پیشگویی نوع خرابی، مبنی بر رابطه های رگرسیونی مربوط به عناصر فرسایشی و آلودگی های روغن موتور تراکتور مسی فرگوسن مدل MF285

حجت احمدی[۱] ، محمود رضایی نیا[۲]

۱و۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

M.Rezaeinia@ut.ac.ir

چکیده:

کشاورزی یکی از بخش های مهم و استراتژیک صنعت می باشد که در آن ماشین آلات و تجهیزات فراوانی با بهره گیری ازتوان تولیدی موتورهای دیزل وبنزینی به کار گرفته می شوند واین خود بیانگر لزوم ارائه روشهای نگهداری و تعمیرات صحیح و موثر می باشد تا بتوان با این روش ها خرابی ها و ساعات از کار افتادگی ماشین آلات را به حداقل رساند. به همین منظور دراین مقاله با استفاده ازنتایج آنالیزروغن مربوط به موتور یک دستگاه تراکتور مسی فرگوسن مدل MF285 و با توجه به سابقه تعمیرات انجام شده برروی این دستگاه سعی شد تا نوعی روش پیشگویی نوع خرابی، مبنی بر رابطه های رگرسیونی مربوط به عناصر فرسایشی و آلودگی های روغن با نوع تعمیرات انجام شده بر روی موتور به گونه ای بیان شودکه درموارد مشابه با قرار دادن اعداد مربوط به عناصر دراین رابطه ها وصدق کردن آنها در رابطه بتوان مشکل در حال وقوع را پیش بینی کرد.

کلمات کلیدی:
آنالیز روغن، عناصر فرسایشی، روابط رگرسیونی، پیش گویی

مقدمه:

کاربران موتورهای دیزل همیشه سعی در کاهش تعمیرات ناشی از خرابی در ماشینشان داشته اند. هزینه های بالای ناشی از تعمیرات، تعویض قطعات و نگهداری این موتورها، مهندسین «نگهداری و تعمیرات» را بر آن داشته است که ازتکنولوژی های جدید استفاده بهینه و مؤثر نمایند (Annon،۱۹۹۱). به علت سودمند بودن تکنولوژی نگهداری و تعمیرات پیش نگر، این روش در بسیاری از صنایع مورد قبول واقع شده است. مراقبت وضعیت مؤثر شرکت ها

را قادر می سازد که بدون نیاز به بازدید مستقیم از قطعات به مشکلات و عیوب ماشین آلات پی ببرند. این عیوب در صورت عدم مرتفع شدن ممکن است خسارت های هنگفتی را متوجه سازمان ها کند.(Mitchell ، ۱۹۸٦)

بخش کشاورزی یکی از بخش های مهم و استراتژیک صنعت می باشد که در آن ماشین آلات و تجهیزات فراوانی با بهره گیری از توان تولیدی موتورهای دیزل و بنزینی به کار گرفته می شوند و این خود بیانگر لزوم ارائه روش های نگهداری و تعمیرات صحیح و موثر می باشد که بتوان با این روش ها خرابی ها و ساعات از کار افتادگی ماشین آلات را مخصوصا در فصل کار به حداقل رساند.

در سیستم های مکانیکی که اجزاء با روغن در تماسند، روش مونیتورینگ روغن (Oil Monitoring) قابلیت بالایی را در تشخیص عیوب مکانیکی داشته و به عنوان ابزاری مؤثر، امکان بهینه سازی سیستم ها و کنترل های مختلفی نظیر بررسی روند استهلاک، کیفیت قطعات ومواد چگونگی انجام تعمیرات رافراهم می سازد.(Degaspari ، ۱۹۹۹)

