

کاربرد داده کاوی در تعیین خطوط مبنای رفتار فرسایشی موتورها

سعید رضانی^{۱*}، علیرضا مسعودی^۲ عزیزالله معماربانی^۳

دانشگاه بوعلی همدان

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

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱/۲۴

چکیده

هر چند امروزه به کارگیری فناوری مراقبت وضعیت از طریق آنالیز روغن، به عنوان روش مؤثری در تشخیص فرسایش‌های غیرعادی یا عیوب تجهیزات و سیستم‌های مکانیکی شناخته می‌شود، باید توجه داشت که در فرآیند تحلیل و تفسیر نتایج آنالیز روغن، مسائلی نظیر شناخت رفتارهای فرسایشی، ویژگی‌های 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 مؤلفه‌های مورد تحلیل در آنالیز روغن، پرداخته می‌شود. تحلیل و بررسی این موضوع که مؤلفه‌های مؤثر در تحلیل وضعیت موتور، کدام و میزان تأثیر آنها چقدر است، موضوعی است که در قالب یک مدل داده کاوی مورد بررسی قرار می‌گیرد. شاخصهای مورد مطالعه در آنالیز روغن عبارتند از: ویسکوزیته، سیلیسیم، PQ، فلزات فرسایشی نظیر آهن، آلومینوم، سرب، مس، قلع، کروم. داده کاوی فرآیند کشف الگوها و روابط پنهان موجود بین داده‌هاست. داده‌های موتور کامیون بنز ۲۶۲۸ با توجه به مدل‌های شبکه عصبی، درخت‌های تصمیم‌گیری و مصورسازی و آمار توصیفی به عنوان نمونه مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج آن بیان شده است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد الگوهای خاصی متناسب با مؤلفه‌های روغن وجود دارد و با توجه به حجم داده‌ها و ابزارها و شاخص‌های مرتبط، قواعد مناسب را می‌توان استخراج نمود. در نهایت سعی نگارنده بر آن است که مدلی هوشمند جهت تشخیص و پیش‌بینی عیوب در موتورهای مورد مطالعه ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات^۴، مراقبت وضعیت^۵، آنالیز روغن^۶، خطوط مبنای^۷، داده کاوی^۸، رفتار فرسایشی^۹، شبکه عصبی مصنوعی^{۱۰}، درخت تصمیم‌گیری^{۱۱}، قواعد استنتاجی^{۱۲}، مصورسازی^{۱۳}، سیستم پشتیبان تصمیم^{۱۴}.

۱- مقدمه

در این مقاله سعی شده با در اختیار داشتن منابع اطلاعات مناسب، به بررسی رفتارهای فرسایشی موتورهای دیزل می‌پردازیم و در نهایت سعی نگارنده بر آن است، مدلی هوشمند برای پیش‌بینی و تشخیص عیوب در موتورهای مورد مطالعه ارائه دهد. همچنین سعی شده است وضعیت مؤلفه‌های مؤثر در آنالیز روغن با وضعیت نهایی موتور، جهت کشف الگوهای مؤثر بر روند فرسایش موتور بررسی شده، و عوامل تأثیرگذار بر وضعیت موتور شناسایی شوند و قواعد فرسایش، استخراج گردد. به این منظور بانک اطلاعاتی مناسبی از وضعیت مؤلفه‌های موجود و وضعیت موتور، گردآوری شده است، لذا برای کشف الگوهای پنهان و غیر بدیهی موجود، از داده کاوی استفاده می‌شود. بعد از کشف الگوها و رابطه‌ها، از بین آنها الگوهای جالب،

مراقبت از روغن یکی از مهم‌ترین دستاوردها در نگهداری پیش‌گیرانه تجهیزات است. این روش ابزاری است که برای ارزیابی وضعیت دستگاه، شناسایی ریسک‌های خرابی، امکان پیش‌بینی عیوب برای جلوگیری از عواقب هزینه بر و افزایش طول عمر دستگاه مورد استفاده می‌باشد.

*۱- پژوهشگر مرکز مطالعات و پژوهشهای لجستیکی، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیکی: Ramezani.sr@gmail.com. نشانی: تهران: شهرک قدس- خیابان هرمان- خیابان پیروزان جنوبی- نبش خیابان پنجم- مرکز مطالعات و پژوهشهای لجستیکی
۲- دکترای مهندسی مکانیک، استاد مشاور و مبتکر طرح مراقبت وضعیت از طریق آنالیز روغن در ایران، پست الکترونیکی: atk@alborztadbir.com
۳- استاد دانشگاه بوعلی همدان، پست الکترونیکی: a_memaryani@yahoo.com

- 4 -Maintenance
- 5 -Condition Monitoring
- 6 -Oil Analysis
- 7 -Base Lines
- 8 -Data Mining
- 9 -Wear Behavior

- 10 -Artificial Neural Network
- 11 -Decision Tree
- 12 -Induction Rules
- 13 -Data Visualization
- 14 -Decision Support System

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 دارد.

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 این روش طبقه‌بندی و پیش‌گویی، خوشه‌یابی، مصورسازی داده‌ها، شبکه‌های عصبی، قواعد جمعی، درخت تصمیم‌گیری و... می‌باشند. با استفاده از این روش‌ها دانش پنهان در داده‌ها کشف می‌شود [۳]. تکنیک‌های داده‌کاوی به رابطه همزمان بین دو یا چند پدیده مربوط می‌شوند [۴].

