کاربرد داده کاوی در تعیین خطوط مبنای رفتار فرسایشی موتورها با استفاده از نتایج آنالیز روغن

سعید رمضانی[۱] عزیزالله معماریانی[۲] علیرضا مسعودی[۳] احمد نورنگ[۴]

مرکز مطالعات و پژوهشهای لجستیکی-دانشگاه امام حسین (ع)

Ramezani.sr@gmail.com

Phone: 0912 2002406

چکیده

هر چند امروزه بکارگیری فن آوری مراقبت وضعیت از طریق آنالیز روغن[۵] به عنوان روش موثری در تشخیص فرسایش های غیر عادی یا عیوب تجهیزات و سیستم های مکانیکی شناخته می شود، باید توجه داشت که در فرآیند تحلیل و تفسیر نتایج آنالیز روغن، مسائلی نظیر شناخت رفتار های فرسایشی، ویژگی های فنی، سوابق و تجارب قبلی آنالیز و غیره، جهت اجرای برنامه CM، بسیار ضروری و تعیین کننده است.

در این تحقیق به بررسی رفتار فرسایشی موتورهای دیزل و ارزیابی و تحلیل رابطه بین وضعیت نهایی موتور و وضعیت مولفه های مورد تحلیل در آنالیز روغن، پرداخته می شود. تحلیل و بررسی این موضوع که مولفه های موثر در تحلیل وضعیت موتور، کدام و میزان تاثیر آنها چقدر است، موضوعی است که در قالب یک مدل داده کاوی مورد بررسی قرار می گیرد. شاخصهای مورد مطالعه در آنالیز روغن عبارتند از: ویسکوزیته، سیلیسم، PQ، فلزات فرسایشی نظیر آهن، آلومینوم، سرب، مس، قلع، کروم.

داده کاوی فرآیند کشف الگو ها و روابط پنهان موجود بین داده هاست. داده های موتور کامیون بنز ۲۶۲۸ با توجه به مدل های شبکه عصبی، درخت های تصمیم گیری و مصور سازی و آمار توصیفی به‌عنوان نمونه مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج آن بیان شده است. یافته های این مطالعه نشان می دهد الگو های خاصی متناسب با مولفه های روغن وجود دارد و با توجه به حجم داده ها و ابزارها و شاخص های مرتبط، قواعد مناسب را می توان استخراج نمود. در نهایت سعی نگارنده بر آن است که مدلی هوشمند جهت تشخیص و پیش بینی عیوب در موتورهای مورد مطالعه ارائه دهد.

واژگان کلیدی:

نگهداری و تعمیرات (Maintenance)؛ مراقبت وضعیت (Condition Monitoring)؛ آنالیز روغن (Oil Analysis)، خطوط مبنا (Base Lines)، داده کاوی (Data Mining)، رفتار فرسایشی (Wear Behavior)، شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)، درخت تصمیم گیری (Decision Tree)، قواعد استنتاجی (Induction Rules)، مصورسازی (Data Visualization)، سیستم پشتیبان تصمیم (Decision Support System).

---

۱ کارشناس ارشد مهندسی صنایع- کارشناس عالی سیستم نت- ارائه دهنده مقاله

۲ استاد راهنما و ریاست محترم موسسه پژوهش و برنامه ریزی آموزش عالی

استاد مشاور و مبتکر طرح مراقبت وضعیت از طریق آنالیز روغن در ایران۳

استاد مشاور و استاد دانشگاه امام حسین(ع)۴

۵ Machinery Oil Analysis Condition Monitoring (CM)

مقدمه

مراقبت از روغن یکی از مهم ترین دستاورد ها در نگهداری پیش گیرانه تجهیزات است. این روش ابزاری است برای ارزیابی وضعیت دستگاه، شناسایی ریسک های خرابی، امکان پیش بینی عیوب برای جلوگیری از عواقب هزینه بر و و افزایش طول عمر دستگاه مورد استفاده می باشد.

در این مقاله سعی شده با در اختیار داشتن منابع اطلاعات مناسب، به بررسی رفتارهای فرسایشی موتور های دیزل می پردازیم و در نهایت سعی نگارنده بر آن است، مدلی هوشمند برای پیش بینی و تشخیص عیوب در موتور های مورد مطالعه ارائه دهد. همچنین سعی شده است وضعیت مولفه های موثر در آنالیز روغن با وضعیت نهایی موتور، جهت کشف الگوهای موثر بر روند فرسایش موتور بررسی شده، و عوامل تاثیر گذار بر وضعیت موتور شناسایی شوند و قواعد فرسایش، استخراج گردد. به این منظور بانک اطلاعاتی مناسبی از وضعیت مولفه های موجود و وضعیت موتور، گردآوری شده است، لذا برای کشف الگوهای پنهان و غیر بدیهی موجود، از داده کاوی استفاده می شود.

بعد از کشف الگو ها و رابطه ها، از بین آنها الگوهای جالب، مفید و غیر بدیهی شناسایی می شود. سرانجام می توان با مراجعه به خبرگان و متخصصان آنالیز روغن، علت این رابطه ها و الگو ها را شناسایی کرد و تعیین گردد که این روابط، روابط علت و معلولی هستند یا به خاطر عامل دیگری بر قرار است. با استفاده از دانش و اطلاعات بدست آمده، وضعیت موتور مورد مطالعه، در شرایط مختلف و وضعیت مولفه های روغن و عناصر فرسایشی به همراه سیستم های پشتیبانی از تصمیم مبتنی بر مدل های شبکه عصبی و درخت تصمیم برای پیش بینی وضعیت موتور در حالات مختلف ارائه شده است.

۱- طرح مساله

برای ارزیابی اینکه مقادیر بدست آمده در تحلیل روغن، شرایط مناسبی را نشان می دهند و یا بر عکس نشان دهنده شرایط غیر عادی در ماشین هستند، لازم است که معیارهایی برای دسته بندی این مقادیر به مقادیر عادی و یا مشکوک وجود داشته باشد. تشخیص این معیارها و روش های ارزیابی نتایج آزمایش ها همواره یکی از چالش های اصلی در برنامه های تحلیل روغن بوده است. در این راستا سازندگان تجهیزات، شرکت های تولید کننده روغن و آزمایشگاه های تحلیل روغن معیارها و روش هایی را برای ارزیابی وضعیت روغن ارایه می دهند. هر یک از این معیارها مبتنی بر دیدگاههایی است که آگاهی از آنها در زمان استفاده ضروری است. در این مقاله روش های مختلف تحلیل و ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته است و همچنین با تلفیق و تطبیق روش های مختلف سعی به دستیابی خط مبنا تحلیل روغن شده است.

۲- مرور ادبیات

۲-۱- داده کاوی

امروزه در دنیای توسعه یافته، دانش داده کاوی بطور گسترده ای در علوم مختلف در جهت رفع مشکلات و معضلات مورد بهره برداری قرار می گیرند . تاکنون تعاریف متعددی از داده کاوی ارائه شده است که از جمله آنکه داده کاوی مجموعه ای از تکنیک هایی می باشند که متغیرهای چندگانه یک پدیده تحت بررسی را بطور همزمان تحلیل می نماید. [۳].

در فرآیند داده‌کاوی، با توجه به متغیرها و اهداف داده‌کاوی از ابزارها و روشهای مختلفی استفاده می‌شود. متغیرها می‌توانند وابسته یا مستقل، گسسته یا پیوسته بوده و با مقیاسهای اسمی، فاصله‌ای، رتبه‌ای و یا نسبی اندازه‌گیری شده باشند. با توجه به اهداف داده‌کاوی، روشهای گزارش‌دهی و پردازش تحلیل برخط، مدلسازی مبتنی بر نظریه و مدلسازی مبتنی بر داده، وجود دارند.
مدلسازی مبتنی بر داده، عمده‌ترین روش و وجه تمایز داده‌کاوی محسوب می‌شود. در این تحقیق بیشتر از مدلسازی مبتنی بر داده استفاده شده است. تکنیکهای ایـن روش طبقه‌بندی و پیش‌گوئی، خوشه‌یابی، مصورسازی داده‌ها، شبکه‌های‌عصبی، قواعد جمعی، درخت تصمیم‌گیری و... می باشند. با استفاده از این روشها دانش پنهان در داده‌ها کشف می‌شود[۳]. تکنیکهای داده کاوی به

رابطه همزمان بین دو یا چند پدیده مربوط می شوند[۴].