قطعات در ماشین های مکانیکی بر روی یک لایهٔ بسیار نازک در حد ۱۰ میکرومتر از روغن که تقریبًامعادل قطر یک سلول خون است حرکت می کنند. از دست رفتن این لایه به معنی خرابی بوده و اطمینان از نگهداری روغن به طور سالم، تمیز و خشک حیاتی است. آنالیز روغن این هدف را به ثمر می رساند. علاوه بر این روغن در ماشین همانند خون در بدن انسان، نشان دهندهٔ مشخصات سالم بودن ماشین است. آنالیز روغن این مشخصه ها را تبدیل به اطلاعات ارزشمندی می نماید که در زمینهٔ تصمیم گیری، نگهداری و بهره برداری به کار میروند.(Drew ، ۱۹۹۸)

در آنالیز روغن مقادیر ذرات سایشی با روش‌های متفاوت اندازه‌گیری می‌گردد. علاوه براین اسیدیته، قلیائیت، ویسکوزیته و برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی دیگر روغن نیز تعیین می‌گردد. بدین منظور نمونه‌های روغن در فواصل زمانی منظم و بر حسب ساعات کاری از موتور دستگاه تهیه گردیده و آزمایش‌های آنالیز روغن بر روی آنها انجام می شود. مواردی که از طریق آنالیز روغن میتوان به آنها پی برد به طور خلاصه عبارتند از: سوخت وارد شده به روغن، مواد و کثافات وارد شده به روغن، ضد یخ موجود در روغن، سایش یاتاقان ها و عدم کارایی روغنکاری. از این طریق می توان عیوب مختلف نظیر خوردگی، مشکلات یاتاقان ها، فرسایش غیر عادی رینگ و پیستون موتورها، فرسایش غیر عادی محورها و دنده های گیربکس و پمپ های هیدرولیک را مورد شناسایی قرار داد و نسبت به رفع عوامل آن اقدام نمود.(ابراهیم زاده و برقعی، ۱۳۸۱) و به طور کلی می توان گفت که مراقبت از روغن یکی از مهم ترین دستاوردها در نگهداری پیشگیرانه ماشین هاست. این روش ابزاری است که برای ارزیابی وضعیت دستگاه، شناسایی ریسکهای خرابی، پیش بینی خرابی برای جلوگیری از عواقب هزینه بر و افزایش طول عمر دستگاه مورد استفاده قرار می گیرد.(احمدی، ۱۳۸۷)

استفاده از تکنیک عیب یابی مکانیکی موتور از طریق آزمایشات آنالیز روغن، صرفه جوئی های اقتصادی و زمانی زیادی را بدنبال دارد .از طرفی تجزیه و تحلیل داده های حاصل از این آزمایشات کلید عیب یابی و شناسایی خرابی ها می باشد. ولی جهت انجام این تجزیه و تحلیل ها و تبدیل داده های خام به اطلاعات سودمند نگهداری، نیاز به مهارت های انسانی است که اولا به راحتی در دسترس نبوده و ثانیًا تحلیل ها توام با خطای احتمالی انسانی خواهند بود. بنابراین استفاده از مدلهای عیب یابی مناسب، مفید و سودمند و چه بسا ضروری به نظر می آید.(Ilott & Griffiths ، ۱۹۹۷)

در همین راستا در سال ۱۳۸٦ مدل عیب یابی مکانیکی موتور تراکتورهای مسی فرگوسن مدل MF399 از طریق نتایج آزمایشات آنالیز روغن، مطابق شرایط کاری بدست آورده شد، بهینه سازی و سپس مورد ارزیابی قرارگرفت(ابراهیم زاده و همکاران، ۱۳۸٦). در سال ۱۳۸۸ بلوکی و احمدی به وسیله روش آنالیز روغن به بهینه سازی زمان تعویض روغن موتور جرثقیل ترانستینر RTG پرداختند. در این مطالعه میزان مقادیر عناصر و شاخص-های فرسایشی در ساعات آتی کارکرد روغن با استفاده از چهار مدل پیشگوی رگرسیونی تخمین زده شد و از میان مدل‌های به دست آمده، مدل‌های دارای اطمینان آماری برای تخمین دقیق‌تر به کار گرفته شد (بلوکی واحمدی، ۱۳۸۸). در سال ۱۹۹۷ ، ایلوت و گریفیتس جهت اتوماسیون داده های حاصل از سیستمهای مراقبت وضعیت و تبدیل این داده ها به اطلاعات مفید نگهداری در سیستمهای پمپاژ بریتانیا از شبکه های عصبی استفاده نمودند. (Ilott & Griffiths ، ۱۹۹۷)