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

- نه تنها بر فاز تحلیل، بلکه بر طراحی، مطالعه و جمع‌آوری داده نیز تأکید و تأثیر دارد.
- داده کاوی طی سئوالات مشخص و پیچیده، پاسخ‌های دقیق و واضح را از داده‌های جمع‌آوری شده استخراج می‌کند.
- مزیت اصلی و تفاوت آنها با سایر تکنیک‌ها در این است که بجای ارائه راه حل کلی، پاسخ‌های دقیق متناسب با هدف را در اختیار محقق قرار می‌دهد.
- امکان سنجش اثر متغیرهای مستقل را بر روی متغیرهای وابسته در یک مدل تحلیل حساسیت، فراهم می‌کند.
- به مدیران کمک می‌کنند که تأثیر سناریوهای آتی را مورد ارزیابی قرار دهند و با مدل‌سازی گزینه‌های متعدد و کمک به تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت به انتخاب مسیر صحیح بپردازند.
- حجم بسیار وسیع داده‌ها را به گونه‌ای مؤثر خلاصه می‌کنند و از افزونگی اطلاعات می‌کاهند. این آنالیزها می‌توانند اطلاعات را به مهم‌ترین فاکتورها و متغیرها خلاصه نمایند و یا با خوشه‌بندی، اطلاعات را به بخش‌های مختلف تقسیم‌بندی نمایند.
- این قابلیت‌ها به‌عنوان یکی از ملزومات آنالیز محیط‌های آشفته که پیچیدگی و تعدد عوامل، پیش‌بینی آن را عملاً غیرممکن می‌سازد تبدیل گشته است.
- محققینی که تنها روابط دو به دو را در نظر می‌گیرند و از داده کاوی استفاده نمی‌کنند، ابزار قدرتمندی را از دست

مفید و غیر بدیهی شناسایی می‌شود. سرانجام می‌توان با مراجعه به خبرگان و متخصصان آنالیز روغن، علت این رابطه‌ها و الگوها 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 مؤلفه‌های روغن و عناصر فرسایشی به همراه سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم مبتنی بر مدل‌های شبکه عصبی و درخت تصمیم برای پیش‌بینی وضعیت موتور در حالات مختلف ارائه شده است.

۱- طرح مسئله

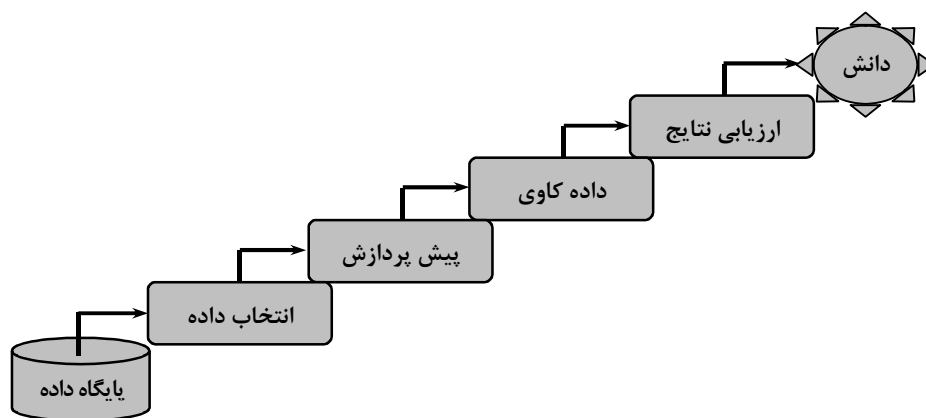
برای ارزیابی اینکه مقادیر به‌دست آمده در تحلیل روغن، شرایط مناسبی را نشان می‌دهند و یا بر عکس نشان دهنده شرایط غیرعادی در ماشین هستند، لازم است معیارهایی برای دسته‌بندی این مقادیر، به مقادیر عادی و یا مشکوک وجود داشته باشد. تشخیص این معیارها و روش‌های ارزیابی نتایج آزمایش‌ها همواره یکی از چالش‌های اصلی در برنامه‌های تحلیل روغن بوده است. در این راستا سازندگان تجهیزات شرکت‌های تولید کننده روغن و آزمایشگاه‌های تحلیل روغن معیارها و روش‌هایی را برای ارزیابی وضعیت روغن ارائه می‌دهند. هر یک از این معیارها مبتنی بر دیدگاه‌هایی است که آگاهی از آنها در زمان استفاده ضروری است. در این مقاله روش‌های مختلف تحلیل و ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته است و همچنین با تلفیق و تطبیق روش‌های مختلف سعی به دستیابی خط مبنای تحلیل روغن شده است.

۲- مرور ادبیات

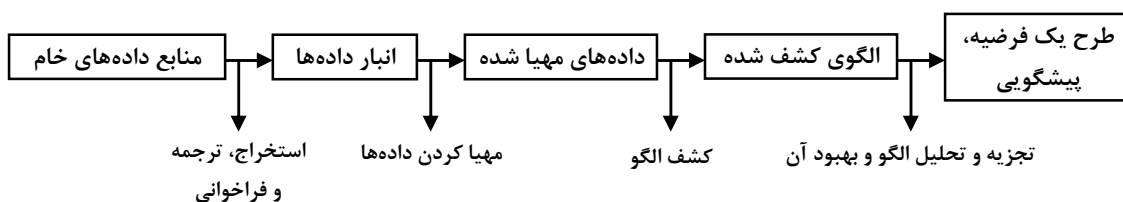
۲-۱- داده کاوی

در دنیای توسعه یافته امروزه، دانش داده کاوی به‌طور گسترده‌ای در علوم مختلف در جهت رفع مشکلات و معضلات مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. تاکنون تعاریف متعددی از داده کاوی ارائه شده است، از جمله آنکه داده کاوی مجموعه‌ای از تکنیک‌هایی است که متغیرهای چندگانه یک پدیده تحت بررسی را به‌طور همزمان تحلیل می‌نماید [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



شکل (۱): فرایند تبدیل داده به دانش



شکل (۲): فرایند داده کاوی

دانش در پایگاه داده^{۱۱} قلمداد می‌کنند. درحالی‌که بعضی نیز داده‌کاوی را یکی از مراحل فرآیند کشف دانش در پایگاه داده تعریف می‌کنند. فرآیند کشف دانش در مراحل به‌صورت تکرار شونده 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 به‌صورت یک فرمت مناسب برای داده‌کاوی در می‌آیند. 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 روش‌های ارزیابی نتایج آنالیز روغن

برای ارزیابی اینکه مقادیر بدست آمده در تحلیل روغن، شرایط مناسبی را نشان می‌دهند و یا بر عکس نشان‌دهنده شرایط غیرعادی در ماشین هستند، لازم است که معیارهایی برای دسته‌بندی این مقادیر به مقادیر عادی و یا مشکوک وجود داشته باشد. تشخیص این معیارها و روش‌های ارزیابی نتایج آزمایش‌ها همواره یکی از چالش‌های اصلی در برنامه‌های تحلیل روغن بوده است. در این راستا سازندگان تجهیزات، شرکت‌های تولیدکننده روغن و آزمایشگاه‌های

می‌دهند که می‌تواند اطلاعات سودمندی را در اختیار آنان قرار دهد. در مسائل واقعی چندین متغیر به‌طور همزمان بر روی پاسخ تأثیر می‌گذارند، از این رو آنالیزهای چندمتغیره جوابهای دقیقتری را فراهم می‌کند.