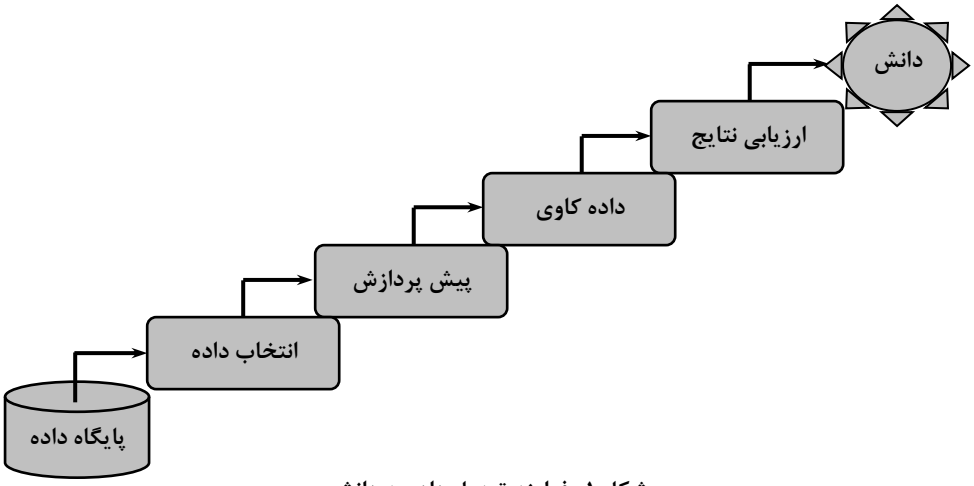
ویژگیهای منحصر بفرد داده کاوی را میتوان بصورت زیر برشمرد[۵] :

- نه تنها بر فاز تحلیل، بلکه بر طراحی، مطالعه و جمع آوری داده نیز تاکید و تاثیر دارد.
- داده کاوی طی سوالات مشخص و پیچیده، پاسخهای دقیق و واضح را از داده های جمع آوری شده استخراج می کند.
- مزیت اصلی و تفاوت آنها با سایر تکنیک ها در این است که بجای ارائه راه حل کلی، پاسخ های دقیق متناسب با هدف را در اختیار محقق قرلر می دهد.
- امکان سنجش اثر متغیرهای مستقل را بر روی متغیرهای وابسته در یک مدل تحلیل حساسیت، فراهم می کند.
- به مدیران کمک می کنند که تأثیر سناریوهای آتی را مورد ارزیابی قرار دهند و با مدلسازی گزینه های متعدد وکمک به تصمیم گیری در شرایط عدم قطعیت به انتخاب مسیر صحیح بپردازند.
- حجم بسیار وسیع داده ها را به گونه ای مؤثر خلاصه می‌کنند و از افزونگی اطلاعات می کاهند. این آنالیزها می توانند اطلاعات را به مهمترین فاکتورها و متغیرها خلاصه نمایند و یا با خوشه بندی، اطلاعات را به بخشهای مختلف تقسیم بندی نمایند.

این قابلیتها به عنوان یکی از ملزومات آنالیز محیطهای آشفته که پیچیدگی و تعدد عوامل، پیش‌بینی آن را عملاً غیر ممکن می سازد تبدیل گشته است.

محققینی که تنها روابط دو به دو را در نظر می گیرند و از داده کاوی استفاده نمی کنند، ابزار قدرتمندی را از دست می دهند که می تواند اطلاعات سودمندی را در اختیار آنان قرار دهد. در مسائل واقعی چندین متغیر به طور همزمان بر روی پاسخ تاثیر می گذارند، از این رو آنالیزهای چندمتغیره جوابهای دقیقتری را فراهم می کند.

در شکل ۱ فرایند کشف دانش از پایگاه داده ها به صورت شماتیک بیان گردیده است[۴].



شکل ۱ : فرایند تبدیل داده به دانش

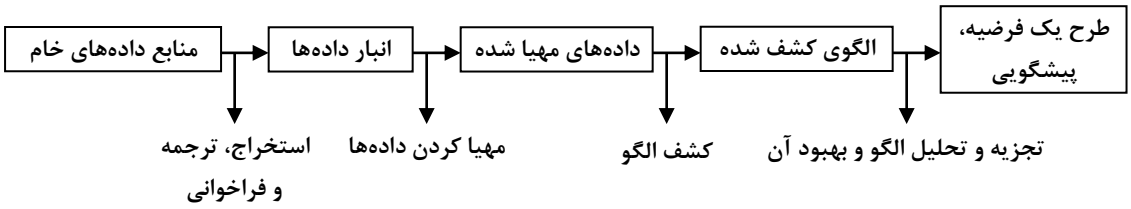
همانطور که ملاحظه می شود یکی از گام های این فرایند ، داده کاوی می باشد . بدیهی است که موفقیت در مرحله داده کاوی کاملا متاثر از سه گام قبل می باشد به گونه ای که اگر هر کدام از مراحل قبلی به درستی انجام نپذیرد ، نتایج حاصل از داده کاوی نه تنها ممکن است مفید نباشد بلکه گمراه کننده نیز می تواند باشد .

تکنیکهای داده کاوی از جمله تکنیکهای نوین علمی هستند که در توصیف، تشریح، پیش بینی و کنترل پدیده ها به کار می روند[۱۱].

این تکنیکها به اندازه گیری، تشریح و پیش بینی درجه وابستگی میان متغیر ها می پردازند. روش های داده کاوی نه تنها بر جنبه

های تحلیلی مطالعات ، بلکه در طراحی و ابزارهای جمع آوری داده برای تصمیم گیری و حل مسائل نیز تأثیر می گذارند.

می‌توان فرآیند داده‌کاوی را طی مراحل زیر به صورت نمودار ۱ نشان داد: [۱۲]



نمودار ۱ : فرایند داده کاوی

در بسیاری موارد، داده‌کاوی را مترادف با اصطلاح کشف دانش در پایگاه داده قلمداد می‌کنند. در حالیکه بعضی نیز داده‌کاوی را یکی از مراحل فرآیند کشف دانش در پایگاه داده تعریف می‌کنند. فرآیند کشف دانش در مراحلی به صورت تکرارشونده صورت می‌گیرد. داده‌های خام از منابع مختلفی جمع‌آوری می‌شوند و از طریق استخراج و به انبار داده‌ها وارد می‌شوند. در بخش مهیاسازی داده‌ها، داده‌ها از انبار خارج شده و به صورت یک فرمت مناسب برای داده‌کاوی درمی‌آیند. در بخش کشف الگو با روش‌های داده‌کاوی الگوریتم‌هایی استخراج شده و از این الگوریتم‌ها برای ساخت الگو استفاده می‌شود. در بخش تجزیه و تحلیل الگو، الگوها به یک دانش مفید و قابل استفاده تبدیل می‌شوند و پس از بهبود آن‌ها، الگوهایی که کارا محسوب می‌شوند در یک سیستم اجرایی به کار گرفته خواهند شد .

۲-۲-معیارها و روش های ارزیابی نتایج آنالیز روغن

برای ارزیابی اینکه مقادیر بدست آمده در تحلیل روغن، شرایط مناسبی را نشان می دهند و یا بر عکس نشان دهنده شرایط غیر عادی در ماشین هستند، لازم است که معیارهایی برای دسته بندی این مقادیر به مقادیر عادی و یا مشکوک وجود داشته باشد. تشخیص این معیارها و روش های ارزیابی نتایج آزمایش ها همواره یکی از چالش های اصلی در برنامه های تحلیل روغن بوده است. در این راستا سازندگان تجهیزات، شرکت های تولید کننده روغن و آزمایشگاه های تحلیل روغن معیارها و روش هایی را برای ارزیابی وضعیت روغن ارایه می دهند. هر یک از این معیارها مبتنی بر دیدگاههایی است که آگاهی از آنها در زمان استفاده ضروری است. در این مقاله روش های مختلف تحلیل و ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته است و همچنین با تلفیق و تطبیق روش های مختلف سعی به دستیابی بهترین نتایج از تحلیل روغن شده است.

