



## Diagnosis of Diesel Engine Based on Oil Analysis Using Convolutional Neural Network and Visualization

Saeed Ramezani<sup>1</sup>, Mostafa Yousofi Tezerjan<sup>2\*</sup>, Ali Avatefi Hemmat<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran

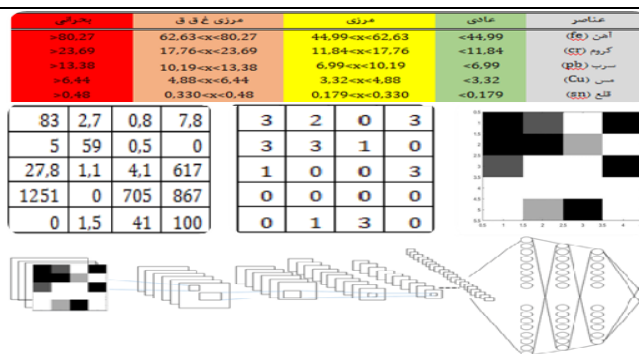
<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, University of Applied Science & Technology, Karaj, Iran

<sup>3</sup> M.Sc., Department of Industrial Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran

### HIGHLIGHTS

- Providing a model for equipment health monitoring using oil analysis results
- Visualization of equipment status based on oil analysis results
- Image processing with convolutional neural network to identify critical samples

### GRAPHICAL ABSTRACT



### ARTICLE INFO

#### Article history:

Article Type: Research paper

Received: 6 December 2023

Received in revised form: 23 December 2023

Accepted: 16 March 2023

Available online: 16 March 2023

\*Correspondence: sramezani@ihu.ac.ir

#### How to cite this article:

S. Ramezani, M.Y. Tezaerjan, A.A. Hemmat. Diagnosis of diesel engine based on oil analysis using convolutional neural network and visualization. Journal of Aerospace Mechanics. 2023; 19(3):123-136.

#### Keywords:

Oil analysis  
Image processing  
Neural network  
Baseline  
Convolutional neural network

### ABSTRACT

Oil condition monitoring is an effective method for detecting abnormal erosions or defects in mechanical equipment and systems. One of the issues in the field of condition monitoring with the help of oil analysis is the cost and time required to inspect all samples by an expert. However, not all oil analysis samples need to be reviewed by an expert, and less than 10% of this data indicates a critical situation that requires rapid planning and action. The goal of this article is to turn the oil status into an image so that you can quickly identify the oil status by looking at the image. Also, by processing these images by software, the state of failure can be extracted through artificial intelligence. In this research, the data are taken from the sample test of motor oils of road construction rollers. First, the data were converted to gray scale images using baseline for diesel engines and through MATLAB software. In the next step, these images are processed using the convolutional neural network method to determine the oil status. Comparison of the obtained results showed that the visualization of the oil analysis results helps to understand the general condition of the oil for the user and the critical samples and the need for action are identified more quickly among the mass of oil samples.

\* Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Imam Hossein University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit <https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>.



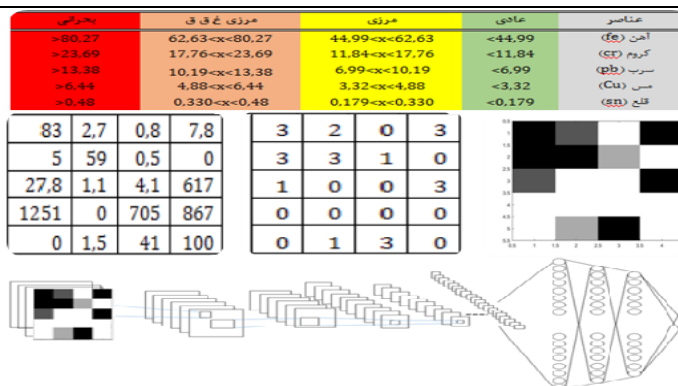
## تشخیص عیوب موتور مبتنی بر آنالیز روغن با استفاده از شبکه عصبی کانولوشن و تصویرسازی

سعید رضانی<sup>۱\*</sup>، مصطفی یوسفی طرزجان<sup>۲</sup>، علی عوافی همت<sup>۳</sup><sup>۱</sup> استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع علمی کاربردی، کرج، ایران<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

## برجسته‌ها

- ارائه مدلی برای پایش سلامت تجهیز با استفاده از نتایج آنالیز روغن
- تصویرسازی وضعیت تجهیز بر مبنای نتایج آنالیز روغن
- پردازش تصویر با شبکه عصبی کانولوشن جهت شناسایی نمونه‌های بحرانی

## چکیده گرافیکی



## مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲

پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵

ارائه برخط: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵

\*نویسنده مسئول:

sramezani@ihu.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

آنالیز روغن

پردازش تصویر

شبکه عصبی

خطوط مبنا

شبکه عصبی کانولوشن

## چکیده

پایش وضعیت روغن، روشی مؤثر در تشخیص فرسایش‌های غیرعادی یا عیوب تجهیزات و سامانه‌های مکانیکی است. یکی از مسائل حوزه پایش وضعیت به کمک آنالیز روغن، هزینه و زمان موردنیاز برای بررسی همه نمونه‌ها توسط خبره است؛ اما همه نمونه‌های آنالیز روغن نیاز به بررسی توسط خبره ندارند و کمتر از ۱۰ درصد از این داده‌ها نشان‌دهنده وضعیت بحرانی است که نیاز به برنامه‌ریزی و اقدام سریع دارند. هدف در این مقاله تبدیل وضعیت روغن به یک تصویر است تا بتوان با نگاه به تصویر به سرعت وضعیت روغن را تشخیص داد. همچنین با پردازش این تصاویر به کمک نرم‌افزار بتوان وضعیت خرابی را از طریق هوش مصنوعی استخراج کرد. در این پژوهش داده‌ها از آزمایش نمونه روغن‌های موتور غلتک‌های راه‌سازی گرفته شده است. ابتدا داده‌ها به کمک خطوط مبنا به دست آمده برای موتورهای دیزلی و از طریق نرم‌افزار متلب به تصاویر مقیاس خاکستری تبدیل شد. در مرحله بعد این تصاویر به کمک روش شبکه عصبی کانولوشن پردازش شده است تا وضعیت روغن مشخص شود. مقایسه نتایج به دست آمده نشان داد تصویرسازی نتایج آنالیز روغن به درک وضعیت کلی روغن برای کاربر کمک می‌کند و سریع‌تر نمونه‌های بحرانی و نیازمند اقدام از بین انبوه نمونه‌های روغن تشخیص داده می‌شود.

## ۱- مقدمه

ارتعاش‌سنجی، تحلیل روغن، ترموگرافی و... معایب و شکست‌های احتمالی و بالقوه تجهیزات تشخیص داده می‌شود؛ بنابراین قبل از خرابی آن‌ها، فرصت برای برنامه‌ریزی و انجام تعمیرات اصلاحی و یا اقدامات پیشگیرانه در اختیار واحد نگهداری و تعمیرات قرار می‌گیرد.

در صورتی که آنالیز روغن به‌درستی و با اعمال مدیریت صحیح اجرا شود، نه تنها قادر به کاهش قابل توجه هزینه در بخش نگهداری و تعمیرات می‌باشد، بلکه نقش مهمی نیز در افزایش تولید خواهد داشت. برنامه CM فقط یک شیوه‌نت پیشگیرانه نیست؛ بلکه یک منبع سرشار اطلاعات مدیریتی است که می‌تواند به‌خوبی به آمادگی تجهیزات در جهت تدوین و برنامه‌ریزی کار و تولید کمک کند. به‌عنوان یک روش نت، آنالیز روغن می‌تواند نگاه عمیقی به درون ماشین داشته باشد و شرایط نامطلوب دستگاه را که نادیده انگاشته شده و یا مخفی بوده است مشخص سازد. به این ترتیب، اعمال یک برنامه مؤثر کنترلی و نظارتی بر وضعیت تجهیزات و سیستم‌های مکانیکی، کاهش هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم را برای صنایع و پروژه‌های عمرانی به دنبال خواهد داشت [۳].

