The Journal of Engine Research

Spring 2024, Vol. 71, No. 1, pp. 67-78

Journal Homepage: www.engineresearch.ir

Original Research

A model for estimation of wear of engine rings based on the amount of blowby and oil consumption in durability tests

Mehrdad Afshari*, Asghar Padash

IranKhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:
Piston Rings
Wear
Blowby
Oil Consumption
Fuzzy Logic

ABSTRACT

Engine life prediction has always been of interest in the automotive industry. Wear is the main factor in limiting the life of an engine. Wear is considered among the parts with a lot of reciprocating movement in the engine. Piston rings and liners with bearings are the most important wear parts in the engine. In this article, the wear pattern in the rings and cylinders of the same family of engines has been investigated after 500 hours of durability tests. The rating results of these parts after the durability test are considered wear criteria. Then, these qualitative data are related to the parameters of blowby and the amount of engine oil consumption in the last hours of the test by the fuzzy logic method. Finally, a criterion for measuring wear is provided without the need to disassemble and rate the engine. The application of this criterion is to plan future tests on used engines without disassembling them and according to their wear rate. The important achievement of this method is saving the cost and time of engine preparation according to the amount of wear.

© 2024 Iranian Society of Engine, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license). (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

* Corresponding author
E-mail address: M_Afshari@ip-co.com (M. Afshari)

Received 30 March 2024; Accepted 8 April 2024
E-ISSN: 2345-4121/ISSN: 1735-5214

Cite this article: Afshari M, Padash A. A model for estimation of wear of engine rings based on the amount of blowby and oil consumption in durability tests. The Journal of Engine Research. 2024 Mar 20;71(1):67-78. doi: 10.22034/ER.2024.2024979.1029

نشریه علمی تحقیقات موتور
بهار ۱۴۰۳، جلد ۷۱، شماره ۱، صفحه ۶۷-۷۸
تارنمای نشریه: www.engineresearch.ir

مقاله پژوهشی

الگوی تخمین مقدار سایش حلقه‌های موتور بر اساس مقدار گازهای نشتی محفظه لنگ و مصرف روغن در آزمون‌های دوام

مهرداد افشاری*، اصغر پاداش

شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو (ایپکو) ، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

کلیدواژه‌ها:
حلقه
سایش
گازهای نشتی محفظه لنگ
مصرف روغن
منطق فازی

چکیده

پیش‌بینی عمر موتور همواره در صنعت خودرو مورد توجه بوده است. سایش، اصلی‌ترین عامل در محدود کردن عمر یک موتور است. سایش در بین قطعاتی که حرکت رفت و برگشتی زیاد در موتور دارند، مورد توجه است. حلقه‌های سمبه و استوانه‌ها به همراه یاتاقان‌ها مهمترین قطعات تحت سایش در موتور هستند. در این مقاله به بررسی الگوی سایش در حلقه و استوانه موتورهای هم خانواده بعد از آزمون‌های دوام ۵۰۰ ساعت پرداخته شده است. نتایج درجه‌بندی این قطعات بعد از آزمون دوام به عنوان معیار سایش مد نظر قرار داده شده است. سپس این داده‌های کیفی به روش منطق فازی به متغیرهای گازهای نشتی محفظه لنگ و مقدار مصرف روغن موتور در ساعات انتهایی آزمون وصل شده‌اند. نهایتاً یک معیار برای سنجش سایش بدون نیاز به بازکردن و درجه‌بندی قطعات موتور ارائه شده است. کاربرد این معیار برای برنامه‌ریزی آزمون‌های آتی بر روی موتورهای کارکرده با توجه به مقدار سایش و بدون نیاز به بازکردن آن‌ها است. دستاورد مهم این روش صرفه‌جویی در هزینه و زمان آماده‌سازی موتور با توجه به مقدار سایش است.

© 2024 Iranian Society of Engine, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license). (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

* نویسنده مسئول
پست الکترونیکی: M_Afshari@ip-co.com (مهرداد افشاری)

دریافت ۱۱ فروردین ۱۴۰۳؛ پذیرش ۲۰ فروردین ۱۴۰۳
شاپای الکترونیکی: ۴۱۲۱-۲۳۴۵ / شاپای چاپی: ۵۲۱۴-۱۷۳۵

Cite this article: Afshari M, Padash A. A model for estimation of wear of engine rings based on the amount of blowby and oil consumption in durability tests. The Journal of Engine Research. 2024 Mar 20;71(1):67-78. doi: 10.22034/ER.2024.2024979.1029