یکی از این راهها ایجاد حدودی است که مقادیر پارامترها باید در آن محدوده باشند. برای مثال در روش استفاده از درصد تجمعی[۶]مقداری که ۸۵ درصد از نمونه ها کمتر از آن هستند، سطح هشدار و مقداری که ۹۵ درصد از نمونه ها کمتر از آن هستند، سطح بحران تعیین می شود[۲۷]

توجه به این نکته بسیار ضروری است که شرایط روغن تحت تاثیر عوامل زیادی همچون شرایط کارکرد، بارگذاری و بهره برداری از ماشین، مشخصات عمومی دستگاه، و مشخصات خاص دستگاه مانند عمر، لقی ها و غیره می باشد و در نتیجه استفاده از این روش ها به عنوان یک راه حل کلی و بدون در نظر گرفتن سایر شرایط همواره نمی تواند نتایج مطلوبی داشته باشد[۲۹].

اهمیت توجه به این موارد به حدی است که برخی از سازندگان معتبر موتورها بر این باورند که امکان ارزیابی درست و قابل اطمینان تنها با استفاده از اندازه گیری فلزات فرسایشی وجود ندارد و بایستی تحلیل های مکمل نیز برای تشخیص درست مورد استفاده قرار گیرد[۱۴].

---

[۶] Cumulative percent

در این تحقیق برای بدست آوردن بهترین و صحیح ترین نتایج، معیارهای متفاوتی برای تحلیل نتایج مورد استفاده قرار گرفته اند.

تعیین حدود ثابت[۷]

در این نگرش محدوده‌های ثابتی برای کمیتها تعریف می‌شود که معمولا شامل سه محدوده عادی (normal)، غیرعادی (abnormal) و بحرانی (critical) می‌باشد. این کمیت می تواند مقدار مطلق فرسایش یا آلایندگی و یا نرخ فرسایش یا آلایندگی بر حسب ساعت کارکرد باشد. برای تعیین وضعیت ماشین مقادیر بدست آمده از آزمایش با حدهای تعیین شده مقایسه شده و شرایط دستگاه ارزیابی می شود. در این روش مقادیر کمتر از مقدار متوسط به علاوه انحراف معیار، عادی و مقادیر بیش از مقدار متوسط به علاوه دو برابر انحراف معیار، بحرانی محسوب می شوند و مقادیر بین این دو حد غیر عادی هستند[۲۸].

داشتن تعداد مناسب از نمونه های قابل استفاده یعنی نمونه هایی که در زمانی که سلامت ماشین و کارکرد مناسب آن اطمینان وجود داشته است گرفته شده اند شرط لازم برای انجام موفق این روش میباشد.

تحلیل گروهی[۸]

در این روش نتایج به دست آمده از آزمایش های مجموعه ای از دستگاه های مشابه (یک مدل) که در شرایط یکسانی کار می کنند مقایسه می شود. در این روش نیز نتایج به دست آمده تحلیل آماری شده و محدوده ها همانند محدوده های تعریف شده در تعیین حدود ثابت تعیین می شوند[۱۸]

روش روندگرایی[۹]

در این روش تغییرات کمیت ها با زمان برای یک دستگاه خاص بررسی می شود و با ارزیابی این تغییرات وضعیت حال و آینده دستگاه تعیین می شود. در صورتیکه شرایط و فواصل نمونه برداری ثابت باشد با آگاهی از شرایط کارکرد دستگاه و دنبال کردن تغییرات پارامترها می توان نتایج مطلوبی به دست آورد. در ارزیابی نتایج نرخ تغییرات و مقدار تغییرات باید همزمان مورد توجه قرار بگیرد. هر گونه تغییرات غیر عادی درنرخ یا مقدار تغییرات باید به عنوان هشدار مورد توجه قرار بگیرد. مهمترین مزیت این روش عدم وابستگی آن به شرایط عمومی و خاص دستگاه می باشد و فقط به شرایط کاری و بارگذاری دستگاه وابسته است و به راحتی برای هر دستگاهی قابل اجراست [۲۰]

با توجه به اینکه فقط با داشتن نتایج چهار آزمایش پشت سر هم دراین روش می توان شرایط آتی دستگاه را پیش بینی کرد این روش رایج ترین روش مورد استفاده در برنامه تحلیل روغن می باشد. حتی اگر این روش تنها روش مورد استفاده نباشد همواره توصیه می شود در کنار سایر روش ها بکار گرفته شود چرا که در بسیاری از شرایط تغییرات یک کمیت مهمتر از مقدار مطلق آن می باشد.

در این روش معمولا نتایج هر آزمایش در کنار نتایج سه آزمایش ماقبل تحلیل می شود. بدین ترتیب که روند تغییرات در نتایج آزمایش آخر و دو آزمایش ماقبل مقایسه شده و در صورت افزایش محسوس در نرخ تغییرات شرایط دستگاه نامطلوب و غیر عادی ارزیابی می شود. توجه به نکات چون خطای اندازه گیری تجهیزات اندازه گیری، صعودی بودن روند تغییرات در شرایط غیر عادی و درصد تغییرات بسیار مهم می باشد.

در صورتی که فرسایش عادی تا حدود ۱۰۰ ppm باشد، ۵۰ درصد افزایش می تواند سطح هشدار مناسبی باشد ولی برای مقادیر بیشتر فرسایش این درصد باید کمتر و برای مقادیرکمتر این درصد باید بیشتر در نظر گرفته شود[۲۵] .

در پیاده سازی یک برنامه تحلیل روغن مناسب و کارآمد توصیه می شود هر سه روش گفته شده هم زمان بکار گرفته شوند و در صورت استفاده هم زمان از هر سه روش نتایج قابل اطمینان تری از ارزیابی ها بدست خواهد آمد [۲۰]

---

[۷] Fixed limits

[۸] Family analysis

[۹] Trending analysis

معیارهای تعیین شده از طرف سازنده

بسیاری از سازندگان معیارها و راهنمایی هایی برای ارزیابی وضعیت روغن ارایه می دهند. این معیارها عمدتا حد مجاز آلاینده ها برای آسیب نزدن به دستگاه می باشد [۲۸]

تولید کنندگان روغن نیزمعمولا حدهای مجازی برای مقدار آلاینده های موجود در روغن تعیین می کنند بدیهی است که رعایت این حدود برای عملکرد دستگاه ضروری است.

عناصر فرسایشی به کمک آزمایش طیف تابش اتمی AES مقدار عناصر فلزی و غیر فلزی موجود در روغن (۱۹ عنصر) بر اساس استاندارد ASTM D-6595 مورد آزمایش و شناسایی قرار گرفته اند.

ترکیب روشها

بررسی‌ها و فعالیتهای انجام شده نشان داده است که برای پیاده سازی یک نظام مراقبت از وضعیت کارآمد بهتر است هر سه روش فوق هم زمان بکار گرفته شوند و در صورت استفاده هم زمان از هر سه روش نتایج قابل اطمینان‌تری از ارزیابی به دست خواهد آمد.[۲۳]

علاوه بر این توصیه می‌شود در ارزیابی فلزات فرسایشی پارامتر بی بعد زیر به جای مقدار مطلق فرسایش ارزیابی شود:[۲۷]

مقدار فرسایش- متوسط فرسایش نرمال

متوسط فرسایش مدل یا نوع

در این رابطه مقدار فرسایش، نتیجه به دست آمده از آخرین آزمایش و متوسط فرسایش، میانگین مقادیر به دست آمده از آزمایشات قبلی انجام شده روی همان دستگاه می‌باشد و متوسط فرسایش مدل یا نوع میانگین به دست آمده از متوسط فرسایش به دست آمده از آزمایشات انجام شده بر روی کلیه دستگاه‌های موجود از همان نوع یا مدل می‌باشد.

ارزیابی مقدار و تغییرات این پارامتر در واقع نوعی ترکیب هم زمان سه روش فوق می‌باشد. در کنار این روشها همواره توصیه‌های سازنده نیز باید به عنوان راهنما مورد توجه قرار گیرد.

۳- مدل سازی در متدولوژی داده کاوی

۳-۱ فرآیند داده کاوی

پایگاه های داده، غنی از اطلاعات پنهان هستند که می توان از آنها در تصمیم گیریهای هوشمندانه، استفاده بهینه نمود. هدف از این تحقیق، کاوش در پایگاه اطلاعات آنالیز عناصر فرسایشی و مولفه های روغن در تحلیل وضعیت موتورهای دیزلی، با استفاده از روشهای داده کاوی، به منظور کشف الگوهای حاکم بر وضعیت نهایی موتور و نهایتا کشف دانش از این الگوها و ارائه قواعد استنتاج شده از این الگوها، به منظور کمک به تحلیل گران و کارشناسان در مورد آنالیز روغن می باشد.