با توجه به اهمیت آنالیز روغن برای ارزیابی سلامت ماشین‌آلات، ارائه روشی معتبر و کارآمد که ساده و قابل‌درک برای مدیران و افرادی که دانش تخصصی آنالیز روغن ندارند باشد، مفید و ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله سعی می‌شود روش جدیدی مبتنی بر پردازش تصویر به کمک شبکه عصبی برای تحلیل نتایج آنالیز روغن ارائه شود که شاخص‌های مهم و اطلاعات حاصل از آنالیز روغن یک دستگاه را در یک ماتریس گرافیکی خلاصه می‌کند و با مقایسه این ماتریس (تصویر) با داده‌های گذشته و نمونه‌های مشابه می‌توان وضعیت دستگاه را تعیین کرد. همچنین به کمک این روش نمونه‌ها به گروه‌های پنج‌گانه بحرانی، مرزی نیازمند اقدام سریع، مرزی، مرزی قابل‌قبول و نرمال دسته‌بندی می‌شوند و نیازی به صرف زمان برای بررسی همه نمونه‌ها توسط خبره نیست که نتیجه آن افزایش سرعت و کاهش هزینه‌های تحلیل روغن است.

از تکنیک‌های پردازش تصویر در زمینه‌های مختلف استفاده‌شده و محققان مختلف این روش‌ها را توسعه داده‌اند،

فناوری پایش وضعیت (CM) از طریق تحلیل روغن، به‌عنوان روشی مؤثر در تشخیص فرسایش‌های غیرعادی یا عیوب تجهیزات و سامانه‌های مکانیکی شناخته می‌شود. آنالیز روغن به‌عنوان یک ابزار کارآمد در کنار آنالیز ارتعاشات و ترموگرافی نقش بسزایی در پایش وضعیت تجهیزات حیاتی ایفا می‌کند.

در سامانه‌های مکانیکی که اجزاء با روغن در تماس‌اند، روش پایش روغن، قابلیت بالایی را در تشخیص عیوب مکانیکی دارد و به‌عنوان ابزاری مؤثر، امکان بهینه‌سازی سامانه‌ها و نظارت‌های مختلفی نظیر بررسی روند استهلاک، کیفیت قطعات و مواد و چگونگی انجام تعمیرات را فراهم می‌سازد. در حال حاضر تحلیل روغن بخش عمده‌ای از برنامه نگهداری نیروهای نظامی، نیروگاه‌ها، واحدهای تولیدی، شرکت‌های حمل‌ونقل، تجهیزات ساختمانی، هواپیماها، کشتی‌ها و... می‌باشد [۱].

روش‌ها و فرایندهای متعددی برای پیش‌بینی وضعیت بر اساس آنالیز روغن در سال‌های اخیر ابداع و ارائه شده و توسط پژوهشگران بعدی توسعه داده شده‌اند، در حال حاضر نتایج آنالیز روغن به کمک روش‌های داده‌کاوی [۲]، شبکه عصبی و روش منطق فازی [۱] تحلیل می‌شود. در این مقاله تلاش می‌شود به کمک روش تصویرسازی داده‌ها و پردازش آن با شبکه عصبی آنالیز روغن را تحلیل و وضعیت آن را تعیین کنیم. یکی از مشکلات حوزه پایش وضعیت به کمک آنالیز روغن هزینه و زمان موردنیاز برای بررسی همه نمونه‌ها توسط خبره است، درواقع همه داده‌های حاصل از آنالیز روغن نیاز به بررسی توسط خبره ندارند و کمتر از ۱۰ درصد از این داده‌ها نشان‌دهنده وضعیت بحرانی است که نیاز به برنامه‌ریزی و اقدام سریع دارند، در این زمینه هدف پردازش و دسته‌بندی نمونه‌های مختلف به انواع ۱- بحرانی؛ ۲- مرزی سریع؛ ۳- مرزی؛ ۴- مرزی قابل‌قبول؛ ۵- نرمال است.

یکی از جنبه‌های مهم برنامه‌های مراقبت وضعیت به‌وسیله آنالیز روغن بحث صرفه‌جویی‌های اقتصادی است. با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری شرایط و وضعیت فنی نظیر

برنامه نمونه‌گیری روغن از ماشین‌آلات و تجهیزات تحت پوشش CM، نقش تعیین‌کننده‌ای در کارایی برنامه GM و کیفیت اطلاعات استخراجی و تحقق انتظارات از GM دارد. اجرای برنامه نمونه‌گیری منظم (SOS) بسیار تعیین‌کننده است و متناسب با حساسیت و دیگر عوامل کاری مؤثر، تناوب نمونه‌گیری مشخص می‌شود.

## ۲- مطالعات پیشین آنالیز روغن

ایسا و همکاران [۹] با آنالیز فروگرافی، ذرات سایشی سیستم‌های ماشینی مختلف در کشتی تجاری را بررسی کردند. آن‌ها از روش‌های اندازه‌گیری نقطه اشتعال، ویسکوزیته، آنالیز فروگرافی و آنالیز پراش اشعه ایکس جهت استخراج اطلاعات مربوط به جنبه‌های فیزیکی روغن و وضعیت سایش قسمت‌هایی از ژنراتور، گیربکس و موتور استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از آنالیز ذرات سایشی و به‌طور ویژه آنالیز فروگرافی یک ابزار مؤثر برای شناسایی و پاسخ به نیازهای نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات کشتی‌های دریایی است. آنالیز فروگرافی نشان داد که ذرات سایشی در نمونه‌های به‌دست‌آمده از ژنراتور و گیربکس حضور دارند که نشان‌دهنده سایش غیرعادی آن و نیاز به اصلاح فوری خرابی است. همچنین حضور ذرات سایشی غیرعادی باعث می‌شود که سیستم روان کار به‌طور مؤثری نتواند کار کند و در همان زمان منجر به از بین رفتن اجزاء فلزی می‌گردد.

کرول و همکاران [۱۰] نشان دادند که شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند به‌عنوان ابزاری مناسب برای توصیف حالت‌های مختلف روغن در آزمون‌های طولانی‌مدت خلل و فرج یا یاتاقان‌ها مورد استفاده قرار گیرند. هدف آن‌ها از این مطالعه بررسی تحمل خرابی یاتاقان‌ها بود.

بکانا و همکاران [۴] به پایش وضعیت ماشین‌های کشاورزی با استفاده از آنالیز روغن موتور پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روغن‌های مورد استفاده در شرایط مناسب هستند و تعویض روغن در ۲۵۰ ساعت کارکرد قابل توجه نیست؛ زیرا همه تراکتورها در شرایط کاری مناسبی به سر می‌بردند و عملکرد موتور با قابلیت اطمینان بالایی در دسترس بود. بعلاوه جهت بهینه‌سازی تناوب تعویض روغن موتور نیاز به

استفاده و ترکیب این روش‌ها با دانش آنالیز روغن می‌تواند اطلاعات لازم برای عملیاتی نمودن یک برنامه مؤثر GM را تأمین کند. برای تجهیزاتی که کار آن‌ها وابسته به روغن کاری است، روانکار قابل اطمینان، دارای نقش اساسی بوده و مستلزم آگاهی از وضعیت و یا کارایی آن است. در سال‌های اخیر، مدیران نگهداری و تعمیر به‌طور روزافزونی اطلاعات مربوط به خواص روغن‌ها، آلودگی‌ها و فلزات فرسایشی و دیگر پارامترهای عملیاتی را هنگام برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری برای عملیات نگهداری و تعمیر و اینکه چه اقدامی در چه زمانی باید انجام شود، بکار می‌برند. در نتیجه، آنالیز روغن، نقش حساسی را در برنامه‌های نگهداری و تعمیر تجهیزات بر مبنای وضعیت (CBM)<sup>۱</sup> و نگهداری و تعمیرات متمرکز بر قابلیت اطمینان (RCM)<sup>۲</sup> دارد.

آنالیز روغن یک روش پایش است که در سطح گسترده‌ای به‌کاربرده می‌شود. بر اساس این فن‌آوری، اطلاعات مربوط به عملکرد و یا وضعیت ماشین، از طریق بررسی میزان آلودگی و یا تخریب روغن، تعیین می‌شود. این‌که آنالیز روغن ابزار مؤثری است برای پایش وضعیت حالت‌های خرابی تجهیزات در تماس با روانکار و فرسایش، به اثبات رسیده است. با این حال، به دلایل مختلفی، همه کاربران تجهیزات، از حداکثر منافع موجود در پایش وضعیت برخوردار نمی‌شوند. در این روش نمونه کوچکی از روغن در حال کار گرفته می‌شود و این نمونه مورد آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی قرار می‌گیرد تا از سلامت دستگاه از طریق بررسی وضعیت روغن آگاهی حاصل شود و نیز سطح آلودگی روغن مشخص گردد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای CM، کنترل و عیب‌یابی ماشین‌آلات حمل‌ونقل (نظیر اتوبوس، کامیون، کفی، قطار و ... ) و انواع ماشین‌آلات معدنی/عمرانی (نظیر غلتک، لودر، گریدر، بولدوزر و ...) می‌باشد. منافع فنی و اقتصادی حاصل از به‌کارگیری این فن‌آوری باعث شده است تا در بسیاری از کشورهای پیشرفته، نمونه‌گیری و آزمایش روغن موتور، گیربکس و دیگر قسمت‌های ماشین، طبق برنامه‌های منظم و مستمر انجام شود.