در شکل (۱) فرایند کشف دانش از پایگاه داده‌ها به‌صورت شماتیک بیان گردیده است [۴].

همان‌طور که ملاحظه می‌شود یکی از گام‌های این فرایند، داده‌کاوی می‌باشد. بدیهی است که موفقیت در مرحله داده‌کاوی کاملاً متأثر از سه گام قبل می‌باشد به‌گونه‌ای که اگر هر کدام از مراحل قبلی به درستی انجام نپذیرد، نتایج حاصل از داده‌کاوی نه تنها ممکن است مفید نباشد بلکه گمراه‌کننده نیز می‌تواند باشد.

تکنیک‌های داده‌کاوی از جمله تکنیک‌های نوین علمی هستند که در توصیف، تشریح، پیش‌بینی و کنترل پدیده‌ها به کار می‌روند [۱۱].

این تکنیک‌ها به اندازه‌گیری، تشریح و پیش‌بینی درجه وابستگی میان متغیرها می‌پردازند. روش‌های داده‌کاوی نه تنها بر جنبه‌های تحلیلی مطالعات، بلکه در طراحی و ابزارهای جمع‌آوری داده برای تصمیم‌گیری و حل مسائل نیز تأثیر می‌گذارند.

می‌توان فرآیند داده‌کاوی را طی مراحل زیر به‌صورت شکل (۲) نشان داد [۱۲]:

در بسیاری موارد، داده‌کاوی را مترادف با اصطلاح "کشف

مقدار متوسط به علاوه دو برابر انحراف معیار، بحرانی محسوب می‌شوند و مقادیر بین این دو حد غیرعادی هستند [۲۸].

داشتن تعداد مناسب از نمونه‌های قابل استفاده یعنی نمونه‌هایی که در زمانی که سلامت ماشین و کارکرد مناسب آن اطمینان وجود داشته است گرفته شده‌اند شرط لازم برای انجام موفق این روش می‌باشد.

تحلیل گروهی^۶

در این روش نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مجموعه‌ای از دستگاه‌های مشابه (یک مدل) که در شرایط یکسانی کار می‌کنند مقایسه می‌شود. در این روش نیز نتایج به دست آمده تحلیل آماری شده و محدوده‌ها همانند محدوده‌های تعریف شده در تعیین حدود ثابت تعیین می‌شوند [۱۸].

روش روندگرایی^۷

در این روش تغییرات کمیت‌ها با زمان برای یک دستگاه خاص بررسی می‌شود و با ارزیابی این تغییرات وضعیت حال و آینده دستگاه تعیین می‌شود. در صورتی که شرایط و فواصل نمونه‌برداری ثابت باشد با آگاهی از شرایط کارکرد دستگاه و دنبال کردن تغییرات پارامترها می‌توان نتایج مطلوبی به دست آورد. در ارزیابی نتایج نرخ تغییرات و مقدار تغییرات باید همزمان مورد توجه قرار بگیرد. هرگونه تغییرات غیرعادی در نرخ یا مقدار تغییرات باید به‌عنوان هشدار مورد توجه قرار بگیرد. مهمترین مزیت این روش عدم وابستگی آن به شرایط عمومی و خاص دستگاه می‌باشد 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 در این روش می‌توان شرایط آتی دستگاه را پیش‌بینی کرد این روش رایج‌ترین روش مورد استفاده در برنامه تحلیل روغن می‌باشد. حتی اگر این روش تنها روش مورد استفاده نباشد همواره توصیه می‌شود در کنار سایر روش‌ها به کار گرفته شود چرا که در بسیاری از شرایط تغییرات یک کمیت مهمتر از مقدار مطلق آن می‌باشد.

در این روش معمولاً نتایج هر آزمایش در کنار نتایج سه آزمایش ماقبل تحلیل می‌شود. بدین ترتیب که روند تغییرات در نتایج آزمایش آخر و دو آزمایش ماقبل مقایسه شده و در صورت افزایش محسوس در نرخ تغییرات شرایط

تحلیل روغن معیارها و روش‌هایی را برای ارزیابی وضعیت روغن ارائه می‌دهند. هر یک از این معیارها مبتنی بر دیدگاه‌هایی است که آگاهی از آنها در زمان استفاده ضروری است. در این مقاله روش‌های مختلف تحلیل و ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته است و همچنین با تلفیق و تطبیق روش‌های 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^۱ مقداری که ۸۵ درصد از نمونه‌ها کمتر از آن هستند، سطح هشدار و مقداری که ۹۵ درصد از نمونه‌ها کمتر از آن هستند، سطح بحران تعیین می‌شود [۲۷].

توجه به این نکته بسیار ضروری است که شرایط روغن تحت تأثیر عوامل زیادی همچون شرایط کارکرد، بارگذاری و بهره‌برداری از ماشین، مشخصات عمومی دستگاه، و مشخصات خاص دستگاه مانند عمر، لقی‌ها و غیره می‌باشد و در نتیجه استفاده از این روش‌ها به‌عنوان یک راه‌حل کلی و بدون در نظر گرفتن سایر شرایط همواره نمی‌تواند 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 اندازه‌گیری فلزات فرسایشی وجود ندارد و بایستی تحلیل‌های مکمل نیز برای تشخیص درست مورد استفاده قرار گیرد [۱۴].

در این تحقیق برای بدست آوردن بهترین و صحیح‌ترین نتایج، معیارهای متفاوتی برای تحلیل نتایج مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تعیین حدود ثابت^۲

در این نگرش محدوده‌های ثابتی برای کمیت‌ها تعریف می‌شود که معمولاً شامل سه محدوده عادی^۳، غیرعادی^۴ و بحرانی^۵ می‌باشد. این کمیت می‌تواند 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 می‌شود. در این روش مقادیر کمتر از مقدار متوسط به علاوه انحراف معیار، عادی و مقادیر بیش از

1- Cumulative percent

2- Fixed limits

3 - Normal

4 - Abnormal

5 - Critical

6- Family analysis

7-Trending analysis

دستگاه نامطلوب و غیرعادی ارزیابی می‌شود. توجه به نکات چون خطای اندازه‌گیری تجهیزات اندازه‌گیری، صعودی بودن روند تغییرات در شرایط غیرعادی و درصد تغییرات بسیار مهم می‌باشد.

