هوشمندسازی روند تحلیل نتایج آنالیز روغن یک نوع موتور دیزل به کمک درخت تصمیم

محمود نصیری[۱]، حجت احمدی[۲]، محمدرضا خادم[۳]، رضا لبافی[۴]

۱ـ کارشناس ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه آزاد واحد اقلید
۲ـ دانشیار، عضو هیأت علمی دانشگاه تهران
۳ـ عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد واحد اقلید
۴ـ کارشناس ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران

چکیده

یکی از روش‌های پایش وضعیت موتورهای دیزل آنالیز روغن می‌باشد. اندازه‌گیری مقدار ذرات درشت آهنی و نیز طیف سنجی اسپکتروسکوپی روغن می‌تواند وضعیتی که موتور در آن قرار دارد را مشخص نماید. تعیین وضعیت کلی با توجه به اعداد و نتایج مندرج در برگه‌های آنالیز روغن عموماً بوسیله افراد خبره صورت می‌گیرد و گاه نیز خالی از تصمیمات سلیقه‌ای نمی‌باشد. تحلیل فرد خبره از یک مدل به مدل دیگر متفاوت است و این تحلیل با تغییر نوع دستگاه نیز به شدت تغییر خواهد کرد. در آزمایشگاه‌های آنالیز روغن نیاز به نرم‌افزاری که این روند تصمیم‌گیری را به طور خودکار و هوشمند و عاری از خطاهای انسانی انجام دهد به شدت احساس می‌شود.

در این پژوهش حدود ۲۰۵ رکورد آنالیز روغن موتور دیزل دویتس مدل F6L912 و BF6L913 که در بسیاری از ماشین‌های سنگین و نیمه‌سنگین استفاده می‌شود؛ مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا عناصر و شاخص‌هایی در برگه‌های آنالیز که تاثیری روی نتایج کلی نداشتند با بررسی آماری شناسایی و حذف شدند، این کار موجب حذف ۳۶ درصدی فضای داده‌ای گردید. سپس نتایج کلی به عنوان خروجی در پنج گروه عادی، مرزی، بحرانی، رسیدگی سریع و تحت مراقبت برچسب گذاری شدند و همراه با ۱۶ متغیر دیگر که شامل عناصر فرسایشی، آلودگی‌های آب و سوخت و شاخص‌هایی از کیفیت روغن مانند گرانروی بودند در مدل طبقه‌بند قرار داده‌شدند. برای ایجاد مدل طبقه‌بند از درخت تصمیم با الگوریتم J48 در نرم افزار weka استفاده شد. دقت کلی این مدل ۸۰ درصد به دست آمد. در انتها به وسیله این درخت تصمیم و استفاده از قوانین اگر – آنگاه مدلی هوشمند به منظور پیش‌بینی تحلیل نتایج آنالیز روغن ارائه گردید.

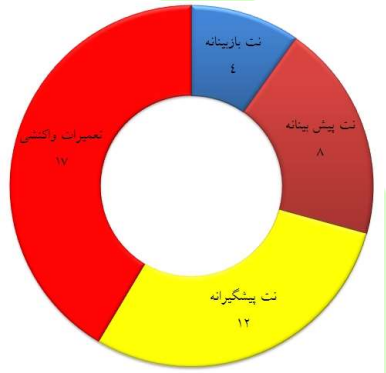
واژه‌های کلیدی: آنالیز روغن ، الگوریتم J48 ،پایش وضعیت، درخت تصمیم ، موتور دیز

مقدمه

یکی از اقدامات اولیه درافزایش تولید وکاهش هزینه‌ها، بهینه‌سازی روش‌های نگهداری وتعمیرات می‌باشد. اولین و مهم‌ترین قدم در جهت اجرای مطلوب نگهداری و تعمیرات قبل از خرابی دستگاه، برنامه ریزی و اجرای فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط تجهیزات می‌باشد. با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری شرایط و وضعیت فنی نظیر ارتعاش سنجی، آنالیز روغن، ترموگرافی و... معایب و شکست‌های احتمالی و بالقوه‌ی تجهیزات تشخیص داده می‌شود. بنابراین قبل از خرابی آن‌ها، فرصت برای برنامه

ریزی و انجام تعمیرات اصلاحی و یا اقدامات پیش‌گیرانه در اختیار واحد نگهداری و تعمیرات قرار می گیرد. این امر باعث کاهش هزینه‌های تعمیراتی ۵۰٪، کاهش خرابی‌های اتفاقی تا ۵۵٪ و کاهش انبار قطعات یدکی تا ۳۰٪ درصد می شود[۹]. چهار نوع از راهبردهای متداول در نت (نگهداری و تعمیرات) به‌شرح ذیل می‌باشد (شکل ۱):

۱. **تعمیرات واکنشی**[1]
۲. **نت پیشگیرانه**[2]
۳. **نت پیش‌بینانه**[3]
۴. **نت بازبینانه**[4]



شکل ۱ : درصد هزینه تعمیرات از کل درآمد تولیدی در انواع متداول نت

پایش وضعیت (CM)[5] هسته اصلی راهبرد نگهداری وتعمیرات براساس وضعیت[1] است. مهم ترین مزیت پایش وضعیت تشخیص عیوب در مراحل اولیه می‌باشد.

