بسم الله الرحمن الرحیم

تاریخ : ۱۳۹۶/۰۹/۳۰
شماره : ۹۶/۱۱۱۸

سومین کنفرانس سراسری دانش و فناوری مهندسی مکانیک و برق ایران

گواهی ارائه مقاله

بدینوسیله گواهی می گردد مقاله با عنوان :

پایش وضعیت موتور دیزلِ ماشین آلات معدن مبتنی بر آنالیز روغن با استفاده از روش تحلیل آماری

ارائه شده توسط : **رضا کوتاهی ،عباس روحانی ،حمزه سلطانعلی**

مورد پذیرش کامل هیات داوران و کمیته علمی جهت ارائه در **سومین** کنفرانس سراسری دانش و فناوری مهندسی مکانیک و برق ایران قرار گرفته و بصورت **پوستر** ارائه گردیده است . امید است نتایج این کنفرانس در بهبود هر چه بیشتر ایشان در راستای افزایش بهره وری و تحقق توسعه دانش و فناوری در کشور موثر واقع شده و در ارتقاء علمی ایشان مد نظر قرار گیرد.

dmeconf.ir

دکتر مجتبی رضوانی
رئیس کنفرانس

دکتر محمودرضا طهماسب پور
دبیر علمی کنفرانس و رئیس کمیته داوران

SECURITY

پایش وضعیت موتور دیزلِ ماشین‌آلات معدن مبتنی بر آنالیز روغن با استفاده از روش تحلیل آماری

رضا کوتاهی[1]، عباس روحانی*[2]، حمزه سلطانعلی[3]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

2 و *- نویسنده مسئول: استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

Email: arohani@um.ac.ir

3- دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده:

پایش وضعیت از طریق آنالیز روغن، یکی از روش‌های کارآمد پیش‌بینی خرابی در ماشین‌آلات می‌باشد. این روش قابلیت بالائی را در تشخیص عیوب مکانیکی داشته و به عنوان ابزاری موثر، امکان بهینه‌سازی سیستم‌ها و کنترل‌های مختلف نظیر بررسی روند استهلاک، کیفیت قطعات و مواد مصرفی و کیفیت تعمیرات را فراهم می‌سازد. تجارب به دست آمده نشان داده است که از طریق آنالیز روغن می‌توان عیوب مختلف نظیر خوردگی، مشکلات یاتاقان‌ها، فرسایش غیر عادی رینگ و غیره را تا 90 درصد موارد شناسایی و نسبت به رفع عوامل آن اقدام نمود. در این تحقیق با داشتن منابع اطلاعاتی مناسب به بررسی رفتار فرسایشی موتور دیزل در ماشین‌آلات معدن پرداخته شده است. موارد مطالعه شده در آنالیز روغن شامل عناصر فرسایشی (مس، کروم، آلومینیوم، سرب، آهن، قلع) ، عناصر آلاینده (سیلسیم، بور، سدیم) و عناصر افزودنی (کلسیم، روی، فسفر، منیزیم) و همچنین شاخص ذرات درشت آهنی (PQ) و ویسکوزیته روغن (Vis40) بود. نتایج مطالعه نشان داد که با استفاده از تحلیل آماری مورد نظر می‌توان اقدام به شناسایی سریع‌تر عامل خرابی در موتور با استفاده از تعیین وضعیت عناصر موجود در روغن نمود.

کلید واژه: آنالیز روغن، آلودگی، عیب‌یابی، تحلیل آماری، پایش وضعیت.

مقدمه:

شکل‌گیری اولیه پایش وضعیت، در نیروی دریایی آمریکا به عنوان یک برنامه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در سال 1936 میلادی بوده است که البته در آن زمان برنامه آنالیز روغن مورد توجه قرار گرفته بود. سابقه برنامه پایش وضعیت در صنایع مختلف دنیا به بیش از نیم قرن پیش باز می‌گردد. هر چند که منافع سرشار اقتصادی سیستم‌های تکامل یافته پایش وضعیت تنها پس از سال‌های 1960 میلادی به صورت مشهودی شناخته شد. این در حالی بود که تنها پس از سال‌های 1970 میلادی روش‌های نوین نگهداری و تعمیرات برای کاربردهای غیر نظامی عمومیت یافت. در ایران نیز زمان معرفی و شروع بهره‌گیری از برنامه‌های پایش وضعیت به صورت عملی و امروزی آن، به اواخر دهه 1360 باز می‌گردد. در ابتدا روش‌های پایش وضعیت در قالب فعالیت‌های تحقیقاتی مطرح گردید و خوشبختانه در حال حاضر تعداد قابل توجهی از ماشین‌آلات و تجهیزات در سازمان‌ها و شرکت‌های مختلف کشور به طور جدی تحت پوشش برنامه پایش وضعیت می‌باشد. و امید است در آینده نه

چندان دور این استراتژی نوین فراگیرتر شود. پایش وضعیت عبارت است از: استخراج مستمر و متناوب اطلاعات از درون سیستم، در حالی که سیستم کماکان در حال کار عادی خود می‌باشد *[1]*.