۱– مقدمه

حلقه و سمبه قطعاتی هستند که بر روی یکدیگر سوار شده و با سرعت بالایی روی دیواره استوانه در حال رفت و برگشت می‌باشند. به همین دلیل لازم است این حرکت با کمترین اصطکاک و حرارت و بیشترین روان‌کاری انجام شود. لازمه این امر ایجاد دیواره‌ای سخت و صیقلی و در عین حال مقاوم در برابر تنش و فشارهای شدید کاری است. معمولاً دو عدد از حلقه‌ها در بالای سمبه وظیفه آبندی فشار احتراق و یک عدد در پایین لبه سمبه وظیفه زدودن روغن از سطح استوانه را هنگام برگشت سمبه به سمت پایین بر عهده دارد. با توجه به سرعت و مقدار فشار کاری بالایی که در محفظه احتراق وجود دارد، حلقه‌ها به طور دائم تحت فشار بوده و بر روی دیواره استوانه کشیده می‌شوند. بنابراین باید دائماً روغنکاری شوند تا از بروز هرگونه اصطکاک در این ناحیه جلوگیری شود. حلقه‌ها از نشت یا فرار گاز از کنار سمبه در زمان تراکم و نیز در زمان قدرت جلوگیری می‌کند و در موقع پایین آمدن عمل پاک کردن روغن را انجام می‌دهند. کار حلقه‌های روغن این است که پخش روغن روی دیواره استوانه را مهار کرده و از مصرف غیرضروری و اضافی روغن جلوگیری نمایند.

سایش مهمترین عامل تعیین کننده در محدود کردن عمر موتور است. مهمترین قطعاتی که در موتور در سایش متقابل قرار دارند حلقه‌های سمبه و استوانه‌ها هستند. مقدار گازهای نشتی محفظه لنگ و مصرف روغن موتور مهمترین متغیرهایی که نشان دهنده عملکرد حلقه‌ها در موتور هستند. این مطالعه به بررسی نتایج درجه‌بندی قطعات مذکور بعد از آزمون دوام پرداخته است تا الگویی برای ارتباط دادن مقدار سایش با دو متغیر مهم و تعیین کننده در سایش حلقه و استوانه یعنی مقدار گازهای نشتی محفظه لنگ و مصرف روغن ارائه دهد.

ژانگ[1] و همکاران در سال ۲۰۲۲ به ارائه الگویی برای شناسایی مقدار سایش در حلقه‌های موتور بر اساس مقدار توان موتور و سیگنال‌های آکوستیک دریافتی از بدنه موتور پرداخته‌اند. نتیجه این مطالعه پیش‌بینی سایش در حلقه‌ها با توجه به این دو ورودی بوده است [۱].

در سال ۲۰۲۱ ، کانگ[2] و همکاران الگویی برای سایش استوانه‌های موتور بر اساس عدم قطعیت فازی ارائه کردند. آنها در این مطالعه الگویی برای بهینه‌سازی شبکه عصبی برای پیش‌بینی سایش انجام دادند [۲].

در سال ۲۰۲۰، ساتو[3] و همکاران به مطالعه سازوکار سایش در سطح بالایی حلقه اول پرداخته و الگوی خود را با یک موتور آزمایشی صحه‌گذاری کردند [۳].

کوزالکا[4] در سال ۲۰۲۲، تأثیر سایش حلقه‌ها را بر گازهای نشتی محفظه لنگ موتور و مقدار انرژی از دست‌رفته در محفظه احتراق بررسی کرده است. وی از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به سایش حلقه‌ها به عنوان ورودی الگو استفاده کرده و به پیش‌بینی مقدار اصطکاک در موتور پرداخته است [۴].

عید[5] در سال ۲۰۱۸ به بررسی تأثیر حلقه و فاصله آن با استوانه در گازهای نشتی محفظه لنگ و متغیرهای احتراقی موتور پرداخته است. وی الگویی ارائه کرده است که با پایش شرایط احتراقی به پیش‌بینی وضعیت حلقه‌ها می‌پردازد [۵].

مقیمی و همکاران در سال ۲۰۲۲، راهکار مهار مدیریت مرکزی خودرو را با استفاده از منطق مهار فازی طراحی کرده‌اند. الگوی ایجادشده، با داده‌های تجربی مقایسه، صحه‌گذاری و در چرخه اروپایی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد، استفاده از منطق مهار فازی به جای مهار سنتی، چهار درصد مصرف سوخت خودرو را کاهش می‌دهد [۶].

افشاری در سال ۲۰۲۰، روشی برای تعیین اصطکاک و نحوه روانکاری دریچه‌های موتور اشتعال جرقه‌ای ارائه کرده است. وی با استفاده از شبکه‌های عصبی و روش وراثت، الگویی برای تخمین اصطکاک قطعات مختلف موتور ارائه کرده است [۷].

---

[1] Zhang
[2] Kang
[3] Sato
[4] Koszalka
[5] Eid

افشاری همچنین در سال ۲۰۲۰، الگویی بر مبنای شبکه‌های عصبی برای تخمین مقدار آلاینده NO_X از روی نسبت‌های هم‌ارزی برای یک موتور با سوخت مخلوط متان و هیدروژن ارائه کرده است. وی این الگو را با استفاده از روش وراثت بهینه‌سازی کرده است [۸]. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از شبکه عصبی نتایج قابل قبولی را در مقایسه با روش محاسبه سینتیک شیمیایی ارائه کرده است.