در سامانه‌های مکانیکی که اجزاء با روغن در تماسند، روش پایش روغن، قابلیت بالایی را در تشخیص عیوب مکانیکی داشته و به عنوان ابزاری موثر، امکان بهینه سازی سامانه‌ها و کنترل‌های مختلفی نظیر بررسی روند استهلاک، کیفیت قطعات و مواد و چگونگی انجام تعمیرات را فراهم می‌سازد[۸]. ماشین‌های مکانیکی بر روی یک لایه‌ی بسیار نازک در حد ۱۰ میکرومتر از روغن که تقریباً معادل قطر یک سلول خون است حرکت می‌کنند. از دست رفتن این لایه به معنی خرابی بوده و اطمینان از نگهداری روغن به طور سالم، تمیز و خشک حیاتی است. آنالیز روغن هدف را به ثمر می‌رساند. علاوه بر این همانند خون در بدن انسان، روغن نیز در ماشین نشان دهنده‌ی مشخصات سالم ماندن ماشین است. آنالیز روغن این مشخصه‌ها را تبدیل به اطلاعات ارزشمندی می‌نماید که در زمینه‌ی تصمیم گیری، نگهداری و بهره برداری به کار می‌روند[۱۱].

---

[1] Run To Failure
[2] Preventive Maintenance
[3] Predictive Maintenance
[4] Proactive Maintenance
[5] Condition Monitoring

آنالیز روغن یکی از روش‌های اصلی مراقبت وضعیت موتورها به شمار می‌رود. در این روش، مقداری از روغن روانکاری تجهیز به عنوان نمونه گرفته شده و پس از ذخیره در ظرف‌های ویژه‌ای، به آزمایشگاه ارسال می‌شود. سپس با انجام یک سری آزمایش‌های از پیش تعیین شده، از وضعیت روانکار و نیز وضعیت موتور، اطلاعات مفیدی بدست می‌آید. این امر منجر به حداقل رساندن آسیب ها و خسارت‌های وارده به موتور، کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و کیفیت فرآورده‌های تولیدی می‌شود. کنترل آلودگی روغن، پایش وضعیت کیفی روغن و ارزیابی ذرات فرسایشی و کنترل وضعیت داخل موتور بدین وسیله، از اهداف اجرای پایش وضعیت روغن به شمار می رود[۱۰].

آگوستو و همکاران به پیش بینی خرابی موتورهای دیزل به کمک آنالیز روغن پرداختند که این امر موجب افزایش مقبولیت، اطمینان و کاهش هزینه و خرابی ها در عملکرد می شود[۵].

دمسی و آفجه مقایسه‌ای بر قابلیت تشخیص عیب بین روش پایش ارتعاشی و پایش ذرات روغن در جعبه دنده سیستم انتقال توان چرخ بال انجام داد. وی از دو الگوریتم FM4 وNA4 برای پایش ارتعاشی بهره جست و به این نتیجه دست یافتند که جرم ذرات و نتایج دو الگوریتم پایش وضعیت ارتعاشی با یکدیگر مطابقت دارند[۶].

آنالیز روغن در مباحث مختلف آن نظیر میزان عناصر فرسایشی، به منظور پایش وضعیت دستگاه (موتور) با بکار گیری افراد با تجربه صورت می‌گیرد. علاوه بر این برای ارتباط برقرار کردن بین آنالیز روغن و خرابی‌های احتمالی می بایست دانش کافی از جنس قطعات درگیر با روغن فراهم شود. برای حذف افراد خبره و یا ایجاد نرم‌افزاری کمکی در خدمت تحلیل صحیح‌تر نتایج آنالیز روغن، بکارگیری روش‌های هوش مصنوعی پیشنهاد می‌گردد [۳]. مدل‌های داده‌کاوی می‌توانند با دقت خوبی تصمیمات فرد خبره که از پیچیدگی بالایی نیز برخوردار است را شبیه‌سازی کنند. یکی از روش‌های رایج و کارا در مسائل طبقه‌بندی استفاده از درختان تصمیم است. یک درخت معمولاً از ریشه، شاخه، گره‌ها و برگ‌ها تشکیل شده است. درخت تصمیم هم به طور مشابه از گره‌ها که با دایره نشان داده می‌شوند و شاخه‌ها که نشان دهنده اتصال بین گره‌ها می باشند، تشکیل شده‌است . درخت تصمیم به منظور سادگی در رسم معمولاً از چپ به راست و یا از بالا به پایین کشیده می شود به طوری که ریشه (گره اول را ریشه می‌گویند) در بالا قرار گیرد. انتهای یک زنجیره ریشه، شاخه، گره را یک برگ می‌نامند. از هر یک از گره‌های داخلی (یعنی گره ای که برگ نباشد) دو یا چند شاخه دیگر می‌توانند منشعب شوند. هر گره مربوط به یک خصوصیت معین است وشاخه ها به معنای بازه‌ای از مقادیر هستند، این بازه‌های مقادیر، باید بخش‌های مختلف مجموعه مقادیر معلوم را برای خصوصیت‌ها به دست دهند. عمل انشعاب توسط یکی از متغیرهای پیش بینی کننده انجام می‌پذیرد، بازه‌های انشعاب طوری انتخاب می‌شوند که مجموع مجذور انحراف از میانگین داده‌های هر گره را حداقل کنند. هنگامی که خروجی یک درخت، یک مجموعه گسسته از یک مجموعه مقادیر ممکن است؛ به آن طبقه بندی درختی گفته می شود (مثلاً مونث یا مذکر، برنده یا بازنده) و هنگامی که بتوان خروجی درخت را یک عدد حقیقی در نظر گرفت آن را، رگرسیون درختی می‌نامند و یا به عبارت دیگر اگر متغیر های ما عددی باشند از رگرسیون درختی و