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

در پیاده‌سازی یک برنامه تحلیل روغن مناسب و کارآمد توصیه می‌شود هر سه روش گفته‌شده هم‌زمان به کار گرفته شوند و در صورت استفاده هم‌زمان از هر سه روش نتایج قابل اطمینان‌تری از ارزیابی‌ها بدست خواهد آمد [۲۰].

معیارهای تعیین شده از طرف سازنده

بسیاری از سازندگان معیارها و راهنمایی‌هایی برای ارزیابی وضعیت روغن ارائه می‌دهند. این معیارها عمدتاً حد مجاز آلاینده‌ها برای آسیب نزدن به دستگاه می‌باشد [۲۸]. تولیدکنندگان روغن نیز معمولاً حدهای مجازی برای مقدار آلاینده‌های موجود در روغن تعیین می‌کنند 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) براساس استاندارد ASTM D-6595 مورد آزمایش و شناسایی قرار گرفته‌اند!!!

ترکیب روش‌ها

بررسی‌ها و فعالیتهای انجام شده نشان داده است که برای پیاده‌سازی یک نظام مراقبت از وضعیت کارآمد بهتر است هر سه روش فوق هم‌زمان بکار گرفته شوند و در صورت استفاده هم‌زمان 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]:

$$(1) \quad \frac{\text{مقدار فرسایش} - \text{متوسط فرسایش نرمال}}{\text{متوسط فرسایش مدل یا نوع}}$$

در رابطه (۱) 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 هم‌زمان سه روش فوق می‌باشد. در کنار این روش‌ها همواره توصیه‌های سازنده نیز باید به‌عنوان راهنما مورد توجه قرار گیرد.

۳- مدل سازی در متدولوژی داده کاوی

۳-۱- فرآیند داده کاوی

پایگاه‌های داده، غنی از اطلاعات پنهان هستند که می‌توان از آنها در تصمیم‌گیری‌های هوشمندانه، استفاده بهینه نمود. هدف از این تحقیق، کاوش در پایگاه اطلاعات آنالیز عناصر فرسایشی و مؤلفه‌های روغن در تحلیل وضعیت موتورهای دیزلی، با استفاده از روش‌های داده‌کاوی، به‌منظور کشف الگوهای حاکم بر وضعیت نهایی موتور و نهایتاً کشف دانش از این الگوها و ارائه قواعد استنتاج شده از این الگوها، به‌منظور کمک به تحلیل‌گران و کارشناسان در مورد آنالیز روغن می‌باشد.

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

در شکل (۳) مدل داده‌کاوی انجام شده در این تحقیق به‌صورت مختصر آمده است.

۴- تحلیل‌ها

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 تصمیم تحلیل روغن برای تجهیزات جدید به سادگی قابل اجرا باشد [۲۲].

۴-۱- مبانی تحلیل روغن در موتورهای دیزل

در صورتی که 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].



شکل (۳): مراحل داده‌کاوی در این تحقیق

در صورتی که هر یک از الزامات زیر برآورده نشود باید روغن موتور تعویض و عیب‌یابی 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 از ۱ درصد، آلودگی سوخت: کمتر از ۳ درصد.

۴-۲- اعتبار مدل‌ها

در این تحقیق از روش‌های مختلف استفاده شده است که نتایج این تحلیل‌ها یکدیگر را تایید می‌نمایند. این موضوع اعتبار نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد. همچنین این امر

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

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 تصمیم‌گیری به دست می‌آیند، مجموعه داده‌ها 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 ۰.۲۵ که تقریباً ۷۵٪ داده‌ها را شامل می‌شود و مجموعه آزمون شامل بقیه رکوردها که تقریباً ۲۵٪ داده‌ها را شامل می‌شود، ساخته شد. برای یادگیری و مدل‌سازی از مجموعه یادگیری و برای آزمون اعتبار مدل‌های به دست آمده از مجموعه آزمون استفاده شده است.

۳-۴- مصورسازی

با مصورسازی بهتر می‌توان الگوها را کشف و تفسیر کرد. الگوهایی که در یک متن یا جدول هستند به سختی می‌توانند تفسیر شوند، در صورتی که با نمودارها و چارت‌ها خیلی راحت‌تر می‌توان این الگوها را شناسایی و تفسیر کرد [9]. یک شکل می‌تواند در عرض چند ثانیه اطلاعات زیادی را به ما بدهد و می‌تواند 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: به طور مثال با توجه به سطر دوم جدول (۱)، میانگین مقادیر آلومینیوم در وضعیت عادی 4.6 P.P.M است و

انحراف معیار آن حدود 1.8 می‌باشد. اکنون می‌توان بازه 4.6 ± 1.8 را ایجاد کرد که مقادیر آن (2.8 P.P.M, 6.4) می‌باشند.

بعد از آن نظر تحلیل‌گر آزمایشگاه و کارشناسان مربوط در مورد حدود مقادیر فرسایشی آلومینیوم در وضعیت عادی از شکل (۴) استخراج می‌شود.

با توجه به شکل (۴) در خواهیم یافت که حد پایین مقدار فرسایش 0 P.P.M و در مورد حد بالا نیز مشخص است که با توجه به اینکه مقادیر 7.5 P.P.M تا 8 P.P.M حدود ۴۰ نمونه را شامل می‌شوند، این مقادیر جزء حد بالای این وضعیت قرار می‌گیرند و مقادیر بالاتر از 8 P.P.M شامل حد پایین وضعیت مرزی می‌شوند (شکل ۵). به این ترتیب شاخص‌های حد بالا، میانه و حد پایین برای عنصر فرسایشی آلومینیوم در وضعیت عادی به ترتیب (8 P.P.M , 4.6 P.P.M , 0 P.P.M) خواهد بود.

