Construction Science and Technology
Volume 6, Issue 2

Evaluate Qualitative Onsite Oil Analysis and Compare With Standard Method

Hosein Habibi[1], Kamran Torkaman[2], Amin Eskandarzadeh Sabet[3*]

[1] Bachelor's degree, Imam Hossein University, Tehran, Iran
[2] Master of Science, Azad University, Medical Sciences Branch, Tehran, Iran
[3] phd student of mechanical engineering, Department of mechanical engineering, semnan university, Tehran, Iran

R T I C L E I N F O

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 2021 April 29

Accepted: 2021 July 10

* Correspondence Email Addres:

amineskandarzadeh@semnan.ac.ir

Keywords:
Quality,
Onsite,
Oil Analysis,
Compare,
Standard Method

A B S T R A C T

oil analysis Examines the sample method and shows the characteristics and different materials resulting from erosion, pollution, etc. in engine oil, gearbox and hydraulic system. In fact, this method of sampling is analysis based on the unauthorized contents of the oil. The basis of oil analysis work is to reflect the condition of the machine for a certain period of time by showing the condition of the machines in operation. Oil analysis is a tool that can be used to help check the condition of a machine oil. It is like sampling human blood and the oil sample does not represent everything that happens inside the machine, but it can provide valuable information. Today, equipment is used at the level of some workshops that reduces the user's visit to the standard laboratory, but since these devices have not been studied so far, we decided to include them in this paper. From the point of view of erosive elements, contamination, physical and chemical characteristics are examined only from the point of view of existing devices and its accuracy and quality are compared with the standard method.

Publisher: Imam Hussein University
© **Authors**
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال سوم، شماره۱، بهار ۱۴۰۳، صفحه ۶۱ الی ۶۸

علمی– تخصصی

بررسی کیفی میزهای کارگاهی آنالیز روغن و مقایسه آن با روش استاندارد (آزمایشگاه مرجع)

حسین حبیبی[۱]، کامران ترکمان[۲]، امین اسکندرزاده ثابت [۳*]

۱– کارشناس، دانشگاه جامع امام حسین(ع) ۲– کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم پزشکی ۳– دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک دانشگاه سمنان

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۲)

چکیده

روش آنالیز روغن نمونه را بررسی کرده، خصوصیات و مواد مختلف حاصل از فرسایش، آلودگی و ... را در روغن موتور، گیربکس و سیستم هیدرولیک نشان می‌دهد. در واقع این روش نمونه‌برداری، تجزیه و تحلیل بر پایه محتویات غیرمجاز موجود در روغن می‌باشد. اساس کار آنالیز روغن انعکاس وضعیت ماشین برای یک دوره زمانی معین از طریق نشان دادن وضعیت ماشین‌آلات در حال کار می‌باشد. آنالیز روغن ابزاریست که می‌تواند برای کمک به بررسی وضعیت روغن ماشین مورد استفاده قرار گیرد، اینکار همانند نمونه‌گیری از خون انسان بوده و نمونه روغن همه آنچه که در داخل ماشین اتفاق می‌افتد را نمایانگر نمی‌سازد، اما می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در اختیار قرار دهد. امروزه تجهیزاتی در سطح برخی از کارگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که مراجعه کاربر را به آزمایشگاه استاندارد کاهش می‌دهد اما از آنجاکه این تجهیزات تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته‌اند بر آن شدیم تا در این مقاله آن‌ها را از منظر عناصر فرسایشی، آلودگی و مشخصه های فیزیکی و شیمیایی صرفاً از جنبه دستگاه‌های موجود مورد بررسی قرار داده و دقت و کیفیت آن را با روش استاندارد مقایسه نماییم.

کلید واژه‌ها: کیفیت، میزهای کارگاهی، آنالیز روغن، مقایسه، روش استاندارد

۱– مقدمه

پایش وضعیت (Condition Monitoring) که باختصار با CM نشان داده می‌شود، دربرگیرنده مجموعه عملیاتی شامل دریافت، مطالعه و پردازش پارامترهای مختلف مربوط به ماشین‌آلات نظیر ارتعاش، صدا، عملکرد، روانکاری، دما و ...و بررسی تغییرات آنها در طول زمان، با هدف بررسی و گزارش وضعیت آن‌ها می‌باشد. پایش وضعیت یکی از اجزای اصلی عملیات نگهداری پیش‌بینانه می‌باشد. از آنجا که اجرای پایش وضعیت با اهداف کاهش زمان توقف غیرمنتظره و تعمیرات، کاهش هزینه های تعمیرات و قطعات مصرفی، افزایش قابلیت اطمینان، بهره‌وری و کیفیت محصولات صورت می‌پذیرد، نوع تجهیزات مورد ا ستفاده در جهت اجرای صحیح پایش وضعیت و کاهش تولرانس بسیار مهم می‌باشد[1]. لازم به ذکر است مطالعه پیش رو برای اولین بار در سطح کشور انجام شده است و به صورت خاص پرکاربردترین تجهیزات آزمایشگاهی آنالیز روغن کارگاهی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

در ادامه به مطلبی برگرفته از نشریه lubrication(Published machinery by Noria) که به‌صورت تخصصی به موضوعات روانکارها می‌پردازد اشاره می‌نماییم.