[1] Condition Based Maintenance

اگر مطلق و قیاسی باشند از طبقه بندی درختی استفاده می کنیم. در این پژوهش حدود ۲۰۵ رکورد آنالیز روغن موتور دیزل دویتس مدل F6L912 و BF6L913 که در بسیاری از ماشین‌های سنگین و نیمه‌سنگین استفاده می‌شود؛ مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا عناصر و شاخص‌هایی در برگه‌های آنالیز که تاثیری روی نتایج کلی نداشتند با بررسی آماری شناسایی و حذف شدند، این کار موجب حذف ۳۶ درصدی فضای داده‌ای گردید. سپس نتایج کلی به عنوان خروجی در پنج گروه عادی، مرزی، بحرانی، رسیدگی سریع و تحت مراقبت برچسب گذاری شدند و همراه با ۱۶ متغیر دیگر که شامل عناصر فرسایشی، آلودگی‌های آب و سوخت و شاخص‌هایی از کیفیت روغن مانند گرانروی بودند در مدل طبقه‌بند قرار داده‌شدند. برای ایجاد مدل طبقه‌بند از درخت تصمیم با الگوریتم J48 در نرم افزار weka استفاده شد. دقت کلی این مدل ۸۰ درصد به دست آمد. در انتها به وسیله این درخت تصمیم و استفاده از قوانین اگر – آنگاه مدلی هوشمند به منظور پیش‌بینی تحلیل نتایج آنالیز روغن ارائه گردید.

مواد و روش ها

اسپکتروسکوپی یا آنالیز عنصری[1] تستی است که به روش‌های مختلف و به کمک دستگاه‌های پیشرفته صورت گرفته و از طریق آن، کلیه عناصر موجود در روغن شناسایی شده و مقدار آنها بر حسب PPM به دست می‌آید.

سه گروه از عناصر مختلف که بدین طریق شناسایی می‌شوند عبارتند از:

- ذرات فرسایشی (Fe, Al, Cd, Cr, Cu, Ni,. . .)
- مواد افزودنی یا ادیتیوها (Ba, Ca, Mg, P, Zn, . . .)
- آلودگی های موجود در روغن (Si, Pb, K, . . .)

توضیح اینکه ذرات فرسایشی بر اثر وجود سایش و عیوب مشابه در داخل اجزاء ماشین بوجود می‌آیند. یکی از آیتم‌های مهم در خصوص تشخیص عیوب داخلی دانستن متالوژی (ترکیب) مواد بکار رفته در ساخت قطعات از یک طرف و نیز دانستن جنس ذرات موجود در داخل روغن از طرف دیگر است. لذا تشخیص جنس ذرات فرسایشی موجود در داخل روانکار از طریق آنالیز عنصری اهمیت زیادی پیدامی‌کند.مواد افزودنی داخل روانکار (روغن) بعضاً بواسطه واکنش دادن با سایر مواد که ممکن است جزء عملکرد عادی ماده افزودنی به حساب آمده (مانند مواد افزودنی ضد سایش) و یا بواسطه وجود عیب رخ داده باشد، از بین می روند. لذا در صورتی که جنس این مواد افزودنی را بدانیم، با آنالیز عنصری می توان مقدار موجود از آنها در داخل روغن را ترند کرد. تشخیص جنس آلودگی‌هایی که از بیرون به داخل روانکار و سیستم روانکاری نفوذ کرده‌اند از اهمیت شایانی برای شناسایی ریشه عیب برخوردار است. یکی از مهمترین این آلودگی‌ها، سیلیس است که منشاء آن گرد و غبار بوده و با ورود به داخل روغن و ترکیب با

[1] Elemental Analysis

آن، ماده ساینده‌ای تشکیل می‌شود که روند فرسایش را به طرز چشمگیری تسریع می‌کند. به کمک آنالیز عنصری می‌توان مقدار سیلیس و سایر آلودگی‌های موجود در داخل روانکار را ترند نمود.

سیلیس بسیار خطرناک، به وفور در محیط طبیعی و به خصوص در خاک یافت می شود و در صورتی که منفذی به داخل سیستم پیدا شود از آنجا وارد روغن می گردد [۷] و [۲].

با توجه به اینکه ذرات با اندازه بیشتر از ۵ میکرون از طریق طیف سنجی قابل شناسایی نمی‌باشند لذا برای شناسایی ذرات بزرگتر از ۵ میکرون لازم است تا از آزمایشات شمارنده ذرات[۱]، فروگرافی مستقیم[۲]، شاخص ذرات درشت آهنی[۳] و آزمایش فروگرافی مشاهداتی[۴] کمک گرفت.

واحد اندازه گیری عناصر در آزمایش‌های طیف تابش اتمی و آنالیز ذرات درشت آهنی ،PPM[۱] می‌باشد.

ذرات کمتر از ۵ میکرون عملا از فیلتر عبور کرده و از فاصله لقی بین قطعات و سطوح نیز به راحتی عبور می کنند و آثار فرسایشی زیادی ندارند. ذرات با اندازه بزرگتر از ۲۵ میکرون معمولا در فیلتر جذب و از سیستم روغن خارج می شوند و یا به دلیل ابعاد بزرگ قادر نیستند وارد فواصل لقی کوچک بشوند و در نتیجه تاثیر فرسایشی روی سطوح نخواهند داشت . بنابراین ذرات با ابعاد بین ۵ تا ۲۵ میکرون که تقریبا هم اندازه اکثر لقی‌ها و فواصل بین سطوح هستند و بیشترین خراش و ساییدگی بر روی قطعات را ایجاد می نمایند از نظر فرسایش حایز اهمیت می باشند. بنابراین جدا از اینکه چه عاملی باعث افزایش فرسایش و تولید ذرات درشت گردیده، صرف حضور این ذرات در داخل روغن و دستگاه برای هشدار کافی است. وقتی فرسایشی در موتور،بین دو سطح فلزی اتفاق می-افتد. حداقل یکی از آن دو سطح از جنس آهن می باشد. بنابراین شناسایی ذرات درشت خصوصاً آهن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای اینکه بتوانیم ذرات آهنی را تا محدوده ی ابعاد ۱۰۰ میکرون شناسایی کنیم می بایست از شیوه‌های دیگری کمک بگیریم. آزمایش PQ که شاخص ذرات آهنی بزرگتر از ۱۰ میکرون است روشی است که طی آن بدون اینکه روغن مصرف شود از طریق میدان مغناطیسی ذرات آهنی تشخیص داده می‌شوند. همانطور که از شکل (۲) پیداست برای آن‌که بتوان فلزات ساییده شده را در تمامی ابعاد شناسایی کرد بایستی از آزمایشات گوناگون استفاده کرد. اجزای موتور در حین کار مقادیر میکروسکوپی از عناصر به روغن اضافه می کنند. در شرایط طبیعی فرسایش موتور به آرامی صورت گرفته و مقدار عناصر فرسایشی در روغن بطور پیوسته و آرام زیاد می شود[۴].