در این مطالعه نتایج درجه‌بندی قطعات حلقه و استوانه بعد از آزمون دوام به مقدار گازهای نشتی محفظه لنگ و مصرف روغن موتور در ساعات انتهایی آزمون ربط داده شده و نهایتاً معیاری بر مبنای منطق فازی برای پیش‌بینی و مقایسه سایش در موتورهای کارکرده ارائه شده است.

۲- روش تحقیق

در این مطالعه ۲۰ موتور از یک خانواده موتور ملی که آزمون دوام ۵۰۰ را سپری کرده‌اند انتخاب شده‌اند. با توجه به اینکه در ساعات پایانی آزمون سایش‌ها حداکثر شده و تقریباً عمر موتور رو به اتمام است داده‌های ۲۰ ساعت آخر این آزمون‌ها به عنوان شاخص نشان‌دهنده متغیرها در حداکثر سایش انتخاب شده‌اند. به این ترتیب میانگین عدد گازهای نشتی محفظه لنگ موتور در ۲۰ ساعت آخر و همچنین مقدار مصرف روغن موتور در ۲۰ ساعت آخر آزمون در دور حداکثر گشتاور که بیشترین بارهای مکانیکی به موتور وارد می‌شود مد نظر قرار داده شده است. لازم به ذکر است تمامی موتورهای انتخاب شده از نظر عملکردی سالم هستند. یعنی مقدار افت توان وگشتاور آنها کمتر از ۱۰ درصد نسبت به ابتدای آزمون است [۹].

همچنین سایر متغیرهای موتور نظیر فشار روغن و گازهای نشتی محفظه لنگ نیز در محدوده قابل قبول قرار دارند. ضمناً روغن تمامی موتورها از درجه 10W40 سوپر بهران پیشتاز هستند. حلقه‌های تمام موتورها نیز از نوع چدنی و همسان هستند. تمام ۲۰ موتور نیز موتور ملی تنفس طبیعی هستند. مقدار گازهای نشتی محفظه لنگ در هر ساعت آزمون با سنجش دستگاه گازهای نشتی محفظه لنگ خوانش شده است و مقدار مصرف روغن موتور با محاسبه اختلاف وزن روغن موتور در ۲۰ ساعت انتهایی بر حسب گرم بر ساعت بیان شده است [۱۰].

در جدول ۱ تعداد ۱۰ عدد از این موتورها با مقدار گازهای نشتی محفظه لنگ و مصرف روغن در ۲۰ ساعت انتهایی آزمون به همراه مجموع نمرات دریافتی قطعات استوانه و حلقه‌ها نمایش داده شده است.

جدول ۱ مقدار گازهای نشتی محفظه لنگ، مصرف روغن و درجه‌بندی موتورها در آزمون دوام

شماره موتور	گازهای نشتی محفظه لنگ (لیتر بر دقیقه)	مقدار مصرف روغن موتور (گرم بر ساعت)	مجموع نمرات درجه‌بندی بدنه موتور و حلقه‌ها
۱	۱۳	۱۸	۳۹
۲	۱۸	۲۲	۴۳
۳	۱۴	۱۷	۳۹
۴	۲۲	۲۱	۴۳
۵	۲۵	۲۹	۴۵
۶	۱۲	۱۹	۴۲
۷	۱۹	۲۶	۴۰
۸	۱۷	۱۹	۴۱
۹	۲۷	۲۶	۴۵
۱۰	۱۰	۱۲	۳۰

در درجه‌بندی قطعات بعد از آزمون از معیار شرکت FEV آلمان مطابق جدول زیر استفاده شده است [۱۱].

جدول ۲ جدول درجه‌بندی قطعات موتور

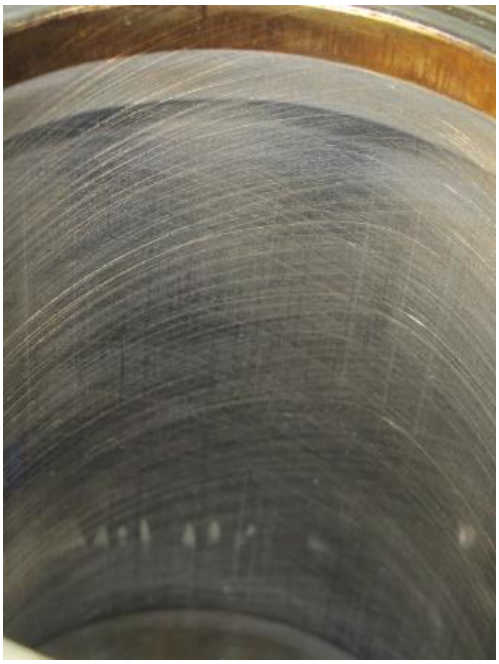
نمره درجه‌بندی	ارزیابی	رنگ
۱	عالی	
۲	قابل قبول	
۳	مرزی	
۴	غیرقابل قبول	
۵	مردود	

از درجه‌بندی قطعات بعد از آزمون فقط داده‌های استوانه سمت فشاری و ضد فشاری و درجه‌بندی حلقه‌های سمبه مد نظر است. بنابراین به ازای هر استوانه دو عدد درجه‌بندی بعلاوه درجه‌بندی ۱۲ عدد حلقه مد نظر قرار داده شده است.