در این مقاله از نتایج آزمایشات آنالیز روغن مربوط به موتور یک دستگاه تراکتور مسی فرگوسن مدل MF285 (چهار سیلندر) استفاده شد. با توجه به سابقه تعمیرات انجام شده بر روی این دستگاه سعی شد تا نوعی روش پیشگویانه مبنی بر رابطه های رگرسیونی مربوط به عناصر فرسایشی و آلودگی های روغن با نوع تعمیرات انجام شده بیان شود. در موارد مشابه با قرار دادن اعداد مربوط به عناصر در این رابطه ها می توان مشکل در حال وقوع را پیش بینی کرد.

مواد و روش ها:

در این پژوهش از نتایج مربوط به روغن موتور یک تراکتور مسی فرگوسن مدل MF285 با ۲۱ نوبت نمونه گیری استفاده شده است. نمونه ها بعد از هر ۱۱۵ساعت کارکرد موتور گرفته شده است. برای نمونه گیری از روغن موتور قواعد کلی برای نمونه گیری اعمال شده است تا روغن نمونه گیری شده، نمایانگر وضعیت روغن موجود در موتور باشد. برای این موضوع از ظرف های تمیز نمونه گیری استفاده شده است. درون ظرف کاملا تمیز و عاری از هر گونه رطوبت بوده 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. همچنین روغن قبل از نمونه برداری همیشه بایستی گرم و مخلوط شده باشد. بنابراین نمونه گیری از موتور باید بلافاصله پس از خاموش شدن آن صورت گیرد.

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.(احمدی، ۱۳۸۷)

یکی ازاین راهها ایجاد حدودی است که مقادیر پارامترها باید در آن محدوده باشند(Barnes ،۲۰۰۰). یعنی بالاتر رفتن میزان عناصر از این مقادیر به معنی وجود مشکلی در قسمتی از دستگاه می باشد که با توجه به عناصر فراتر