<sup>1</sup> Condition base Maintenance

<sup>2</sup> Reliability Centered Maintenance

استفاده از نرخ مقدار تغییرات تعیین شد. عکس‌برداری لیزری برای طبقه‌بندی حالت‌های سایش و مقدار ذرات سایشی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج عکس‌برداری لیزری با نتایج حاصل از آنالیز اسپکتروسکوپی همسان بودند.

لی و همکاران [۱۲] مطالعه‌ای در خصوص ارائه مدلی برای شناسایی و پیش‌بینی خرابی حاصل از سایش خارجی بر اساس اطلاعات حاصل از پایش وضعیت روغن و با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی ازدحام ذرات در ماشین بردار پشتیبان انجام دادند. به منظور افزایش دقت شناسایی و پیش‌بینی خرابی سایشی پارامترها را از طریق بهینه‌سازی ازدحام ذرات انتخاب کردند؛ و همچنین ویژگی‌ها را با فرآیند حذف ویژگی بازگشتی (RFE) انتخاب کردند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که با توجه به مکانیسم سایش، اگر خرابی در مراحل اولیه تشخیص داده نشود منجر به خرابی قابل ملاحظه‌ای می‌گردد. ویژگی‌های کاهش یافته شامل آهن، آلومینیوم و سرب بودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که باید توجه ویژه‌ای به این عناصر جهت شناسایی و پیش‌بینی خرابی در موتور دیزل شود. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل بهینه‌سازی ازدحام ذرات و ماشین بردار پشتیبان می‌تواند با دقت بالاتری نسبت به مدل اصلی ماشین بردار پشتیبان، خرابی را شناسایی و پیش‌بینی کند.

سج کورووا و گلوس [۱۶] افت روغن‌های موتور استفاده شده در تراکتورهای ZETRO را مطالعه کردند. آن‌ها از روش‌های طیف‌سنجی تبدیل فوری مادون قرمز (FTIR) همچنین فرورگرافی جهت ارزیابی روغن موتور استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، زمانی که تراکتور به یک باره تحت بار مضاعف روزمره قرار می‌گیرد. خواص روان کاری روغن تضعیف می‌شود که این امر منجر به افزایش سایش در موتور می‌شود؛ بنابراین تمدید زمان توصیه شده برای تعویض روغن اقدام منطقی نیست بلکه عمل به توصیه کارخانه تولیدکننده بهترین اقدام جهت بهره‌مندی مناسب می‌باشد.

هیری و همکاران [۸] ویسکوزیته روغن موتور را با استفاده از FTIR و رگرسیون حداقل مربعات جزئی پیش‌بینی کردند. آن‌ها پنجاه نمونه روغن با ویسکوزیته‌های مختلف را به کمک آنالیز مادون قرمز ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش طیف‌سنجی می‌تواند به عنوان یک روش مناسب

مطالعه بیشتر جهت افزایش ساعت کارکرد موتور بود که نتایج نشان داد تعویض روغن موتور به شرایط ویژه کارکرد هر یک از ماشین‌آلات بستگی دارد.

یو و همکاران [۱۸] به کمک شبکه عصبی احتمالی خرابی روغن موتور ترانسفورماتور را پیش‌بینی کردند. هدف آن‌ها مقایسه شبکه عصبی احتمالی با الگوریتم‌های دیگر برای تعیین مقدار دقت تشخیص خرابی بود. آن‌ها بیان کردند که در صورت استفاده بالقوه از توانایی‌های بالای سیستم شبکه عصبی احتمالی این الگوریتم عملی قابل قبولی در افزایش دقت تشخیص خرابی‌ها خواهد داشت.

کومار و همکاران [۱۱] پایش وضعیت روغن ماشین‌های سنگین معدنی را مطالعه کردند نمونه‌هایی از روغن بافاصله‌های زمانی از موتور ماشین‌آلات جمع‌آوری شد. آن‌ها از آنالیز فرورگرافی و آنالیز میکروسکوپی الکترونی روشی سطحی جهت آنالیز ذرات سایشی روغن استفاده کردند. بعلاوه از آنالیز ویسکوزیته و طیف‌سنجی تبدیل فوری مادون قرمز برای بررسی تنزل کیفیت و تغییرات روغن نسبت به خواص ساختاری اولیه آن نیز بهره بردند. نتایج آن‌ها حاکی از وجود سایش در بوش سیلندر و رینگ پیستون بود. مس و چدن، آلیاژ فولادی و اکسید آهن به عنوان ذرات سایشی مالشی و برشی در نمونه‌ها یافت شدند. آن‌ها بیان داشتند که نتایج به دست آمده برای گروه‌های نگهداری و تعمیرات جهت پیش‌بینی خرابی‌های اولیه‌ای قریب‌الوقوع ماشین‌آلات خیلی مفیدند، از آنجاکه ماشین‌آلات معدنی بخش مهمی از تجهیزات در معدن زغال سنگ هستند، بنابراین پایش وضعیت آن‌ها می‌تواند شکست‌ها و ازکارافتادگی را کاهش دهد.

اُکل و همکاران [۱] وضعیت گیربکس صنعتی را با استفاده از آنالیز ذرات سایشی ارزیابی کردند. آن‌ها برای پایش وضعیت از یک گیربکس تازه نصب شده در ماشین‌آلات نساجی استفاده کردند. از روش آنالیز اسپکتروسکوپی و فرورگرافی جهت بررسی تغییرات کمی و کیفی غلظت عناصر و توزیع آن‌ها در اندازه‌های مختلف استفاده شد. نتایج آن‌ها نشان داد که آنالیز ذرات سایشی یک روش جامع و قدرتمند در تعیین فواصل بین نگهداری و تعمیرات می‌تواند باشد. محدوده سایشی برای هر یک از عناصر بحرانی و احتیاطی با

حق پرست و همکاران [۷] در مقاله‌ای به پیش‌بینی ورشکستگی شرکت‌ها با استفاده از نسبت‌های مالی تصویری پرداخته‌اند بدین صورت که نسبت‌های مالی به‌عنوان داده‌های پژوهش را از طریق نرم‌افزار متلب به تصویر تبدیل کرده‌اند سپس به کمک شبکه عصبی کانولوشن و تحت معماری گوگل نت اقدام به تشخیص و پیش‌بینی وضعیت شرکت‌های نمونه گردید که به این نتیجه رسیدند که پیش‌بینی و شناخت از روی تصاویر پیش‌بینی درستی با دقت ۵۰ درصد از بین شرکت‌ها انجام داده‌اند.

در مرجع [۱۹] از شبکه عصبی برای مدل‌سازی آنالیز داده‌های روغن‌موتورهای دیزلی دریایی استفاده شد. همچنین مرجع [۲۰] مدلی برای استراتژی تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط برای تشخیص خطا در سیستم‌های موتور کشتی ارائه داد. مرجع [۲۱] یک مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی عملکرد موتور مبتنی بر بیودیزل توسعه داد. مرجع [۲۲] از شبکه عصبی برای تشخیص عیب یاتاقان بین شفت استفاده کرد. مرجع [۲۳] مدلی برای تشخیص عیب و جداسازی خرابی‌های محرک در موتورهای جت را با استفاده از برنامه‌ریزی دینامیکی تطبیقی توسعه داد. مرجع [۲۴] روشی برای پیش‌بینی عیب پیشرفته بر اساس شاخص‌های رفتاری و شبکه‌های عصبی با کاربرد در موتور دیزل ارائه داد.