با توجه به روش درجه‌بندی بعد از آزمون هر قطعه نمره‌ای از ۱ تا ۵ دریافت می‌کند که ۱ بهترین و ۵ بدترین نمره است. نمره ۳ مرزی است. بنابراین فقط قطعاتی که نمره یک یا ۲ دریافت کنند مورد قبول خواهند بود [۹].

در شکل‌های آتی نتیجه درجه‌بندی دو مورد از استوانه‌ها و حلقه‌ها بعد از آزمون دوام به همراه نتیجه درجه‌بندی آنها آورده شده است. استوانه شکل ۱ به علت سایش ناخن‌گیر نمره مرزی و استوانه شکل ۲ نمره عالی دریافت کرده است. حلقه‌های شکل ۴ نیز به علت سایش شدید نمره ۴ یعنی غیرقابل قبول دریافت کرده‌اند. درجه‌بندی قطعات توسط افراد ماهر در این کار انجام می‌شوند. نحوه نمره‌دهی به این صورت است که قطعات بر اساس الگوی سایش مشاهده شده در آن‌ها و توجه به این نکته که این مقدار سایش چه تبعاتی برای موتور و آزمون داشته‌اند، ارزیابی می‌شوند. اگر سایش‌ها در حد خط و خش و قابل چشم‌پوشی باشند نمره ۱ یا ۲ و اگر در حدی باشند که باعث خرابی و یا توقف آزمون شده باشند، نمره ۴ یا ۵ دریافت خواهند کرد [۱۱]. نمره مرزی بینابین این دو محدوده است.

شکل ۱ سمت فشاری استوانه موتور شماره ۹، نتیجه درجه‌بندی: ۳



شکل ۲ سمت فشاری استوانه موتور شماره ۱۰، نتیجه درجه‌بندی:۱

شکل ۳ حلقه‌های موتور شماره ۳، نتیجه درجه‌بندی:۲

شکل ٤ حلقه‌های موتور شماره ۹، نتیجه درجه‌بندی:۴

با توجه به توضیح فوق مجموع نمرات قطعات استوانه و حلقه‌های هر موتور بین ۲۰ تا ۱۰۰ قرار خواهد گرفت. عدد ۲۰ یعنی هر ۲۰ قطعه مورد نظر عدد ۱ دریافت کرده و عدد ۱۰۰ یعنی همگی نمره ۵ گرفته‌اند.

۳- نتایج و بحث

منطق فازی روشی مشابه شبکه‌های عصبی است با این تفاوت که ورودی و خروجی‌ها در این روش متغیرهای کیفی هستند. هدف بدست آوردن تابعی است که مقدار سایش حلقه و استوانه را مشخص کند. برای حل این مساله از روش Mamdani در منطق فازی استفاده شده است. این الگو با دو ورودی زنگوله‌ای و یک خروجی به شکل تابع مثلثی مطابق شکل ۵ حل شده است.

در گام اول تجربیات حاکم بر مساله بیان می‌شوند. این قواعد حاصل تجربه افراد ماهر در آزمون موتورند.

تجربه اول: اگر گازهای نشتی محفظه لنگ موتور خیلی خوب باشد (زیر ۱۰ لیتر بر دقیقه) و یا مصرف روغن موتور در محدوده قابل قبول باشد سایش در موتور کم و قابل قبول است.

تجربه دوم: اگر گازهای نشتی محفظه لنگ موتور خوب باشد (بین ۱۰ تا ۲۰ لیتر بر دقیقه)، فارغ از اندازه مصرف روغن سایش در موتور در محدوده مرزی است.

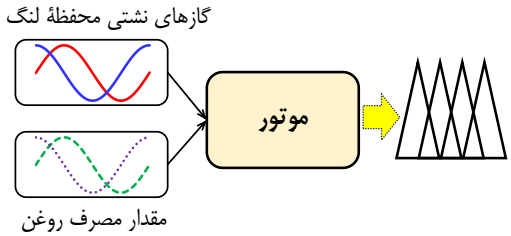
تجربه سوم: اگر گازهای نشتی محفظه لنگ موتور زیاد و یا مصرف روغن بالا باشد سایش در موتور زیاد است.