امروزه بکارگیری روش‌های نوین نگهداری و تعمیرات به طور روز افزونی مورد توجه مدیران صنایع مختلف قرار گرفته است تا جایی که سازمان‌های نظامی، صاحبان ناوگان‌های بزرگ عمرانی، حمل و نقل (زمینی و دریائی و هوائی) ماشین‌آلات معدن و غیره، انجام بازبینی‌های منظم زمانی و آزمایش‌های مستمر روغن را اساس برنامه نگهداری و تعمیرات خود قرار داده‌اند *[2]*. روانکاری به عنوان تسهیل حرکت نسبی سطوح در تماس با یکدیگر توسط فیلم روانکار تعریف می‌شود. مهمترین وظیفه هر روغن روانکاری پیشگیری از تماس مستقیم، کاهش اصطکاک و به حداقل رساندن سایش در اجزای ماشین است. تحقق چنین شرایطی در یک ماشین وابسته به عواملی چون طراحی سیستم روانکاری، انتخاب صحیح نوع روانکار برای کاربرد مورد نظر و البته وضعیت کیفی روانکار مورد استفاده در طول زمان بهره‌وری از آن است *[4]*.

تجارب به دست آمده نشان داده است که از طریق آنالیز روغن می‌توان عیوب مختلف نظیر خوردگی، مشکلات یاتاقان‌ها، فرسایش غیر عادی رینگ و پیستون موتورها، فرسایش غیر عادی شافت‌ها و دنده‌های گیربکس‌ها، پمپ‌های هیدرولیک و غیره را تا 90 درصد موارد شناسایی و نسبت به رفع عوامل آن اقدام نمود. هم چنین به کمک این آزمایش‌ها می‌توان از صحت و سلامت روغن‌ها که نقش کلیدی در کار ماشین دارند، اطمینان حاصل نمود *[2]*.

مروری بر تحقیقات گذشته:

احمدی و بلوکی (1387) به مقایسه و انتخاب بهترین زمان تعویض روغن موتور جرثقیل ترانستینر RTG از طریق پایش وضعیت روغن پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که در صورت استفاده از این تکنیک، روغن موتور می‌تواند زمان بیش‌تری را تحت شرایط مطلوب کار کند و با توجه به قیمت زیاد این روغن‌ها، از این بابت صرفه‌جویی سالانه‌ی قابل توجهی عاید استفاده کنندگان از آن خواهد شد*[3]*.

یادآو و همکاران (2017) به بررسی آزمایشگاهی خواص روانکاری روغن موتور پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در نمونه‌های روغن استفاده شده مقدار آب، اسید و سطح آلودگی با افزایش مسافت طی شده افزایش یافت. که این شرایط باعث افزایش خوردگی و کاهش خاصیت ضد سایشی در نمونه روغن گردید*[5]*.

سج کوروا و گلوس (2017) به تجزیه و تحلیل افت روغن‌های موتور استفاده شده در تراکتورهای ZETRO پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد تراکتور به یک‌باره تحت بار مضاعف، طی انجام عملیات پاییزه خود قرار گرفت. خواص روانکاری روغن و فرآیند اصطکاک در موتورها تحت تاثیر بارهای منفی قرار گرفتند که منجر به افزایش سایش در موتور گردیدند. آن‌ها بیان کردند که تمدید زمان توصیه شده برای تعویض روغن توسط اپراتورها اقدام منطقی نبوده بلکه عمل به توصیه کارخانه تولید کننده بهترین اقدام جهت بهره‌مندی مناسب از وسیله مورد نظر می‌باشد*[6]*.

لی و همکاران (2017) مطالعه‌ای در خصوص ارائه مدلی برای شناسایی و پیش‌بینی خرابی موتور بر اساس اطلاعات حاصل از پایش وضعیت روغن انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که عناصر آهن، آلومینیوم و سرب به عنوان متغییرهای ورودی مطلوب انتخاب شدند. که این قضیه بیانگر این مطلب بود که باید توجه ویژه‌ای به غلظت این عناصر جهت شناسایی و پیش‌بینی خرابی در موتور دیزل صورت پذیرد*[7]*.

یادآو و همکاران (2016) به تجزیه و تحلیل ترایبولوژیکی[1] حداکثر فشار و خاصیت ضد سایشی روغن موتور با استفاده از آزمون‌گر چهارتوپه[2] پرداختند. نتایج آن‌ها با استفاده از توپی روغن‌کاری شده از هر دو روغن کارکرده و

[1] Tribology
[2] Four ball tester

کار نکرده نشان داد که تقریبا الگوهای سایش مشابه با شیارهای موازی‌اند. برخی از شیارها عمیق و برخی دیگر کم عمق‌تر بودند. این یافته‌ها نشان داد که مکانیزم سایشی با توجه به شیار حاصل از ذرات سفت، مانند: سایش باقی‌مانده از لایه اکسید شده و یا چسبندگی‌های زبر، ذرات آلوده کننده روغن و آسیب دیدگی سطح توپی، اغلب سایش تراشنده (ساینده) است*[8]*.

ژنگ و همکاران (2016) به تجزیه و تحلیل افت عملکردی روغن گیربکس پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که که خواص ترایبولوژیکی روغن‌های مورد بررسی به شدت به ساختار میکروسکوپی آن‌ها و همچنین به روند کاهش کیفیت روغن مورد نظر بستگی دارد. و در نهایت ادعا کردند که مطالعه آن‌ها می‌تواند به درک درستی از فرآیند اکسیداسیون موثر روغن روان‌کننده و نحوه عملکرد آن برسد*[9]*.

آکل و عبدالرحیم (2015) مطالعه‌ای در خصوص پایش وضعیت گیربکس با استفاده از تکنیک آنالیز ذرات سایشی[1] انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که آنالیز ذرات سایشی می‌تواند اطلاعات کامل و مهمی را در مورد عناصر فلزی و ذرات جامد غیر فلزی موجود در نمونه روغن فراهم نماید. همچنین آنالیز اسپکتروسکوپی نیز می‌تواند به طور وسیعی محتوای عناصر فلزی موجود در روغن مثل: آهن، آلومینیوم، سرب و مس را به طور مستقیم شناسایی کند. این تکنیک‌ها از روش‌های ارزان، سریع و آسان در نگهداری و تعمیر هستند که می‌توانند جایگزین روش‌های معمولی دیگر گردند*[10]*.

