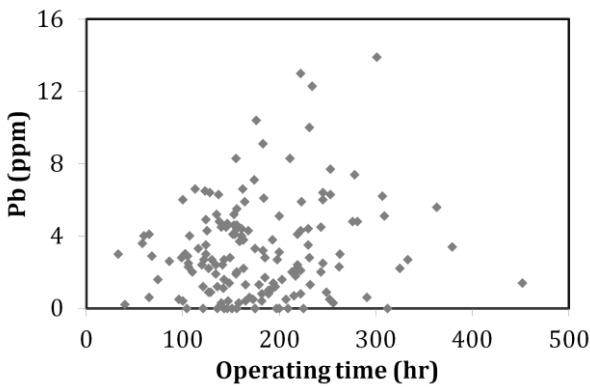
آلومینیوم است. لذا مطابق با شکل، هر چقدر ساعت کارکرد روغن افزایش یابد، مقدار عنصر آلومینیوم نیز افزایش می‌یابد. لذا طبق نقاط ترسیم شده، بیش از ۱۰۰ ساعت، این نقاط از حد مجاز این عنصر یعنی ۵ ppm طبق جدول ۴ فراتر رفته‌اند. لذا در خصوص این عنصر نیز باید ۱۰۰ ساعت را نیز مرز هشدار معرفی نمود. شکل ۶ نیز راجع به عنصر سایشی سرب می‌باشد. همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش ساعت کارکرد روغن، مقدار این عنصر نیز افزایش می‌یابد. نقاط ترسیم شده، از حد مجاز سایش تعریف شده این عنصر مطابق با جدول ۴، ۵ ppm فراتر رفته‌اند. لذا مطابق با شکل، برای بیش از ۱۰۰ ساعت نقاط از حد مجاز این عنصر نیز عبور نموده‌اند. لذا مانند کلیه عناصر سایشی که بررسی شده اند، برای این عنصر نیز ۱۰۰ ساعت مرز هشدار معرفی می‌گردد. اما در کنار عناصر سایشی، آلاینده‌ها نیز تأثیر بسزائی در افت خواص و عمر روغن دارند. بر اساس نتایج تحلیل روغن، آلاینده سیلیس تنها آلاینده موجود در نمونه روغن‌های اخذ شده می‌باشد که به صورت گرد و غبار وارد روغن می‌شود. بنابراین لازم است تا مطابق شکل ۷ به بررسی این آلاینده پرداخته شود. همان گونه که در شکل مشاهده می‌نمائید، از ۱۰۰ ساعت به بعد، سیلیس افزایش یافته و از حد مجاز خود یعنی ۱۴ ppm مطابق با جدول ۴ عبور کرده و علاوه بر تأثیر سایشی آن، کیفیت و عمر روغن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.



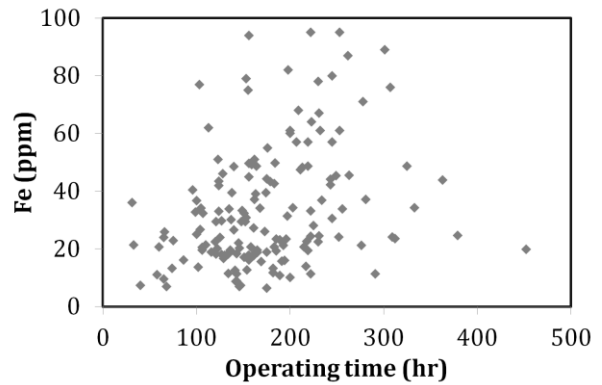
شکل ۴: عنصر سایشی کروم برحسب ساعت کارکرد روغن



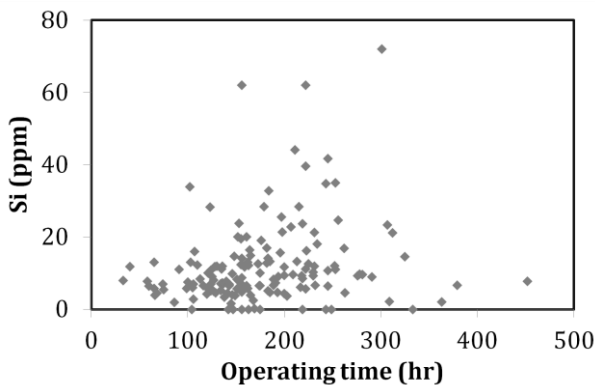
شکل ۵: عنصر سایشی آلومینیوم برحسب ساعت کارکرد روغن