همانطور که بیان شد داده کاوی و یا کشف دانش دارای مراحلی است.

---

[۱۰] Atomic Emission Spectroscopy

در نمودارهای زیر مدل داده کاوی انجام شده در این تحقیق به صورت مختصر آمده است.

نمودار۲ : مراحل داده‌کاوی در این تحقیق

۴- تحلیل ها

در تحلیل روغن استفاده شده در تجهیزات مختلف خط مشی یکسانی به کار گرفته می‌شود، ولی باید توجه داشت که معیارهای سنجش و تحلیل نتایج وابسته به پارامترهای متعددی از جمله نوع روغن، نوع ماشین، جنس قطعات و ... می‌باشد. بنابراین پیروی از یک خط مشی واحد و نیز تداوم در این امر می‌تواند ضمن مؤثر بودن در تعمیم تحلیل روغن برای تجهیزات جدید به سادگی قابل اجرا باشد.[۲۲]

۴-۱- مبانی تحلیل روغن در موتورهای دیزل

در صورتیکه موتورها عملیاتی هستند، هر روز و در غیر این صورت هر هفته یکبار باید روغن نمونه‌گیری و علاوه بر بازرسی چشمی ویسکوزیته، آلودگی آب و عدد بازی آن اندازه‌گیری شود. در صورت وجود مواد نامحلول و یا آب در بازرسی چشمی و یا هر یک از حالات زیر روغن برای انجام آزمایشات دقیقتر باید به آزمایشگاه فرستاده شود. [۱۹]

بیش از ده درصد تغییرات ویسکوزیته نسبت به روغن نو، TBN کمتر از ۸، آلودگی آب بیش از ۰/۲ درصد به عنوان معیار در نظر گرفته شده است.

انجام آزمایشات تکمیلی

در صورتیکه نتایج آزمایشات روی موتور نامطلوب بود آزمایشات تکمیلی زیر باید در آزمایشگاه انجام شود.

- ویسکوزیته در ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد
- TBN
- آلودگی آب
- مواد نامحلول
- آلودگی سوخت

در صورتیکه هر یک از الزامات زیر برآورده نشود باید روغن موتور تعویض و عیب یابی شود:

تغییرات ویسکوزیته نسبت به روغن نو: کمتر از ده درصد، عدد بازی (TBN): بزرگتر از ۸، آلودگی با آب: کمتر از ۰/۲ درصد، مواد نامحلول: کمتر از۱ درصد، آلودگی سوخت: کمتر از ۳ درصد.

۴-۲- اعتبار مدل ها

در این تحقیق از روشهای مختلف استفاده شده است که نتایج این تحلیل ها یکدیگر را تایید می نمایند. این موضوع اعتبار نتایج به دست آمده رانشان می دهد. همچنین این امر باعث خواهد شد که نتایج روشهای مختلف بررسی و مورد استفاده قرار گیرد. بجای استفاده از یک الگوریتم بایستی محیطی را فراهم ساخت تا بتوان از الگوریتمها یا متغیرهای مختلف استفاده کرد تا فرد بررسی کننده توان استفاده از مناسبترین الگوریتم را داشته باشد.

علاوه بر این برای ارزیابی اعتبار مدلهایی که از شبکه عصبی و درخت تصمیم گیری به دست می آیند، مجموعه داده ها به دو مجموعه یادگیری و آزمون تقسیم شد. برای این منظور یک فیلد به پایگاه داده اضافه شد و در آن اعداد تصادفی بین صفر و یک قرار داده شد. سپس از روی این پایگاه داده مجموعه یادگیری شامل رکوردهای دارای عدد تصادفی بیش از ۲۵.۰ که تقریبا ۷۵٪ داده ها را شامل می شود و مجموعه آزمون شامل بقیه رکوردها که تقریبا ۲۵٪ داده ها را شامل می شود، ساخته شد. برای یادگیری و مدل سازی از مجموعه یادگیری و برای آزمون اعتبار مدلهای به دست آمده از مجموعه آزمون استفاده شده است.

۴-۳- مصور سازی

با مصور سازی بهترمی توان الگوها را کشف و تفسیر کرد. الگوهایی که در یک متن یا جدول هستند به سختی می توانند تفسیر شوند، در صورتی که با نمودارها و چارتها خیلی راحت تر می توان این الگوها را شناسایی و تفسیر کرد[۹]. یک شکل می تواند در عرض چند ثانیه اطلاعات زیادی را به ما بدهد و می توان به سرعت اطلاعات مهمی را از آن استخراج کرد.

در اینجا فرآیند تعیین شاخصهای خط مبنا را با ذکر چند مثال به طور کامل تشریح خواهد شد :

بطور مثال با توجه به سطر دوم جدول ۱، میانگین مقادیر آلومینیوم در وضعیت عادی ۴,۶□.□.□ است و انحراف معیار آن حدود ۱,۸ می باشد. اکنون می توان بازه ۴,۶□۱,۸ را ایجاد کرد که مقادیر آن (۲,۸ P.P.M,6.4 P.P.M) می باشند.

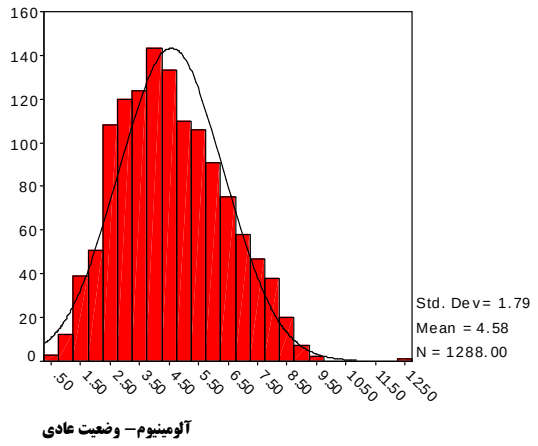
بعد از آن نظر تحلیل گر آزمایشگاه و کارشناسان مربوط را در مورد حدود مقادیر فرسایشی آلومینیوم در وضعیت عادی از نمودار۳ استخراج می شود.

با توجه به این نمودار در خواهیم یافت که حد پایین مقدار فرسایش □.□.□۰ و در مورد حد بالا نیز مشخص است که با توجه به اینکه مقادیر □.□.□۷,۵ تا □.□.□۸ حدود ۴۰ نمونه را شامل می شوند این مقادیر جزء حد بالای این وضعیت قرار می گیرند و مقادیر بالاتر از P.P.M ۸ شامل حد پایین وضعیت مرزی می شوند. به این ترتیب شاخص های حد بالا، میانه و حد پایین برای عنصر فرسایشی آلومینیوم در وضعیت عادی به ترتیب (□.□.□۸ , □.□.□۴,۶ , □.□.□۰) خواهد بود.