امروزه بودجه محدود شرکت‌ها ایجاب می‌کند که بیشترین بهره را از برنامه‌های تحلیل روغن خود ببرند از آنجاکه آنالیز روغن به عنوان یک ابزار مفید در نگهداری و تعمیرات پذیرفته شده است همیشه نتیجه مناسب از تجهیزات توسط پرسنل مسئول این برنامه بدست نمی‌آید. در برخی موارد ممکن است نیاز این نوع تجهیز در یک مجموعه ماشین‌آلاتی یا صنعتی ایجاد شود، اما می‌بایست نوع تجهیز مورد استفاده در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گیرد. به عنوان مثال، در یک برنامه کنترل آلودگی ۱۵ درصد نمونه‌های روغن دارای مشکل می‌باشند که اگر این ۱۵ درصد در میزهای کارگاهی که در این مقاله به آن‌ها On Site گفته می‌شود شناسایی گردند هزینه‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این، زمان صرف شده برای مشاهده داده‌های روغن می‌تواند با تمرکز بیشتری صورت پذیرد. نکته دیگر استفاده از تجهیز استاندارد با کالیبراسیون دقیق و پرسنل آموزش دیده می‌باشد که می‌بایست مورد توجه جدی قرار گیرد[2]. همانطور که در موارد

* رایانامه نویسنده مسئول: amineskandarzadeh@semnan.ac.ir

بالا اشاره گردید تجهیز استاندارد و پرسنل آموزش دیده دو اصل اساسی در استفاده از میزهای کارگاهی می‌باشند. بنابراین بر آن شدیم تا با تعمیم یک مطالعه موردی در سطح قرارگاه به بررسی این موضوع بپردازیم.

۲- تعاریف

۲-۱- نگهداری پیش بینانه

نگهداری پیش‌بینانه یا تعمیرات پیشگویانه در چند دهه اخیر بیشترین کاربرد را در روشهای تعمیراتی در کشورهای پیشرفته داشته است. در این روش وضعیت ماشین آلات را بررسی می‌کنند و آنها را در فواصل زمانی مشخصی بازدید می‌کنند که البته این فواصل زمانی به اهمیت ماشین بستگی دارد [۱]. وضعیت دستگاه در بازدیدهای دوره‌ای ثبت و پایش می‌شود و در صورت مشاهده هر نوع خرابی سرعت رشد آن را تحت نظر قرار می‌دهند؛ و در زمانی قبل از تخریب ماشین آن را از سرویس خارج و به تعمیر همان قسمت معیوب که از قبل تعیین شده بود می‌پردازند. باید توجه داشت که با توجه به اینکه از قبل اشکال ماشین مشخص و مورد پایش قرار گرفته است از پیش، آمادگی خراب شدن یک قسمت خاص ماشین وجود دارد و در نتیجه می‌توان پیش از، از کار افتادن ماشین به دنبال تهیه لوازم جانبی مورد نیاز جهت تعمیر آن بود. با توجه به اینکه ماشین قبل از توقف ناخواسته از سرویس خارج می‌گردد، در نتیجه خسارات و هزینه‌های ناشی از توقف ناخواسته دستگاه از بین می‌رود و ضمناً با اینکار از خراب شدن دیگر قسمت‌های آن جلوگیری می‌شود. [۲,۳]

۲-۲- روش‌های پایش وضعیت (CM)

روش‌های اشاره شده در زیر مهمترین روشهای پایش وضعیت (CM) مورد استفاده در حوزه ماشین آلات، تجهیزات و صنایع می باشند:

۲-۲-۱- آنالیز ارتعاشات (Vibration Analysis)

در این روش ارتعاشات ماشین اندازه‌گیری شده و بر اساس آن وضعیت دستگاه سنجیده می‌شود و در صورت وجود عیب می‌توان عیب را تشخیص داد. این روش بیشتر برای ماشین‌آلات دوار بکار می‌رود. در این روش، به تحلیل اسپکترام فرکانسی و سیگنال زمانی پرداخته می شود. اندازه‌گیری ارتعاشات به وسیله سنسورهای جابجایی، سرعت و شتاب صورت می‌گیرد. عموما در اندازه گیری فرکانس های زیر۲۰ هرتز و اندازه‌گیری حرکت نسبی از سنسور جابجایی؛ در اندازه‌گیری فرکانس های بین ۲۰ تا ۲۰۰۰ هرتز از سنسور سرعت؛ و در اندازه‌گیری فرکانس های بالای ۲۰۰۰ هرتز از سنسور شتاب استفاده می گردد [۱,۴,۵].

۲-۲-۲-آکوستیک امیشن (Acoustic Emissions)

آکوستیک امیشن (AE)پدیده‌ای است که در اثر ایجاد و انتشار یک موج الاستیک در محدوده مافوق صوت (ZMH 1- ZHK 20) رخ می‌دهد. بر همین اساس، پایش وضعیت به روش آکوستیک امیشن شامل دریافت سیگنال‌های منتشر شده در تجهیزات توسط سنسورهای مخصوص و برقراری ارتباط بین سیگنال‌های دریافتی و تغییرات ایجاد شده بر روی تجهیزات می‌باشد. این روش برای پایش وضعیت فرآیندهایی که در آن سیال با فشار بالا یا پدیده‌های فعال مکانیکی وجود دارد، مناسب می‌باشد. در این روش، سیگنال‌های فرکانس بالا توسط سنسورهای مخصوص ثبت شده و نتایج به‌صورت داده‌های عددی شامل پارامترهای دامنه و فرکانس سیگنال‌ها نمایش داده می‌شود. تغییرات این پارامترها در طول زمان به عنوان معیاری برای ارزیابی خرابی‌های احتمالی در تجهیزات مورد تحلیل قرار می‌گیرد [۱] و [۶-۴].