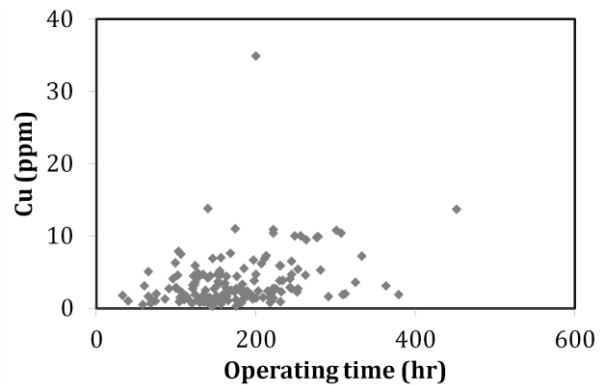
شکل ۶: عنصر سایشی سرب برحسب ساعت کارکرد روغن



شکل ۲: عنصر سایشی آهن برحسب ساعت کارکرد روغن

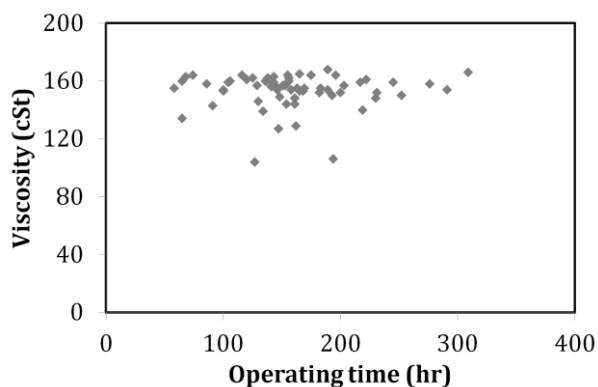


شکل ۷: آلاینده سیلیس برحسب ساعت کارکرد روغن

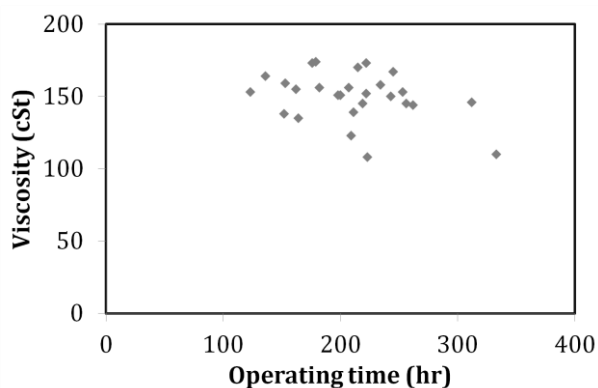


شکل ۳: عنصر سایشی مس برحسب ساعت کارکرد روغن

هرگونه تغییر در گرانیوی روانکار، می‌تواند ناشی از تخریب روغن، حضور تنش‌های حرارتی و عوامل اکسیدکننده موجود در روغن باشد [۱]. لذا پس از بررسی شاخص سایش در روغن، باید میزان گرانیوی روغن در ساعت کارکردهای مختلف نیز با توجه به شرایط مختلف موتور خودروها، بررسی و مشخص شود. لذا با توجه به شکل ۹، با در نظر گرفتن میزان گرانیوی روغن موتور خودروها در شرایط مختلف و با توجه به تمرکز نقاط ترسیم شده، گرانیوی روغن در ابتدا از مقدار اولیه خود یعنی ۱۶۴ سانتی استوکس، فاصله گرفته و سیر نزولی دارد. در شرایط عادی (سایش تدریجی و طبیعی قطعات موتور همراه با افت ملایم و تدریجی خواص روغن)، با توجه به افزایش ساعت کارکرد روغن موتور خودروها گرانیوی روغن روند نزولی پیدا کرده و با توجه به کانون نقاط، تقریباً در ۱۵۰ سانتی استوکس ثابت می‌ماند. با توجه به این که بیشترین حد مجاز افت گرانیوی ۲۵ درصد میزان اولیه می‌باشد [۴]، لذا در اینجا بیشترین افت مجاز گرانیوی روغن ۱۲۳ سانتی استوکس می‌باشد که در شکل ۹، در ساعت کارکرد ۱۲۰، این افت به ۱۰۲ سانتی استوکس رسیده است و از حد مجاز نیز عبور کرده است. در شکل ۱۰، گرانیوی روغن در شرایط سایش شدید به مرز ۱۵۰ سانتی استوکس می‌رسد و در نهایت بیشترین افت گرانیوی از ۲۰۰ ساعت به بعد رخ داده است. لذا با توجه به موارد فوق، ۱۲۰ ساعت به عنوان مرز هشدار افت گرانیوی روغن تعیین می‌شود.