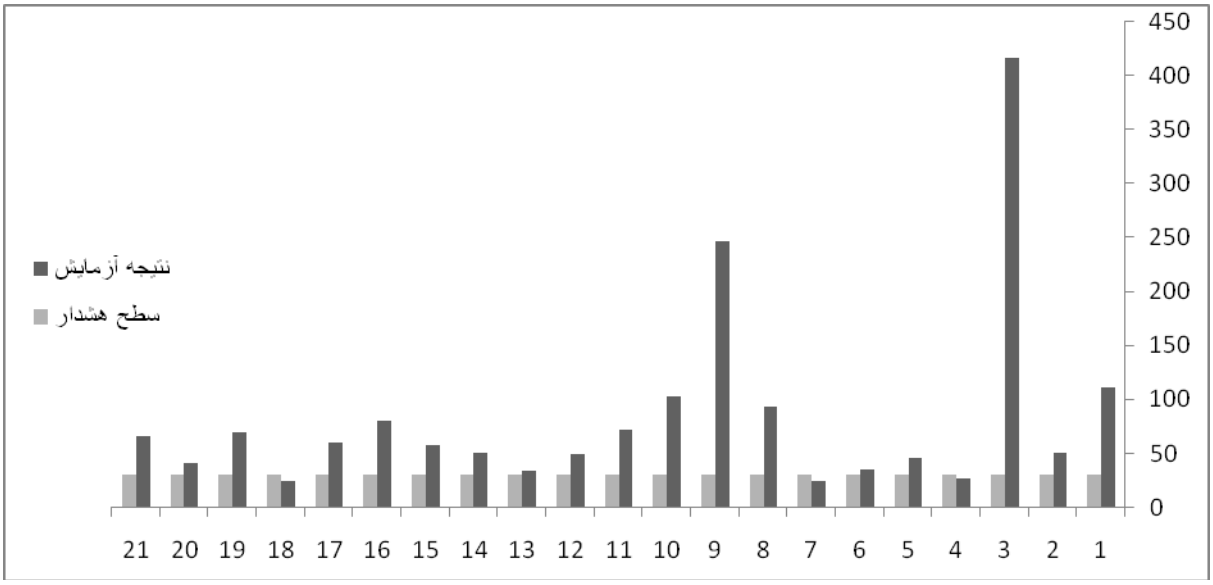
رفته و عناصر و آلیاژهای تشکیل دهنده قطعات می توان این مشکل را حدس زد. مقادیر مجاز عناصر موجود در روغن می توانند توسط تولید کنندگان ماشین ها، سایر سازمانهای صنعتی و یا توسط کارشناسان نگهداری دستگاه ها ارائه شوند. مقادیر داده شده در جدول ۱ می تواند به عنوان راهنما برای تعیین سطح هشدار مورد استفاده قرار گیرد.(Lloyd's Register ، ۲۰۰٤)

جدول۱- راهنمای سطح هشدار برای افزایش فلزات فرسایشی(ppm)

عنصر	سرب	آهن	قلع	نیکل	سیلیکون	سدیم	منیزیم	مس	مولیبدن	آلومینیوم	کروم	PQ
مقدار مجاز	۱۰	۳۰	۵	۵	٤۰	۸۰	۳۰	۵	۵	۵	۲	۵۰

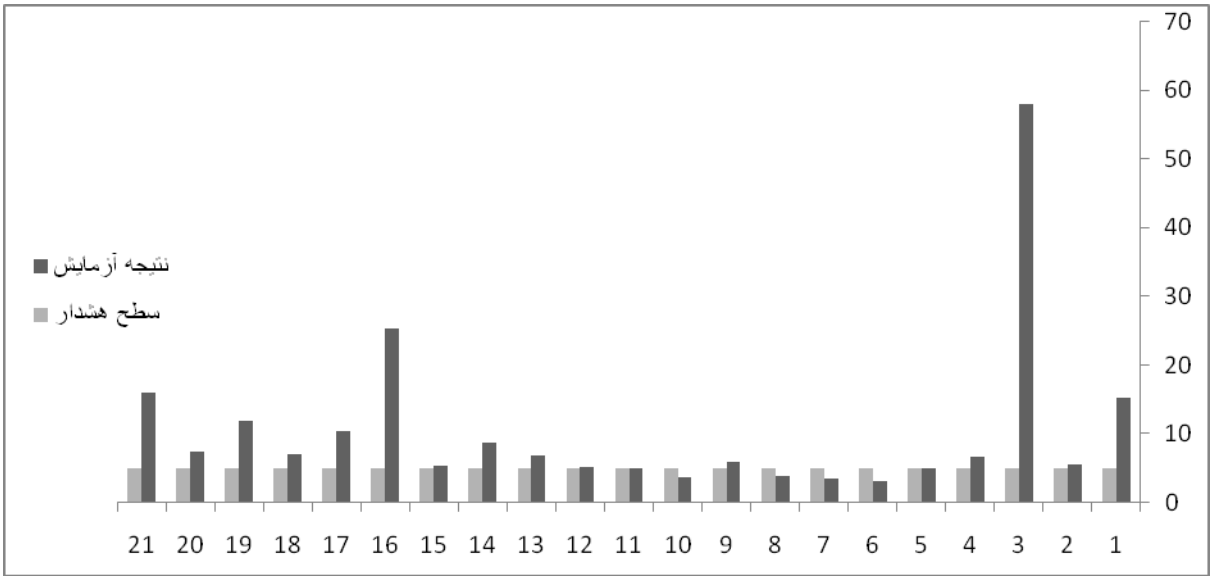
نتایج وبحث:

در این پروژه پس از ترسیم نمودار مربوط به هر یک از عناصر فرسایشی و حدود مجاز مربوط به آنها، نواحی مشکوک در نمودارها شناسایی شده و به روشی که در ادامه بیان خواهد شد مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه می توان برخی از این نمودارها و مناطق دارای مشکل در آنها را مشاهده کنید.



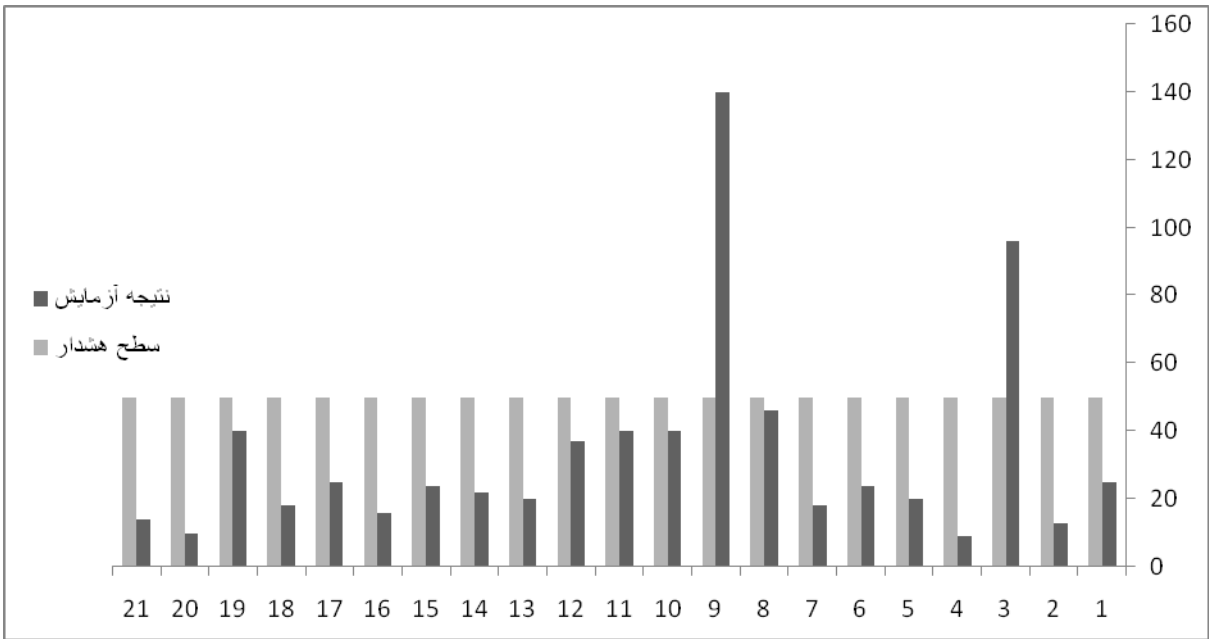
نمودار ۱- میزان عنصر آهن موجود و سطح هشدار آن

همانطور که از نمودار بالا مشاهده می شود عنصر آهن در نواحی ۱-٦ و ۷-۱۳ از سطح هشدار بالاتر رفته و نیاز به بررسی دارد. حال نمودار مربوط به آلومینیم و PQ را نیز به همین صورت مورد بررسی قرار می دهیم.