مطالعات انجام‌شده نشان داد که تحقیقات قبلی فقط در [۲] مدلی برای تعیین خطوط مبنای آنالیز روغن ارائه شده است که در این تحقیق در تکمیل [۲] و بر مبنای خطوط مبنای به‌دست‌آمده، وضعیت هر یک از تجهیزات در قالب داشبورد تصویری به مدیران و خبرگان نمایش داده می‌شود. این داشبورد تصویری به مدیران کمک می‌کند که به‌سرعت متوجه وضعیت‌های خارج از وضعیت نرمال شوند. در مقالات [۱۹-۲۴] مدل‌هایی برای تشخیص عیوب معرفی شده‌اند که هیچ‌یک از خطوط مبنا برای این کار استفاده نکرده‌اند و لذا در شرایطی که روند و داده‌های قبلی وجود نداشته باشد و حجم نمونه کافی از یک تجهیز وجود نداشته باشد، دقت مناسبی را نخواهند داشت. مدل‌های معرفی شده قبلی، دانش خبرگی که ناشی از شناخت عناصر موجود در هریک از قطعات موتور است را استفاده نمی‌کند. در تحقیق حاضر

برای تعیین ویسکوزیته روغن‌موتور، بدون انجام هیچ عمل پیش‌فراوری و یا هرگونه دست‌کاری در نمونه استفاده شود. راسچر و همکاران [۱۴] برای پایش وضعیت برخط روغن گیربکس از حسگر مادون‌قرمز استفاده کردند. آن‌ها از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی چند متغیره با انتخاب فیلتر میان‌گذر مناسب برای تخمین اکسیداسیون، مقدار آب و اسیدیته روغن استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی بالایی بین مقادیر آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده وجود دارد. لذا می‌توان از آن برای تخمین بر خط ویژگی‌های روغن استفاده کرد.

راپاسو و همکاران [۱۳] یک مدل برای نظارت بر شرایط ارائه دادند. با استفاده از داده‌های حاصل از روغن موجود در موتورهای دیزل ناوگان اتوبوس‌های شهری، روند تخریب را مطالعه و سیاست تعمیر و نگهداری پیش‌بینی شده برای جایگزینی روغن را توسعه دادند که بر اساس تجزیه و تحلیل شرایط روغن، فواصل جایگزینی روغن را افزایش داد و این امکان را فراهم کرد تا در دسترس بودن افزایش یابد.

چهارسوقی و همکاران [۵] به ارائه مدلی برای پیش‌بینی زمان کارکرد باقی‌مانده تا وضعیت بحرانی بر اساس سوابق تحلیل روغن‌موتور یک مدل بولدوزر با راهکار داده‌کاوی پرداختند و در مقاله‌ای نتیجه مقایسه عملکرد روش شبکه عصبی و روش رگرسیون بر روی مجموعه‌ای با ۴۹ رکورد و ۴ متغیر را منتشر کردند که مقایسه میانگین مربع خطای دو مدل نشان می‌داد روش شبکه عصبی در پیش‌بینی زمان بحرانی شدن وضعیت دستگاه بهتر عمل می‌کند.

الکسی سیدلف [۱۷] در مقاله‌ای یک الگوریتم مبتنی بر یادگیری انتقال و مدل GoogleNet را ارائه دادند که دارای دو ویژگی اصلی دقت بالاتر از بسیاری از الگوریتم‌های پیشرفته و سادگی اجرا است.

جووا رودریگز و همکاران [۱۵] در مقاله‌ای به ارائه مدلی برای پیش‌بینی وضعیت روغن به کمک شبکه عصبی مصنوعی و روش (PCA) تجزیه و تحلیل عناصر اصلی پرداختند. در این مقاله پیش‌بینی وضعیت روغن به کمک شبکه عصبی با پیش‌بینی کارشناس مقایسه گردید و نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی دقیق‌تر از انسان ارزیابی می‌کند.

ارائه شده است که این خطوط مبنا در جدول ۲ به طور کامل نشان داده شده است.

**جدول (۱): منابع و منشأ عناصر فرسایشی روغن.**

| متغیر     | نماد | منابع و منشأ عناصر فرسایشی (موتورها)   |
|-----------|------|--|
| آهن       | Fe   | لایبرهای سیلندر (بوش)، رینگ‌های پیستون، شیرآلات، میل‌لنگ، میل بادامک، دنده‌های فتری، واشرهای قفلی، مهره‌ها، پین‌ها، اتصالات، بلوک سیلندر، اویل پمپ |
| کروم      | Cr   | رینگ‌ها، لایبرها، سوپاپ‌های دود، سیستم خنک کاری  |
| سرب       | Pb   | یاتاقان‌های اصلی، یاتاقان‌های ثابت و متحرک، ناشی از آلودگی گازوئیل   |
| مس        | Cu   | نشان‌دهنده وجود خوردگی در بوش، یاتاقان، واشر، میل سوپاپ  |
| قلع       | Sn   | نشان‌دهنده فرسایش یاتاقان‌ها، هسته خنک‌کننده روغن، گاورنر، واشر تسمه‌ای  |
| آلومینیوم | Al   | سیلندر، پیستون‌ها، هوا دهنده‌ها، بوش‌های اویل پمپ برخی یاتاقان‌ها، برخی بوش میل بادامک، برخی کولرهای روغن  |
| سیلیسیم   | Si   | بلوک سیلندر (در آلیاژ آلومینیوم)، نفوذ گردو خاک از محل تنفس موتور، منابع خارجی.  |
| بور       | B    | افزودنی‌های ضد خوردگی، ضد سایش، ضد اکسیداسیون، مایع خنک کاری، آلودگی‌های گریس  |
| سدیم      | Na   | در افزودنی‌های ضد خوردگی، در اثر نشت مایع سیستم خنک کاری به داخل موتور، از املاح، آب دریا، گردو خاک  |
| منیزیم    | Mg   | افزودنی‌های پاک‌کننده، در آلیاژهای فولاد   |
| کلسیم     | Ca   | افزودنی پاک‌کننده، افزودنی جهت خنثی‌سازی سولفور سوخت موتور در آلودگی گریس‌ها.  |
| فسفر      | P    | افزودنی ضد سایش، ضد خوردگی، ضد اکسیداسیون  |
| روی       | Zn   | افزودنی ضد سایش، ضد خوردگی، ضد اکسیداسیون، آلیاژ یاتاقان‌ها، تراست واشرها  |

مشابه با روش معرفی شده در مرجع [۱۸] که برای موضوع دیگری استفاده شده است، از تصویرسازی نتایج آنالیز روغن برای تشخیص عیوب استفاده شده است.

### ۳- روش تحقیق

#### ۳-۱- جامعه آماری

جامعه آماری در این تحقیق شامل موتورهای دیزلی، تعداد ۳۶۵ موتور به عنوان جامعه آماری در نظر گرفته شده با توجه به ویژگی‌های شبکه عصبی که هر چه تعداد داده‌های مورد آزمون بیشتر باشد موجب کسب پاسخ بهتر از شبکه می‌شود تمامی موتورهایی که جامعه آماری تحقیق انتخاب شده بودند به عنوان نمونه آماری انتخاب و مورد آزمون قرار گرفتند.

#### ۳-۲- داده‌های آنالیز روغن

کارکرد دستگاه، ذرات فرسایشی ناشی از اصطکاک قطعات به درون روغن راه می‌یابند. بر اساس تحقیقات انجام شده ذرات فرسایشی درون روغن از نقطه نظر شکل، اندازه، جنس و رنگ می‌توانند به عنوان منبع بسیار غنی اطلاعات باشند. در واقع با تجزیه و تحلیل ذرات فرسایشی می‌توان تا حد بسیار زیادی پی به اتفاقاتی که در شرف وقوع می‌باشند و یا واقع شده‌اند برد. با بهره‌گیری از نتایج آنالیز روغن و با عنایت به فناوری ساخت قطعات موتورها و عناصر به کاررفته در هر یک از قطعات و شناسایی مجموعه عیوب قابل تحلیل موتورهای دیزل می‌توان منشأ عناصر فرسایشی و آلودگی‌های موجود در روغن را مشخص کرد. در جدول ۱ منابع و منشأ عناصر فرسایشی موجود در آنالیز روغن آورده شده است.