ال اوسایمی و همکاران (2013) به بررسی روغن موتور خودرو با استفاده از ذرات فلزی آلوده کننده روغن پرداختند. آن‌ها از طریق آنالیز فروگرافی[2] روغن را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بررسی ذرات فلزی موجود در روغن با استفاده از میکروسکوپ می‌تواند جهت پایش وضعیت عملکرد موتورهای مخصوص خودروها، با تعیین دمای کاری سطوح در حال حرکت، و عملکرد روغن روان‌کننده به کار برده شود*[11]*.

شارما و جایاس وال (2012) به اندازه‌گیری نرخ سایش موتور احتراق داخلی با استفاده از روش آنالیز روغن روان‌کننده پرداختند. آن‌ها میزان ویسکوزیته، نقطه اشتعال و احتراق و هم‌چنین سیلیس را اندازه‌گیری کردند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که پایش وضعیت موتور می‌تواند باعث جلوگیری از شکست‌های آینده از طریق مطالعه و تجزیه و تحلیل ذرات سایشی معلق در روغن موتور که از جنس‌های مختلفی در موتور ساخته شده‌اند، گردد*[12]*.

جیانگ و همکاران (2012) به پایش وضعیت سایش یاتاقان غیر فلزی گیربکس براساس آنالیز روغن پرداختند. آن‌ها با استفاده از تکنیک‌های جامعی از آنالیز روغن که شامل: تجزیه و تحلیل معمولی فیزیکی و شیمیایی، تحلیل طیف اتمی، تجزیه و تحلیل فروگرافی و تجزیه و تحلیل فیلترگرام می‌شد، برای آنالیز روغن دنده استفاده کردند. نتایج حاصل از طیف‌سنجی نشر اتمی و فروگرافی نشان داد که کیفیت روغن دنده نرمال بوده است. اما نتایج حاصل از فیلترگرام نشان داد که روغن دنده موجود دارای ذرات سایشی غیر فلزی در اندازه‌های بزرگ به مقدار زیاد بوده است. بنابراین چرخ جعبه دنده احتمالا غیر طبیعی و یا تکمیل نشده بود. در نهایت بیان کردند که تلفیق اساسی چندین تکنولوژی آنالیز روغن می‌تواند یک راه موثر و خوبی برای بهبود قابلیت اطمینان دستگاه‌ها با استفاده از پایش وضعیت ذرات سایشی آن‌ها باشد*[13]*.

باتوجه به پیشینه مطالعات صورت گرفته می‌توان گفت که امروزه روش‌های استفاده از پایش وضعیت به ویژه روش‌های آنالیز روغن نقش مهمی در نگهداشت بهینه ماشین‌آلات و تجهیزات در صنایع مختلف و نیز پیش‌گیری از خرابی‌های پیش‌بینی نشده به ویژه در صنعت معدن به عنوان یکی از صنایع مادر در کشور ایران ایفا می‌نماید.

[1] Wear Particle Analysis
[2] Ferrography Analysis

بنابراین هدف از این مطالعه استفاده از روش تحلیل آماری به منظور آنالیز موثرتر روغن در موتور دیزل ماشین‌آلات معدن با هدف پایش مستمر آن‌ها می‌باشد.

مواد و روش آزمون:

در این تحقیق با استفاده از نتایج آنالیز روغن موتور دیزل ماشین‌آلات معدن به عیب‌یابی موتور دیزل پرداخته شده است. داده‌های استفاده شده در این تحقیق از شرکت البرز تدبیرخوزستان جمع‌آوری گردید که شامل مقادیر عناصر فرسایشی و مولفه‌های موجود در روغن به همراه نظر تحلیل‌گر آزمایشگاه در مورد هر کدام از عناصر وضعیت کلی موتور می‌باشد. اطلاعات و داده‌های به دست آمده از آزمایشگاه متشکل از حوزه‌های مختلفی می‌باشد. در قسمت اول نواحی زیر موجود است: گروه نمونه برداری، تعداد نمونه، کد اختصاصی مورد نمونه‌گیری، میزان کارکرد روغن، نام روغن، درجه روغن، نام دستگاه، مدل دستگاه، قسمت نمونه‌گیری شده، سازنده دستگاه، تاریخ آزمایش.

بخش دوم شامل عناصر فرسایشی و مولفه‌های روغن به شرح زیر است:

آهن (Fe)، کروم (Cr)، آلومینیوم (Al)، مس (Cu)، سرب (Pb)، قلع (Sn)، نیکل (Ni)، تیتانیم (Ti)، نقره (Ag)، مولیبدن (Mo)، سیلسیم (Si)، سدیم (Na)، بور (B)، وانادیم (V)، روی (Zn)، فسفر (P)، کلسیم (Ca)، باریم (Ba)، منیزیم (Mg)، شاخص ذرات درشت آهنی (PQ)، آلودگی آب، آلودگی سوخت، عدد بازی کل (TBN)، عدد اسیدی کل (TAN)، ویسکوزیته40 (Vis40)، ویسکوزیته 100 (Vis100).

و بخش سوم شامل قسمت‌های زیر است:

وضعیت دستگاه، کد وضعیت، کد تغییر وضعیت، کد نظریه، توصیه و وضعیت تک تک موارد بخش دوم و کد وضعیت روغن می‌باشد. همچنین باید توجه داشت که نظرات کارشناسان صرفا بر مبنای تجربه و سال‌ها کار کردن در آزمایشگاه‌های آنالیز روغن بوده است.