شکل ۹: گرانیوی برحسب ساعت کارکرد روغن (سایش طبیعی)



شکل ۱۰: گرانیوی برحسب ساعت کارکرد روغن (سایش غیرطبیعی)

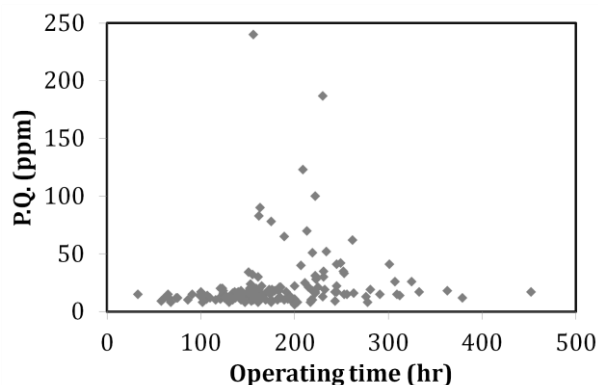
با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته می‌توان به صورت خلاصه مرز هشدار را در خصوص عناصر سایشی و آلاینده سیلیس به صورت جدول ۶ ارائه نمود. در اینجا عناصر سایشی و آلاینده روغن مورد بررسی قرار گرفتند. اما در کنار این موارد، خواص روغن نیز در پایداری و تعیین عمر روغن تأثیر ویژه‌ای دارند.

جدول ۶: مرز هشدار جهت خواص روغن	
خواص روغن	مرز هشدار
عددبازی	۱۲۰ ساعت
عدداسیدی	۱۸۰ ساعت
گرانیوی	۱۲۰ ساعت
تعداد ذرات	۱۵۰ ساعت

۴-۵) بررسی خواص روغن موتور

۴-۵-۱) بررسی شاخص سایش

یکی از شاخص‌های مهم سایش در موتور، شاخص تعداد ذرات سایشی آهنی در روغن یا پی‌کیو^۱ می‌باشد [۲]. بر اساس شکل ۸، با افزایش میزان ساعت کارکرد روغن موتور خودروها، تعداد ذرات سایش آهنی نیز بیشتر می‌شوند. با توجه به کانون نقاط رسم شده از مرز ۱۵۰ ساعت به بعد، نقاط از یکدیگر فاصله گرفته و حتی نقاطی مشاهده می‌شود که تا عدد ۲۵۰ ppm پیش رفته‌اند و این امر نشان از افزایش ناگهانی تعداد ذرات سایش آهنی است. بنابراین ۱۵۰ ساعت به عنوان یک مرز هشدار برای این شاخص قابل توجه است. لذا در این مرحله، خواص دیگر روغن در ساعت کارکردهای مختلف بررسی می‌شود.



شکل ۸: تعداد ذرات آهنی روغن برحسب ساعت کارکرد روغن

۴-۵-۲) بررسی گرانیوی روغن

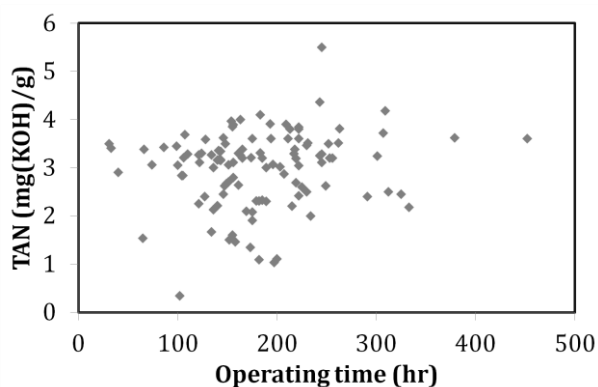
گرانیوی به عنوان یکی از خواص روغن بر کار دستگاه، کاهش اصطکاک و ضخامت فیلم روغن یاتاقان‌ها اثر می‌گذارد. بنابراین، اندازه‌گیری و بررسی روند آن در برنامه تحلیل روغن حساس می‌باشد.