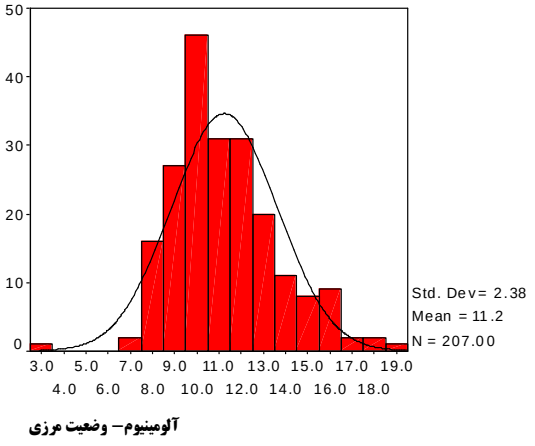
Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
آلومینیوم- کل وضعیت ها	1584	.70	183.00	6.7166	7.47703
آلومینیوم- وضعیت عادي	1288	.70	12.50	4.5808	1.79019
آلومینیوم- وضعیت مرزي	207	3.30	18.90	11.2353	2.37941
آلومینیوم- وضعیت مرزي غ غ ق	70	10.30	40.30	20.9571	5.55806
آلومینیوم- وضعیت بحراني	19	28.400	183.000	49.80526	34.563492
Valid N (listwise)	19				

جدول ۱ : جدول فراوانی و آمار توصیفی برای وضعیتهای مختلف عنصر آلومینیوم



نمودار ۳: نمودار توزیع فراوانی وضعیت عادی آلومینیوم



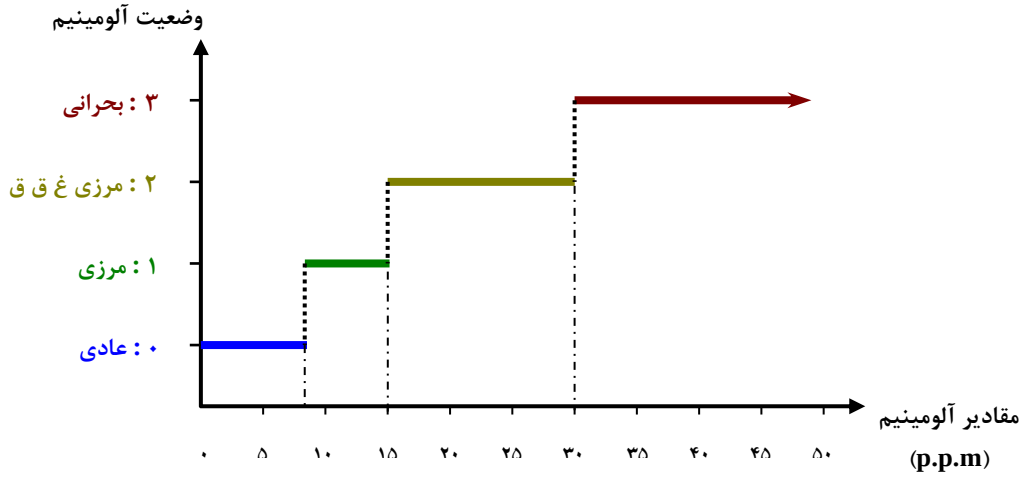
نمودار ۴: نمودار توزیع فراوانی وضعیت مرزی آلومینیوم

این روش این امکان را ایجاد می کند تا علاوه بر اینکه بازه های سطح کنترل مقادیر فرسایشی، در سه سطح حد بالا، میانه و حد پایین، مشخص می شود، بتوان از تکنیک های آماری و مصور سازی بخصوص نمودار توزیع نرمال فراوانی ها به خوبی بهره مند شده و با اطمینان بسیار بالایی به تعیین شاخصهای خط مبنای رفتار فرسایشی عناصر پرداخت.

۱. شاخصهای خط مبنا برای عنصر فرسایشی آلومینیوم در وضعیت های مختلف با توجه به جدول فراوانی کلی و نمودارهای فراوانی هر کدام از وضعیت ها تعیین و به صورت جدول زیر نمایش داده می شود:

سطح کنترل	تعداد نمونه = ۱۵۸۴	جدول ۲ : مقادیر شاخصهای خط مبنا، در وضعیتهای مختلف عنصر فرسایشی آلومینیوم			
		آلومینیم - Al			
		عادی (۰)	مرزی (۱)	مرزی غ ق ق (۲)	بحرانی (۳)
حد بالا	P.P.M	8	15	30	90
حد میانه		4.6	11	21	50
حد پایین		0	8.5	16	32

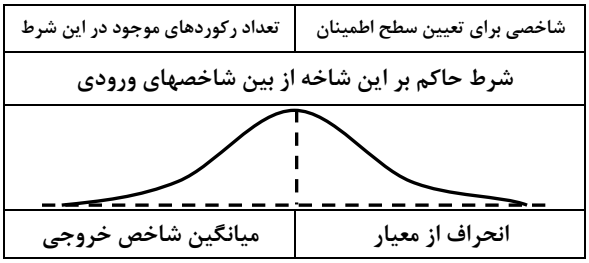
۲. با توجه به جدول (۲ : شاخص خط مبنا) ، می توان نمودار خط مبنا را برای وضعیت های گوناگون مقادیر آلومینیوم، به صورت زیر رسم کرد:



نمودار۵ : نمودار خط مبنای رفتار فرسایشی عنصرآلومینیوم

۴-۴- درخت تصمیم گیری

هر کدام از شاخه‌ها از چند گره یا Node تشکیل شده‌اند که به صورت یک مربع نشان داده می‌شود. هر کدام از این مربع‌ها (گره‌ها) ۵ نوع اطلاعات مهم را دربردارند. در شکل زیر جای هر کدام از این اطلاعات، مفهوم آن نوشته شده است.



شکل ۴: معرفی بخشهای مختلف یک گره در درخت تصمیم گیری

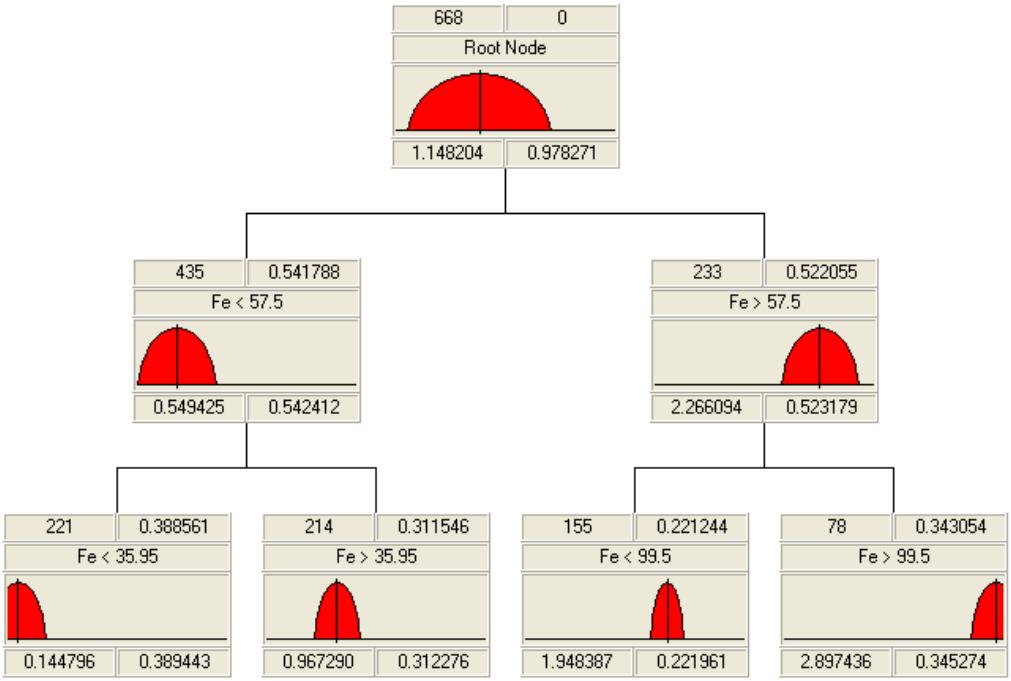
در هر درخت یک یا چند شاخص ورودی و یک شاخص خروجی معرفی می شود. دو بخش بالای مربع (دو ردیف اولی) توضیح دهنده اطلاعات ورودی و نوع شرط و تعداد رکوردهای موجود در این گره است و دو ردیف دومی، نشان دهنده اطلاعات شاخص خروجی هستند که میانگین، انحراف معیار و نمودار حاصل از آن دو را نمایش می‌دهد.

انگیزه اول در راستای دستیابی به خط مبنای فرسایشی هر عنصر یا مولفه روغن می‌باشد، که در اینجا با طبقه‌بندی مقادیر هر عنصر یا مولفه فرسایشی در صدد کشف روابط حاکم بر این مقادیر با شاخصهای وضعیت آن عنصر هستیم و از این رهگذر به استخراج قواعد استنتاجی نیز پرداخته می شود، بهتر است به مثال زیر توجه فرمایید:

همان طور که « شاخصهای خط مبنا»، برای عنصر آهن در جدول ۳ نمایش داده شده است، اکنون می‌توان درستی آن شاخصها را با نتیجه حاصل از درخت تصمیم‌گیری مقایسه کرد. این روش دیگری برای سنجش اعتبار نتایج حاصل از روشهای تعیین شاخصهای خط مبنا است.