در این تحقیق از داده‌های موتور دیزل ماشین‌آلات معدن با تعداد 311 که از تاریخ 92/01/17 تا 92/08/04 نمونه‌گیری شده بودند، جهت تحلیل آماری استفاده شد. وضعیت‌های مختلف مربوط به هر یک از عناصر شامل وضعیت عادی (T_1)، مرزی قابل قبول (T_2)، مرزی (T_3)، مرزی سریع (T_4)، تحت مراقبت (T_5)، نیاز به رسیدگی (T_6)، بحرانی (T_7) بود. به منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار Minitab17 استفاده شد. نهایتا به منظور شناسایی موثرترین وضعیت در هر عنصر بر روی موتور از روش مقایسه میانگین فیشر (Fisher LSD Method) در سطح اطمینان 95٪ استفاده شد.

نتایج و بحث:

در این بخش به بررسی نمودارهای مربوط به نتایج تجزیه واریانس عناصر فرسایشی، عناصر آلاینده و عناصر افزودنی و همچنین شاخص فرسایشی و ویسکوزیته پرداخته شد.

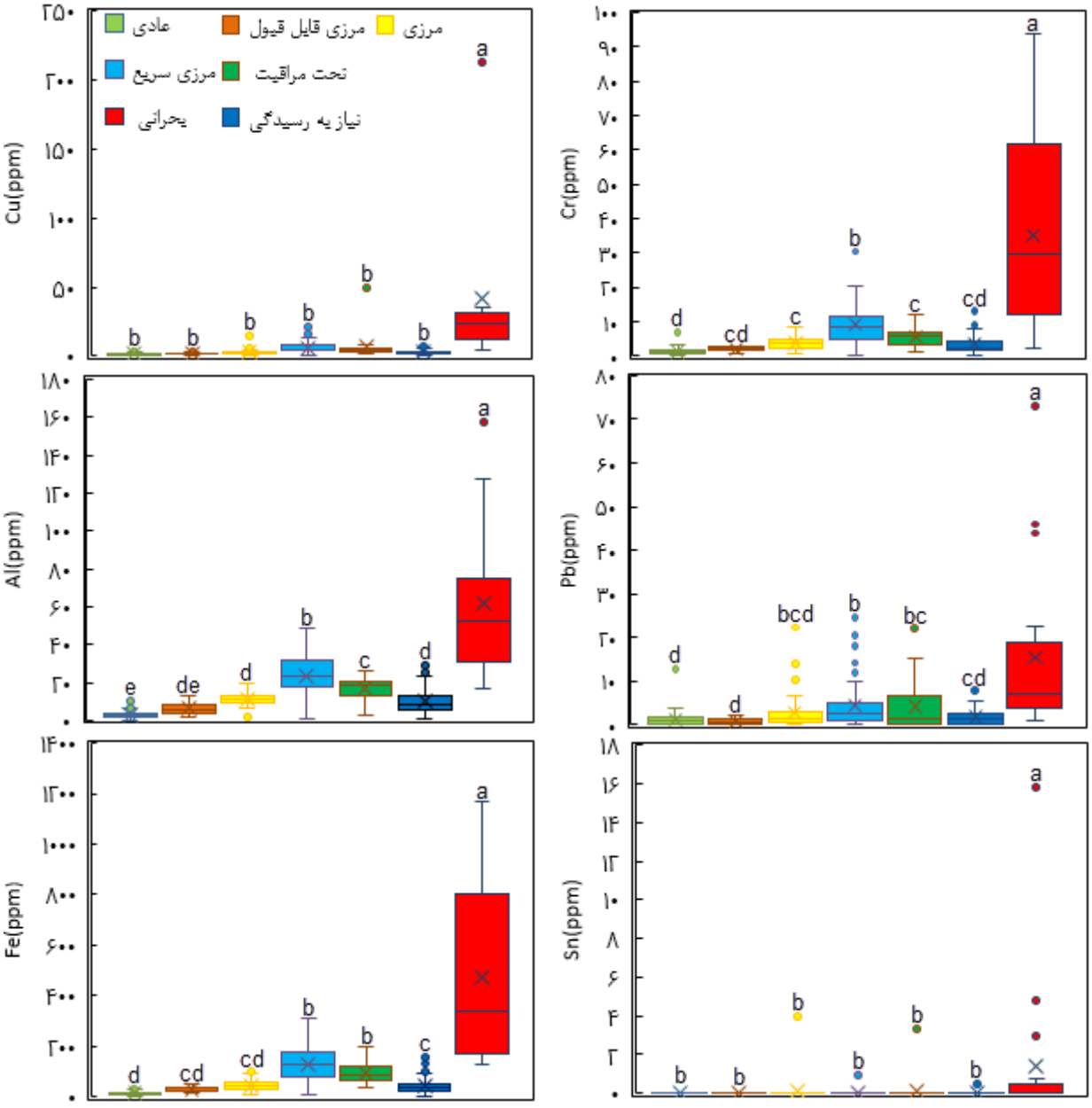
در شکل1 نتایج تجزیه واریانس مربوط به عناصر فرسایشی شامل عنصر مس (Cu) نشان داد که به طور کلی پارامتر مس بر روی موتور دیزل در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value< 0.05). به منظور شناسایی موثرترین وضعیت در عنصر مس بر روی موتور از روش مقایسه میانگین فیشر (Fisher LSD Method) در سطح اطمینان 95٪ استفاده شد. نتایج نشان داد که T_7 نسبت به سایر وضعیت‌ها معنی‌دار بوده است. به عبارتی عنصر مس در موتور مد نظر تاثیر تخریبی زیادی داشته است که منشاء آن می‌تواند یاتاقان‌ها باشد و باید مورد بررسی قرار گیرند.