¹ Particle Quantifier

۴-۵-۳) بررسی عدد بازی روغن

عددبازی روغن نیز یکی از خواص روغن است. روغن موتور دارای مواد افزودنی تأمین کننده ذخیره قلیابیت است که برای خنثی سازی اسید تولید شده در جریان احتراق به کار می رود. وقتی این ذخیره پایان یابد، روغن می تواند به شدت خوردگی ایجاد نماید. با کاهش عددبازی روغن، توانایی روغن در مواجهه با ورود اسید حاصل از احتراق ضعیف می شود که نشان دهنده ضرورت تعویض و یا افزودن روغن نو می باشد [۱-۲ و ۱۴]. بر این اساس، با توجه به تعداد نمونه های آزمایش شده، عددبازی روغن در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج آن مطابق شکل ۱۱ می باشد. همانگونه که در شکل ۱۱ مشاهده می نمائید، عددبازی روغن کارکرده با توجه به تمرکز نقاط، ساعت کارکرد، شرایط و موتور خودروها با وجود خطاها، از مقدار اولیه خود یعنی $14/5 \text{ mg(KOH)/g}$ فاصله گرفته و روند نزولی پیدا کرده است. بیشترین افت عددبازی روغن حدود $7/5 \text{ mg(KOH)/g}$ است که تقریباً به نصف مقدار اولیه خود رسیده است و این یک مرز هشدار برای عددبازی روغن است و در 160 ساعت اتفاق افتاده است [۱]. این امر بسیار طبیعی به نظر می رسد چرا که با افزایش میزان کارکرد روغن موتور، خواص روغن نیز کاهش یافته و در نتیجه عمر روغن نیز کاهش می یابد. لذا برای احتیاط و برای جلوگیری از صدمه احتمالی به موتور خودروها، عدد بازی 8 mg(KOH)/g که در 120 ساعت رخ داده است، به عنوان مرز هشدار در خصوص عددبازی روغن تعیین می گردد.

و افزایش عدد اسیدی، نشان دهنده پایان عمر مفید روغن و ضرورت تعویض آن می باشد. عدد اسیدی بزرگتر از ۴، به شدت ایجاد خوردگی کرده و مواد تشکیل دهنده یاتاقانها و سطح دیگر فلزات را مورد هجوم قرار می دهد. با وجود آلودگی آب در روغن که باعث تقویت خاصیت خوردگی می شود، خطر خوردگی اسیدها افزایش می یابد [۱-۲]. بر اساس شکل ۱۲، با افزایش ساعت کارکرد روغن موتور خودروها در شرایط مختلف، عدد اسیدی روغن مصرفی نیز افزایش پیدا می نماید. با توجه به کانون نقاط ترسیم شده، از مرز 180 ساعت، عدد اسیدی روغن از بالاترین حد خود یعنی 4 mg(KOH)/g عبور کرده است. لذا برای این نوع از خاصیت روغن، 180 ساعت به عنوان مرز هشدار مطرح می شود. پس با توجه به بررسی خواص روغن می توان به صورت خلاصه مرزهای هشدار دهنده را برای آن مطابق با جدول ۶ تشریح نمود.

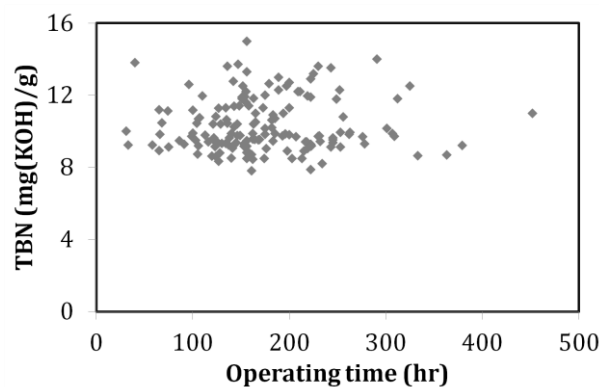


شکل ۱۲: عدد اسیدی برحسب ساعت کارکرد روغن

در این مرحله با توجه به بررسی صورت گرفته بر روی عناصر سایشی، آلاینده ها و در نهایت خواص فیزیکی و شیمیایی روغن و با توجه به نتایج جدول ۶ و ۷، می توان بر اساس تعداد نمونه های اخذ شده، نگاهی محتاطانه و خطاهای موجود، عمر روغن موتور خودروها را 100 ساعت تخمین زد، چرا که بر اساس نمودارهای بدست آمده پس از 100 ساعت کارکرد روغن، شاهد حضور آلاینده، افت ناگهانی خواص روغن و سایش غیر مجاز در قطعات موتور خودروها هستیم و نیاز است که در این زمان عمل تعویض روغن صورت پذیرد.