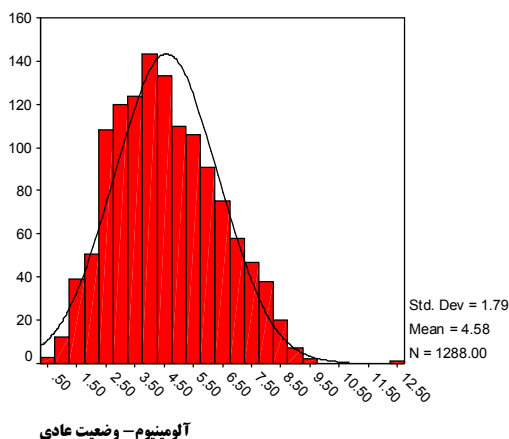
این روش این امکان را ایجاد می‌کند تا علاوه بر اینکه بازه‌های سطح کنترل مقادیر فرسایشی، در سه سطح حد بالا، میانه و حد پایین، مشخص می‌شود، بتوان از تکنیک‌های آماری و مصورسازی به خصوص نمودار توزیع نرمال فراوانی‌ها به خوبی بهره‌مند شده و با اطمینان بسیار بالایی به تعیین شاخص‌های خط مبنای رفتار فرسایشی عناصر پرداخت.

۱. شاخص‌های خط مبنا برای عنصر فرسایشی آلومینیوم در وضعیت‌های مختلف با توجه به جدول فراوانی کلی و نمودارهای فراوانی هر کدام از وضعیت‌ها تعیین و به صورت جدول (۲) نمایش داده می‌شود:

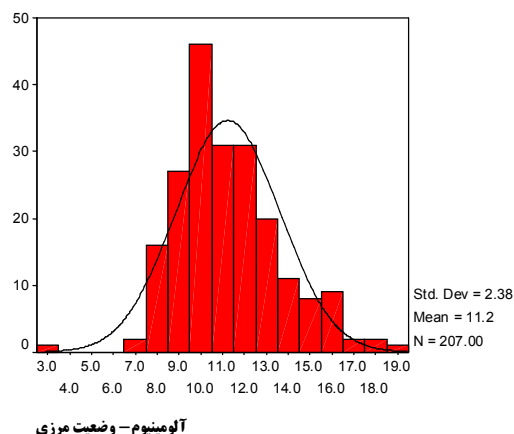
جدول (۱): جدول فراوانی و آمار توصیفی برای وضعیت‌های مختلف عنصر آلومینیوم

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
آلومینیوم- کل وضعیت‌ها	۱۵۸۴	۰/۷۰	۱۸۳/۰۰۰	۶/۷۱۶۶	۷/۴۷۷۰۳
آلومینیوم- وضعیت عادی	۱۲۸۸	۰/۷۰	۱۲/۵۰	۴/۵۸۰۸	۱/۷۹۰۷۱
آلومینیوم- وضعیت مرزی	۲۰۷	۳/۳۰	۱۸/۹۰	۱۱/۲۳۵۳	۲/۳۷۹۴۱
آلومینیوم- وضعیت مرزی غ غ ق	۷۰	۱۰/۳۰	۴۰/۳۰	۲۰/۹۵۷۱	۵/۵۵۸۰۶
آلومینیوم- وضعیت بحرانی	۱۹	۲۸/۴۰۰	۱۸۳/۰۰۰	۴۹/۸۰۵۲۶	۳۴/۵۶۳۴۹۲
Valid N (listwise)	۱۹				



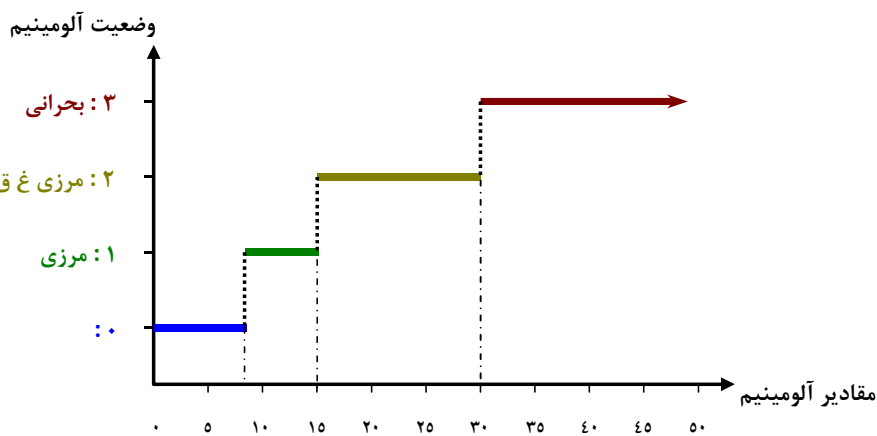
شکل (۴): نمودار توزیع فراوانی وضعیت عادی آلومینیوم



شکل (۵): نمودار توزیع فراوانی وضعیت مرزی آلومینیوم

جدول (۲): مقادیر شاخص‌های خط مبنا، در وضعیت‌های مختلف عنصر فرسایشی آلومینیوم

سطح کنترل	تعداد نمونه = ۱۵۸۴	آلومینیوم - AI			
		عادی (۰)	مرزی (۱)	مرزی غ ق ق (۲)	بحرانی (۳)
حد بالا	P.P.M	۸	۱۵	۳۰	۹۰
حد میانه		۴/۶	۱۱	۲۱	۵۰
حد پایین		۰	۸/۵	۱۶	۳۲



شکل (۶): نمودار خط مبنای رفتار فرسایشی عنصر آلومینیوم

شاخصی برای تعیین سطح اطمینان	تعداد رکوردهای موجود در این شرط
شرط حاکم بر این شاخه از بین شاخصهای ورودی	
انحراف از معیار	میانگین شاخص خروجی