#### ۳-۳- خطوط مبنا

رمضانی و همکارانش در مقاله‌ای با استفاده از داده‌کاوی و نتایج آنالیز روغن به تعیین خطوط مبنای فرسایشی برای موتورهای دیزل پرداخته‌اند [۲] که در آن تحقیق با استفاده از روش مورداستفاده در مقاله گفته شده و داده‌های در دست، خطوط مبنای موردنظر را برای موتورهای دیزلی

جدول (۲): خطوط مبنای موتورهای دیزلی [۲].

| عناصر        | نماد | عادی     | مرزی              | مرزی غ ق          | بحرانی   |
|--------------|------|----------|-------------------|-------------------|----------|
| آهن          | Fe   | <۴۴/۹۹   | ۴۴/۹۹<X<۶۲/۶۳     | ۶۲/۶۳<X<۸۰/۲۷     | >۸۷/۲۷   |
| کروم         | Cr   | <۱۱/۸۴   | ۱۱/۸۴<X<۱۷/۷۶     | ۱۷/۷۶<X<۲۳/۶۹     | >۲۳/۶۹   |
| سرب          | Pb   | <۶/۹۹    | ۶/۹۹<X<۱۰/۱۹      | ۱۰/۱۹<X<۱۳/۳۸     | >۱۳/۳۸   |
| مس           | Cu   | <۳/۳۲    | ۳/۳۲<X<۴/۸۸       | ۴/۸۸<X<۶/۴۴       | >۶/۴۴    |
| قلع          | Sn   | <۰/۱۷۹   | ۰/۱۷۹<X<۰/۳۳۰     | ۰/۳۳۰<X<۰/۴۸      | >۰/۴۸    |
| آلومینیوم    | Al   | <۱۱/۲۰   | ۱۱/۲۰<X<۱۵/۵۹     | ۱۵/۵۹<X<۱۹/۹۸     | >۱۹/۹۸   |
| نیکل         | Ni   | <۰/۳۷    | ۰/۳۷<X<۰/۵۶       | ۰/۵۶<X<۰/۷۶       | >۰/۷۶    |
| نقره         | Ag   | <۰/۰۴۲   | ۰/۰۴۲<X<۰/۰۷۳     | ۰/۰۷۳<X<۰/۱۰۵     | >۰/۱۰۵   |
| سیلیسیم      | Si   | <۱۵/۸۶   | ۱۵/۸۶<X<۲۱/۹۰     | ۲۱/۹۰<X<۲۷/۹۳     | >۲۷/۹۳   |
| بور          | B    | <۵۱/۰۶   | ۵۱/۰۶<X<۸۲/۹۲     | ۸۲/۹۲<X<۱۱۴/۷۸    | >۱۱۴/۷۸  |
| سدیم         | Na   | <۸/۶۵    | ۸/۶۵<X<۱۱/۸۳      | ۱۱/۸۳<X<۱۵/۰۲     | >۱۵/۰۲   |
| منیزیم       | Mg   | <۲۵۰/۸۱  | ۲۵۰/۸۱<X<۳۰۲/۳۲   | ۳۰۲/۳۲<X<۳۵۴/۰۷   | >۳۵۴/۰۷  |
| کلسیم        | Ca   | <۳۳۷/۸۳  | ۳۳۷/۸۳<X<۳۹۴/۸۳   | ۳۹۴/۸۳<X<۴۵۶/۰۱   | >۴۵۶/۰۱  |
| باریم        | Ba   | <۰/۴۰۳۲  | ۰/۴۰۳۲<X<۰/۶۹     | ۰/۶۹<X<۰/۹۸       | >۰/۹۸    |
| فسفر         | P    | <۱۰۷۱/۵۰ | ۱۰۷۱/۵۰<X<۱۳۲۹/۴۷ | ۱۳۴۹/۲۷<X<۱۵۸۷/۴۳ | >۱۵۸۷/۴۳ |
| روی          | Zn   | <۱۲۲۵/۸۶ | ۱۲۲۵/۸۶<X<۱۴۶۷/۲۷ | ۱۴۶۷/۲۷<X<۱۷۰۸/۶۸ | >۱۷۰۸/۶۸ |
| تیتانیوم     | Ti   | <۰/۰۲۲   | ۰/۰۲۲<X<۰/۰۴۱     | ۰/۰۴۱<X<۰/۰۶      | >۰/۰۶    |
| وانادیوم     | V    | <۱/۴۸    | ۱/۴۸<X<۲/۲۰       | ۱/۸۴<X<۲/۹۱       | >۲/۹۱    |
| PQ           | -    | <۱۷/۳۰   | ۱۷/۳۰<X<۲۱/۷۸     | ۲۱/۷۸<X<۲۶/۲۶     | >۲۶/۲۶   |
| ویسکوزیته ۴۰ | -    | <۱۷۸/۱۶  | ۱۷۸/۱۶<X<۲۱۸/۷۵   | ۲۱۸/۷۵<X<۲۵۹/۳۵   | >۲۵۹/۳۵  |

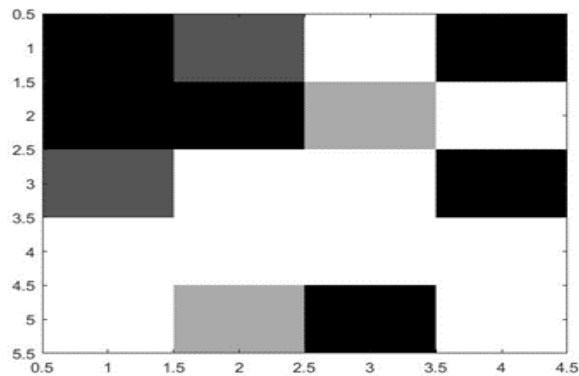
می‌شود. از طرف دیگر وضعیت نهایی روغن نیز با ۵ کد (۰،۱،۲،۳،۴) مطالب جدول ۳ کدگذاری شده است که به ترتیب وضعیت عادی روغن با عدد ۰، وضعیت مرزی قابل قبول با عدد ۱، وضعیت مرزی با عدد ۲، وضعیت مرزی سریع با عدد ۳، وضعیت بحرانی با عدد ۴، کدگذاری شده است. دسته‌بندی چهارگانه مربوط به وضعیت عناصر و دسته‌بندی پنج‌گانه مربوط به وضعیت نهایی روغن است.

جدول (۳): کدهای وضعیت نهایی روغن.

| کد | نوع وضعیت      |
|----|----------------|
| ۰  | عادی           |
| ۱  | مرزی قابل قبول |
| ۲  | مرزی           |
| ۳  | مرزی سریع      |
| ۴  | بحرانی         |

در پژوهش حاضر، جهت تکمیل پژوهش یادشده و به منظور شناسایی وضعیت تجهیز در یک نگاه، وضعیت تجهیز به صورت داشبوردی کدگذاری و تصویرسازی می‌شود. این تصویرسازی به خیرگان و مدیران کمک می‌کند تا در یک نگاه از وضعیت سلامت تجهیز مطلع شوند و همچنین در ادامه در این پژوهش از مزایای پردازش تصویر برای شناسایی وضعیت تجهیز و تشخیص عیوب استفاده می‌شود. برای تصویرسازی نمونه‌ها بر مبنای وضعیت آنالیز روغن انجام شده، در این تحقیق وضعیت عناصر با چهار کد (۰،۱،۲،۳) مطابق جدول کدگذاری شده‌اند که به ترتیب، وضعیت عادی با عدد ۰، وضعیت مرزی با عدد ۱، وضعیت مرزی غیرقابل قبول (مرزی غ ق) با عدد ۲ و بحرانی با عدد ۳، کدگذاری شده است که این کدگذاری در تمام جداول و در خروجی‌ها و ورودی‌های نرم‌افزار نیز بکار برده





شکل (۱): نمونه تبدیل شده به تصویر.