۲-۲-۳- آنالیز روغن و ذرات سایشی(Lubricant Analysis)

در این روش روغن و ذرات موجود در روغن پارامترهایی هستند که پایش می‌شوند. می‌توان این روش را مشابه آزمایش خون دانست که پزشکان به این طریق به وضعیت سلامتی انسان پی می‌برند. به همین ترتیب در این روش با آزمایش روغن می‌توان وضعیت روغن را که نقشی حیاتی برای بسیاری از ماشین‌آلات دارد زیر نظر داشت. همچنین از جنس و شکل ذرات موجود در روغن می‌توان به عیب و علت ایجاد آن پی برد. به عنوان مثال در این روش می‌توان با اندازه‌گیری عناصر فرسایشی، آلودگی ها و... از خرابی اجزای مختلف موتور اعم از پیستون، میل‌لنگ، سیستم سوخت‌رسان، پارگی اتصالات و دیگر اجزای سیستم‌های هیدرولیک و انتقال قدرت مطلع شد [۱] و [۶-۴].

۲-۲-۴- ترموگرافی (Thermography)

ترموگرافی یکی از روش‌های پایش وضعیت می‌باشد که بر اساس اندازه گیری دمای تجهیزات استوار است. در این روش تغییرات دمای سطوح ماشین با استفاده از تجهیزات خاص (دوربین های مخصوص) در محدوده مادون قرمز ثبت و تحلیل می‌گردد. بطور کلی، جریان حرارت در نقاط مختلف ماشین‌آلات را که در اثر از کار افتادگی قطعات و اتصالات رخ می دهد (بطور مثال در اتصالات الکتریکی) را می توان با این روش ردیابی کرده و عیوبات را تشخیص داد. ترموگرافی علاوه بر تجهیزات الکتریکی برای

پایش وضعیت یاتاقان‌های سرعت بالا، کوپلینگ‌های سیالاتی، مخازن نگهداری و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱] و [۶-۴].

۲-۲-۵- مافوق صوت (Ultra Sonic)

در این تست، امواج فراصوت که دامنه آنها بین ۰/۵ تا ۲۵ مگا هرتز هستند توسط یک مولد صوتی بر روی قطعه مورد آزمایش هدایت می‌شود. این امواج هنگامی که به ناپیوستگی ها و عیوب سطحی و زیر سطحی قطعه برخورد می‌کنند منعکس می‌شوند که توسط مولد صوتی این بازتاب ها دریافت گردیده و به پالس‌های الکتریکی تبدیل شده و در صفحه نمایش به صورت یک سیگنال ظاهر می‌گردد. اپراتور با بررسی این سیگنال ها می‌تواند به اطلاعات مختلفی از قبیل مکان، عمق، ابعاد و نوع عیب بر روی قطعه پی ببرد [۱، ۴ و ۷].

این آزمون می تواند عیوب را تا عمق ۵ متر در فولاد ها نشان دهد و درصد نفوذ و حساسیت آن در آشکارسازی عیوب صفحه‌ای و بحرانی نسبت به آزمون رادیوگرافی بالاتر است. از محدودیت های آن این است که کار با آن نیاز به تخصص و مهارت بالایی دارد، چه در انجام دادن آزمون بر روی سازه‌ها و چه در تفسیر و خواندن اطلاعات دریافتی توسط این آزمون. در این روش قطعات بسیار کوچک و نازک و قطعات ناهموار به سختی قابل تست شدن هستند و اگر ناپیوستگی و عیب کوچک و بسیار نزدیک به سطح باشد ممکن است تشخیص داده نشود. کاربرد این تست در تشخیص خرابی (به خصوص خرابی داخلی) تیغه و برج توربین بادی می‌باشد [۱، ۴ و ۷].

۲-۲-۶- اندازه گیری کرنش(Strain measurement)

با استفاده از سنسورهای الکترونیکی میتوان کرنش یا تغییرات نسبی طول یک جسم را اندازه‌گیری نمود، کرنش برابر با تغییرات طول یک ماده به حالت اولیه آن می‌باشد. کرنش سنج ها می‌توانند برای چهار گروه کلی محوری، برشی، خمشی و پیچشی به کار برده شوند با این وجود نوع محوری و خمشی متداول ترین نوع کرنش‌سنج‌ها می‌باشند. ابعاد کرنش‌سنج ها از چند میلی‌متر مربع تا چند سانتی متر مربع است و دارای مقاومتی از چند ده تا چند هزارم اهم می‌باشند. کاربرد کرنش‌سنج‌ها در توربین‌های بادی اندازه‌گیری کرنش مربوط به تیغه و روتورها می‌باشد [۱,۴,۷,۸,۹].

۲-۲-۷- اثرات الکتریکی (Electrical effects)

پایش وضعیت تجهیزات الکتریکی مانند ژنراتور، موتور و باتری ها غالباً از طریق اندازه گیری ولتاژ و جریان صورت می‌پذیرد. در شبکه های ولتاژ بزرگ و متوسط اندازه گیری دشارژ ولتاژ بسیار اهمیت دارد. تحلیل طیفی جریان استاتور ژنراتور می‌تواند برای تشخیص خرابی های نهفته در سیستم کابل رسانی بدون تاثیر بر عملکرد توربین بسیار مفید باشد. مقاومت الکتریکی می‌تواند جهت ارزیابی ساختار اجزای خاصی از توربین بادی مورد استفاده قرار گیرد. تغییرات ناگهانی مقاومت الکتریکی جهت تشخیص خستگی، شکست و خردشدگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد این تست در برج، ژنراتور و تیغه های توربین می‌باشد [۱,۴,۷,۸,۹].