تعیین ورودی‌ها و خروجی‌ها

ورودی اول: گازهای نشتی محفظه لنگ (خیلی خوب، خوب، غیر قابل قبول)

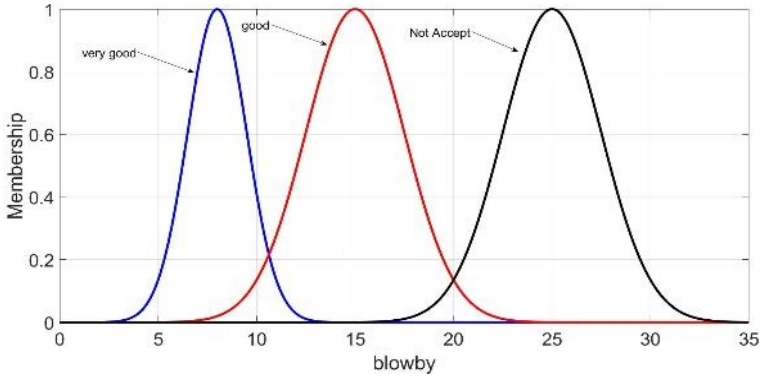
ورودی دوم: مصرف روغن(قابل قبول و زیاد)

خروجی: مقدار سایش (قبول، مرزی، مردود)



شکل ۵ ورودی‌ها و خروجی مثلثی سامانه فازی

حال باید حالت‌های ورودی و خروجی با بیان ریاضی و کمی بر اساس نمرات درجه‌بندی قطعات تعیین شوند [۱۲]. گازهای نشتی محفظه لنگ موتور معمولاً در محدوده ۰ تا ۳۰ که بر اساس تجربه مطابق شکل ۶ در این مساله بیان شده‌اند. محور افقی در این نمودارها بیانگر مقدار متغیر مذکور می‌باشند و محور عمودی درجه عضویت یا درصد احتمال را نمایش می‌دهند. از نمودار زنگوله‌ای برای بیان ورودی گازهای نشتی محفظه لنگ استفاده شده است. بازه ۵ تا ۱۳ معادل با عدد ۸ با دامنه ۱,۵برای گازهای نشتی محفظه لنگ محدوده خیلی خوب انتخاب شده است.

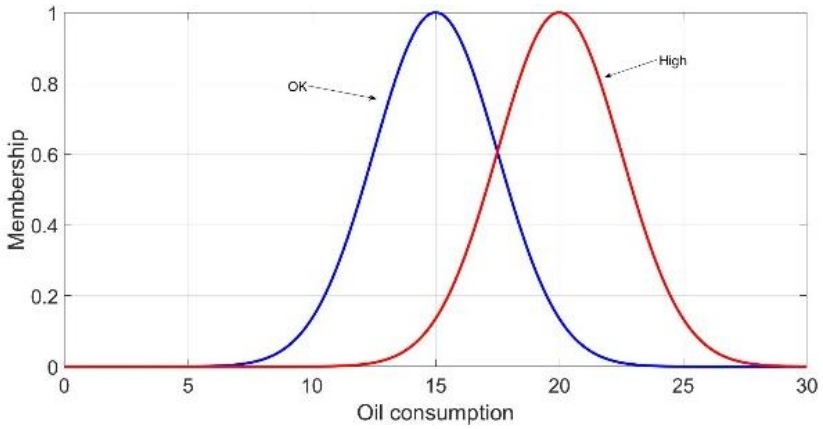


شکل ٦ نمودار گازهای نشتی محفظه لنگ به عنوان ورودی اول سامانه فازی

محدوده ۱۰ تا ۲۰ (عدد ۱۵ با دامنه ۲,۵) برای محدوده گازهای نشتی محفظه لنگ خوب و عدد ۲۵ با محدوده ۲,۵ برای ناحیه غیرقابل قبول بیان شده‌اند.

مطابق شکل ۷ برای ورودی دوم و مصرف روغن محدوده ۱۵ با دامنه ۲,۵ قابل قبول و محدوده ۲۰ با دامنه ۵ در منطقه مصرف شدید قرار دارد. برای این ورودی نیز از نمودار زنگوله‌ای استفاده شده است.

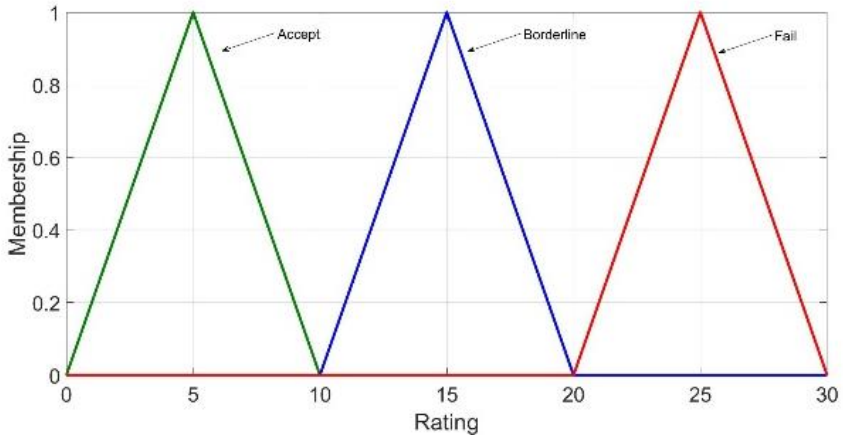
تعیین این محدوده‌ها با استفاده از استانداردهای مربوط به رویه‌های آزمون و همچنین بر اساس تجربه در آزمون‌های موتوری تعیین شده‌اند [۱۱]. به این ترتیب که محدوده‌ها، هم‌پوشانی معناداری با هم داشته باشند.