### ۳-۵- تبدیل داده‌ها به تصاویر مقیاس خاکستری

همراه از تجهیز غلتک نمونه‌گیری شده و نتایج آنالیز روغن آن به شکل ۲ می‌باشد. بررسی تغییر وضعیت روغن و وضع موتور تجهیز مقایسه روند داده‌ها زمان‌بر و حتی سردرگم کننده و غیرقابل فهم است اما با تبدیل این داده‌ها به تصویر به سرعت می‌توان به درکی کلی از اوضاع و تغییر روندها دست یافت.

| نمونه اردیبهشت ماه |      |      |       | نمونه فروردین ماه     |      |      |       |
|--------------------|------|------|-------|-----------------------|------|------|-------|
| ۱/۹                | ۳/۹  | ۳/۵  | ۳/۱۷  | ۳                     | ۲    | ۱۲   | ۱۰/۳  |
| ۰                  | ۰/۵  | ۷    | ۰     | ۰                     | ۰    | ۳۱   | ۰     |
| ۲۱/۹               | ۱۸/۳ | ۰/۵  | ۰/۰۳  | ۲۳/۲                  | ۱/۸  | ۰/۷  | ۰/۰۱۹ |
| ۱۱۲۲               | ۹۲۹  | ۰    | ۱۱۲۲  | ۷۶۹                   | ۲۷۳  | ۰    | ۳۰۵   |
| ۸۹                 | ۱۳   | ۲    | ۰     | ۱۶۸                   | ۸    | ۰/۴  | ۰     |
| نمونه تیر ماه      |      |      |       | نمونه خرداد ماه       |      |      |       |
| ۹/۶                | ۱/۷  | ۳۳/۳ | ۶۴    | ۳                     | ۳/۹  | ۵/۲  | ۴۵    |
| ۰                  | ۱۲   | ۶۴   | ۰     | ۰                     | ۴    | ۶/۳  | ۰     |
| ۱۶/۴               | ۱۳/۱ | ۲/۲  | ۰/۰۶۱ | ۱۹/۲                  | ۶/۷  | ۷    | ۰/۰۳  |
| ۷۹۰                | ۷۲۹  | ۰    | ۱۱۹۵  | ۱۱۹۵                  | ۱۱۳۰ | ۰/۵  | ۲۵۶۹  |
| ۷۸                 | ۲۳   | ۰    | ۰     | ۱۳۲                   | ۱۲   | ۰/۹  | ۰     |
| نمونه مرداد ماه    |      |      |       | نمونه تیر ماه (تکرار) |      |      |       |
| ۲                  | ۳/۳  | ۷/۵  | ۴۲    | ۹/۶                   | ۳/۲  | ۳۳/۳ | ۸۹    |
| ۰                  | ۸    | ۹    | ۰     | ۰                     | ۲۵   | ۶۴   | ۰     |
| ۲۶                 | ۱۴/۳ | ۲/۲  | ۰/۰۲  | ۱۶/۴                  | ۱۳/۵ | ۲/۲  | ۰/۰۷  |
| ۹۲۹                | ۷۲۹  | ۰    | ۳۲۸۷  | ۷۹۰                   | ۷۲۹  | ۰    | ۲۹۴۶  |
| ۱۳۹                | ۲۹   | ۰    | ۰     | ۸۲                    | ۲۶   | ۰    | ۰     |

شکل (۲): نمونه آنالیز روغن تجهیز غلتک.

شکل ۳ نتیجه تبدیل داده‌ها به تصاویر مقیاس خاکستری را نشان می‌دهد.

### ۳-۴- تصویرسازی داده‌های آنالیز روغن

تصویرسازی داده‌های آنالیز روغن در سه مرحله انجام می‌شود.

- مرحله اول: جاگذاری داده‌های آنالیز روغن
- مرحله دوم: کدگذاری داده‌ها
- مرحله سوم: تبدیل اعداد به تصویر

در مرحله اول داده‌های آنالیز روغن طبق جدول ۴ جاگذاری می‌شوند. جدول ۵ نمونه‌ای از این جایگذاری را نشان می‌دهد. در مرحله دوم داده‌ها کدگذاری می‌شوند. اعداد به دست آمده را با توجه به خطوط مبنا و همچنین کدگذاری‌های مربوطه به وضعیت عناصر به کدهای ۰ تا ۳ تبدیل می‌شود. جدول ۶ نمونه‌ای از این کدگذاری را نشان می‌دهد.

جدول (۴): مرحله اول چارچوب جاگذاری داده‌های آنالیز روغن

| قلع               | سرب      | کروم      | آهن      |
|-------------------|----------|-----------|----------|
| نیکل              | سیلیسیم  | آلومینیوم | مس       |
| منیزیم            | سدیم     | بور       | نقره     |
| روی               | فسفر     | باریم     | کلسیم    |
| ویسکوزیته ۴۰ درجه | ذرات آهن | وانادیوم  | تیتانیوم |

### جدول ۵: نمونه جایگذاری داده‌های آنالیز روغن

|     |     |     |      |
|-----|-----|-----|------|
| ۷/۸ | ۰/۸ | ۲/۷ | ۸۳   |
| ۰   | ۰/۵ | ۵۹  | ۵    |
| ۶۱۷ | ۴/۱ | ۱/۱ | ۲۷/۸ |
| ۸۶۷ | ۷۰۵ | ۰   | ۱۲۵۱ |
| ۱۰۰ | ۴۱  | ۱/۵ | ۰    |

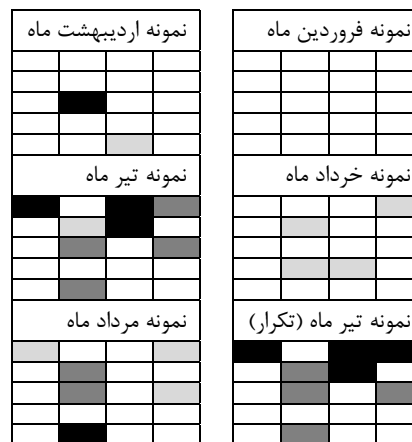
### جدول (۶): نمونه کدگذاری.

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| ۳ | ۰ | ۲ | ۳ |
| ۰ | ۱ | ۳ | ۳ |
| ۳ | ۰ | ۰ | ۱ |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۰ | ۳ | ۱ | ۰ |

در مرحله سوم به وسیله نرم‌افزار متلب کدهای به دست آمده را به تصویر تبدیل می‌کنیم که نمونه‌های تبدیل شده به تصویر در شکل ۱ ارائه شده است.

عملکردی مورد استفاده است. لذا در این موارد از خطوط مبنای محاسبه و اعلام شده در تحقیق [۲] استفاده شده است. در این مقاله با استفاده از خطوط مبنای معرفی شده در [۲] و با توجه به کدبندی‌های انجام شده، داشبوردی برای تعیین وضعیت عناصر موجود در روغن و وضعیت نهایی روغن موتور دیزل ارائه شد که مدیران و خبرگان بتوانند بر مبنای آن درک بصری مناسبی از وضعیت خرابی تجهیز داشته باشند. برای بررسی تغییر وضعیت روغن و وضع موتور تجهیز مقایسه روند داده‌ها زمان‌بر و حتی سردرگم کننده و غیرقابل فهم است اما با تبدیل داده‌های آنالیز روغن به تصویر می‌توان به سادگی با نگاه به این نتایج به درکی کلی از اوضاع و تغییر روندها دست یافت و با سرعت بیشتری متوجه اتفاقات رخ داده برای موتور شد و در صورت تشخیص بحرانی شدن وضعیت روغن نتیجه آنالیز روغن را برای خبره ارسال کرد تا عیب پیش آمده برای موتور را تشخیص دهد. از کاربردهای دیگر روش تصویرسازی می‌توان به خلاصه کردن وضعیت روغن مجموعه‌ای از تجهیزات در یک نمودار کلی و امکان مقایسه تجهیزات با هم و پیدا کردن درک کلی از وضعیت مجموعه است.

همچنین نتایج آنالیز روغن را به کد تبدیل کرده و کدهای به دست آمده به وسیله نرم افزار متلب ۲۰۲۰ به تصویر تبدیل شد. سپس به وسیله شبکه عصبی کانولوشن مبتنی بر معماری کانونت تصاویر حاصل از نتایج آنالیز روغن با نرم افزار متلب تحلیل شد و نتایج به دست آمده ارائه گردید. در مجموعه‌هایی که تعداد تجهیزات زیاد است یا به دلیل حساسیت تجهیزات فاصله بین هر بار نمونه‌گیری از تجهیز کم است، لذا تعداد فاکتورهای آنالیز روغن بسیار زیاد می‌شود و در نتیجه زمان و انرژی زیادی برای بررسی جزئیات اعداد این آنالیزها لازم است که برای حل این مشکل می‌توان با تهیه نتایج تصویری شده آنالیز روغن به سرعت نمونه‌های نیازمند اقدام را از بین انبوه نمونه‌ها شناسایی کرد یا به وضعیت کلی سلامت مجموعه پی برد. موارد ذکر شده جزو دستاوردهای نوآورانه تحقیق حاضر می‌باشد و تاکنون در هیچ مرکز تحقیقاتی یا کارگاهی به کار گرفته نشده است، به کمک روش‌های فوق‌الذکر کمک قابل توجهی به



شکل (۳): نتیجه تبدیل داده‌ها به تصاویر مقیاس

خاکستری.