در ادامه و در بررسی نمودار مربوط به عنصر فرسایشی کروم (Cr) نشان داد که به طور کلی پارامتر کروم بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value< 0.05). به منظور شناسایی موثرترین وضعیت در عنصر کروم بر روی موتور از روش مقایسه میانگین در سطح اطمینان 95٪ استفاده شد. نتایج نشان داد که وضعیت‌های T_4 و T_7 اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. بنابراین جهت تعیین موثرترین پارامتر بر روی موتور از بین T_4 و T_7 به مقایسه میانگین دو وضعیت پرداخته شد که میانگین T_4 و T_7 به ترتیب برابر 9/121 و 34/98 به دست آمد. با توجه به بالاتر بودن میانگین T_7 نتایج نشان داد که این وضعیت به عنوان مخرب‌ترین وضعیت بر روی موتور بود که عامل اصلی عنصر کروم می‌تواند قطعاتی چون بوش سیلندر و همچنین رینگ‌های پیستون باشد.

بررسی نتایج تجزیه واریانس نمودار مربوط به عنصر فرسایشی آلومینیوم (Al) نشان داد که به طور کلی پارامتر آلومینیوم بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value< 0.05). نتایج نشان داد که وضعیت‌های T_7 و T_4 و T_5 اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. بنابراین جهت تعیین موثرترین پارامتر بر روی موتور از بین T_7 و T_4 و T_5 اقدام به مقایسه میانگین سه وضعیت نمودیم که میانگین T_7 و T_4 و T_5 به ترتیب 61/97 و 23/66 و 16/85 به دست آمدند. که با توجه به بالاتر بودن میانگین T_7 نتیجه گرفته شد که این حالت به عنوان موثرترین وضعیت بر روی موتور بوده است. بنابراین می‌توان گفت عنصر آلومینیوم در موتور مد نظر تاثیر تخریبی زیادی داشته است.

بررسی نتایج تجزیه واریانس نمودار مربوط به عنصر فرسایشی سرب (Pb) نشان داد که به طور کلی پارامتر سرب بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value=0.00 < 0.05). به منظور شناسایی موثرترین وضعیت در عنصر سرب بر روی موتور از روش مقایسه میانگین در سطح اطمینان 95٪ استفاده شد. نتایج نشان داد که T_7 نسبت به سایر وضعیت‌ها معنی‌دار بوده است. به عبارتی عنصر سرب در موتور مد نظر تاثیر تخریبی زیادی داشته است. که منشاء سرب می‌تواند یاتاقان‌ها باشد که باید مورد بررسی قرار گیرند.

نتایج تجزیه واریانس مربوط به عنصر آهن (Fe) به عنوان یکی دیگر از عناصر فرسایشی نشان داد که به طور کلی پارامتر آهن بر روی موتور دیزل در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value< 0.05). نتایج نشان داد که T_7 نسبت به سایر وضعیت‌ها معنی‌دار بوده است. به عبارتی عنصر آهن در موتور مد نظر تاثیر تخریبی زیادی داشته است. که منشاء آن می‌تواند بوش سیلندر، دسته پیستون، رینگ پیستون، اهرم سوپاپ و میل تایپیت باشد. همچنین نتایج بررسی تجزیه واریانس مربوط به عنصر فرسایشی قلع (Sn) نشان داد که به طور کلی پارامتر قلع بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value< 0.05). جاییکه نتایج مقایسه میانگین نشان داد که T_7 نسبت به سایر وضعیت‌ها معنی‌دار بوده است. به عبارتی عنصر قلع در موتور مد نظر تاثیر تخریبی زیادی داشته است. حضور مقدار زیاد قلع نشان دهنده فرسایش یاتاقان‌های با روکش بابیتی (babbit lined bearings) می‌باشد.