۴-۵-۶) تعیین عمر اولیه و مفید روغن موتور خودروها

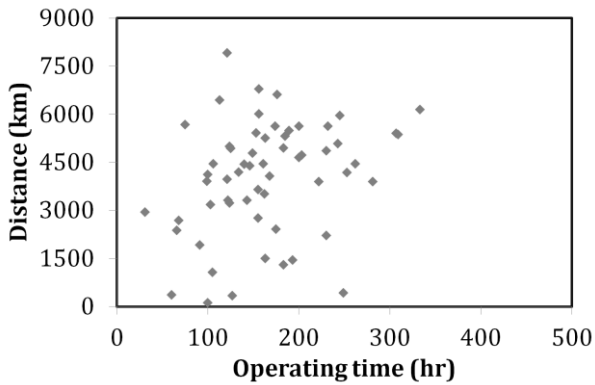
با توجه به این که در ابتدا عمر اولیه روغن موتور خودروها بر حسب ساعت کارکرد موتور مشخص گردید، اکنون باید ساعت کارکرد مجاز روغن موتور با شاخص های دیگر نظیر میزان کیلومتر کارکرد موتور نیز معادل سازی شود. لذا علاوه بر ثبت ساعت، کیلومتر طی شده توسط موتور خودروها در هر مرحله نمونه گیری ثبت گردید و با توجه به شکل های ۱۳ الی ۱۵، می توان معادل ساعت کارکرد روغن را بر حسب کیلومتر نیز تخمین زد. شایان ذکر است به دلیل این که نوع



شکل ۱۱: عدد بازی برحسب ساعت کارکرد روغن

۴-۵-۴) عدد اسیدی روغن

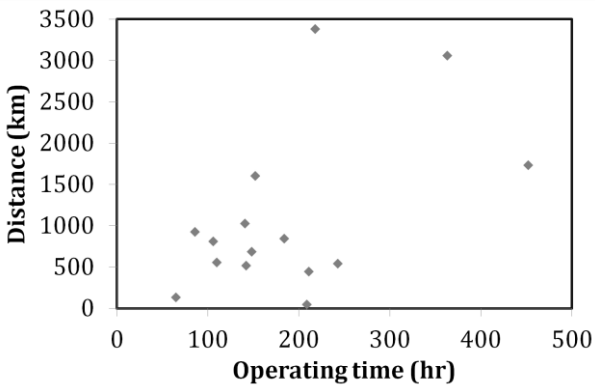
این خاصیت روغن، بیشتر برای روغن های صنعتی غیر (موتوری) استفاده می شود. عدد اسیدی، برای اندازه گیری میزان خاصیت اسیدی روغن می باشد. با افزایش عمر روغن و اکسایش آن، مقادیر بسیار کمی از اسید به عنوان محصول جنبی در روغن تشکیل شده و باعث افزایش عدد اسیدی می شود. میزان افزایش عدد اسیدی، نسبت به مقدار عدد اسیدی روغن نو، نشانه ای است از میزان تخریب آن روغن



شکل ۱۴: مسافت طی شده خودروی کشنده برحسب ساعت کارکرد روغن

۴-۶-۳) بررسی موتور خودروی "جین پل"

بر اساس اطلاعات ثبت شده از نتایج تحلیل روغن راجع به این دسته از خودروها، شکل ۱۵ بدست آمده است که به تحلیل آن پرداخته می‌شود. شایان ذکر است به دلیل این که این دسته از خودروها مانند خودروهای "تندم" بیشتر در یک مکان مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، لذا همیشه میزان مسافت طی شده توسط این دسته از خودروها کمتر از میزان مسافت طی شده توسط خودروهای "کشنده" است. ساعت کارکرد روغن، بیش از میزان کارکرد موتور خودرو بر حسب کیلومتر، نسبت به خودروهای "کشنده" است. بر اساس نقاط بدست آمده، به ازای ۱۰۰ ساعت کارکرد روغن، بیشترین مسافت طی شده توسط این دسته از خودروها ۹۰۰ کیلومتر می‌باشد.