۲-۲-۸- شاک پالس (Shock Pulse)

یاتاقان‌های غلتشی طول عمر محدود و مشخصی داشته و معمولاً پس از اتمام طول عمرشان باید تعویض شوند. اما در حین کار می‌توان آن‌ها را پایش نموده و با بررسی وضعیت ارتعاشی آن‌ها نسبت به ادامه کار یا تعویض آن تصمیم‌گیری کرد. تشخیص به موقع عیب یاتاقان در دستگاه‌های دوار می‌تواند از توقف ناگهانی و بدون برنامه‌ریزی جلوگیری کرده و برنامه‌ریزی و داشتن زمان کافی جهت سفارش یاتاقان جایگزین را امکان‌پذیر می‌نماید. عیوب یاتاقان‌ها معمولاً ناشی از جدا شدن موضعی مواد، ترکهای ناشی از خستگی روی سطوح تماسی و خرد شدن یا ترک برداشتن اجزا غلتشی یعنی ساچمه‌ها و رولرها می‌باشد، که در اثر روغن‌کاری ناقص و یا اعمال نیروهای اضافی روی آن‌ها می‌تواند اتفاق بیفتد. تکنیک تشخیص عیوب یاتاقان با دیگر عیوب ارتعاشی تفاوت دارد زیرا خرابی یاتاقان پالس‌های بسیار کم انرژی در فرکانس‌های بالا تولید می‌کند که عملاً این پالس‌ها در ارتعاشات ناشی از عیوب دیگر که عمدتاً مضاربی از دور ماشین هستند گم می‌شوند [۱,۹,۱۰,۱۱].

۲-۲-۹- آنالیز کارایی (Performance Monitoring)

آنالیز کارآیی یکی از تکنیک‌های مهم پایش وضعیت است که برای انواع مختلف تجهیزات به ویژه تجهیزاتی که در واحدهای فرآیندی به کار می روند و تجهیزاتی که آنالیزهای دیگر مانند ارتعاشات جوابگوی پایش کامل آنها نیست کاربرد دارد.

جمع آوری اطلاعات اولیه (مانند دبی، فشار ، دما ، آمپر مصرفی و ...) به کمک انواع گیج‌ها، نشانگرها، سنسورها و ترانسمیترها صورت می پذیرد. ارتباط بین پارامترهایی مثل قدرت، سرعت باد، زاویه تیغه و سرعت روتور جهت ارزیابی، پایش و تشخیص خرابی ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از این وسایل اندازه گیری دارای نشان دهنده در محل هستند و اطلاعات برخی دیگر از طریق سیستم کنترل مرکزی قابل دستیابی است.

پارامترهای بیان کننده کارآیی ماشین (نظیر راندمان، هد

تولیدی و . . .) به کمک فرمول‌ها و روابط ریاضی و بر اساس اطلاعات اولیه محاسبه می‌شوند. با trend کردن مقادیر پارامترهای بیان کننده کارایی ماشین در طول عمر آن، هرگونه انحراف از وضعیت نرمال مشخص شده و می توان با انجام اقدام اصلاحی، وضعیت را نرمال نمود. این تکنیک به ویژه برای توربین‌ها، پمپ‌ها، فن‌ها، مبدل‌های حرارتی، بویلرها و . . . از اهمیت خاصی برخوردار است. کاربرد این تست در تیغه و ژنراتور توربین بادی می‌باشد [۱,۴,۵].

۲-۲-۱۰- بازرسی رادیوگرافیک (Radiographic inspection)

در بازرسی رادیوگرافیک از اشعه ایکس برای پرتونگاری استفاده می‌شود. پرتو به جسم تابیده و به علت طول موج کم اشعه ها جذب قطعه می‌گردد. اگرچه این روش اطلاعات مفیدی را از اجزای سازه ی مورد بازدید فراهم می‌آورد اما استفاده از این روش به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. عکس‌برداری رادیوگرافی وابسته به سطوح مختلف از جذب فوتون هایی می‌باشد که از میان مواد عبور می‌کنند. جهت تشخیص خستگی های شدید، خردگی و شکاف‌های کمتر از μm ۵۰ از روش عکسبرداری با اشعه ایکس استفاده می‌گردد. عکسبرداری با این روش جهت تشخیص عیوب داخلی توربین های بادی مفید بوده و مزیت اصلی دقت آن می‌باشد. سیستم رادیوگرافی پرتابل به‌عنوان یک راه حل جهت تشخیص عیوب و کاهش هزینه بازرسی مطرح می‌گردد. هرچه طول موج کوتاه تر باشد قدرت نفوذ پرتو در داخل جسم بیشتر است. تمام تابش در جسم نفوذ نمی‌کند بلکه قسمتی از آن جذب می‌شود. مقدار جذب تابعی از چگالی و ضخامت جسم می‌باشد. کاربرد این روش در تشخیص عیوب تیغه های توربین از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد [۱,۴,۵,۶].