افزایش ذرات درشت همراه با افزایش ذرات ریز توام است. هرچند هر دو لزوما با یک نرخ افزایش پیدا نمی کنند و معمولا با افزایش PQ طی دوره‌های متوالی انتظار داریم مقدار آهن نیز افزایش یابد. زمانی که نرخ تغییرات PQ نسبت به مقدار آهن بالاتر است، می بایست حساسیت بیشتری به خرج داد. از نقطه نظر فرسایش همه‌ی ذرات آهنی دارای اهمیت یکسان نیستند [۱] و [۲].

---

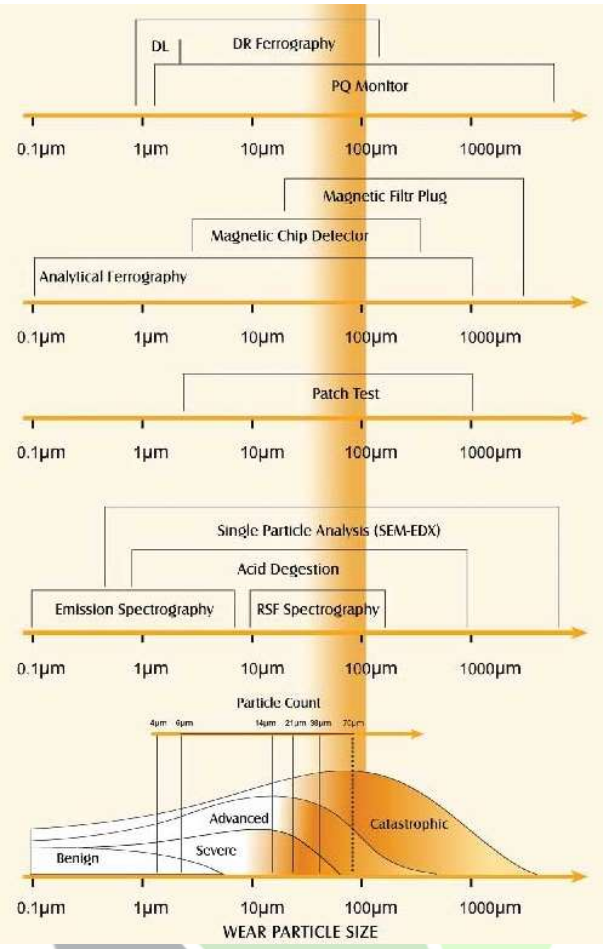
[1] Particle Counter (PC)
[2] Direct Reading Ferrography (DRF)
[3] Particle Quantifier (PQ)
[4] Analytical Ferrography

یکی از عوامل مؤثر و مهم در موفقیت برنامه آنالیز روغن انجام صحیح نمونه‌گیری می‌باشد. تجربه نشان داده که به علت سادگی کار اغلب به این امر توجهی ندارند لذا ضرورت آموزش نیروها و اجرای یک روش نمونه‌گیری صحیح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و توجه نیروهای اجرایی به حساسیت و دقت مورد نیاز در فرآیند نمونه‌گیری در عین سادگی به توجه خاصی نیاز دارد.

ذرات فرسایشی حاوی اطلاعات و بازگوکننده نوع فرسایشی است که در سیستم اتفاق می‌افتد، لذا نمونه‌گیری بایستی به نحوی انجام شود تا میزان و درصد ذرات فرسایشی موجود در نمونه برداشته شده مشابه کل روغن موجود در سیستم باشد بدین منظور نحوه نمونه‌گیری بایستی پیوسته باشد. بهترین زمان برای نمونه‌گیری درست پس از توقف دستگاه می‌باشد. نمونه نباید از کف یا سطح روغن کارتر یا مخزن هیدرولیک و غیره برداشته شود. طول شیلنگ نمونه‌گیری بایستی طوری انتخاب شود تا از وسط عمق روغن کشیده شود. ذرات موجود در سطح فوقانی روغن همواره کمتر و در سطح پائین آن بیشتر از مقدار واقعی می‌باشد، زیرا در اثر ته نشین شدن، ذرات در قسمت کف کارتر جمع می‌شوند، بنابراین نمونه برداشته شده از قسمت میانی واقعی‌ترین شرایط را خواهد داشت. نمونه روغن موتور بایستی بلافاصله بعد از خاموش کردن دستگاه گرفته شود برای این منظور از طریق مجرای گیج یا دریچه ورودی روغن شیلنگ مخصوص وارد روغن می‌شود. به منظور سهولت در نمونه گیری دقیق معمولاً طول شیلنگ را قبلاً با در نظر گرفتن طول گیج روغن مشخص می‌نماید تا هر بار آن را تا عمق مورد نظر به داخل موتور وارد نمود. تناوب زمانی پیشنهادی برای نمونه‌گیری از موتورها هر یکبار در میان تعویض روغن می‌باشد.به هر حال حداکثر فاصله زمانی بین دو نمونه‌گیری از یک موتور دو ماه پیشنهاد می‌شود.