با نگاه به نتایج به دست آمده از تبدیل نتایج آنالیز روغن به تصویر می‌توان با سادگی و سرعت بیشتری متوجه اتفاقات رخ داده برای موتور شد و در صورت تشخیص بحرانی شدن وضعیت روغن نتیجه آنالیز روغن را برای خبره ارسال کرد تا عیب پیش آمده برای موتور را تشخیص دهد. در مثال فوق در نمونه مربوط به ماه اردیبهشت بحرانی شدن مقدار عنصر سدیم به تنهایی و بدون هشدار در سایر عناصر موجود در روغن نشان دهنده نشت ضدیخ به داخل روغن از مخزن سردکننده است و با تعویض مخزن یا نشستی گیری مشکل برطرف می‌شود؛ اما در تیرماه افزایش مقدار عناصر کروم، سیلیسیم، آلومینیوم و افزایش آهن و ذرات آهن در روغن نشانه خوردگی و آسیب در بخش‌هایی از موتور (یاتاقان‌ها) است. با تکرار نمونه‌گیری از روغن و ارسال آن به آزمایشگاه صحت اطلاعات نمونه قبلی تأیید شده است، لذا با توجه به تشخیص خبره یاتاقان‌ها تعویض گردیده و از افزایش خرابی و آسیب جدی به موتور جلوگیری شده است. بر این اساس برای تشخیص عیب، عیوب پرتکرار شناسایی شده است و نوع و شدت آن با مدل ارائه شده مشخص می‌شود.

#### ۴- نتایج

##### ۴-۱- داشبورد وضعیت سلامت تجهیز

در برخی از تجهیزات شرکت سازنده استاندارد را برای میزان مجاز عناصر فرسایشی در روغن اعلام نکرده است یا میزان اعلام شده در شرایط عملکردی متفاوتی با شرایط

گردید. در اجرای روش کانولوشن ابتدا تصاویر به دست آمده را در ۵ وضعیت نهایی روغن به عنوان ورودی به متلب داده، سپس تعیین گردید که چه تعداد از داده‌ها برای آموزش شبکه، چه تعداد برای اعتبارسنجی و چه تعدادی برای تست استفاده گردد. لذا ۷۵ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه که مهم‌ترین مرحله در یادگیری و کارایی شبکه کانولوشن است، تعیین گردید. داده‌های تست ۱۰ درصد داده‌ها و داده‌های اعتبارسنجی ۱۵ درصد داده‌ها را به خود اختصاص داده است. شکل ۴ وضعیت آموزش شبکه عصبی کانولوشن در تکرارهای مختلف را نشان می‌دهد. این شکل که خروجی اجرای شبکه عصبی کانولوشن می‌باشد دقت آموزش را در بازه‌های زمانی اجرای شبکه عصبی نشان می‌دهد که بهترین دقت آموزش ۶۳.۲۸٪ می‌باشد.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدلی برای استفاده از نتایج آنالیز روغن برای پایش سلامت تجهیز ارائه شد که در آن بر مبنای خطوط مبنای [۲] داشبوردی برای وضعیت تجهیز بر مبنای نتایج آنالیز روغن طراحی شد. نحوه ایجاد این داشبورد با ارائه مثالی توضیح داده شد. سپس بر مبنای وضعیت عناصر و داشبورد وضعیت تجهیز، تصویر تهیه شده با روشی مشابه [۱۸] با شبکه عصبی کانولوشن آموزش داده شد. در پژوهش حاضر دقت آموزش ۶۳.۲۸٪ می‌باشد. این تحقیق نیز همانند سایر تحقیقات مبتنی بر روش علمی، دارای یک سری محدودیت‌هایی است که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود:

(۱) در دسترس نبودن نمونه‌های آنالیز روغن برای یک تجهیز خاص در تعداد بالای ۳۰۰ عدد. در واقع داده‌های قابل دسترس مربوط به تجهیزات مختلف و متفاوت از هم است که نوع روغن مصرفی در آن‌ها با هم متفاوت است و چون هم دستگاه و جنس قطعات سازنده موتور و هم مشخصات و ویژگی‌های روغن‌ها با هم متفاوت است، استفاده از آنالیز روغن یک دستگاه برای پیش‌بینی وضعیت روغن دستگاهی دیگر باعث می‌شود دقت نتایج پایین‌تر از حد انتظار باشد

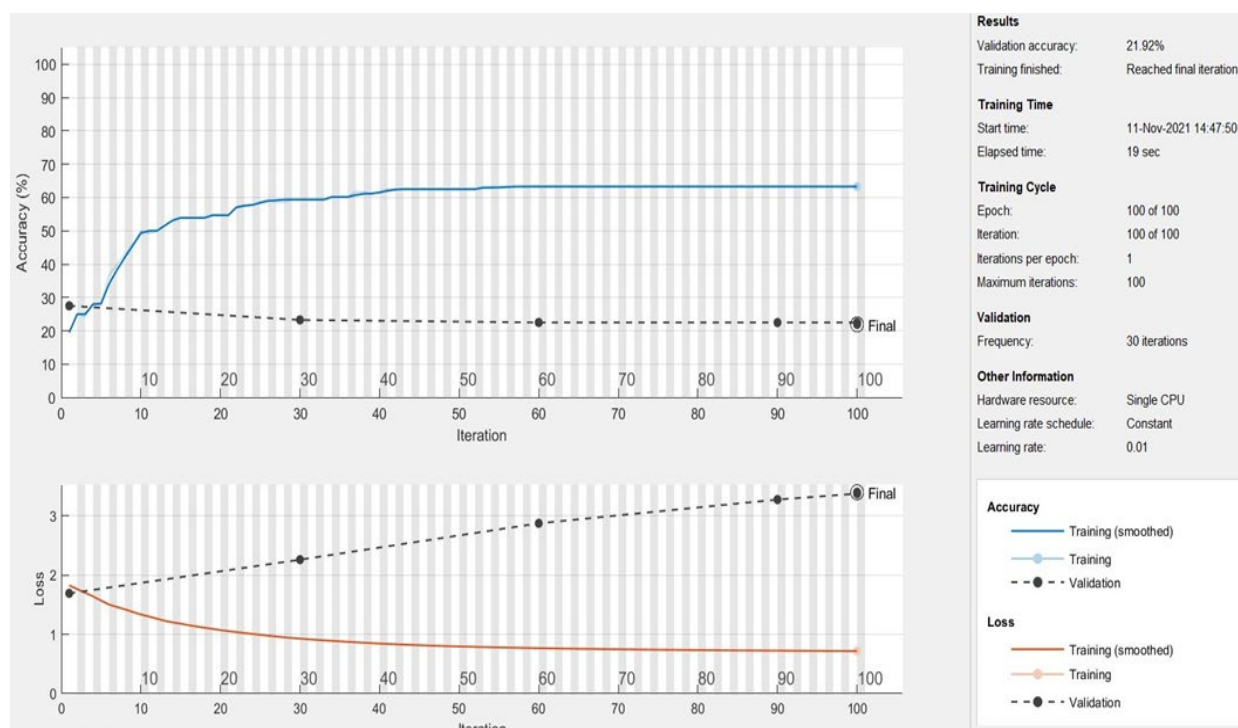
کاربردی شدن آنالیز روغن برای پیش‌بینی وضعیت موتورها و کاهش هزینه‌های نگهداری تعمیرات می‌شود.

از تمایزات تحقیق ما با تحقیقات پیشین در زمینه مدل‌سازی سیستم‌ها در قالب تصویر و پردازش تصویر به کمک روش شبکه عصبی کانولوشن می‌توان به تفاوت در تعداد دسته‌بندی‌ها (تعداد خروجی شبکه عصبی) اشاره کرد، در مقاله پیش‌بینی ورشکستگی شرکت‌های حق‌پرست و همکاران [۱۸] وضعیت خروجی دو حالت پیروزی یا شکست است اما در تحقیق حاضر خروجی وضعیت روغن به پنج حالت عادی، مرزی قابل قبول، مرزی سریع و بحرانی است که نحوه ساخت الگوریتم و کدنویسی را پیچیده‌تر می‌کند. در مقایسه با تحقیقات پیشین در حوزه آنالیز روغن هیچ پیشینه‌ای مربوط به تصویرسازی نتایج آنالیز روغن وجود ندارد و روش حاضر به صورت نوآورانه از تصویرسازی نتایج آنالیز روغن به عنوان یک روش برای تشخیص وضعیت روغن استفاده کرده است. هنگامی که عوامل زیادی روی یک پدیده تأثیر داشته باشند، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌توان بین آن‌ها ارتباط برقرار نمود. شبکه‌های عصبی قابلیت آموزش بر اساس اطلاعات و داده‌هایی که از آزمایش‌ها به دست آمده‌اند را دارند که می‌توان از آن‌ها در تحلیل مسائلی که منجر به استفاده از روابط پیچیده ریاضی می‌شود بهره گرفت. در مقابل روش‌های فازی بیشتر بر روی مجموعه داده‌های دارای عدم قطعیت و دارای ویژگی‌های فازی کاربرد دارد که با توجه به نوع داده‌های حاصل از آنالیز روغن که میزان عناصر به صورت دقیق اندازه‌گیری می‌شود روش شبکه عصبی مناسب‌تر تشخیص داده می‌شود.