۲-۲-۱۱- استاندارد (American Society for Testing and Materials) ASTM

یک سازمان بین المللی توسعه‌ی استاندارد است . این سازمان استانداردهای فنی را به صورت داوطلبانه تعریف و به چاپ می رساند . این استانداردها گستره وسیعی از مواد تولیدات، سیستم‌ها و وسیله‌ها را شامل می شود. ASTM دارای بیش از ۱۲۰۰۰ استاندارد است که در ۷۷ جلد به‌صورت سالیانه چاپ و منتشر می‌شود [۱۲].

۳- روش اجرا

در این مقاله به بررسی میزهای کارگاهی آنالیز روغن از شاخه پایش وضعیت در کارگاه‌های یک سازمان بزرگ ماشین‌آلاتی (اعم از ماشین‌آلات عمرانی، راه‌سازی، حفاری، دریایی و ریلی) در کشور پرداخته ایم. عمده آزمایش‌های مورد استفاده در میزهای کارگاهی ۱-آنالیز عنصری به روش فروگرام مشاهداتی با استفاده از میکروسکوپ معمولی۲- آلودگی آب و سوخت ۳- ویسکوزیته ۴- TBN ۵- Flash point می‌باشند. به جهت افزایش دقت در مقایسه این دو مدل، جامعه آماری شامل ۵ کارگاه در نقاط مختلف کشور از جمله شمال، غرب و جنوب در نظر گرفته شده است. تولرانس تعریف شده جهت خطای قابل قبول، بر اساس استانداردهای آزمایشگاهی حداکثر ۱۵ درصد می‌باشد.

۳-۱- آنالیز عنصری میزکارگاهی

همانطور که ذکر شد آنالیز عنصری مورد استفاده در میزهای کارگاهی به روش مشاهداتی از طریق میکروسکوپ می‌باشد. اساس روش اینگونه بوده که روغن پس از نمونه گیری در کارگاه به آزمایشگاه موجود در کارگاه (میزکارگاهی) ارسال و گرمادهی و همگن می‌گردد، سپس بین لام و لامل قرارگرفته و زیر میکروسکوپ مشاهده می‌گردد. عمده مشکل این روش ۱- دقت پایین میکروسکوپ(که عموماً ذرات کمتر از ۱۰ میکرون به سختی قابل مشاهده بوده) ۲- سخت بودن تشخیص ذرات (که به تجربه زیادی نیز احتیاج دارد) می‌باشد. این در حالیست که آنالیز عنصری در روش استاندارد غالباً با استفاده از طیف نشری مبتنی بر منبع تحریک قوس و جرقه(RDE) با روش آزمایش ASTM D6595 صورت می‌پذیرد، اساس کار طیف‌سنج‌های نشری، نشر طیف الکترومغناطیس از عناصر نمونه است که اتم های برانگیخته شده، در برگشت به سطح انرژی نرمال، با نشر انرژی به صورت فوتون، ایجاد طیف یا اسپکتروم می‌کند، ولی عامل برانگیختگی یا تهیج اتم های نمونه که در نهایت منجر به نشر می شود، در دستگاه های آنالیز متفاوت است. لازم به ذکر است روش دیگر که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرید طیف سنجی براساس منبع تحریک پلاسما (ICP)می‌باشد [۲,۴,۵,۶].

۳-۲- آلودگی آب

اندازه گیری میزان آب موجود در روغن و سوخت، در میزهای کارگاهی از طریق تست crackle می‌باشد. اساس کار به این صورت است که ظرف دستگاه داغ شده و به دمای مشخصی می‌رسد، پس از آن در صورت وجود آب در سیال ذرات به شکل حباب در آمده و بر اساس قطر و صدای ذره می‌توان به صورت تقریبی میزان آب موجود را ارزیابی نمود. عمده مشکل این تست زمانی است که به دقت بالایی در دستگاه احتیاج داشته باشیم که عملکرد مناسبی ندارد. در آنالیز روغن استاندارد برای اندازه گیری این مشخصه علاوه بر تست crackle تست‌های دیگری با عنوان water by karl fischer (مختص روغن‌های صنعتی و دنده) با

روش آزمایش ASTM D6304، تقطیر با روش آزمایش ASTM D95 و سانتریفیوژ با روش آزمایش ASTM D2273 مورد استفاده قرار می‌گیرند که محدودیت اشاره شده را ندارد [۲,۴,۵,۶].

۳-۳- ویسکوزیته (گرانروی)

گرانروی میزان اصطکاک داخلی روانکار یا مقاومت در مقابل جریان می باشد. گرانروی سینماتیک، اندازه‌گیری مقاومت یک سیال برای جریان یافتن، در شرایط نیروی ثقل می‌باشد. این مقیاس با اندازه‌گیری زمان به ثانیه برای حرکت حجم مشخصی از سیال که تحت شرایط ثقل، فاصله تعیین شده‌ای را در لوله مویین کالیبره شده، طی نماید، صورت می‌گیرد، در حالی که فشار و دما به‌دقت کنترل شده است. گرانروی بر کار دستگاه، کاهش اصطکاک و ضخامت فیلم روغن یاتاقان‌ها اثر می‌گذارد. بنابراین، اندازه‌گیری و بررسی روند آن در برنامه آنالیز روغن حساس می‌باشد. امروزه دستگاه‌هایی تولید گردیده‌اند که میزان گرانروی را به صورت تمام اتوماتیک با کمترین خطا مورد اندازه گیری قرار می‌دهند اما دستگاه های مورد استفاده در سطح میزکارگاهی غالباً به صورت نیمه اتوماتیک می‌باشند. در آنالیز روغن استاندارد برای مشخصه از روش آزمون ASTM D445 در دو محدوده دمایی ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد استفاده می‌گردد [۲,۴,۵,۶,۷].