فاصله زمانی نمونه‌گیری به عوامل مختلفی همچون: شرایط کاری دستگاه، نوع و وضعیت سلامت آن،کیفیت و مواد مصرفی نظیر فیلتر و روغن و غیره بستگی دارد. نکته مهم:شرایط نمونه گیری برای هر قسمتی باید یکسان باشد یعنی اگر در مرحله اول نمونه از طریق مجرای گیج گرفته شده لازم است که تا مراحل بعدی از همین مجرا نمونه گیری شود، به تجربه ثابت شده که با تغییر شرایط و نحوه نمونه گیری نتایج نیز تغییر کرده‌است.

[1] Parts Per Million



شکل ۲ : فنون تحلیل ذرات و حساسیت آن‌ها به ابعادشناسایی [۱۲]

به منظور استاندارد بودن نمونه‌گیری، وسایل زیر مورد نیاز می‌باشد.

۱. پمپ دستی مکش روغن

۲. ظرف نمونه گیری ۳۰۰cc به تعداد مورد نیاز اخذ نمونه برای هر قسمت: ظرف نمونه بایستی به اندازه یک سوم خالی باشد تا بتوان قبل از آزمایش با تکان دادن آن ذرات فرسایشی و روغن مخلوط گردند.

۳. برچسب جهت درج شماره و مشخصات نمونه به تعداد ظروف نمونه گیری شده

۴. فرم اطلاعات نمونه روغن شامل: مالک دستگاه،کد دستگاه، قسمت، نام و مدل دستگاه پروژه یا محل کار، تاریخ نمونه گیری، تاریخ تعویض روغن،کارکرد روغن کیلومتر یا ساعت کار، سرریز روغن به لیتر، نام و نوع روغن، تولید کننده روغن، نام نمونه گیر و شماره نمونه

۵. شیلنگ به طول یک متر(متناسب با مشخصات فیزیکی دستگاه)

۶. کیف حمل نمونه

ثبت اطلاعات به همراه نمونه فرستاده شده به آزمایشگاه نیز بسیار ضروری است و این کم‌ترین اطلاعات عبارتند از:

۱- تاریخ نمونه‌گیری: معمولاً فاصله زمانی تهیه نمونه و ارسال به آزمایشگاه و دریافت نتایج نبایستی بیش از ۷۲ ساعت باشد،هر چه این زمان طولانی تر گردد در صورت بروز عیب در هنگام نمونه‌گیری احتمال پیشرفت عیب و بروز خسارت در ماشین های با شرایط بحرانی بیشتر خواهد شد لذا با ذکر تاریخ نمونه‌گیری میتوان پیوسته فرایند تهیه و ارسال نمونه تا دریافت نتایج را کنترل نمود.

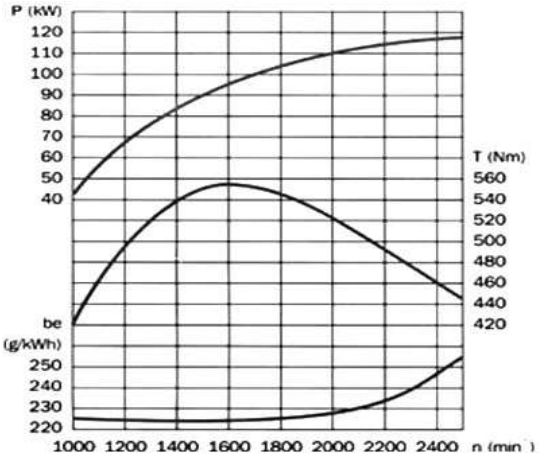
۲- کارکرد روغن: یکی از مهمترین فاکتورهای ارزیابی نتایج آزمایش روغن، ساعت یا کیلومتر کارکرد روغن می‌باشد، لذا انعکاس و ذکر ساعت یا کیلومتر دقیق روغن هر قسمت بسیار مهم است، در صورت خرابی و از کار افتادن آنها میتوان از طریق دیگر حداقل زمان یا کیلومتر تقریبی کارکرد را ذکر نمود.

۳- نوع روغن و نام سازنده آن: یکی عواملی که در فرایند فرسایش دخیل می‌باشد، نوع و کیفیت روغن است با توجه به نوع تولید روغن در کشور، درج نوع روغن و سازنده آن بر روی برگ اطلاعات نمونه ضروری است زیرا مقادیر عناصر مختلف در قالب مواد افزودنی در این روغن ها یکسان نبوده و فرمول‌های شیمیایی، خواص و مشخصات هر روغن بر اساس استانداردهای تعریف شده تولید کننده متفاوت است.

در این تحقیق قواعد کلی انجام شده‌است و نمونه‌های گرفته شده از موتور در ظرف‌های تمیز جمع آوری و برای آزمایش به آزمایشگاه ارسال شده است. درون ظرف کاملاً تمیز و عاری از هر گونه رطوبت بوده‌است و برای اطمینان حاصل کردن از این مطلب درب ظرف تا لحظه نمونه گیری بسته نگه داشته شده است و پس از نمونه گیری نیز بلافاصله بسته شده است. آزمایشات آنالیز روغن در این تحقیق روی دو موتوردیزلی ۶ سیلندر خطی مدل F6L912 و BF6L913 ساخت شرکت دویتس آلمان بوده-است. این دو موتور در بسیاری از ماشین‌های سنگین و نیمه سنگین عمرانی کشور استفاده می‌شوند (شکل ۳).