## ۴-۲- نتایج حاصل از پردازش تصویر با استفاده از

### شبکه عصبی کانولوشن

همان‌گونه که در بخش قبل توضیح داده شد داده‌های آنالیز روغن به تصاویری با مقیاس خاکستری ۵ در ۴ تبدیل شد. سپس از طریق شبکه عصبی کانولوشن اقدام به طبقه‌بندی داده‌های آنالیز روغن به وضعیت نهایی روغن (عادی با عدد ۰، وضعیت مرزی قابل قبول با عدد ۱، وضعیت سریع با عدد ۲، وضعیت بحرانی با عدد ۳، وضعیت عادی با عدد ۴)



شکل (۴): وضعیت آموزش شبکه عصبی کانولوشن در تکرارهای مختلف.

وضعیت روغن مفید هستند را استخراج کرد و در تحلیل وضعیت روغن از آن‌ها استفاده کرد. یکی از مشکلات روش‌های موجود این است که ممکن است شاخص‌های آنالیز روغن که به‌طور بالقوه مناسب برای شناسایی هستند به‌اشتباه منتقل شوند.

(۲) با توجه به ذات الگوریتم‌های یادگیری عمیق و شبکه عصبی پیشنهاد می‌گردد از پایگاه داده‌های بزرگ‌تری برای آموزش شبکه عصبی استفاده شود تا نتایج بهتر و دقیق‌تری حاصل شود.

(۳) استفاده از سایر روش‌های پردازش تصویر شبکه عصبی کانولوشن مانند معماری گوگل نت و ایمج نت برای پردازش تصاویر و مقایسه آن با روش‌های استفاده‌شده در این مقاله برای تشخیص بهترین الگوریتم پردازش تصویر.

(۴) استفاده از روش‌های کلاس‌بندی داده مانند درخت تصمیم و الگوریتم کی نزدیک‌ترین همسایه

(۲) با توجه به محدود بودن آزمایشگاه‌های در دسترس که تجهیزات آنالیز روغن پیشرفته داشته باشند و عدم همکاری این آزمایشگاه‌ها، گرفتن اطلاعات همواره با مشکل و وقفه همراه است.

(۳) خروجی آنالیز روغن آزمایشگاه‌های مختلف با هم متفاوت است و از ترکیب داده‌های دو آزمایشگاه برای افزایش تعداد داده‌ها نمی‌توان استفاده کرد.

(۴) الگوریتم‌های پردازش تصویر عمدتاً بر مبنای بینایی ماشین و تشخیص اشیا توسعه‌یافته‌اند و به کار بردن پردازش تصویر برای تحلیل داده‌های روشی نوپا و جدید است.

برای گسترش این کاربردها و پیشنهاد زمینه تحقیق برای علاقه‌مندان موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

(۱) تحقیقات موجود در مورد پیش‌بینی وضعیت روغن هرکدام بر اساس نظر خبره یا بر اساس داده‌های در دسترس اقدام به انتخاب شاخص‌های مورد استفاده در تحلیل وضعیت روغن می‌کنند، اما با تحلیل آماری و نظرسنجی از خبره و ترکیب این نتایج می‌توان شاخص‌های مؤثر که برای پیش‌بینی

[10] Król A, Gocman K, Giemza B. Neural networks as a tool to characterise oil state after porous bearings prolonged tests. *Materials Science*. 2015;21(3):466-72.

[11] Kumar A, Ghosh SK. Oil condition monitoring for HEMM—a case study. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2016.

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

[13] Raposo H, Farinha JT, Fonseca I, Galar D. Predicting condition based on oil analysis—A case study. *Tribology International*. 2019;135:65-74.

[14] Rauscher MS, Tremmel AJ, Schardt M, Koch AW. Non-dispersive infrared sensor for online condition monitoring of gearbox oil. *Sensors*. 2017;17(2):399.

[15] RodRrigues J, Costa I, Farinha JT, Mendes M, Margalho L. Predicting motor oil condition using artificial neural networks and principal component analysis. *Eksploracja i Niezawodność*. 2020;22(3).

[16] Sejkorová M, Glos J. Analysis of degradation of motor oils used in Zetor tractors. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, volume 65, issue: 1. 2017.

[17] Sidorov O. Artificial color constancy via GoogleNet with angular loss function. *Applied Artificial Intelligence*. 2020;34(9):643-55.

[18] Yu S, Zhao D, Chen W, Hou H. Oil-immersed power transformer internal fault diagnosis research based on probabilistic neural network. *Procedia Computer Science*. 2016;83:1327-31.

[19] Castresana J, Gabiña G, Martin L, Basterretxea A, Uriondo Z. Marine diesel engine ANN modelling with multiple output for complete engine performance map. *Fuel*. 2022;319:123873.

[20] Karatuğ Ç, Arslanoğlu Y. Development of condition-based maintenance strategy for fault diagnosis for ship engine systems. *Ocean Engineering*. 2022;256:111515.

[21] Chaki S, Biswas TK. An ANN-entropy-FA model for prediction and optimization of biodiesel-based engine performance. *Applied Soft Computing*. 2023;133:109929.

[22] Wang J, Li T, Sun C, Yan R, Chen X. Improved spiking neural network for intershaft bearing fault diagnosis. *Journal of Manufacturing Systems*. 2022;65:208-19.

(KNN)<sup>۱</sup> و همچنین ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون و ترکیب این روش‌ها با روش شبکه عصبی برای پردازش تصاویر و دسته‌بندی نتایج آنالیز روغن پیشنهاد می‌گردد.

## ۶- مراجع

[1] Akl SY, Abd El-Ghafar S, Mosleh H, editors. An Experimental Investigation of Industrial Gearbox Condition Using Wear Particle Analysis Technique. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition; 2016: American Society of Mechanical Engineers.

[2] Ramezani S, Masoudi A, Memariani A. Application of data mining in determining the baseline lines of engine erosion behavior. *Iranian Journal Of Supply Chain Management* 2011;13(31)

[3] Alizadeh D, Ahmadi H. Condition Monitoring of Diesel Engine via Oil Analysis Using Fuzzy Logic. *Engine Research*. 2022;19(19):9-18.

[4] Bekana D, Antoniev A, Zach M, Mareček J. Monitoring of agricultural machines with used engine oil analysis. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2015;63(1):15-22.

[5] Chaharsooghi SK, Nabavi A, Teimourpour B. Prediction model of remaining operating time until critical state based on engine oil analysis records with data mining solution. *Logistics Thought*. 2020;18(70):77-96.

[6] Dowling NE. *Mechanical Behavior of Materials* eBook: International Edition: Pearson Higher Ed; 2013.

[7] Haghparast A, Momeni A, Gord A, Mansoori F. Imaged financial Ratios and Bankruptcy Prediction using Convolutional Neural Networks. *Financial Engineering and Portfolio Management*. 2021;12(46):558-75.

[8] Hirri A, Tagourmate S, Benamar A, Kzaiber F, Oussama A. Prediction of kinematic viscosity in motor oil using ftir coupled with partial least squares regression. *Int J Chem Mater Environ Res*. 2017;4(1):102-7.

[9] Isa MC, Yusoff N, Nain H, Yati MSD, Muhammad M, Nor IM. Ferrographic analysis of wear particles of various machinery systems of a commercial marine ship. *Procedia Engineering*. 2013;68:345-51.

<sup>1</sup> k-nearest neighbor's algorithm

[23] Kang H, Ma H. Fault detection and isolation of actuator failures in jet engines using adaptive dynamic programming. *Applied Mathematics and Computation*. 2022;414:126664.

[24] Calvo-Bascones P, Sanz-Bobi MA. Advanced Prognosis methodology based on behavioral indicators and Chained Sequential Memory Neural Networks with a diesel engine application. *Computers in Industry*. 2023;144:103771.