۳-۴- قلیائیت روغن (TBN)

این آزمایش شدت قلیالیت روغن موتورها را مشخص می‌کند. روغن‌های موتور دارای مواد افزودنی تامین کننده ذخیره قلیالیت، برای خنثی سازی اسیدی است که در جریان احتراق تولید می‌شود. وقتی این ذخیره پایان یابد، روغن می‌تواند به شدت خوردگی ایجاد نماید. نتایج آزمایش نشان دهنده حجم KOH (هیدروکسید پتاسیم) لازم برای خنثی کردن حجم عامل اسیدی مورد نیاز برای خنثی سازی نمونه قلیائی است که TBN مورد نظر می‌باشد. لازم به ذکر است غالب دستگاه های اندازه گیری قلیائیت روغن در آزمایشگاه استاندارد بر پایه تیتراسیون پتانسیومتری و روش آزمون ASTM D2896 می‌باشند [۲,۳,۴,۵,۷].

۳-۵- نقطه اشتعال بسته (Flash point)

نقطه اشتعال پایین ترین درجه حرارتی است که در این دما روغن در ظرفی در بسته بنا به استاندارد مورد تقاضا به اندازه کافی به بخار تبدیل و با ترکیب آن با هوا یک مخلوط قابل اشتعال را به‌صورتی ایجاد می کند که با نزدیک شدن شعله به آن، روغن در یک لحظه مشتعل و سپس خاموش می‌گردد. کاهش نقطه اشتعال بسته با میزان سوخت موجود در روغن ارتباط دارد، به عنوان مثال مقادیر کمتر از ۱۷۵درجه سانتیگراد نشان دهنده وجود سوخت در روغن می‌باشد. استاندارد مشابهی نیز برای نقطه اشتعال باز که مختص روغن‌های موتور نو می‌باشد وجود دارد که این روش در سطح میزهای کارگاهی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. روش آزمون نقطه اشتعال باز ASTM D92 و نقطه اشتعال بسته ASTM D3828 می‌باشد. لازم به ذکر است روش آزمون نقطه اشتعال بسته تجهیز میزهای کارگاهی تقریباً مشابه استاندارد ASTM D3828 می‌باشد [۲,۴,۵,۶,۷].

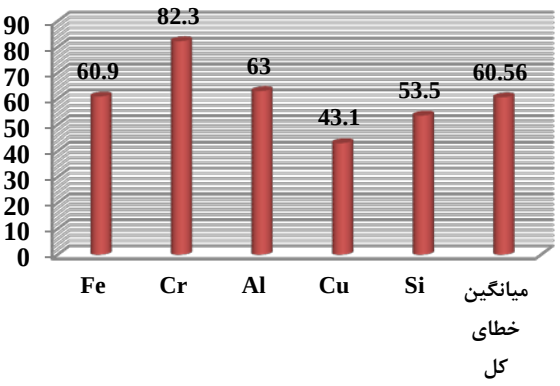
۳-۶- سنجش ذرات آهنی (PQ)

هدف از این تست اندازه گیری ذرات آهنی بزرگتر از ۱۰میکرون می‌باشد. اساس کار به این صورت است که روغن پس از گرمادهی و همگن سازی تحت میدان مغناطیسی قرارگرفته و متناسب با آن میزان ذرات آهنی مشخص می‌گردند، این تجهیز برای اندازه گیری ذرات درشت فرسایشی با خاصیت آهن ربایی (آهنی آزاد) در روغن مورد استفاده قرار می‌گیرد. دستگاه های مورد استفاده در سطح میزهای کارگاهی نیز عملکردی مشابه دستگاه مورد اشاره دارند. لازم به ذکر است این تجهیز فاقد هرگونه روش آزمون می‌باشد [۲,۶,۷,۸].

۴- تحلیل نتایج

۴-۱- آنالیز عنصری

در تمامی ۵ میزکارگاهی کاربران تجهیز صرفاً توانایی مشاهده ذرات آهن، کروم، آلومینیوم، مس و سیلیس را در زیر میکروسکوپ با درصد خطای نمودار زیر داشتند و اندازه گیری ذراتی همچون سرب، قلع، نیکل، تیتانیوم، نقره، مولیبدن، کلسیم، فسفر، روی، منیزیم و باریم غیرممکن بود.



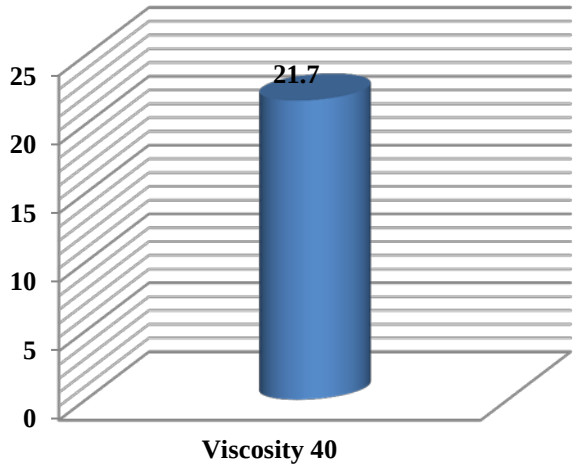
شکل (۱). میانگین درصد خطای اندازه گیری ذرات در روش مشاهداتی

۴-۲- آلودگی آب

میزان میانگین درصد خطای روش Crackle که در میزهای کارگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اگر صرفاً وجود آب اهمیت داشته باشد (کیفی) آزمونی با خطای زیر ۱۰درصد می‌باشد اما در مقایسه با روش کمی مناسب نمی‌باشد.