شکل (۷): معرفی بخش‌های مختلف یک گره در درخت تصمیم‌گیری

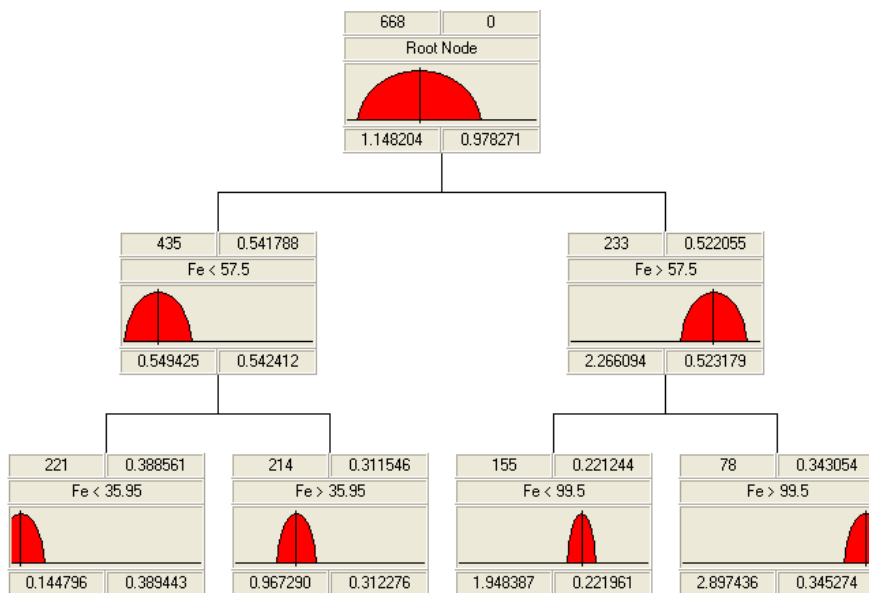
۲. با توجه به جدول (۲) (شاخص خط مبنا)، می‌توان نمودار خط مبنا را برای وضعیت‌های گوناگون مقادیر آلومینیوم، به صورت شکل (۶) رسم کرد:

۴-۴- درخت تصمیم‌گیری

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 (۷) هر کدام از این اطلاعات، مفهوم آن نوشته شده است.

جدول (۳): مقادیر شاخص‌های خط مبنا، در وضعیت‌های مختلف عنصر فرسایشی آهن

کنترل سطح	تعداد نمونه ۱۵۸۴ =	آهن-Fe			
		عادی (۰)	مرزی (۱)	مرزی غ ق ق (۲)	بحرانی (۳)
حد بالا	P.P.M	۳۵	۵۵	۱۰۰	۴۰۰
حد میانه		۲۳	۴۳	۷۶	۱۶۲
حد پایین		۰	۳۵	۵۵	۱۰۰



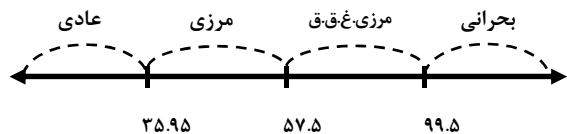
شکل (۸): درخت تصمیم‌گیری در مورد وضعیت آهن با توجه به مقادیر آهن

مقادیر فرسایشی عنصر آهن به‌عنوان ورودی و وضعیت این عنصر به‌عنوان خروجی معرفی شده است.

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

(۳۵.۹۵ p.p.m و ۵۷.۵ p.p.m و ۹۹.۵ p.p.m)

که به‌صورت شکل (۹) چهار بازه عبارتند از:

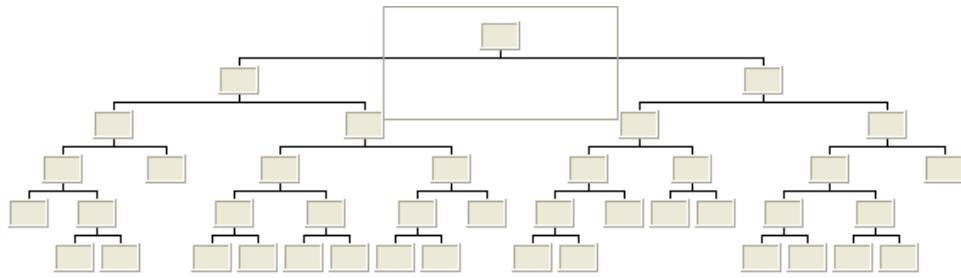


شکل (۹): چهار بازه (وضعیت) مختلف عنصر فرسایشی آهن

در هر درخت یک یا چند شاخص ورودی و یک شاخص خروجی معرفی می‌شود. دو بخش بالای مربع (دو ردیف اول) توضیح‌دهنده اطلاعات ورودی و نوع شرط و تعداد رکوردهای موجود در این گره است و دو ردیف دومی، نشان‌دهنده 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 مؤلفه روغن می‌باشد، که در اینجا با طبقه‌بندی مقادیر هر عنصر یا مؤلفه 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 می‌شود، بهتر است به مثال زیر توجه فرمایید:

همان‌طور 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. به‌طور مثال، در شکل (۸) درخت تصمیم‌گیری حاصل از



شکل (۱۰): نمای کلی درخت تصمیم گیری در مورد وضعیت موتور

رفتار فرسایشی موتور به استخراج قواعد استنتاجی می‌پردازد. در این جا ۷ عنصر و مؤلفه آهن، سرب، مس، آلومینیوم، سیلیسیم، PQ و ویسکوزیته به‌عنوان شاخص‌های ورودی و وضعیت موتور (STEQ) به‌عنوان شاخص خروجی معرفی شده‌اند.

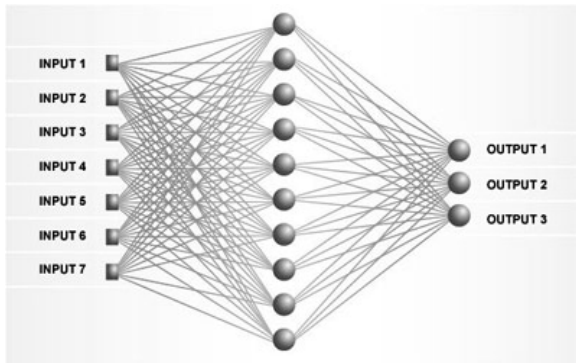
نمای کلی درخت تصمیم‌گیری در این خصوص مطابق شکل (۱۰) است:

به‌طور 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- شبکه‌های عصبی

از انواع شبکه‌های عصبی در داده کاوی استفاده می‌شود. از شبکه‌های عصبی کوهونن و آرت برای طبقه‌بندی و خوشه‌بندی و از پرسپترون عموماً برای طبقه‌بندی و تشخیص الگو استفاده می‌شود. از پرسپترون چند لایه‌ای می‌توان برای پیش‌بینی، مدلسازی فرایند، کنترل عملیات و پردازش تصویر استفاده کرد، همچنین پرسپترون چند لایه‌ای می‌تواند روابط غیرخطی را نیز تخمین بزند [۹]. در نتیجه در این تحقیق، از شبکه عصبی پرسپترون برای تخمین روابط غیرخطی بین مقادیر عناصر فرسایشی و وضعیت موتور و پیش‌بینی وضعیت تجهیز استفاده شده است.