شکل ۱۵: مسافت طی شده خودروی جین پل برحسب ساعت کارکرد روغن

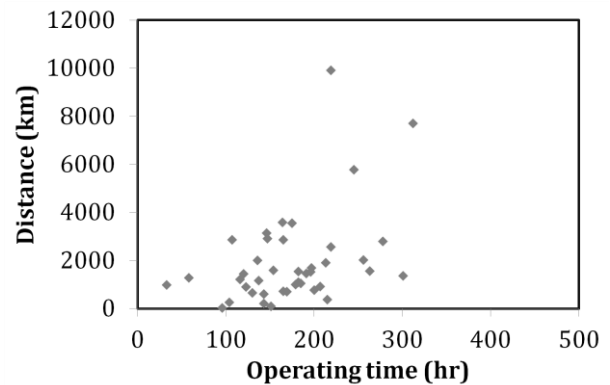
بنابراین با توجه به معادل‌سازی عمر مفید روغن بر حسب ساعت با حداکثر مسافت طی شده توسط کلیه خودروها، می‌توان به صورت خلاصه نتایج را به صورت جدول ۷ ارائه نمود.

بهره برداری از موتور خودروها از لحاظ میزان درجا کارکردن خودرو متفاوت می‌باشد، لذا موتور خودروها بر اساس نام خودرو به ۳ دسته تقسیم می‌شوند که "تندم"، "کشنده" و "جین پل" نامگذاری می‌شوند.

۴-۶-۱) بررسی موتور خودروی "تندم"

شکل ۱۳، ارتباط بین ساعت کارکرد روغن و مسافت طی شده توسط خودرو "تندم" را نشان می‌دهد. این دسته از خودروها، نسبت به خودروهای "کشنده" بیشتر در یک محدوده خاص حرکت می‌نمایند. بنابراین میزان مسافت طی شده توسط این دسته از خودروها نسبت به خودروهای "کشنده" کمتر است.

همانگونه که در مباحث قبلی عمر مفید روغن معادل ۱۰۰ ساعت تعیین گردید، اکنون با توجه به شکل ۱۳، باید حداکثر مسافت طی شده به ازای ۱۰۰ ساعت کارکرد روغن بدست آید. لذا اگر بر روی مرز ۱۰۰ ساعت، نگاهی انداخته شود، بیشترین مسافت طی شده توسط این خودرو در حدود ۳۰۰۰ کیلومتر است. لذا برای این دسته از خودروها، ۱۰۰ ساعت کارکرد روغن، معادل حداکثر ۳۰۰۰ کیلومتر می‌باشد.



شکل ۱۳: مسافت طی شده خودروی تندم برحسب ساعت کارکرد روغن

۴-۶-۲) بررسی موتور خودرو "کشنده"

با توجه به اطلاعات ثبت شده از نتایج تحلیل روغن، شکل ۱۴، مبین ارتباط بین ساعت کارکرد روغن و مسافت طی شده توسط این دسته از خودروها است. شایان ذکر است که این دسته از خودروها بیشتر سیار هستند و در جاده‌ها تردد دارند. لذا طبق ۱۰۰ ساعت تعیین شده، حداکثر مسافت طی شده توسط این دسته از خودروها، ۵۹۰۰ کیلومتر است.

برای تعویض به موقع روغن را نیز مشخص نمود که در جدول ۶ ارائه شد، این مبحث در تحقیقات پیشین بررسی نشد.

در بخشی دیگر از مقاله مشاهده شد که بر حسب نوع خودرو و ۱۰۰ ساعت عمر مفید روغن، مسافت‌های مختلفی به برای نوع بهره‌برداری از خودروها بر حسب کیلومتر به دست آمد که حداکثر مسافت طی شده برای خودروهای "جین پل" ۹۰۰ کیلومتر، "تندم" ۳۰۰۰ کیلومتر و "کشنده" ۵۹۰۰ کیلومتر بود. این معادل‌سازی به برای آن است که اگر نشان‌دهنده ساعت‌کارکرد روغن به هر دلیلی از کار بیفتد، بتوان بر اساس میزان مسافت طی شده خودرو، تعویض مناسبی را برای روغن موتور در نظر گرفت که این مبحث در مقالات پیشین نیز بررسی نشد.

۶ نتیجه‌گیری

همانطور که ملاحظه شد، برای دستیابی به عمر مفید روغن باید بسیاری از موارد زیر را در نظر گرفت:

- عناصر سایشی
- آلاینده‌ها
- خواص فیزیکی و شیمیایی روغن
- خطاهای اندازه‌گیری نیز شامل موارد ذیل می‌باشند:
- خطا در نحوه نمونه‌گیری روغن موتور
- خطا در قرائت ساعت‌کارکرد روغن و یا نشان‌دهنده آن
- خطا در وسائل آزمایشگاه روغن
- خطا در نوع روغن مصرفی از لحاظ اختلاط دو نمونه روغن در یک موتور