شکل ۷ نمودارمصرف روغن به عنوان ورودی دوم سامانه فازی

هم‌پوشانی نمودارها در در این دو شکل بیانگر اشتراک این مناطق است. به بیان دیگر مصرف روغن ۱۷ گرم بر ساعت مطابق نمودار ۷ یعنی ۵۰ درصد قابل قبول و ۵۰ درصد بالا.

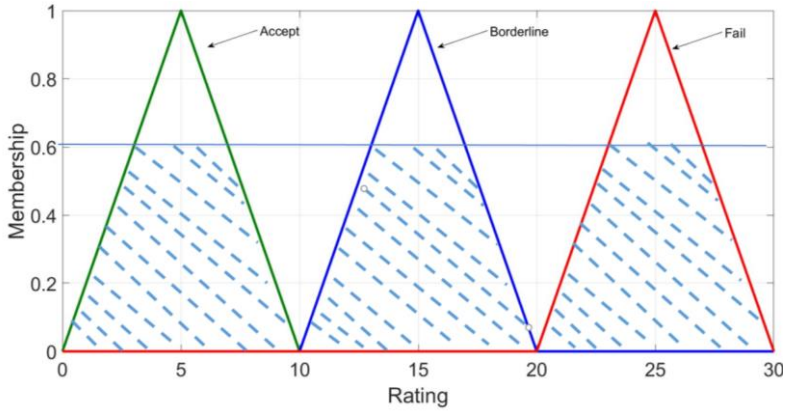
با توجه به تجربه درجه‌بندی و احتمال نمره گرفتن‌های قطعات بعد از آزمون یک بازه ۳۰ تایی برای تبدیل محدوده درجه‌بندی در سامانه فازی انتخاب شده است. یعنی برای خروجی که عدد سایش است یک بازه ۳۰ تایی مد نظر قرار گرفته است. برای تابع خروجی مطابق شکل ۸ از نمودار مثلثی با سه محدوده قبول، مرزی و غیرقابل قبول استفاده شده است. فرق بین ورودی‌ها و خروجی در این است که برای ورودی‌ها امتیاز مشخص است ولی درجه عضویت نامشخص و برای خروجی بالعکس.



شکل ۸ نمودار سایش به عنوان خروجی سامانه فازی

به عنوان مثال اگر در شکل بالا خط x=.6 یعنی درجه عضویت ۰٫۶ رسم شود که خطی موازی محور افقی خواهد بود هر سه مثلث را قطع خواهد کرد. از نظر منطق فازی و ریاضیات حاکم بر مساله مطابق معادله ۱، خروجی و جواب مساله با فرض فوق برابر است با نقطه ثقل هر مثلث ضربدر مساحت قسمت هاشورخورده هر مثلث تقسیم بر مجموع مساحت مثلث‌ها.

$$wear = \frac{A_1 * Y_1 + A_2 * Y_2 + A_3 * Y_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (۱)$$



شکل ۹ محاسبه مقدار سایش با درصد احتمال ۰٫۶

برای درک بهتر موضوع اگر فقط مثلث قرمز سوم برای خروجی وجود داشت عدد سایش همواره برابر با ۲۵ می‌شد.

در مرحله بعد تمام تجربه‌ها مطابق جدول ۱ به این دستگاه فازی آموزش داده می‌شوند. به بیان دیگر نتایج درجه‌بندی مطابق با مقدار گازهای نشتی محفظه لنگ و مصرف روغن به شبکه داده شده و برای هر کدام یک خروجی در بازه ۰ تا ۳۰ برای سایش تعیین می‌شود. برای مثال مقدار سایش با گازهای نشتی محفظه لنگ ۱۳ و مصرف روغن ۱۸ در زیر حساب شده است. به این ترتیب که این مقادیر در تک‌تک تجربه‌ها اعمال و درصد احتمال آن را مطابق تجربه حساب می‌شوند. مقادیر برای تجربه اول مطابق معادله ۲ خواهد بود. همچنین حاصل جاگذاری ورودی‌ها در تجربه دوم و سوم مطابق معادلات ۳ و ۴ خواهد بود.