شکل۳: موتور دیزل ۶ سیلندر خطی استفاده شده در این پژوهش

دور مشخصه موتور حدود ۱۶۰۰ دور بر دقیقه با گشتاور ۵۶۰ نیوتن– متر می‌باشد. کمترین مصرف سوخت در بارگذاری بیشینه نیز در حدود ۲۱۴/۸ g/kW-h اندازه‌گیری شده‌است (شکل ۴).



شکل ۴: منحنی‌های عملکردی موتور دویتس

داده‌های استفاده شده در این تحقیق از واحد انفورماتیک شرکت البرز تدبیر کاران گرفته شده است که شامل مقادیر عناصر فرسایشی و مولفه‌های موجود در روغن به همراه نظر تحلیل‌گر آزمایشگاه در مورد هر کدام از عناصر و وضعیت کلی موتور می باشد(شکل ۵).

شکل ۵: نمونه‌ای از برگ آزمایش آنالیز روغن

برگه‌ی آنالیز روغن به سه بخش کلی تقسیم می‌شود(شکل ۵):

۱. بخش اول اطلاعات مربوط به روغن دستگاه است.

۲. بخش دوم اطلاعات مربوط به مقادیر عناصر فرسایش و مولفه‌های روغن است.

۳. بخش سوم اطلاعات مربوط به نتایج تحلیل روغن و نظرات و توصیه‌های تحلیل گران می باشد.

در اطلاعات خام تحویل گرفته شده از آزمایشگاه، حوزه‌های مختلفی وجود دارد. در بخش اول نواحی زیر موجود است: (گروه نمونه برداری، تعداد نمونه، کد اختصاصی مورد نمونه گیری، کارکرد روغن، نام روغن، درجه‌ی روغن، سازنده‌ی روغن، نام دستگاه، مدل، قسمت نمونه گیری شده، سازنده‌ی 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، سیلیسیم Si، سدیم Na، بور B، وانادیم V، روی Zn، فسفر P، کلسیم Ca، باریم Ba، منیزیم Mg، PQ، آلودگی آب، آلودگی سوخت، TAN، TBN، Vis ۴۰، Vis ۱۰۰.

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 می باشد.

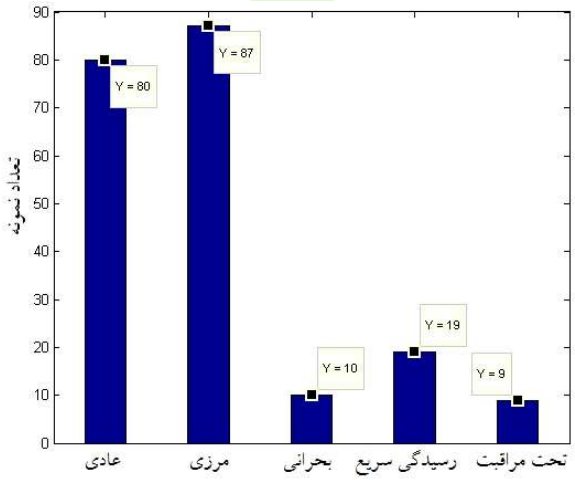
تحلیل‌گر بر اساس مقادیر عناصر فرسایشی و مولفه‌های روغن و قرارگرفتن این مقادیر در هر یک از دسته‌های عادی، مرزی، هشدار و بحرانی؛ وضعیت کلی آزمایش را عموماً در یکی از پنج حالت جدول ۱ گزارش می‌کند. با توجه به بانک داده‌ها مساله فوق به صورت ایجاد یک طبقه‌بند بین فضای ورودی که یک ماتریس ۲۵*۲۰۵ می‌باشد و فضای خروجی که یک بردار ستونی شامل ۲۰۵ آرایه حرفی می‌باشد، تبیین گردید. از آنجایی که مقادیر نه عنصر تیتانیم Ti، نقره Ag، بور B، وانادیم V، روی Zn، فسفر P، کلسیم Ca، باریم Ba، منیزیم Mg در تمام رکوردها تقریباً ثابت بوده و نیز در هیچ کدام از ۲۰۵ رکورد حتی مقادیر آنها به حالت مرزی نزدیک نشده از فضای ورودی حذف گردیدند. با این کار حدود ۳۶ درصد از حجم فضای ورودی کاسته شد که موجب افزایش سرعت در عملیات‌های بعدی خواهد شد. ماتریس داده‌ها تحت یک فایل csv شامل ۲۰۶ سطر و ۱۷ ستون که ستون آخر مربوط به کلاس (وضعیت کلی) و سطر ابتدایی که مربوط به نام متغیرها می‌باشد؛ به نرم افزار داده کاوی منبع باز weka خورانده شد. برای طبقه بندی در این نرم‌افزار از درخت تصمیم با الگوریتم J48 استفاده شد. لازم به ذکر است که الگوریتم J48 همان الگوریتم C4.5 تحت جاواست که در نرم افزار weka بکارگرفته‌شده‌است.

جدول ۱: برچسب‌گذاری و ارزش‌گذاری هر کدام از دسته‌های نتایج کلی

نوع وضعیت	برچسب مورد نظر	ارزش‌گذاری
عادی	N	+۲
مرزی	B	-۱
بحرانی	C	-۳
رسیدگی سریع	E	-۲
تحت مراقبت	U	-/۵