در مرحله نخست، به بررسی عناصر سایشی و آلاینده‌ها پرداخته شد که در آن مهمترین عناصر سایشی نظیر: آهن، آلومینیوم، کروم، مس و سرب، تنها آلاینده موجود در روغن یعنی سیلیس، حدود مجاز و میزان همبستگی آنها، مورد بررسی قرار گرفت که در آن، بیشترین همبستگی، بین آلاینده سیلیس و عنصر سایشی آلومینیوم وجود داشت. با توجه به نمودارهای حاصله، مشخص شد که در چه ساعتی سایش غیرطبیعی در قطعات مختلف موتور خودروها اتفاق می‌افتد. لذا ساعت هشدار انتخاب گردید که حداقل سایش در قطعات موتور رخ دهد. پس از آن خواص فیزیکی و شیمیایی روغن مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به نمودارهای آن، ساعت هشدار در نظر گرفته شد که از تغییرات ناگهانی و شدید در خواص روغن جلوگیری به عمل آید و در نهایت با در نظر گرفتن نتایج حاصل از بررسی عناصر سایشی، آلاینده سیلیس و در پایان خواص فیزیکی و شیمیایی روغن، به تعیین عمر اولیه و مفید روغن بر حسب ساعت و کیلومتر پرداخته شد. بیان این نکته حائز اهمیت است که نتایج بدست آمده صرفاً بر اساس تعداد نمونه روغن اخذ شده از موتور خودروها است. لذا چنانچه تعداد

نوع خودرو	ساعت	کیلومتر
جین پل	۱۰۰	۹۰۰
تندم	۱۰۰	۳۰۰۰
کشنده	۱۰۰	۵۹۰۰

۵ بحث بر روی نتایج

همان‌گونه که در این مقاله ملاحظه شد، با بررسی اشکال راجع به عناصر سایشی، آلاینده سیلیس، خواص شیمیایی و فیزیکی روغن این نتیجه حاصل شد که تنها مرزی را که می‌توان برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی و افت خواص روغن و به خصوص جلوگیری از بروز سایش غیرمتعارف در قطعات موتور خودروها و با در نظر گرفتن جنبه احتیاط به دست آورد، ۱۰۰ ساعت می‌باشد. این نتیجه در مقایسه با نتایج بدست آمده در مقالات پیشین، متفاوت است چرا که عمر روغن بستگی به موارد مختلفی نظیر: خواص فیزیکی، شیمیایی، مشخصات آن، شرایط بهره‌برداری، نوع دستگاه و دمای محیط دارد که در تحقیقات پیشین کاملاً متفاوت و منحصر به فرد است به همین برای عمر روغن در موتور جرثقیل ۱۷۰ ساعت با نام هیرمند ۲۰W۵۰ ساخت شرکت نفت ارس و در موتور دیزل ۲۰ استوانه، ۷۷۵ ساعت با نام پرخوران، تخمین زده شده است. شایان ذکر است ساعت‌های مذکور به ترتیب برای یک و چهار دستگاه موتور دیزل می‌باشند. اما در این مقاله باید عمر روغن را به شکلی تخمین زد که سلامت کلیه موتورها که ۷۰ دستگاه نیز می‌باشند، در نظر گرفته شود.

در قسمتی دیگر از مقاله مشاهده شد که عناصر سایشی و آلاینده سیلیس به یکدیگر همبسته‌اند که با استفاده از نرم افزار تحلیل آماری داده‌ها میزان همبستگی آنها در جدول ۵ بدست آمد. اما بر حسب نوع عنصر این همبستگی متغیر بود. نتیجه‌ای که از آن بدست آمد، ارائه یک معادله خطی بین عنصر سیلیس و عنصر آلومینیوم به صورت معادله ۲ بود که با استفاده از نرم افزار اکسل بدست آمد. در واقع این معادله بین دو عنصری که بیشترین همبستگی را در خود داشتند، حاصل شد. نتیجه‌ای که از آن بدست می‌آید این است که مشخص شد، بیشترین اثر سایشی سیلیس بر روی قطعات آلومینیومی نظیر سمبه‌ها و پس از آن بر روی حلقه‌های سمبه است. راهکاری که برای مقابله با ورود این آلاینده به درون روغن وجود دارد، استفاده از صافی هوا و آب بندهای مرغوب است. راهکاری دیگر استفاده از سمبه‌های مرغوب برای مقابله با اثرات سایشی عنصر سیلیس است که در نتیجه آن از کاهش عمر زود هنگام روغن جلوگیری شود. سپس حدود مجاز آنها نیز که در جدول ۴ بدست آمد، توسط معادله ۲ مورد تایید قرار گرفت. نتیجه آن، اطمینان از حد مجاز آلاینده سیلیس است که به کمک معادله ۱ بدست آمد، بنابراین میتوان با توجه به حدود مجاز این آلاینده، خواص فیزیکی، شیمیایی روغن و عناصر سایشی، مرز هشدار