نمودار ۲- میزان عنصرآلومینیوم موجود و سطح هشدار آن

همانطور که مشخص است در این نمودار نیز در نواحی ۱-٦ و ۱۵-۲۱ سطح عنصر آلومینیوم موجود در روغن از سطح هشدار بالاتر رفته و نیاز به بررسی دارد. البته در نمودار مربوط به عنص آهن نیز در ناحیه ۱۵-۲۱ مقادیر این عنصر از سطح هشدار کمی بالاتر رفته که این مورد نیز می تواند مورد بررسی قرار گیرد.



نمودار ۳- میزان PQ موجود و سطح هشدار آن

در نمودار مربوط به PQ نیز با توجه به محدوده های اشاره شده در نمودارهای بالا می توان نوسان های مربوط به این پارامتر را در این نواحی مشاهده کرد که این تغییرات نیز قابل بررسی است. با توجه به عناصر تشکیل دهنده اجزای موتور می توان دریافت که در این نواحی مشکلاتی در قسمت هایی همچون سیلندر، پیستون، یاتاقانها و

رینگ وجود دارد. با مروری برسوابق تعمیراتی این موتور نیز این ادعای ما به اثبات می رسد. مثلا اینکه در ناحیه۱-٦ یک سری تعمیر کلی موتور و تعویض رینگ و یاتاقان داشته ایم. حال با استفاده از نرم افزار SPSS17 می توانیم رابطه رگرسیونی بین این عناصر فرسایشی و عناصر خارجی وارد شده به روغن مانند B، Si و Na که در واقع عامل اصلی این خرابی ها هستند را به دست آوریم. در جدول زیر می توان این معادلات رگرسیونی را مشاهده کرد.

جدول ۲- معادلات رگرسیونی بین عناصر فرسایشی و عناصر خارجی در قسمت اول نمودارها (۱-٦)

شماره رابطه	رابطه	R^2
۱	$PQ = -0.467Fe - 2.588Al - 1.989Na + 2.202Si + 28.892$	0.999
۲	$PQ = -0.098B -2.290Al - 1.883Na + 1.177Si + 22.213$	1
۳	$PQ = 0.0258Al^2 - 0.1386Al + 17.375$	0.9693
٤	$Si = 0.0118Al^2 + 2.795Al - 2.8322$	0.9934
٥	$Si = 0.4968Fe - 8.3708$	0.9998
٦	$Si = 2.2907PQ - 23.161$	0.9707

همانطور که مشاهده می شود در این بخش از نمودار روابط ذکر شده در جدول شماره ۲ بین عناصر فرسایشی و عناصر خارجی وارد شده به روغن برقرار است. در رابطه ۱ مدل ارائه شده رابطه ی رگرسیونی خطی با ضریب همبستگی بسیار بالا بین پارامتر PQ و عناصر فرسایشی و خارجی بحث شده در قبل را نشان می دهد. روابط ۲، ۳ و ٤ نشان دهنده رابطه بین عنصر آلومینیوم به عنوان یکی از مهم ترین عناصر فرسایشی و آلودگی های خارجی با پارامتر PQ می باشد که در رابطه های ۳و٤ برای این برازش از روابط رگرسیونی درجه ۲ با ضریب همبستگی بسیار بالا استفاده شده است و همین طور در معادلات ٥ و ٦ روابط رگرسیونی خطی بین سیلیکون به عنوان مهمترین عنصر خارجی وارد شده به روغن و عنصر آهن و پارامتر PQ به عنوان فاکتورهایی مهم در زمینه سایش قطعات، با ضریب همبستگی بالایی ارائه شده است. با توجه به سابقه تعمیر این موتور در این بازه (تعویض رینگها) می توان به این نتیجه دست یافت که اگر در موارد مشابه داده های مربوط به آنالیز روغن در این معادلات صدق کرد، مشکلی مشابه با مشکل به وجود آمده در موتور در حال وقوع می باشد که می توان آن را پیش بینی و رفع کرد.