$$\begin{cases} gaussmf(13,[1.5\ 8]) = 0.0039 \\ gaussmf(18,[2.5\ 15]) = 0.72 \end{cases} \rightarrow \max(0.0039,0.72) = 0.72 \quad (۲)$$

$$gaussmf(13,[2.5\ 15]) = 0.73 \quad (۳)$$

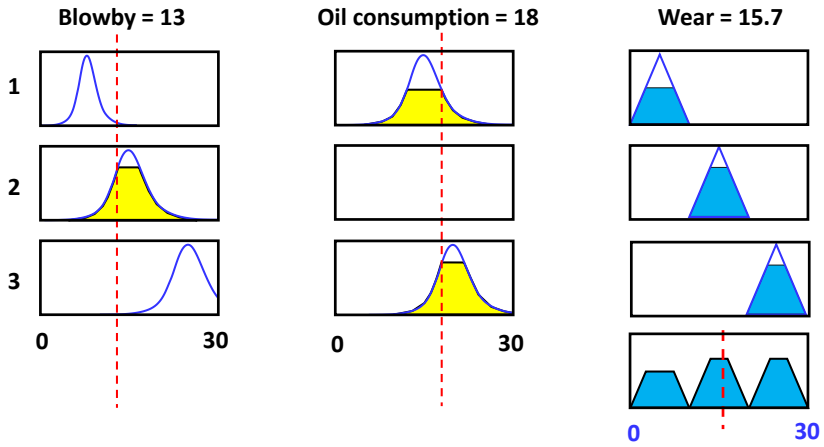
$$\begin{cases} gaussmf(13,[2.5\ 25]) = 0.0 \\ gaussmf(18,[2.5\ 20]) = 0.1 \end{cases} \rightarrow \max(0.0,0.1) = 0.1 \quad (۴)$$

حال درجه عضویت ۰٫۷۲ بر مثلث اول شکل ۸ اعمال و مساحت قسمت هاشورخورده و نقطه ثقل آن تعیین می‌شود. همین کار با درجه عضویت ۰٫۷۳ برای مثلث دوم و با درجه عضویت ۰٫۱ برای مثلث سوم تکرار می‌شود.

نهایتا با جایگذاری در رابطه ۱ عدد سایش مقدار ۱۵٫۷ محاسبه می‌شود. شماتیک عملیات فوق در نمودار زیر نمایش داده شده است.

در جدول ۳ اعداد سایش محاسبه شده توسط سامانه برای موتورهای جدول ۱ ارائه شده است.

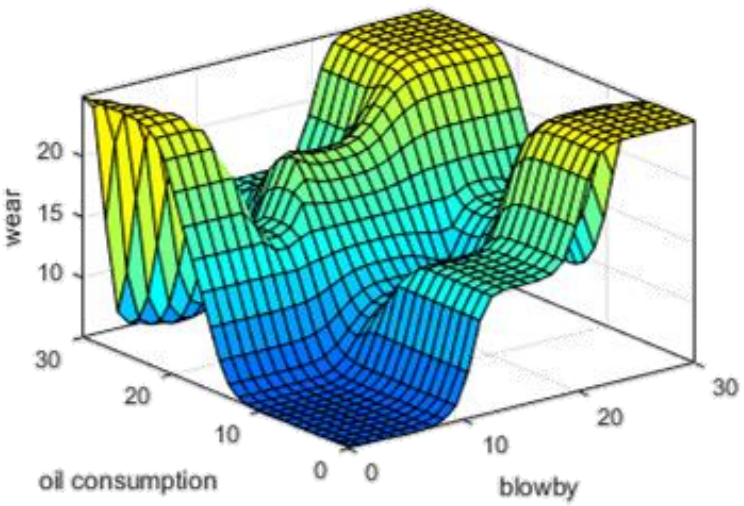
شکل ۱۱، نمودار پوسته ای خروجی این مساله را نمایش می‌دهد. به ازای مقدار گازهای نشتی محفظه لنگ و مصرف روغن موتور، خروجی سایش سامانه مطابق این نمودار خواهد بود.



شکل ۱۰ الگوی محاسبه سایش با گازهای نشتی محفظه لنگ ۱۳ و مصرف روغن ۱۸

جدول ۳ عدد سایش محاسبه شده سامانه برای جدول ۱

شماره موتور	گازهای نشتی محفظه لنگ (لیتر در دقیقه)	مصرف روغن موتور (گرم در ساعت)	مجموع نمرات درجه‌بندی بدنه موتور و حلقه‌ها	سایش محاسبه‌شده
۱	۱۳	۱۸	۳۹	۱۵,۷
۲	۱۸	۲۲	۴۳	۲۰,۲
۳	۱۴	۱۷	۳۹	۱۴,۲۹
۴	۲۲	۲۱	۴۳	۲۰,۷۸
۵	۲۵	۲۹	۴۵	۲۴,۹۹
۶	۱۲	۱۹	۴۲	۱۷,۳۳
۷	۱۹	۲۶	۴۰	۱۶,۸
۸	۱۷	۱۹	۴۱	۱۷,۱۵
۹	۲۷	۲۶	۴۵	۲۴,۳
۱۰	۱۰	۱۲	۳۰	۷,۱۷



شکل ۱۱ نمودار پوسته ای خروجی مساله

برای صحه‌گذاری روش، موتورهای شماره ۱، ۲ و ۷ از لیست موتورهای آموزش داده شده به سامانه فازی خارج و مساله مجددا حل شده است. از داده‌های مربوط به این سه موتور جهت آزمایش و صحه‌گذاری سامانه استفاده شده است. در جدول ۴ سایش این سه موتور در حالتی که برای صحه‌گذاری استفاده شده‌اند با حالتی که تحت آموزش شبکه بوده‌اند (جدول ۳)، مقایسه و درصد خطای سامانه برای آنها محاسبه شده است. بیشینه خطای سامانه در پیش‌بینی سایش این سه موتور کمتر از ۳ درصد است.