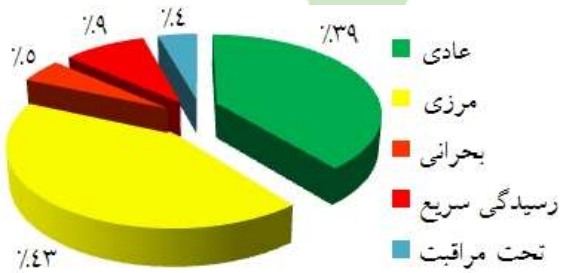
نتایج و بحث

بیش از هشتاد درصد رکوردها در دسته عادی و مرزی با مجموع تعداد ۱۶۷ نمونه از کل ۲۰۵ نمونه بوده‌است. حدود ۱۴ درصد نمونه در دسته‌های بحرانی و رسیدگی سریع ارزیابی شده‌اند که وضعیت مطلوبی نمی‌باشد و بایستی رسیدگی بیشتری به تعمیر و نگهداری موتورهای مورد بحث در این پژوهش شود (شکل ۶ و۷). با توجه به ارزش گذاری بر طبق جدول ۱ میانگین وزنی محاسبه شده حدود ۰/۰۰۲+ بدست‌آمد. این عدد نشان می‌دهد که هر نمونه تا حدود زیادی از حالت تحت مراقبت بهتر است. هر چه این عدد به ۲+ نزدیکتر بود شرایط هر نمونه به حالت عادی نزدیکتر می‌بود.



شکل ۶: تعداد نمونه‌ها در هر کدام از وضعیت‌ها

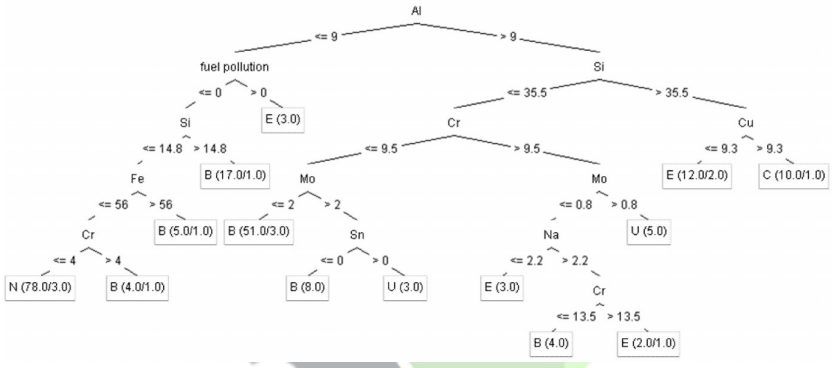
بایستی توجه داشت عدم توجه به وضعیت نگهداری و تعمیرات و رعایت نکردن نکات ابتدایی در این مقوله مانند بازدیدهای دوره‌ای در حالت خوش بینانه موجب می‌گردد که نیمی از دستگاه‌هایی که در حالت مرزی بوده اند به حالت بحرانی تبدیل شوند.



شکل ۷: تقسیم‌بندی درصد وضعیت کلی ۲۰۵ رکورد

آن خواهیم داشت اگر مقدار مس بیشتر از ۹/۳ بود و مقدار سلیسیم بیشتر از ۳۵/۵ بود و مقدار آلومینیوم بیشتر از ۹ بود آنگاه از ۱۶ شاخصه ورودی که در مدل طبقه‌بند استفاده‌شده‌اند تنها نه عدد آنها کارایی لازم را برای ایجاد مدل داشته‌اند. از این نه ویژگی شش ویژگی یعنی مقادیر آهن، کروم، آلومینیوم، مس، قلع و مولیبدن جز عناصر فرسایشی به حساب می‌آیند. عناصر حائز اهمیت بعدی

آلاینده‌های سیلسیم و سدیم بوده‌اند و سپس آلودگی به سوخت در تصمیمات درخت تصمیم نقش داشته‌است. بایستی توجه کرد که عموماً فرد خبره در آزمایشگاه‌های آنالیز روغن نیز بیشترین تمرکز خود را بر روی عناصر فرسایشی می‌گذارد. از آنجایی که موتور مورد پژوهش بر روی ماشین‌های راهسازی و راهداری سوار بوده‌است آلودگی‌های ناشی از خاک (سلیسم) و آلودگی‌های مرتبط با آب (سدیم) نیز نقشی حیاتی در تحلیل‌های فرد خبره دارد که این موضوع در درخت تصمیم هم ملاحضه می‌شود.. با حرکت از برگ‌ها (کلاس‌ها) در پایین‌ترین قسمت درخت به سمت ریشه (بالاترین قسمت درخت) قوانین اگر – آنگاه مرتبط با آن کلاس ایجاد می‌شود. برای مثال راست‌ترین شاخه مربوط به وضعیت کلی بحرانی می‌باشد و در موتور در شرایط بحرانی قرار دارد. و یا برای حالت عادی که چپ‌ترین شاخه می‌باشد خواهیم داشت: اگر مقدار کروم کمتر از ۴ بود و مقدار آهن کمتر از ۵۶ بود و مقدار سلیسیم کمتر از ۱۴/۸ بود و آلودگی با سوخت نداشتیم و مقدار آلومینیوم کمتر از ۹ بود آنگاه موتور در شرایط عادی قرار دارد. در جلوی بعضی از برگ‌ها مانند حالت عادی دو عدد نوشته شده است و این بدان معنا است که از ۸۱ حالت عادی ۷۸ تای آن‌ها با این قوانین به درستی پیش‌بینی شده‌اند و ۳ تای آن‌ها با مدل پیش بینی شده در این درخت به نادرستی در کلاس‌های دیگر قرار گرفته‌است (شکل۸).



شکل ۸: درخت تصمیم ایجاد شده به کمک الگوریتم J48

برای این‌که دقت و کارایی نهایی درخت تصمیم که مدل طبقه‌بند در این پژوهش می‌باشد مشخص گردد. ماتریس اغتشاش در جدول ۲ بر روی ۲۰۵ نمونه ارائه گردیده‌است.