در مورد بازه های دیگری نیز که ذکر شد و احتمال وجود مشکل در آن ها مورد بررسی قرار گرفت به نتایجی مشابه با مورد ذکر شده در قبل دست یافتیم که در ادامه این روابط را مشاهده می کنید.

جدول ۳- معادلات رگرسیونی بین عناصر فرسایشی و عناصر خارجی در قسمت دوم نمودارها (۷-۱۳)

شماره رابطه	رابطه	R^2
۱	PQ = 4.292Al + 0.554Fe + 0.201Si + 0.777Na + 0.691B – 30.319	0.983
۲	PQ = 3.1 Al + 0.532Fe – 13.586	0.967

جدول ٤- معادلات رگرسیونی بین عناصر فرسایشی و عناصر خارجی در قسمت سوم نمودارها (۱۵-۲۱)

شماره رابطه	رابطه	R^2
۱	PQ = 1.458Fe + 3.3Cr - 0.629Pb – 16.72Cu – 0.339Na – 0.079Si – 12.542	1
۲	Al = 0.238Si - 0.065Na - 0.111B + 7.898	0.955

همانطور که در قسمت قبل برای ناحیه اول نمودارها (۱-٦) توضیح داده شد در مورد این معادلات نیز می توان تصمیم گیری کرد. مثلا در قسمت سوم نمودارها(۱۵-۲۱) با توجه به سابقه تعمیرات انجام شده(تعویض یاتاقانها) می توان به سبک اشاره شده در مورد قبل عمل کرد و از ضایعات حاصل از تخریب کامل یاتاقان ها و آسیب رسیدن به میل لنگ جلو گیری کرد که این کار هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زمانی (که فاکتوری مهم در بحث کشاورزی است) مقرون به صرفه می باشد.

در ادامه این بررسی به مقایسه روابط بین عناصر موجود در کل نمونه ها و روند رشد آنها نسبت به هم پرداختیم که در ادامه این نتایج را مورد بررسی قرار می دهیم.

در بررسی رابطه بین عنصر فرسایشی آلومینیوم به عنوان یکی از مهمترین عناصر تشکیل دهنده قطعات موتور و عنصر سیلیکون به عنوان مهمترین عنصر خارجی وارد شده به روغن در ماشین آلات کشاورزی(به دلیل شرایط کاری پر گرد و غبار) به رابطه ای که در ادامه مشاهده می کنید دست یافتیم.

$$Al = 0.0118Si^2 + 2.7724Si - 1.2361$$

ضریب همبستگی این رابطه برابر ۰/۹۸۰۸ می باشد که نشان دهنده برازش خوب این معادله بر داده ها می باشد.

با توجه به این معادله می توان دریافت که رابطه موجود بین این دو عنصر به صورت تابع درجه ۲ بوده که دارای شیبی مثبت و تقعری رو به بالا می باشد، یعنی با افزایش عنصر سیلیکون در روغن عنصر فرسایشی آلومینیوم به صورت شتاب دار و با شتابی مثبت افزایش می یابد که این نشان دهنده اهمیت کنترل ورود بیش از حد سیلیکون که اغلب از مجاری تنفسی موتور صورت می گیرد می باشد.

نتیجه گیری:

همانطوریکه در مقدمه اشاره شد استفاده از مدلهای عیب یابی مناسب، مفید و سودمند و چه بسا ضروری به نظر می آید.(۷) به همین منظور با بررسی نتایج حاصل از آزمایشات مربوط به موتور یک تراکتور مسی فرگوسن مدل MF285 در نقاط مشکوک به ایجاد مشکل به مدل هایی دست یافتیم که در شرایط مشابه برای این موتور، یعنی زمانی که نتایج حاصل از آزمایشات این موتور در این مدل ها صدق کرد قبل از وقوع خرابی مورد نظر می توان به وقوع آن پی برد و اقدامات لازم را برای حداقل کردن زمان خواب دستگاه (که فاکتور بسیار مهمی در کشاورزی می باشد)، هزینه ها و خسارات حاصل از آن، انجام داد. همچنین با توجه به مدل رگرسیونی که برای رابطه بین سیلیکون به عنوان مهمترین عامل فرسایش اجزا و آلومینیوم به عنوان یکی از عناصر مهم تشکیل دهنده اجزای موتور ارائه شد به این نکته پی بردیم که با افزایش میزان سیلیکون که اکثرا از راه مجاری تنفسی موتور (که در مورد موتور تراکتور به دلیل محیط کاری پر گرد وغبار محسوس تر می باشد) موجب آلودگی روغن می شود باعث افزایش فرسایش آلومینیوم به صورت شتابدار و با شتابی مثبت می شود یعنی در مقادیر بالای سیلیکون مقدار فرسایش آلومینیوم به شدت بالا می رود که می توان با کنترل مقدار سیلیکون ورودی به روغن این فرسایش را به شدت کاهش داد.

مراجع و مأخذ:

۱. ابراهیم زاده، محمد رضا و برقعی، سید علی محمد، ۱۳۸۱ ، "مونیتورینگ روغن" مجلهٔ مهندسان مکانیک ایران (پرواز)، سال یازدهم، شمارهٔ ۲۷ ، صفحات ۲۰-۱۶.

۲. ابراهیم زاده، محمد رضا و برقعی، سید علی محمد، ۱۳۸٦، " دستیابی به مدل مناسبی برای شناسایی و کنترل عیوب مکانیکی موتور تراکتورها از طریق آنالیز روغن مطابق با شرایط کاری" ، د ومین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات.

۳. احمدی، حجت، ۱۳۸۷ ،"تحلیل کاربردی عیب یابی موتور مکنده مدل NEURO به کمک پایش وضعیت روغن" ، مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس بین المللی نگهداری و تعمیرات

٤. بلوکی، محمد صادق و احمدی، حجت، ۱۳۸۸، " بررسی قابلیت مدل های پیشگو در پیش بینی میزان عناصر و شاخص های فرسایشی روغن به منظور پایش وضعیت روغن موتور جرثقیل ترانستینر RTG "، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت وعیب یابی ماشین آلات.

5. Annon, 1991, “Condition monitoring of diesel engines” Noise Vibrat. Worldwide., Vol.22, no.2, pp.27-34.

6. Barnes, M., Advanced strategies for selecting oil analysis alarms and limits, Practicing oil analysis conference. 2000.

7. Degaspari, John, 1999, “Recording oils vital signs.” Mechanical Engineering, Vol.121, Issue5., p.54, 3p,2c.

8. Drew, D. Troyer, 1998, “Why oil analysis should be perfomed on-site.” Noria Corporation, Oil analysis.com.

9. Ilott, P.W. and A.J.Griffiths, 1997, “Fault diagnosis of pumping machinery using artificial neural networks.” Prog. Inst. Mech. Eng. Part E.J. Process Mech. Eng., Vol.211, no.E3, pp.185-194.
10. Lloyd's Register, Machinery planned maintenance and condition monitoring, May 2004.
11. Mitchell, J.S., 1986, “Predictive maintenance-the promise finally fulfilled for the gas industry.” Gas Ind., Vd.30, no.40, p.B.

Abstract:

Agriculture is one of the important and strategic parts of industry in which lots of machinery and equipments using power produced by diesel and gasoline engines are employed. This indicates the necessity to provide proper and effective maintenance method to minimize failure and machinery downtime. Therefore in this article we try to present a kind of failure-prediction method by using results of engine oil analysis of Massey Ferguson MF285 tractor and the history of repairs done on this tractor. This prediction method is based on regression relationships between erosion elements and oil pollutions with type of engine repairs done. it should be presented in a way that in a similar cases by putting numbers related with this elements in these relationships, occurring problems can be predicted.

Key words: oil analysis, erosion elements, regression relationships, prediction