- [7] W. Wanga, B. Hussinb, T. Jefferis, A case study of condition based maintenance modeling based upon the oil analysis data of marine diesel engines using stochastic filtering, *International Journal of Production Economics*, Vol. 136, No. 1, pp. 84-92, 2012
- [8] Mack trucks service manual, Mack engine tune up specifications, 1990
- [9] Oil analysis services reports
- [10] G. Hamidi, Condition monitoring services using oil analysis, wear elements and a case study for wearing iron, 6th Condition Monitoring and Fault Diagnosis Conference, Tehran, Iran, February, 2012
- [11] D. Alizadeh, Diesel engine condition monitoring with oil analysis using fuzzy logic, 5th Condition Monitoring and Fault Diagnosis Conference, Abadan, Iran, March, 2011
- [12] A. Masoudi, S. Mohammadi, Machinery condition monitoring, *Series of Technology Articles Journal*, Vol. 3, No. 34, pp. 7-8, 2009
- [13] M. Najibi, Correlation coefficients and calculations, *Statistical Science Group*, 2009
- [14] Alborz Tadbir Khuzestan Company Machinery Condition Monitoring, *Series of Technology Articles Journal*, Vol. 1, No. 17, pp. 4-6, 2009

نمونه‌های روغن افزایش یابد، قطعاً نتایج دقیق‌تری در این زمینه بدست خواهد آمد.

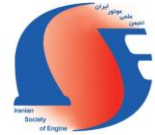
References

- [1] A. Masoudi, *Oil analysis basics*, 1st Edition, 2011
- [2] Alborz Tadbir Khuzestan Company, *Machinery Condition Monitoring*, *Series of Technology Articles Journal*, Vol. 2, No. 28, pp.17-20, 2009
- [3] H. Ahmadi, M. S. Blooki, Compare and select the best time to change the engine oil R.T.G crane model using oil condition monitoring, 3th Condition Monitoring and Fault Diagnosis Conference, Tehran, Iran, March, 2009
- [4] H. Kaleli, E. Yildirim, Determination of oil drain period in naval ship diesel engine, *Tribology in Industry Journal*, Vol. 30, No. 3, pp. 21-30, 2008
- [5] L. Guan, X.L. Feng, G. Xiong, J.A. Xie, Application of Dielectric Spectroscopy for engine lubricating oil degradation monitoring, *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 168, No. 1, pp. 22-29, 2011
- [6] S. M. Chun, Simulation of engine life time related with abnormal oil consumption, *Tribology International*, Vol. 44, No. 4, pp. 426-436, 2011



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir



The initial estimate of the useful life of the oil in diesel engines using oil analysis

S.A. Adnani^{1*}, S.J. Hashemi², A. Shooshtari³

¹Department of Mechanics, Science and Research Campus, Islamic Azad University, Hamedan branch, Hamedan, Iran, ah_adnani@yahoo.com

²Ahvaz Petroleum University of Technology, Ahvaz, Iran, hashemisj@yahoo.com

³Bu-Ali Sina University of Hamedan, Hamedan, Iran, al.shooshtari@gmail.com

*Corresponding Author, Phone Number: +98-916-3136834

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 01 March 2013

Accepted: 21 April 2013

Keywords:

Erosion

Oil analysis

Diesel engine

Oil properties

Estimation of engine oil life

ABSTRACT

In this paper, the life expectancy of the engine oil in 70 diesel engines installed in super heavy vehicles (the E6-350 ECONODYNE 4VH model) has been estimated using oil analysis. The method which used, was to change the used oil based on oil operating hours, odometer and taking samples. Then, the oil sample was sent to a laboratory for the analysis. In order to be able to determine the overall condition of the engine, we had to study various parameters, such as the viscosity, the base number, the acid number, the type and the amount of the engine wear in the same condition of the engine model, the oil consumption and the operating conditions. Therefore, the oil life expectancy would be determined. If the number of samples increases, then the value of errors will be reduced. Results would merely be based on the number of samples.

© Iran Society of Engine (ISE), all rights reserved.