سطح کنترل	تعداد نمونه = ۱۵۸۴	جدول ۳ : مقادیر شاخصهای خط مبنا، در وضعیتهای مختلف عنصر فرسایشی آهن			
		آهن - Fe			
		عادی (۰)	مرزی (۱)	مرزی غ ق ق (۲)	بحرانی (۳)
حد بالا	P.P.M	35	55	100	400
حد میانه		23	43	76	162
حد پایین		0	35	55	100

بطور مثال، در شکل ۵ درخت تصمیم‌گیری حاصل از مقادیر فرسایشی عنصر آهن به عنوان ورودی و وضعیت این عنصر به عنوان خروجی معرفی شده است.

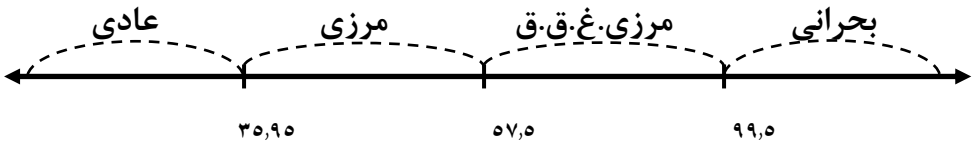


شکل۵ : درخت تصمیم گیری در مورد وضعیت آهن با توجه به مقادیر آهن

در این درخت ۳ عدد به عنوان شاخص مبنایی شناسایی شده است که این ۳ عدد رکوردها را به چهار گروه تقسیم می‌کند. این سه شاخص عبارتنداز:

(۹۹,۵p.p.m و ۵۷,۵p.p.m و ۳۵,۹۵p.p.m)

که به صورت خط زیر ۴ بازه عبارتند از:



این ۴بازه طبق کد گذاری استاندارد این تحقیق (بحرانی، مرزی غ ق ق، مرزی و عادی) نامگذاری می شوند. از طرف دیگر، دقیقا شاخصهای خط مبنا برای عنصر آهن که به عنوان خروجی معرفی شده است عبارتنداز (۲,۸۹۷، ۱,۹۴۸، ۰,۹۶۷، ۰,۱۴۴) که با تقریب آنها به نزدیک‌ترین عدد صحیح به اعداد (۳، ۲، ۱، ۰) خواهیم رسید، که این در اصل همان کدگذاری، در خصوص چهار وضعیت (بحرانی، مرزی غ ق ق، مرزی و عادی) می‌باشد.

شاخه اول با شرط (Fe<35.95 p.p.m) معرفی شده و ۲۲۱ نمونه روغن از مجموع ۶۶۸ رکورد حاضر در این بانک را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین میانگین شاخص خروجی (وضعیت) آن مقدار ۰,۱۴۴ می‌باشد. این بدان معنی است که وضعیت عنصر آهن در این شاخه عادی است و با کد ۰ نشان داده می‌شود. این توضیح را می‌توان به صورت قاعده (If → Then) زیر بیان کرد:

۱- □□ □□ □ ۵۷.۵ □□□ □□ □ ۳۵.۹۵ □□□□
stFe; Support = 221.0000; Evidence = 0.3886; Number of errors = 0.3894;
Mean value = 0.1448; Std. deviation = 0.3894

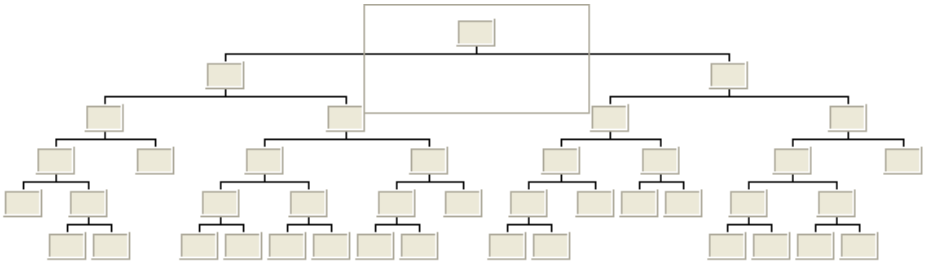
شاخه چهارم را نیز می‌توان به صورت قاعده (If → Then) زیر بیان کرد:

4- IF Fe > 57.5 AND Fe > 99.5 THEN
stFe; Support = 78.0000; Evidence = 0.3431; Number of errors = 0.3453;
Mean value = 2.8974; Std. deviation = 0.3453

۵-۴- نتایج حاصل از درخت تصمیم‌گیری برای تعیین وضعیت موتور

در این تحقیق، درخت تصمیم‌گیری با انگیزه کشف و طبقه‌بندی روابط حاکم بر مقادیر فرسایشی مجموع عناصر و مولفه های تحلیل روغن با شاخص وضعیت نهایی موتور می‌باشد که با هدف کشف ساختارهای حاکم پیش‌بینی رفتار فرسایشی موتور به استخراج قواعد استنتاجی می‌پردازد. در این جا ۷ عنصر و مولفه آهن، سرب، مس، آلومینیوم، سیلیسیم، PQ و ویسکوزیته به عنوان شاخص های ورودی و وضعیت موتور (STEQ) به عنوان شاخص خروجی معرفی شده‌اند.

نمای کلی درخت تصمیم‌گیری در این خصوص مطابق شکل زیر است:



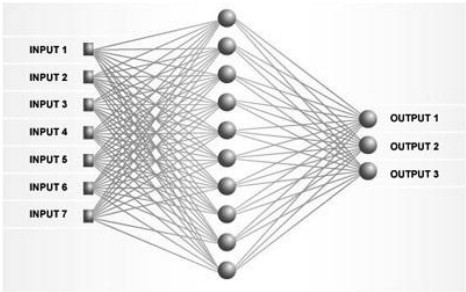
شکل ۶ : نمای کلی درخت تصمیم گیری در مورد وضعیت موتور

بطور مثال یکی از قواعد استخراج شده به شرح زیر است:

IF VIS40 >104.5 AND Si >19.75 AND PQ <92.5 AND Pb < 39 AND Fe >115
THEN stEQ; Support = 9.0000; Evidence = 0.4714; Number of errors = 0.5000;
Mean value = 2.6667; Std. deviation = 0.5000

۴-۶- شبکه های عصبی

از انواع شبکه های عصبی در داده کاوی استفاده می شود. از شبکه های عصبی کوهونن و آرت برای طبقه بندی و خوشه بندی و از پرسپترون عموما برای طبقه بندی و تشخیص الگو استفاده می شود. از پرسپترون چند لایه ای می توان برای پیش بینی، مدلسازی فرآیند، کنترل عملیات و پردازش تصویر استفاده کرد، همچنین پرسپترون چند لایه ای می تواند روابط غیرخطی را نیز تخمین بزند[۹]. در نتیجه در این تحقیق، از شبکه عصبی پرسپترون برای تخمین روابط غیر خطی بین مقادیر عناصر فرسایشی و وضعیت موتور و پیش بینی وضعیت تجهیز استفاده شده است.



شکل۷ : نمای کلی شبکه عصبی چند لایه

پس از بررسی نمونه هایی از ساختارهای مختلف شبکه عصبی پرسپترون، شبکه عصبی با یک لایه ورودی، دو لایه پنهان و یک لایه خروجی که به ترتیب تابع تبدیل خطی، سیگموید، خطی و خطی بر آن اعمال شده بود جواب بهتر و سریعتری داد. از آنجاییکه در عمل با افزایش تعداد نورونهای هر یک از لایه های پنهان تغییر موثری در کاهش خطا مشاهده نشد، لذا برای افزایش سرعت از شبکه ای با ۷، ۷، ۱۵، ۱ نورون استفاده شد. شبکه عصبی پرسپترون با روش یادگیری بازگشت به عقب تشکیل داده شد. پس از حدود یک ملیون مرحله ریشه میانگین مربعات خطای یادگیری ۰,۲ و ریشه میانگین مربعات خطای آزمون کمتراز ۰,۲ بود.

در شبکه عصبی یک مدل کلی تولید می شود که روابط ناشناخته و عموما غیر خطی پنهان در بین داده های ورودی را بر اساس بهبود وزنها در هر تکرار می یابد به طوری که بهترین نتیجه خروجی (کارایی) حاصل شود. در هر تکرار بهبود باید براساس یک مقیاس باشد. این مقیاس عموما کم کردن حداکثر خطا و یا کم کردن ریشه میانگین مربعات خطا و یا ترکیبی از این دو می باشد. در شبکه عصبی استفاده شده از مقیاس بهبود ۰,۹۰ * RMS Error + 0.10 * Max Error استفاده شده است.