۴-۳- ویسکوزیته (گرانروی)

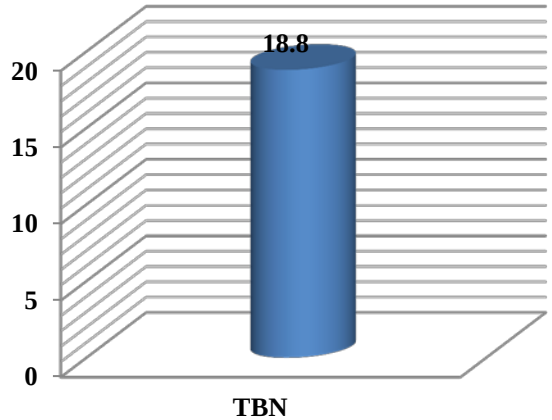
میزان میانگین درصد خطای میزهای کارگاهی با لحاظ اینکه صرفا ویسکوزیته ۴۰ درجه مورد اندازه گیری قرار گرفت به‌صورت نمودار زیر می‌باشد.



شکل (۲). میانگین درصد خطا در اندازه گیری ویسکوزیته ۴۰ درجه

۴-۴- قلیائیت روغن (TBN)

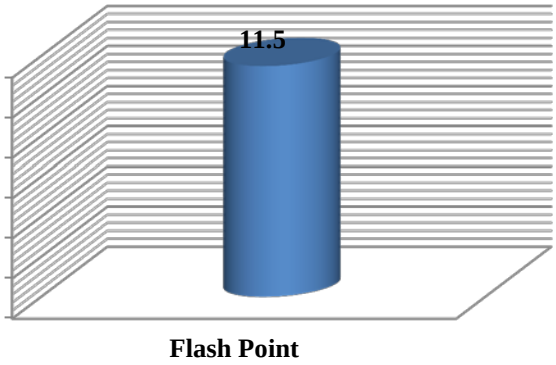
میزان میانگین درصد خطای میزهای کارگاهی در این آزمایش به صورت نمودار زیر می‌باشد.



شکل (۳): میانگین درصد خطا در اندازه گیری مقدار TBN روغن

۴-۵- نقطه اشتعال(Flash Point)

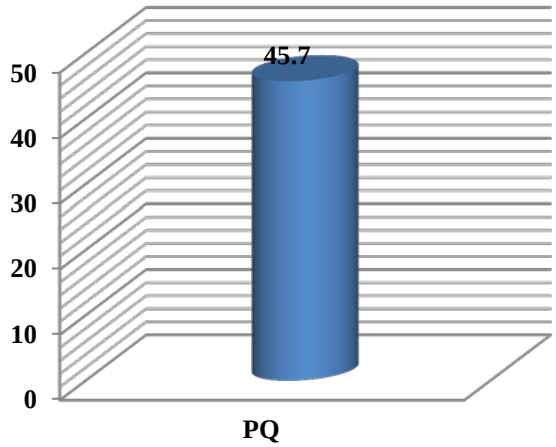
میزان میانگین درصد خطای میزهای کارگاهی در این آزمایش به‌صورت نمودار در شکل (۴) می‌باشد.



شکل۴. میانگین درصدخطا در اندازه گیری مقدارFlash Point

۴-۶- سنجش ذرات آهنی(PQ)

میزان میانگین درصد خطای میزهای کارگاهی در این آزمایش به صورت نمودار زیر می‌باشد.



شکل (۵): میانگین درصد خطا در اندازه گیری مقدار PQ

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج ارائه شده موارد زیر توصیه می‌گردد:

۵-۱- با توجه به نتایج به دست آمده در بند ۳-۱ و موارد ذکر شده در بند ۲-۱ و اینکه آنالیز عنصری مورد استفاده در سطح میزهای کارگاهی میانگین درصد خطای بالای ۶۰ درصد داشته، توصیه می‌گردد از این روش(فروگرافی مشاهداتی با استفاده از میکروسکوپ) مطلقاً استفاده نگردد.

۵-۲- همانطور که در بند ۲-۲ و۳-۲ اشاره شد اگر هدف صرفاً تشخیص آب باشد و مقدار کمی اهمیتی نداشته باشد آزمایش آلودگی آب به روش Crackle مناسب می‌باشد و بنابراین می‌توان در سطح میزهای کارگاهی از این تست استفاده نمود اما در صورت اهمیت کمی نتایج، آزمایش به روش Karl Fischer توصیه می‌شود که روش استاندارد بوده و غالباً در سطح کارگاه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

۵-۳- تست گرانروی مورد استفاده در سطح میزهای کارگاهی عملکرد تقریباً مشابهی با تست استاندارد دارد اما تخصص اپراتور تجهیز و دقت دستگاه از اهمیتی خاصی برخوردار می‌باشد، بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده در بند ۳- ۳ استفاده از این تجهیز در سطح میزهای کارگاهی توصیه نمی‌گردد.