شکل (۱۱): نمای کلی شبکه عصبی چند لایه

این چهار بازه طبق کدگذاری استاندارد این تحقیق (بحرانی، مرزی غ ق، مرزی و عادی) نام‌گذاری می‌شوند. از طرف دیگر، دقیقاً شاخص‌های خط مبنا برای عنصر آهن که به عنوان خروجی معرفی شده است عبارتند از (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، 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 به‌صورت قاعده (If → Then) زیر بیان کرد:

1- IF Fe < 57.5 AND Fe < 35.95 THEN 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 به‌صورت 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!

۴-۵- 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 مؤلفه‌های تحلیل روغن با شاخص وضعیت نهایی موتور می‌باشد که با هدف کشف ساختارهای حاکم پیش‌بینی

پس از بررسی نمونه‌هایی 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، سیگموئید، خطی و خطی بر آن اعمال شده بود جواب بهتر و سریع‌تری داد. از آنجایی که در عمل با افزایش تعداد نورون‌های هر یک از لایه‌های پنهان تغییر مؤثری در کاهش خطا مشاهده نشد، لذا برای افزایش سرعت از شبکه‌ای با ۷، ۷، ۱۵، ۱ نورون استفاده شد. شبکه عصبی پرسپترون با روش یادگیری بازگشت به عقب تشکیل داده شد. پس از حدود یک میلیون مرحله ریشه میانگین مربعات خطای یادگیری ۰.۲ و ریشه میانگین مربعات خطای آزمون کم‌تر از ۰.۲ بود. در شبکه عصبی یک مدل کلی همانند شکل (۱۱) تولید می‌شود که روابط ناشناخته و عموماً غیر خطی پنهان در بین داده‌های ورودی را بر اساس بهبود وزن‌ها در هر تکرار می‌یابد به طوری که بهترین نتیجه خروجی (کارایی) حاصل شود. در هر تکرار بهبود باید بر اساس یک مقیاس باشد. این مقیاس عموماً کم کردن حداکثر خطا و یا کم کردن ریشه میانگین مربعات خطا و یا ترکیبی از این دو می‌باشد. در شبکه عصبی استفاده شده از مقیاس بهبود $0.90 * RMS$ Error + $0.10 * Max Error$ استفاده شده است.

۴-۷- استخراج قواعد

قواعد موجود بین وضعیت مؤلفه‌های روغن و وضعیت موتور استخراج شدند. این قواعد همگی مفید نیستند و بعضاً بدیهی می‌باشند، لذا از بین آنها قواعدی که در راستای اهداف، از زمینه‌های کاربردی قویتری برخوردار هستند، انتخاب می‌شوند.

۴-۸- ایجاد مدل تحلیل حساسیت

بعد از این که اطلاعات موردنظر توسط تکنیک‌های داده کاوی به دست آمد، اطلاعات باید به دانش مفید تبدیل شود.

تکنیک‌هایی مانند شبکه‌های عصبی و درختان طبقه‌بندی مستقیماً مدل‌های برآورد یا تخمین را از داده‌ها تولید می‌کنند. این مدل‌ها دانش را در یک فرم قابل استفاده برای سازمان کد می‌کنند. مدل‌های بدست آمده می‌توانند به صورت‌های: طبقه‌بندی اگر... آنگاه...، درخت تصمیم‌گیری، فرمول‌های ریاضی، یا شبکه‌های عصبی ارائه شوند [۱۰]. اما تکنیک‌هایی مانند خوشه‌بندی فقط الگوها را از داده‌ها استخراج می‌کنند. این الگوها باید توسط خبرگان آزمایش شوند و به دانش مفید تبدیل شوند [۱۱].

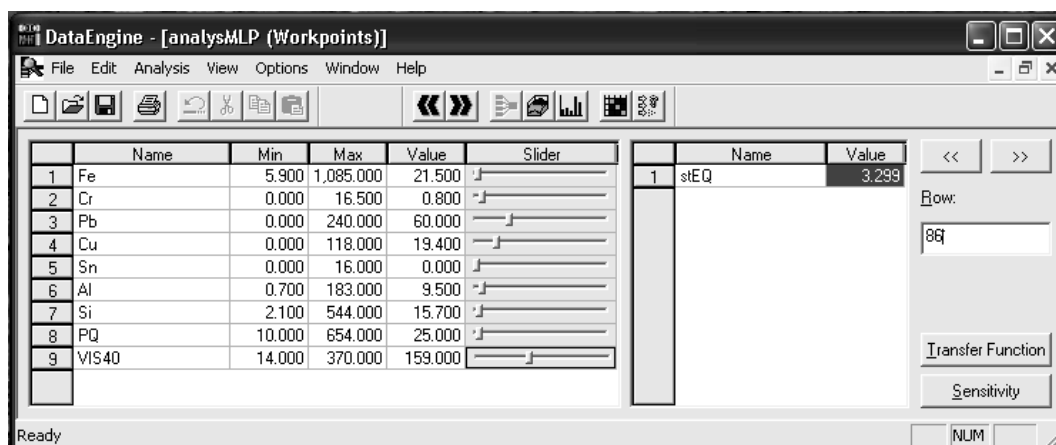
پس از یادگیری و آزمون مدل‌های به دست آمده از درخت تصمیم و شبکه عصبی، شعبه‌هایی که کارایی آنها خطای زیادی با کارایی تخمین زده شده توسط مدل داشت، به عنوان نقاط خارج از الگو، به منظور کشف علت خطا، بررسی شدند.

در شکل (۱۲)، DSS ایجاد شده برای پشتیبانی تصمیم و پیش بینی وضعیت موتور با ورود مقادیر عناصر فرسایشی نمایش داده شده است.

همچنین برای پشتیبانی تصمیم DSS هایی با استفاده از شبکه عصبی آموزش داده شده فوق و درخت تصمیم‌گیری ذکر شده، ایجاد گردید. کاربر می‌تواند 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 داده‌ها کشف شد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس اطلاعات موجود چنین پروژه تحقیقاتی در چهارچوب اهداف تعریف شده برای دستگاههای موردنظر برای اولین بار به اجرا درآمده است. همچنین این تحقیق



شکل (۱۲): نمونه‌ای از سیستم پشتیبان تصمیم!!