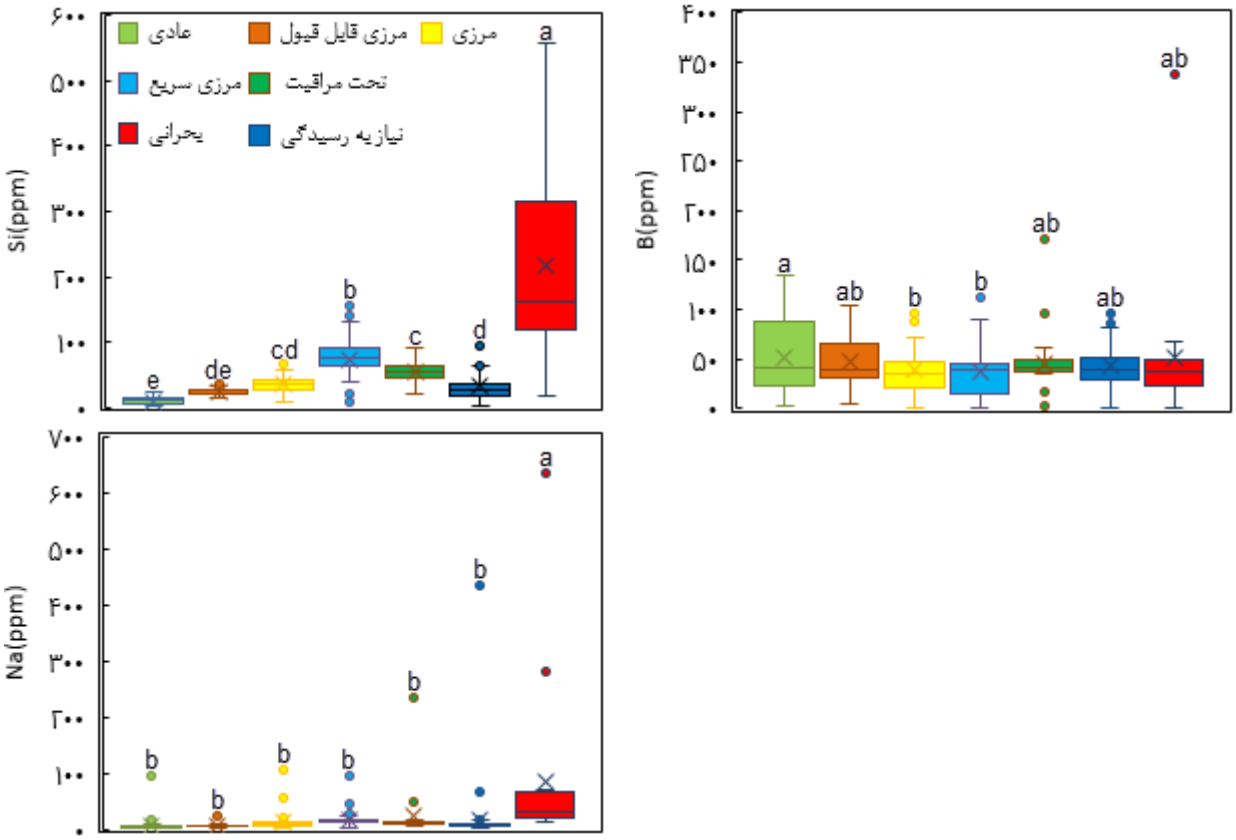


شکل1: نمودارهای مربوط به تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عناصر فرسایشی

در ادامه و در بررسی نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین مربوط به عناصر آلاینده در شکل 2 آورده شده است. به عنوان مثال نتایج تجزیه واریانس مربوط به عنصر آلاینده سیلسیم (Si) نشان داد که به طور کلی پارامتر سیلسیم بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value< 0.05). به منظور شناسایی موثرترین وضعیت در عنصر سیلسیم بر روی موتور از روش مقایسه میانگین فیشر (Fisher LSD Method) در سطح اطمینان 95٪ استفاده شد. نتایج نشان داد که وضعیت‌های T_4 و T_7 اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. بنابراین جهت تعیین موثرترین پارامتر بر روی موتور از بین T_4 و T_7 اقدام به مقایسه میانگین دو وضعیت نمودیم که میانگین وضعیت T_4 و T_7 به ترتیب 74/34 و 216/6 به دست آمدند. که با توجه به بالاتر بودن میانگین T_7 نتیجه گرفتیم این وضعیت به عنوان موثرترین وضعیت بر روی موتور بود. و در آخر می‌توان گفت عنصر سیلسیم در موتور مد نظر تاثیر تخریبی زیادی داشته است. که وجود آن به طور معمول نشانه‌ای از آلودگی روغن ناشی از گرد و غبار موجود در هوا می‌باشد.

بررسی نتایج تجزیه واریانس نمودار مربوط به عنصر آلاینده بور (B) نشان داد که به طور کلی پارامتر بور بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار نبوده است (P-value=0.138 > 0.05). که این نتیجه نشان داد که عنصر بور در وضعیت عادی به سر می‌برد. بنابراین می‌توان گفت که این عنصر در وضعیت مناسبی در موتور قرار داشته است.

همچنین بررسی نتایج تجزیه واریانس نمودار مربوط به عنصر آلاینده سدیم (Na) نشان داد که به طور کلی پارامتر سدیم بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی دار بوده است (P-value< 0.05). به منظور شناسایی موثرترین وضعیت در عنصر سدیم بر روی موتور از روش مقایسه میانگین فیشر (Fisher LSD Method) در سطح اطمینان 95٪ استفاده شد. نتایج نشان داد که T_7 نسبت به سایر وضعیت‌ها معنی‌دار بوده است. حضور مقدار زیاد سدیم نشان دهنده نشت ضد یخ به داخل روغن می‌باشد.