۵-۴- تست قلیائیت (TBN) مورد استفاده در سطح میزهای کارگاهی غالباً از طریق ایجاد اختلاط اسید یا باز با روغن با درصد مشخص بوده اما روش استاندارد تیتراسیون پتانسیومتری می‌باشد، با توجه به نتایج مورد اشاره در بند ۳- ۴ استفاده از تجهیز مذکور در سطح میزهای کارگاهی توصیه نمی‌گردد.

۵-۵- تست نقطه اشتعال (Flash Point) مورد استفاده در سطح کارگاه مشابه روش استاندارد بوده و از آنجاکه با توجه به نتایج مورد اشاره در بند ۳- ۵ میانگین درصد خطا زیر ۱۵ درصد می‌باشد استفاده از تجهیز مذکور در سطح کارگاه توصیه می‌گردد.

۵-۶- سنجش ذرات (PQ) به دلیل عدم کالیبراسیون دستگاه‌های مورد استفاده و از آنجاکه با توجه به نتایج مورد اشاره در بند ۳-۶ میانگین درصد خطا بالای ۱۵ درصد می‌باشد، استفاده از تجهیز مذکور در سطح میزهای کارگاهی توصیه نمی‌گردد.

نتایج به دست آمده از این مطالعه موردی نشان می‌دهد که به علت و عوامل مورد اشاره در متن گزارش، استفاده از میزکارگاهی برای تشخیص اولیه بوده و با توجه به نتایج به دست آمده از داده‌های میدانی، این تجهیزات از خطای بالایی برخوردار بوده و نخواهند توانست نقش اصلی در پایش وضعیت ماشین‌آلات را برای تصمیم‌گیری ارائه نمایند.

ذکر این نکته ضروری است که مطالعه پیش رو به بررسی میزهای کارگاهی آنالیز روغن موجود در سطح قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء(ص) می‌پردازد و ممکن است تجهیزاتی در سطح دیگر مجموعه‌های عمرانی، صنعتی و ... مورد استفاده قرار گیرد که از استاندارد کافی برخوردار باشند. عمده حسن اجرای میزهای کارگاهی صرفه جویی در زمان و هزینه(به شرط استفاده از تجهیز استاندارد و پرسنل آموزش دیده) می‌باشد و از معایب اصلی آن می‌توان به عدم استفاده از تجهیزات استاندارد، کالیبره نبودن و کمبود پرسنل آموزش دیده اشاره نمود. با توجه به خطاهای حاصل شده در اجرای این موضوع و اینکه هزینه اولیه اجرای آن بالا می‌باشد استفاده از این نوع تجهیزات(فاقد استاندارد) به جز ۲ تست مورد اشاره در جدول (۱) (آن هم به شرط رعایت کالیبراسیون و استفاده از پرسنل مجرب) توصیه نمی‌گردد.

همانطور که در قسمت‌های قبل ذکر شد با احتساب حداکثر خطای مورد تایید دستگاه های مورد استفاده در سطح میزهای کارگاهی (۱۵ درصد) نتیجه نهایی در قالب جدول (۱) ارائه می‌گردد:

جدول (۱). جمع‌بندی تست‌ها جهت استفاده یا عدم استفاده در سطح کارگاه‌ها

ردیف	نوع تست	توصیه می‌گردد	توصیه نمی‌گردد
۱	آنالیز عنصری		
۲	آلودگی آب		
۳	گرانروی		
۴	قلیائیت		
۵	نقطه اشتعال		
۶	سنجش ذرات		

۶- مراجع

[1] Eskandarzadeh Sabet,A.,& Torkaman K .(2020) implementing condition monitoring in wind turbines to reduce maintenance costs using SCADA data analysis method .Engineering and quality management.(In Persian)

[2] On-site Oil Analysis ,.(2020). “Is It a Replacement For Lab Analysis?” ,https://www.machinerylubrication.com/Read/982/onsite-oil-analysis-lab

[3] YAn, S., Biao, M. A., WAng, X., Chen, J., & Zheng, C. (2020). MAINTENANCE POLICY FOR OIL-LUBRICATED SYSTEMS WITH OIL ANALYSIS DATA POLITYKA UTRZYMANIA RUCHU UKŁADÓW SMAROWANYCH OLEJEM W OPARCIU O DANE Z ANALIZY OLEJU. EKSPLOATACJA I NIEZAWODNOSC, 22(3), 455.

[4] Harwood, J., & Aparicio, R. (Eds.). (2000). Handbook of olive oil: Analysis and properties (p. 620). Gaithersburg, MD: Aspen.

[5] Pedregal, D. J., García, F. P., & Roberts, C. (2009). An algorithmic approach for maintenance management based on advanced state space systems and harmonic regressions. Annals of Operations Research, 166(1), 109-124.

[6] J. C. Fitch, D. D. Troyer ,(1999).Oil analysis basics, Noria Corporation.

[7] DeGaspari, J. (1999). Recording oil's vital signs. Mechanical Engineering, 121(05), 54-56.[3] Rao, B.

[8] K. N. (1993). Profitable Condition Monitoring & Diagnostic Engineering Management. In Profitable Condition Monitoring (pp. 37-44). Springer, Dordrecht.

[9] Troyer, D. (1998). Why oil analysis should be performed on site. Noria Corporation, Oil analysis. com.

[10] Joyce, C. S. (1996). U.S. Patent No. 5,537,336. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[11] Harwood, J., & Aparicio, R. (Eds.). (2000). Handbook of olive oil: Analysis and properties (p. 620). Gaithersburg, MD: Aspen.

[12] ASTM International,(2020). “What is ASTM”,https://fa.wikipedia.org.