۴-۷- استخراج قواعد

قواعد موجود بین وضعیت موئلفه های روغن و وضعیت موتور استخراج شدند. این قواعد همگی مفید نیستند و بعضا بدیهی می باشند، لذا از بین آنها قواعدی که در راستای اهداف، از زمینه های کاربردی قویتری برخوردار هستند، انتخاب می شوند.

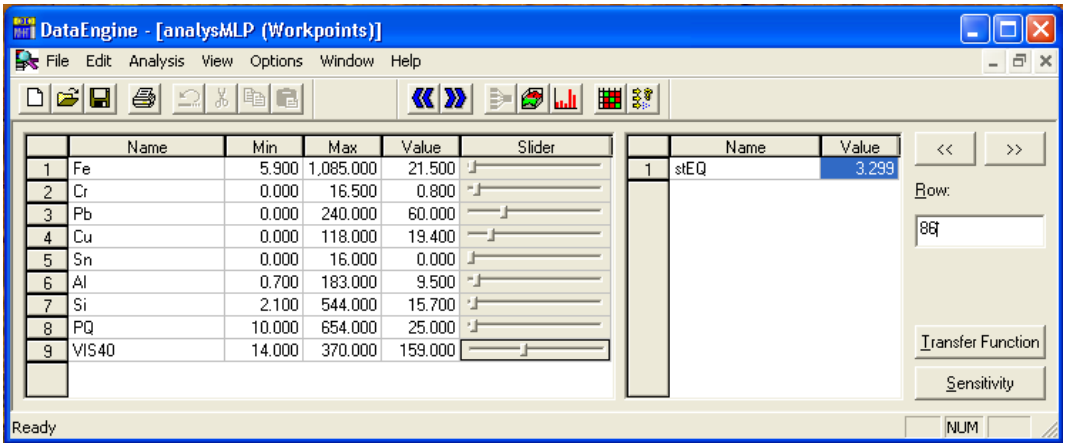
۴-۸- ایجاد مدل تحلیل حساسیت

بعد از این که اطلاعات مورد نظر توسط تکنیکهای داده کاوی به دست آمد، اطلاعات باید به دانش مفید تبدیل شود. تکنیک هایی مانند شبکه های عصبی و در ختان طبقه بندی مستقیما مدلهای برآورد یا تخمین را از داده ها تولید می کنند. این مدلها دانش را در یک فرم قابل استفاده برای سازمان کد می کنند. مدلهای بدست آمده می توانند به صورتهای: طبقه بندی

اگر... آنگاه...، درخت تصمیم گیری، فرمولهای ریاضی، یا شبکه های عصبی ارائه شوند.[۱۰] اما تکنیک هایی مانند خوشه بندی فقط الگوها را از داده ها استخراج می کنند. این الگوها باید توسط خبرگان آزمایش شوند و به دانش مفید تبدیل شوند[۱۱].

پس از یادگیری و آزمون مدلهای به دست آمده از درخت تصمیم و شبکه عصبی، شعبه هایی که کارایی آنها خطای زیادی با کارایی تخمین زده شده توسط مدل داشت، به عنوان نقاط خارج از الگو، به منظور کشف علت خطا، بررسی شدند.

در شکل ۸، DSS ایجاد شده برای پشتیبانی تصمیم و پیش بینی وضعیت موتور با ورود مقادیر عناصر فرسایشی نمایش داده شده است.



شکل۸ : نمونه ای از سیستم پشتیبان تصمیم

همچنین برای پشتیبانی تصمیم DSS هایی با استفاده از شبکه عصبی آموزش داده شده فوق و درخت تصمیم گیری ذکر شده، ایجاد گردید. کاربر می تواند با تغییر مقادیر عناصر فرسایشی، وضعیت موتور را مشاهده و بررسی نماید. با بررسی DSS تشکیل شده از مدل شبکه عصبی، برخی از قواعد غیر خطی موجود در داده ها کشف شد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس اطلاعات موجود چنین پروژه تحقیقاتی در چهارچوب اهداف تعریف شده برای دستگاههای مورد نظر برای اولین بار به اجرا درآمده است. همچنین این تحقیق مرزهای آگاهی و اشرافیت تحلیل گران و کاربران را به رفتارهای فرسایشی و عوامل مؤثر در وضعیت موتور، توسعه و بهبود خواهد داد. نتایج این کار همچنین میتواند سنگ بنا و معیاری برای کارهای تحقیقاتی در آینده ارزشمند باشد. لازم به ذکر است که بخشی از اطلاعات این تحقیق در قالب پیوستها در انتهای این نوشتار ارائه شده است.

برخی از دستاوردها و نتایج کلی این کار تحقیقی را میتوان به شرح ذیل خلاصه نمود :

۱. با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق، شاخصهای فرسایشی موتور برآورد و مورد بررسی قرار گرفته است و سپس پیشنهادات در قالب جداول شاخصهای فرسایشی برای تک تک عناصر و مؤلفه های آنالیز روغن، ارائه شده است، همچنین نمودار خط مبنای رفتار فرسایشی با توجه به جداول فوق تهیه و تدوین گردیده است.

۲. هر چند بدست آوردن خط مبنا مستلزم اجرای پروژه های متعدد و اعمال کنترل های دقیق تری می باشد، ولی استخراج و استحصال اطلاعات مربوط به خط مبنا برای موتور کامیون مورد نظر، سنگ بنای مناسبی برای فعالیت های تحقیقاتی آینده می باشد.

۳. در این تحقیق موضوع آنالیز روغن و جایگاه ویژه خطوط مبنا در نظام مراقبت وضعیت با تعیین اهداف آن در خط مشی برنامه مؤثر تحلیل روغن به خوبی تبیین گردیده است.

۴. معیار های ارزیابی در این تحقیق به دو دسته معیارهای عملکردی و معیار های قابلیت اطمینان تقسیم شده که هر کدام به دقت در خصوص تحلیل روغن مورد بررسی قرار گرفته است. اما نکته ای که می بایست در کلیه تحلیل های مورد توجه قرار گیرد این است که شرایط روغن تحت عوامل زیادی همچون : شرایط کارکرد، بارگذاری، بهره برداری ، مشخصات عمومی دستگاه و ساختار و ... می باشد.

۵. روشهای گوناگون تعیین خطوط مبنا در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است که عبارتند از: تعیین حدود ثابت، تحلیل گروهی، تحلیل روند (روندگرایی)، روشهای ترکیبی، معیار های تعیین شده از طرف سازنده و معیار های موردی که هر کدام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند.

۶. یکی از نتایج مهم این تحقیق تدوین برنامه تحلیل روغن برای موتور ها و آزمایشات مورد نیاز برای حصول به این تحلیل است. از طرف دیگر حدود هشدار نیز برای هر کدام از این آزمایشات بطور کامل طراحی و تدوین شده است.

۷. نتایج حاصل از آمار عمومی و مصور سازی به خوبی نشان داد که از روی میانگین و انحراف معیار در وضعیت های عادی، مرزی غ.ق.ق و بحرانی میتوان بازه مشخصی را تعیین کرد. بطور مثال مقادیر p.p.m ۳۵ تا p.p.m ۵۰ را میتوان برا ی وضعیت مرزی آهن اختیار کرد. این روش در تعامل با روش نمودار توزیع فراوانی نسبی مقادیر عناصر فرسایشی، یکدیگر را تکمیل کرده تا بتوان در مجموع به حدود بالا و پایین هر شاخص فرسایشی در آنالیز روغن پی برد. این در واقع گام اصلی برای کشف خط مبنا میباشد.

۸. یکی از نتایج مهم این تحقیق تهیه نمودار خط مبنا (BL) برای هر کدام از عناصر فرسایشی و مؤلفه های مورد تحلیل روغن میباشد. این نمودار دو بعدی و دو متغییره است که متغییر مستقل آن مقادیر عناصر و مؤلفه های فرسایشی در روغن برحسب p.p.m یا cst است که در جهت محور Xها نمایش داده می شود. همچنین متغییر وابسته آن وضعیت عنصر فرسایشی به ازای مقدار آن است که با چهار حالت عادی، مرزی، مرزی غ.ق.ق و بحرانی در جهت محور Yها نمایش داده میشود.