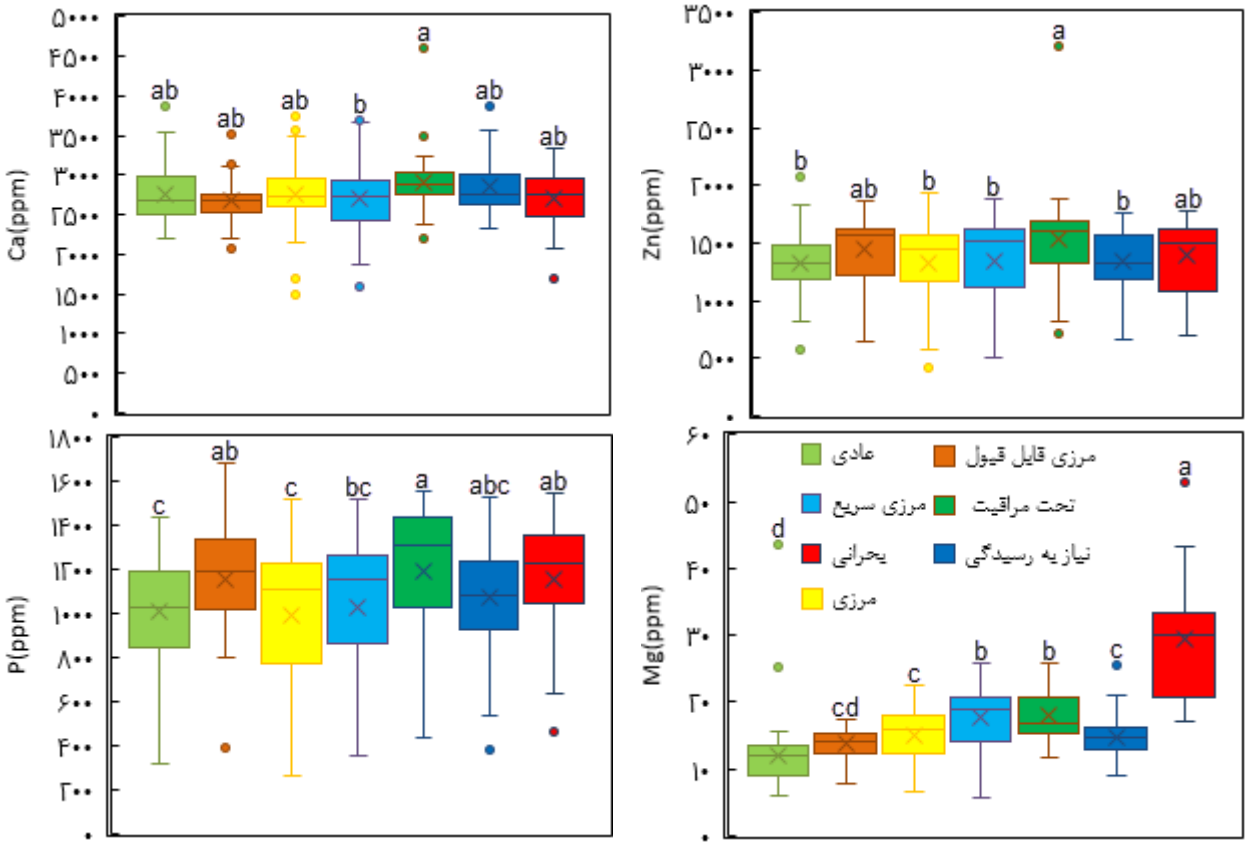


شکل2: نمودارهای مربوط به تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عناصر آلاینده

نتایج مربوط به تجزیه واریانس و مقایسه میانگین مربوط به عناصر افزودنی در شکل 3 نشان داده شده است. همانطور که نشان می‌دهد عنصر افزودنی کلسیم (Ca) به طور کلی بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار نبوده است (P-value> 0.05). که این نتیجه نشان دهنده وضعیت عادی عنصرکلسیم در موتور است.
نتایج تجزیه واریانس نمودار مربوط به عنصر افزودنی روی (Zn) نشان داد که به طور کلی پارامتر روی بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار نبوده است (P-value=0.111 > 0.05). که این نتیجه نیز نشان دهنده وضعیت عادی عنصر روی در موتور است.

تحلیل آماری مربوط به عنصر افزودنی فسفر (P) با کمک روش تجزیه واریانس نشان داد پارامتر فسفر بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value< 0.05). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که وضعیت‌های T_3 و T_5 اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. بنابراین جهت تعیین موثرترین پارامتر بر روی موتور از بین T_3 و T_5 اقدام به مقایسه میانگین دو وضعیت نمودیم که میانگین وضعیت T_3 و T_5 به ترتیب 993/2 و 1191/9به دست آمدند. که با توجه به بالاتر بودن میانگین T_5 نتیجه گرفته شد که این وضعیت به عنوان موثرترین وضعیت بر روی موتور بود.

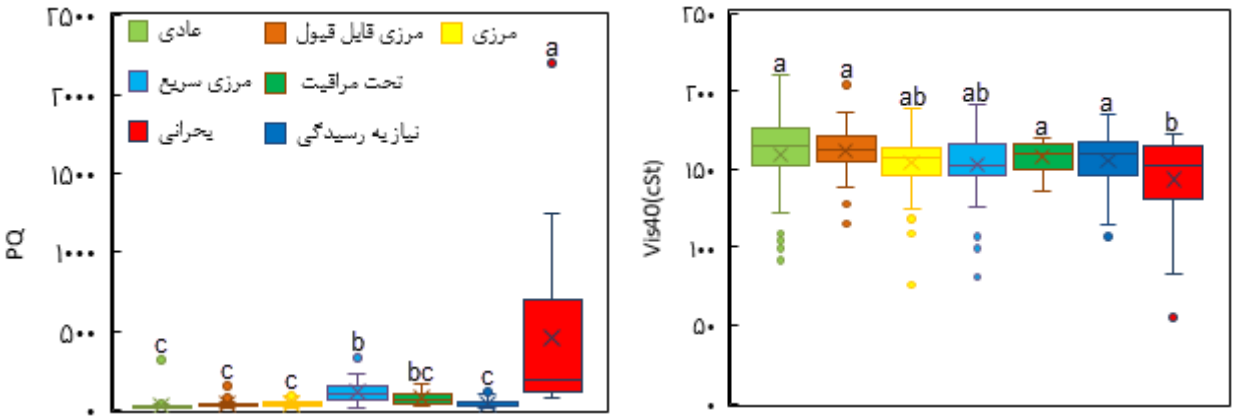
همچنین بررسی نتایج تجزیه واریانس نمودار مربوط به عنصر افزودنی منیزیم (Mg) نشان داد که به طور کلی پارامتر منیزیم بر روی موتور دیزل ماشین‌آلات معدن در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value< 0.05). به منظور شناسایی موثرترین وضعیت در عنصر منیزیم بر روی موتور از روش مقایسه میانگین فیشر (Fisher LSD Method) در سطح اطمینان 95٪ استفاده شد. نتایج نشان داد که T_7 نسبت به سایر وضعیت‌ها معنی‌دار بوده است. به عبارتی عنصر منیزیم در موتور مد نظر تاثیر تخریبی زیادی داشته است.