جدول ۲: ماتریس اغتشاش

	عادی	مرزی	بحرانی	رسیدگی سریع	تحت مراقبت
عادی	۷۳	۷	۰	۰	۰
مرزی	۱۱	۶۷	۱	۶	۲
بحرانی	۰	۰	۸	۲	۰
رسیدگی سریع	۱	۴	۱	۱۳	۰
تحت مراقبت	۰	۴	۱	۱	۳

درایه‌هایی که در قطر اصلی قرار دارند تعداد نمونه‌هایی است که به درستی پیش‌بینی شده‌اند. با توجه به سطر چهارم این ماتریس می‌توان گفت از ۱۰ نمونه در حالت بحرانی دو عدد به اشتباه در کلاس رسیدگی سریع قرار داده شده‌اند. بدترین وضعیت در کلاس تحت مراقبت بوده‌است که تنها ۳۰ درصد داده‌ها به درستی پیش‌بینی شده‌اند. بایستی از کارشناسان تقاضا کرد در طبقه‌بندی در این کلاس دقت پیش‌بینی کنند. بهترین دقت نیز در حدود ۹۱ درصد مربوط به کلاس عادی بوده‌است. دقت کلی مدل ۸۰ درصد ارزیابی شده است که حاصل تقسیم مجموع درایه‌های قطر اصلی بر تعداد کل داده‌ها است؛ به دست آمده‌است. این دقت بالا نشان از توانایی بالای مدل ارائه شده دارد. پیشنهاد می‌گردد با توسعه ۱۴ قانون حاصل از درخت تصمیم نرم‌افزاری کمکی در اختیار کارشناسان آزمایشگاه قرار گیرد تا بدین وسیله خطاهای انسانی به کمترین مقدار ممکن برسد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت علمی دانشگاه آزاد واحد اقلید فارس، دانشگاه تهران و شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل وزارت راه و شهرسازی صورت گرفته‌است و مولفین داشته‌های علمی خود را مدیون آن موسسات می‌دانند. نویسندگان این مقاله به علت همکاری بی دریغ و صمیمانه اعضای آزمایشگاه آنالیز روغن شرکت فنی و مهندسی البرز تدبیر کاران نیز از آنها کمال تشکر و امتنان را دارند.

منابع

۱- شرکت فنی و مهندسی البرز تدبیر کاران، ۱۳۹۰، پایش وضعیت در ارتقای بهره‌وری ماشین آلات، ورازت راه و شهرسازی – پژوهشکده حمل و نقل

۲- نصیری محمود و فرزانه بهفر، ۱۳۹۱، اثر سیلیس در فرسایش زودرس موتورهای احتراق داخلی(موتور دیزل)، کنفرانس بین المللی مهندسی مکانیک و فناوری های پیشرفته، دانشگاه آزاد واحد شهر مجلسی

۳- احمدی حجت، علیزاده دینا، لبافی رضا، ۱۳۸۹، پایش وضعیت موتور دیزل با آنالیز روغن به روش منطق فازی، پنجمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب‌یابی ایران، آبادان، دانشکده نفت آبادان

۴- لبافی رضا، احمدی حجت، باقری بهراد، علیزاده دینا، مدل سازی مقدار شاخص ذرات درشت آهنی در روغن موتور تراکتور MF 285 براساس نتایج آزمایشات طیف تابش اتمی، ۱۳۹۰، هفتمین کنفرانس نگهداری و تعمیرات

5- Anderson, D. p.1982. Wear particle Atlas. Prepared for Advanced Technology office support Equipment Engineering Department Naval Air Engineering Center Lakehurt, New Jersey 08733.

6- Augusto, L., R. Baptista, L. Antonio Vaz Pinto, C. Rodrigues Pereira Belchior. 1999. Condition monitoring of engines by lubricating oil analysis.;SAE paper No. 1999-01-3001

7- Dempsey, P. J. and A. A. Afjeh. 2002. Integrating Oil Debris and Vibration Gear Damage Detection Technologies Using Fuzzy Logic. NASA/TM 211126

8- Degaspari, J. 1999. Recording oils vital signs. Mechanical Engineering, Vol.121. Issue5. p.54. 3p. 2c.

9- www.artec.ir/UI/Action/Engineering/CM.aspx

10- www.cbmschool.com/cm_techs.php?p=oil

11- Troyer, D. Why oil analysis should be performed on site. Noria Corporation, Oil analysis.com, 1998.

12- mark smith, Analysts Inc., "Oil Analysis vs. Microscopic Debris Analysis: When and Why to Choose". Parcticing Oil Analysis Magazine. May 2004

.

Providing an intelligent method in order to analyzing the result of oil analysis of a diesel engine by decision tree

Abstract

Measuring the amount of colossal iron particles and spectroscopy on oil can indicate the engine's condition. Determining the overall condition based on numbers and results written in oil analysis sheets is mostly done by experts and therefore sometimes can be the matter of taste. This differs from one model to another and radically alters by changing device types. In the oil analysis laboratory there is a huge demand for a decision-making software which can carry out the procedure automatically and intelligently and eliminate any human flaws. This project will investigate approximately 205 oil analysis of Deutz diesel engine, F6L912 and BF6L913 models, which are massively used in plenty of heavy and semi-heavy machines. In the first step trivial elements and items in analysis sheets ineffective in overall results, statistically are diagnosed and omitted. This leads to condense date space about 36 percent. Secondly overall results separate into parts normal, critical, boundary, rapid following, and under attention are labeled as the outcomes; among 16 another variables including wearing elements, water and fuel pollutions, and some factors in which oil qualification is manifested such as viscosity are put in classification model created by decision trees with algorithm J48 in WEKA software. The overall accuracy was obtained roughly 80 percent. Finally by utilizing decision tree and if-then rules we provide an intelligent model to predicate oil analysis results

Keyword: algorithm J48, condition monitoring, diesel engine, oil analysis, weka software