جدول ٤ صحه‌گذاری و خطای الگو

شماره موتور	گازهای نشتی محفظه لنگ (لیتر بر دقیقه)	مقدار مصرف روغن موتور (گرم بر ساعت)	مجموع نمرات درجه‌بندی بدنه موتور و حلقه‌ها	نتایج پیش‌بینی الگو	عدد سایش محاسبه‌شده	درصد خطا
۱	۱۳	۱۸	۳۹	۱۵,۹	۱۵,۷	۱,۲۷
۲	۱۸	۲۲	۴۳	۱۹,۶	۲۰,۲	۲,۹۷
۷	۱۹	۲۶	۴۰	۱۷,۱	۱۶,۸	۱,۷۸

۴– نتیجه‌گیری

در این مطالعه بر اساس منطق فازی، الگویی برای پیش‌بینی سایش موتورهای کارکرده ارائه شد. شایان ذکر است این روش جایگزین درجه‌بندی نیست و برای درجه‌بندی صحیح ناگزیر باید موتور باز شود. کاربرد اصلی این روش ارائه نرم‌افزاری است که می‌تواند با مقایسه عدد سایش چند موتور از ورودی‌های مصرف روغن و گازهای نشتی محفظه لنگ، آنها را از نظر سایش و عمر طبقه‌بندی کند و موتور با سایش کمتر برای آزمون‌های طولانی‌تر و شدیدتر از نظر بارهای مکانیکی انتخاب شود. همواره تامین موتور و یا بازکردن و تعمیر موتور هزینه و زمان زیادی به مجموعه تحمیل می‌کند و لذا با این روش معیاری برای سلامت‌سنجی موتورهای کارکرده بدون نیاز به درجه‌بندی آن‌ها وجود خواهد داشت.

فهرست علائم

مساحت، m^2	A
مرکز ثقل	Y

References

[1] Zhang L, Wang H, Liu D, Zhang Q, Guo W, Yang N, Xu J, Fu S, Yang B, Liu S, Zhou S. Research on wear detection mechanism of cylinder liner-piston ring based on energy dissipation and AE. Wear. 2022 Nov 15;508:204472. doi: 10.1016/j.wear.2022.204472

[2] Kang J, Lu Y, Luo H, Li J, Hou Y, Zhang Y. Wear assessment model for cylinder liner of internal combustion engine under fuzzy uncertainty. Mechanics & Industry. 2021;22:29. doi: 10.1051/meca/2021028

[3] Sato K, Takahashi K, Wakabayashi R, Yoshii K, Takahashi S. A Study of Wear Mechanism on Upper Surface of Piston Top Ring Groove. SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility. 2020 Apr 14;2(2020-01-1337):3513-21. doi: 10.4271/2020-01-1337

[4] Koszalka G, Rzackzek P. Energy Losses Related to Ring Pack Wear in Gasoline Car Engine. Energies. 2022;15(24):9570. doi: 10.3390/en15249570

[5] Eid S. Performance analysis and condition monitoring of ICE piston-ring based on combustion and thermal characteristics. Applied Thermal enginnering. 2018 March;132:824-40. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.12.111

[6] Moghimi M, Teymoori M, Chitsaz I. Fuel consumption optimization of a series hybrid electric vehicle utilizing fuzzy logic control. Engine Research. 2022;68:23-30. doi: 10.22034/ER.2022.701022 [In Persian]
[7] Afshari M. Estimation of Engine Valve train Friction and It's lubrication regime Using Neural Network and Genetic Algorithm. 11th International Conference on Internal Coumbustion Engines & Oil; 2020 February 18-20; Sapco, Tehran, Iran. Tehran: Iranian Society of Engine; 2020. [In Persian]
[8] Afshari M, Hashemi J. Estimation of NOx Pollutants in a Spark Engine Fueled by Mixed Methane and Hydrogen Using Neural Networks and Genetic Algorithm. 11th International Conference on Internal Coumbustion Engines & Oil; 2020 February 18-20; Sapco, Tehran, Iran. Tehran: Iranian Society of Engine; 2020. [In Persian]
[9] FEV. 12686-0100SD-001. Test procedure of durability. 2004.
[10] Peugeot. CDI/DII/DIL/SR/T3018/CG. Procedure of Oil consumption. 2006.
[11] FEV. A12686. Final report of 500hr durability test for EF7 engine. 2005.
[12] Fathi M. Programming with Matlab. 2nd ed. Kanoon Nasher Olum; 2011. [In Persian]