شکل3: نمودارهای مربوط به تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عناصر افزودنی

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین مربوط به شاخص ذرات درشت آهنی (PQ) و ویسکوزیته در شکل 4 نشان داده شده است. به طور کلی پارامتر شاخص ذرات درشت آهنی بر روی موتور در سطح اطمینان 95٪ معنی‌دار بوده است (P-value< 0.05). به منظور شناسایی موثرترین وضعیت در شاخص ذرات درشت آهنی بر روی موتور از روش مقایسه میانگین فیشر (Fisher LSD Method) در سطح اطمینان 95٪ استفاده شد. نتایج نشان داد که T_7 نسبت به سایر وضعیت‌ها معنی‌دار بوده است.

در نهایت بررسی نتایج تجزیه واریانس نمودار مربوط به ویسکوزیته40 (Vis40) نشان داد که ویسکوزیته در سطح اطمینان 95٪ معنی دار نبوده است (P-value=0.102 > 0.05). که این نتیجه نشان داد که ویسکوزیته روغن در وضعیت عادی به سر می‌برد.



شکل4: نمودارهای مربوط به تجزیه واریانس و مقایسه میانگین شاخص فرسایشی و ویسکوزیته

نتیجه‌گیری کلی:

در این مطالعه به تحلیل و بررسی پایش وضعیت موتور دیزل مورد استفاده در ماشین‌آلات معدن با استفاده از روش آنالیز روغن پرداخته شد. عناصر مورد تحلیل در روش آنالیز روغن شامل عناصر فرسایشی ، آلاینده و افزودنی و شاخص فرسایشی و ویسکوزیته بوده است. نتایج نشان داد که به طور کلی روش آنالیز روغن، به عنوان یکی از روش‌های کارآمد پیش‌بینی خرابی در ماشین‌آلات می‌باشد. این روش قابلیت بالائی را در تشخیص عیوب مکانیکی داشته و به عنوان ابزاری موثر، امکان بهینه‌سازی سیستم‌ها و کنترل‌های مختلف نظیر بررسی روند استهلاک، کیفیت قطعات و مواد مصرفی و کیفیت تعمیرات را فراهم می‌سازد. تجارب به دست آمده نشان داده است که از طریق آنالیز روغن می‌توان عیوب مختلف نظیر خوردگی، مشکلات یاتاقان‌ها، فرسایش غیر عادی رینگ و غیره را تا 90 درصد موارد شناسایی و نسبت به رفع عوامل آن اقدام نمود. نتایج مطالعه نشان داد که با استفاده از تحلیل آماری مورد نظر می‌توان اقدام به شناسایی سریع‌تر عامل خرابی در موتور با استفاده از تعیین وضعیت عناصر موجود در روغن نمود.

منابع:

[1] مسعودی، ع. ر. 1379. روش‌های مراقبت وضعیت و موانع توسعه آن در کشور گروه تحقیقات آزمایشگاه آنالیز روغن شرکت البرز تدبیرکاران.
[2] عزیزیان، ح. ر. 1373. نگه‌داری و تعمیرات قابل پیش‌بینی به کمک روش مراقبت وضعیت در جعبه دنده‌ها. اولین کنگره ملی نگهداری و تعمیرات ایران.

[3] احمدی, ح. و بلوکی، م. ص. 1387. مقایسه و انتخاب بهترین زمان تعویض برای روغن موتور جرثقیل ترانستینر RTG با روش پایش وضعیت روغن. سومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی، 11 تا 13 اسفند، تهران.

[4] Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Computers & Industrial Engineering*, *63*(1), 135-149.

[5] Yadav, G., Tiwari, S., Jatola, R., & Jain, M. L. (2017). Experimental Investigation of Lubricating Properties of Engine Oil. International Journal of Engineering Science, 10306.

[6] Sejkorová, M., & Glos, J. (2017). Analysis of Degradation of Motor Oils Used in Zetor Tractors. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 65(1), 179-187.

[7] Li, L., Chang, W., Zhou, S., & Xiao, Y. (2017). An identification and prediction model of wear-out fault based on oil monitoring data using PSO-SVM method. In Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2017 Annual(pp. 1-6). IEEE.

[8] Yadav, G., Tiwari, S. and Jain, M. 2016. Tribological analysis of extreme pressure and anti-wear properties of engine lubricating oil using four ball tester.

[9] Zeng, Q., Dong, G., Yang, Y., & Wu, T. 2016. Performance Deterioration Analysis of the Used Gear Oil. Advances in Chemical Engineering and Science, 6(02), 67.

[10] Akl, S. Y., & Abdel-Rehim, A. A. (2015). Condition Monitoring of a Gear-Box Using Wear Particle Analysis Technique. In Advanced Materials Research (Vol. 1125, pp. 511-515). Trans Tech Publications.

[11] Al-Osaimy, A., Elhabib, O. and Ali, W. (2013). Inspecting metallic wear particles contaminating lubricating automotive engine oils.

[12] Sharma, P. and Jayaswal, P. (2012). Wear rate measurement (ic engine) using lubricant oil testing method.

[13] Jiang, X. F., Liu, F.and Zhao, P. C. 2012. Gearbox Non-Ferrous Metal Bearing Wear Condition Monitoring Based on Oil Analysis.Applied Mechanics and Materials.