۹. با توجه به نتیجه سیستم پشتیبان تصمیم، تحلیل گر میتواند با تغییر وضعیت یا مقادیر عناصر فرسایشی و مؤلفه های روغن، میزان تغییر در وضعیت نهایی موتور را مشاهده نماید. در نتیجه می تواند شرایط مختلف را تحلیل نموده و در هر مورد به نحو مقتضی تصمیم گیری نماید. از طرف دیگر با بررسی رکوردهایی که مقدار پیش بینی مدل از مقدار واقعی تفاوت زیاد دارد، میتوان به الگوها و نتایج مناسبی رسید که در تحلیل نقاط پرت به آن اشاره شده است.

۵-۱- پیشنهادات برای تحقیقات آتی

با توجه به نتایج کلی تحقیق و آینده نگاری انجام شده، محور های مطالعاتی پیشنهادی برای تحقیقات آتی عبارتند از:

۱. بررسی نتایج خط مبنا و شاخصهای فرسایشی برای مؤلفه های حاضر، با اجرای تحقیقی مشابه روی تعداد بیشتری در ساعت کارکرد های کاملاً منظم و برنامه ریزی شده، تا از این رهگذر روند فرسایشی موتورها نیز به دقت بررسی گردد.

۲. تعریف طرح تحقیقاتی جهت مطالعه حد عیب تا آستانه عیب نهایی قطعات حساس موتور، مانند یاتاقانها. این موضوع کمک می کند تا به دقت خط مبناهای تهیه شده از نظر عملیاتی ارزیابی گردند و عمر دقیق یک قطعه از جهت عملیاتی بودن با توجه به حدود هشدار شاخصهای فرسایشی، مورد مطالعه قرار گیرد.

۳. برای شناخت و پیش بینی وضعیت موتور، تنها آنالیز روغن در روشهای CM معرفی نشده، بلکه روشهای دیگر بخصوص آنالیز ارتعاشات نیز همانند آنالیز روغن از جایگاه ویژه ای در تشخیص عیوب و پیش بینی وضعیت موتور برخوردارند. به منظور تدوین شاخصهای آنالیز ارتعاشات و تعیین حدود هشدار و تدوین خطوط مبنای رفتار فرسایشی با توجه به آنالیز ارتعاشات یا دیگر روشهای CM نیز می توان از داده کاوی به خوبی کمک گرفت.

۴. با توجه به اینکه تعیین وضعیت موتور و شناخت شاخصها و خطوط رفتار فرسایشی آن به عوامل و پارامترهای گوناگونی وابسته است و از طرف دیگر در شرایط گوناگون حدود پایین و بالا قابل تغییر هستند، پیشنهاد می گردد در یک تحقیق ویژه به بررسی خطوط مبنای فازی پرداخته شود. زیرا در بسیاری از شرایط نمیتوان با این شاخصها به صورت

مطلق برخورد نمود. در واقعیت نیز نظر تحلیل گران به صورت فازی ثبت میگردد و این میتواند یک گام مهم در هوشمند سازی تشخیص و پیش بینی عیوب باشد.

Application of Data Mining for Determining Baselines of Wear Behavior in Engines, Using Oil Analysis Results

Saeed Ramezani, Professor A. Memariani, Dr. A. R. Masoudi, Dr. A. Norang

Industrial Engineering Department, Imam Hossein University

Ramezani.sr@gmail.com

Abstract

Although nowadays machinery oil analysis Condition Monitoring (CM) techniques are known as an effective method in abnormal wear in equipments and mechanical systems fault diagnosis; issues like wear behavior, technical features, and previous records of oil analysis results are essential and determinant in the process of interpreting the results of oil analysis in implementing CM programs.

In this research, it is intended to justify the importance of historic data on oil analysis for fault detection. With the access to decent information sources, the wear behaviors of diesel engines are studied. Also, the relation between the final status of engine and selected features in oil analysis is analyzed. The dissertation and analysis of determining effective features in condition monitoring of equipments and their contribution, is the issue that has been studied through a Data Mining model. Selected indicators in oil analysis are Density, Silesia, PQ, and the amount of wearing metals i.e. Ferrum, Aluminum, Lead, Copper, and Tin. As the case study, data for the truck BENZ2628 are analyzed by Artificial Neural Network, Decision Tree, Data Visualization and the results are presented.

The future study of this project will yield to an intelligent model for fault diagnosis and prognosis in aforementioned.

Key Words:

Maintenance, Condition Monitoring, Oil Analysis, Base Lines, Data Mining, Wear Behavior, Artificial Neural Network, Decision Tree, Classification, Clustering, Induction Rules, Data Visualization, Decision Support System

مراجع

۱- کتب و دانش خبرگان و منابع موجود در اداره نت-س.م.سپاه

۲- منابع و دانش تحلیل گران و منابع موجود در آزمایشگاه شرکت البرز تدبیرکاران

[3] Daniel T. Larose,Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining , 2004

[4] Fayyad, U. and G. Piatetsky-Shapiro and P. Smyth, "From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases", American Association for Artificial Intelligence, (1996).

[5] Hair، Joseph F., Multivariate Data Analysis, 2005, Prentice Hall.

[6] Han, J. and Kamber, M., “Data Mining Concepts and Techniques”, Second Edition, Morgan Kaufmann Publishers, (2005).

[7] SAS Institute Inc., www.sas.com, (2006).

[8] Brodley, C.E., Lane, T., & Stough, T.M., "Knowledge discovery and data mining", American Scientist, Vol. ۸۷, (۲۰۰۳).

[9] Efrem G., "Decision Support and Data Warehouse Systems", McGraw-Hill Higher Education, (2002).

[10] Educational data mining: Asurvey from 1995 to 2005, C.Romero, S.Ventura, Expert System With application (2006)

[11] DataEngine Manual, MIT GmbH, (2006).

[12] Pang-Ning Tan, Steinbach, Introduction to Data Mining, 2005 .

[13] An Introduction to Classification and Regression Tree (CART) Analysis, R.J.Lewis, Department of Emergency Medicine, Torrance, California 90509-(20۰۷)

[14] Complete guide to preventive and predictive maintenance, Joel Levitt, ISBN: 0831131543

[15] Maintenance engineering handbook, McGrew-Hill, ISBN: 0-07-0۲۸۸۱۹-۴

[16] Plant engineer's handbook, R. Keith Mobley, ISBN: 0750673251, 2001

[17] Machinery planned maintenance and condition monitoring, Lloyd's Register publication, May 2004

[18] ISO 17359, Condition monitoring and diagnostics of machines – General guidelines

[19] Machinery oil analysis – methods, automation and benefits, Larry A.Toms - Publisher: Coastal skills Training (1998).

[20] Analytical approach to wear rate determination for internal combustion engine condition monitoring based on oil analysis, V. Macian, B. Tormos, P. Olmeda, L. Montoro, Tribology International 36 (2003) 771-7۷۶

[21] Predicting materials properties and behavior using classification and regression trees, Yong.Li, Materials Science and Engineering A 433 (2006) 261-268

[22] An integrated approach to fault diagnosis of machinery using wear debris and vibration analysis, Z.Peng, N.Kessissoglou, Wear 225 (2003) 1221-1232

[23] Low-cost condition monitoring sensor for used oil analysis, S.Raadnui, S.Kleesuwan, Wear 259 (2005) 1502-۱۵۰۶

[24] Oil analysis basics, Drew Troyer and Jim Fitch, Noria corporation, 1999, ISBN: 0-9۶۷۵۹۶۴-۱-۶

[25] Basics of oil analysis, Analysts Inc. publication

[26] Military Sealift Command's oil analysis program ,MSCHQ N712E, 202-6۸۵-۵۷۳۰

[27] A new approach to assessing wear problems using oil analysis, Darrin Clark, Practicing oil analysis magazine, September 2004

[28] Use statistical analysis to create wear debris alarm limits, Jonathan Sowers, Practicing oil analysis magazine, November 2001

[29] Advanced strategies for selecting oil analysis alarms and limits, Mark Barnes, Practicing oil analysis conference, 2000

[30] Elemental analysis, Mark Barnes, Practicing oil analysis magazine, January 2002