۶. یکی از نتایج مهم این تحقیق تدوین برنامه تحلیل روغن برای موتورها و آزمایشات موردنیاز برای حصول به این تحلیل است. از طرف دیگر حدود هشدار نیز برای هر کدام از این آزمایشات به طور کامل طراحی و تدوین شده است.

۷. نتایج حاصل از آمار عمومی و مصورسازی به خوبی نشان داد که از روی میانگین و انحراف معیار در وضعیت‌های عادی، مرزی غ.ق.ق و بحرانی می‌توان بازه مشخصی را تعیین کرد. به طور مثال مقادیر $p.p.m$ ۳۵ تا $p.p.m$ ۵۰ را می‌توان برای 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 پی‌برد. 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 مؤلفه‌های مورد تحلیل روغن می‌باشد. این نمودار دو بعدی و دو متغیره است که متغیر مستقل آن مقادیر عناصر و مؤلفه‌های فرسایشی در روغن برحسب $p.p.m$ یا cst است که در جهت محور X ها نمایش داده می‌شود. همچنین متغیر 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 Y ها نمایش داده می‌شود.

۹. با توجه به نتیجه سیستم پشتیبان تصمیم، تحلیل‌گر می‌تواند با تغییر وضعیت یا مقادیر عناصر فرسایشی و مؤلفه‌های روغن، میزان تغییر در وضعیت نهایی موتور را مشاهده نماید. در نتیجه می‌تواند شرایط مختلف را تحلیل نموده و در هر مورد به نحو مقتضی تصمیم‌گیری نماید. از طرف دیگر با بررسی رکوردهایی که مقدار پیش‌بینی 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، محورهای مطالعاتی پیشنهادی برای تحقیقات آتی عبارتند از:

مرزهای آگاهی و اشرافیت تحلیل‌گران 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 زیر 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 مؤلفه‌های آنالیز روغن، ارائه شده است، همچنین نمودار خط مبنا رفتار فرسایشی با توجه به جداول فوق تهیه و تدوین گردیده است.

۲. هر چند بدست آوردن خط مبنا مستلزم اجرای پروژه‌های متعدد و اعمال کنترل‌های دقیق‌تری می‌باشد، ولی استخراج و استحصال اطلاعات مربوط به خط مبنا برای موتور کامیون موردنظر، سنگ بنای مناسبی برای فعالیت‌های تحقیقاتی آینده می‌باشد.

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. معیارهای ارزیابی در این تحقیق به دو دسته معیارهای عملکردی و معیارهای قابلیت اطمینان تقسیم شده که هر کدام به دقت در خصوص تحلیل روغن مورد بررسی قرار گرفته است. اما نکته‌ای که می‌بایست در کلیه تحلیل‌های مورد توجه قرار گیرد این است که شرایط روغن تحت عوامل زیادی همچون: شرایط کارکرد، بارگذاری، بهره‌برداری، مشخصات عمومی دستگاه و ساختار و ... می‌باشد.

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، معیارهای تعیین شده از طرف سازنده و معیارهای موردی که هر کدام مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

- Smyth, "From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases", American Association for Artificial Intelligence, 1996.
- [5] Hair, Joseph F., Multivariate Data Analysis, Prentice Hall, 2005.
- [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. 87, 2003.
- [9] Efrim G., "Decision Support and Data Warehouse Systems", McGraw-Hill Higher Education, 2002.
- [10] Educational data mining: A survey 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 90509-2007.
- [14] Complete guide to preventive and predictive maintenance, Joel Levitt, ISBN: 0831131543.
- [15] Maintenance engineering handbook, McGraw-Hill, ISBN: 0-07-028819-4.
- [16] Plant engineer's handbook, R. Keith Mobley, ISBN: 0750673251, 2001.
- [17] Machinery planned maintenance and condition monitoring, Lloyd's Register publication, 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, 771-776, 2003.
- [21] Predicting materials properties and behavior using classification and regression trees, Yong.Li, Materials Science and Engineering A 433, pp. 261-268, 2006.
- [22] An integrated approach to fault diagnosis of machinery using wear debris and vibration

۱. بررسی نتایج خط مبنا و شاخصهای فرسایشی برای مؤلفه‌های حاضر، با اجرای تحقیقی مشابه روی تعداد بیشتری در ساعت کارکردهای کاملاً منظم و برنامه‌ریزی 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 می‌کند تا به دقت خط مبنای 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 پیش‌بینی وضعیت موتور، تنها آنالیز روغن در روش‌های CM معرفی نشده، بلکه روش‌های دیگر بخصوص آنالیز ارتعاشات نیز همانند آنالیز روغن از جایگاه ویژه‌ای در تشخیص عیوب و پیش‌بینی وضعیت موتور برخوردارند. به‌منظور تدوین شاخص‌های آنالیز ارتعاشات و تعیین حدود هشدار و تدوین خطوط مبنای رفتار فرسایشی با توجه به آنالیز ارتعاشات یا دیگر روش‌های CM نیز می‌توان 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 می‌گردد در یک تحقیق ویژه به بررسی خطوط مبنای فازی پرداخته شود. زیرا در بسیاری از شرایط نمی‌توان با این شاخص‌ها به‌صورت مطلق برخورد نمود. در واقعیت نیز نظر تحلیل‌گران به‌صورت فازی ثبت می‌گردد و این می‌تواند یک گام مهم در هوشمندسازی تشخیص و پیش‌بینی عیوب باشد.

منابع

- [۱] دانش خبرگان و منابع موجود در اداره نت.
- [۲] دانش تحلیل‌گران 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.

analysis, Z.Peng, N.Kessissoglou, Wear 225, pp.1221-1232, 2003.

[23] Low-cost condition monitoring sensor for used oil analysis, S.Raadnui, S.Kleesuan, Wear 259, pp.1502-1506, 2005.

[24] Oil analysis basics, Drew Troyer and Jim Fitch, Noria corporation, ISBN: 0-9675964-1-6, 1999.

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

[26] Military Sealift Command's oil analysis program ,MSCHQ N712E, 202-685-5730.

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

[28] Use statistical analysis to create wear debris alarm limits, Jonathan Sowers, Practicing oil analysis magazine, 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, 2002.