



In-vitro study and analysis of performance of diesel engines using biodiesel at a quarter throttle

Esmail Haghgoo¹, Mohammad Salehpour^{2*}, Ali Alijani³, Admin Kazemi⁴

^{1,2,3,4} Department of mechanical Engineering, BaA. C., Islamic Azad University, Bandar Anzali, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:

Original Research

Received: 24.06.2024

Revised: 04.09.2024

Accepted: 21.10.2024

Keyword:

Diesel engine
Biodiesel
Pollution
Vegetable oil waste
electric brake lever

*Corresponding Author:

Mohammad Salehpour

Email:

mohammad.salehpour@iau.ac.ir

ABSTRACT

In recent decades, with growing concerns about pollution from fossil fuels, researchers and manufacturers are seeking for cleaner alternatives for vehicles. To do so, biodiesel, a fuel derived from vegetable oil waste, seems to be a favorable choice as a replacement for diesel fuel in engines. This study (in-vitro study) has revealed the analysis of the performance criteria of a four-stroke diesel research engine using different blends of diesel and biodiesel. In this way, different volumetric mixtures of diesel and biodiesel (B0, B20, B40, B60, and B80) have been appraised by an electric brake lever for several load percentages. The engine has been tested under different loads (0%, 25%, 50%, 75%, and 100% of the electric brake lever's capacity) and engine speeds (1250, 1400, 1450, 1500, and 1535 revolutions per minute) with a fixed throttle position. Thereafter, by utilizing different measurement tools, some important outputs have been drawn such as various performance plots of the engine containing, volumetric efficiency, specific fuel consumption (SFC), rate of fuel consumption, thermal efficiency, air-fuel ratio, braking power, braking torque, rate of air consumption and pollutant gases emitting from the engine. Afterwards, the performance investigation of the engine considering the laboratory results and various graphs have been assessed. It is worth mentioning that inputs' parameters are, namely, volume percentage of fuel mixture, engine speed and engine load percentage, and the output, engine performance parameters and air quality index. As exhibited, amongst the aforesaid blends, B40 has the least amount of SFC and air quality index at different brake lever loads. Consequently, it can be suggested that B40 may be a more economical and environmentally friendly alternative for real-world usage.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Nowadays, due to the rapid industrialization of nations, there is an increasing demand for fossil fuels. However, the reserves of fossil fuels are depleting at an alarming rate all around the world, and new reserves, which have been discovered using the most sophisticated technological tools, are not sufficient to meet the increasing demand of the market. Thereafter, there is a great necessity to find alternative sources. On the other hand, the fuels used in the transportation industry are subject to strict laws to control pollution, and to this end, replacing fossil fuels with clean ones to help preserve the environment is an undeniable issue. All the efforts of researchers are to find alternative fuel sources with low pollution and cost-effectiveness, and as a result, reducing dependence on fossil ones. Among the proposed alternative fuels for diesel engines, biodiesel and diesel-ethanol mixture have attracted much attention in recent years because these kinds of fuels have renewable energy carriers. In addition, studies have shown that using these renewable fuels makes it possible to reduce carbon monoxide (CO) and unburned hydrocarbons (UHCs) from diesel engines. It is important to note that the production capacity of the aforesaid fuels is available in Iran. Because of the clean usage of biodiesel, many previous studies have been conducted on modelling and performance of fuel, and its effect on diesel engine efficiency. As the diesel engine can use biodiesel without major changes, the way is paved for an in-vitro study.

Results and discussion

The fuel rate was reduced and increased by further increasing the percentage of biodiesel fuel (more than 40%). The decreasing trend of the fuel rate from B0 to B40 and its increasing trend from B40 to B80 were similar at different brake lever loads. Therefore, B40 had lower fuel consumption than other fuel mixtures and its use is recommended as an optimal mixture from the point of view of economy and optimal fuel consumption. In addition, by increasing brake lever loads, the fuel consumption rate increased. The thermal efficiency increased by increasing the percentage of biodiesel in fuel mixtures by up to 40% v/v and reduced by further increasing the percentage of biodiesel (more than 40%). B40 had the highest thermal efficiency compared to other fuel mixtures. By increasing the percentage of biodiesel in fuel mixtures by 40% v/v, the volumetric efficiency was reduced. By further increasing the percentage of biodiesel (more than 40%), the volumetric efficiency increased. This is despite the fact that the changes in volumetric efficiency by increasing the percentage of biodiesel in the fuel mixture were insignificant, the reduction in efficiency in B40 can be ignored and the volumetric efficiency at constant load is considered for all constant fuel mixtures. The effective average braking pressure and braking torque were constant at constant load for all fuel mixtures due to their direct relationship with braking power. By increasing the percentage of biodiesel in fuel mixtures by 40%, the temperature of the exhaust outlet was reduced, and by further increasing the percentage of biodiesel in the fuel mixtures, from 40 to 80%, the temperature of the exhaust outlet increased. The trend of changes in the temperature of the exhaust gas at different loads was also the same. By increasing the load, the temperature of the exhaust gas increased. The braking power of the engine at a certain load was almost constant for all fuel mixtures. By increasing the percentage of biodiesel in the fuel mixture by up to 40% v/v, the air-to-fuel ratio increased

and was reduced by further increasing biodiesel in the fuel mixture (more than 40% v/v). The trend of changes in the air-fuel ratio was the same at different brake lever loads. Therefore, B40 had the highest air-fuel ratio among the rest of the fuel mixtures. By increasing the percentage of biodiesel in fuel mixtures by 40% v/v, the SFC of brake reduced and increased by further increasing the percentage of biodiesel in fuel mixtures (40-80% v/v). The trend of changes in the SFC of the brake was the same as the percentage of biodiesel in fuel mixtures at different brake lever loads.

As shown, CO released in the fuel mixture was lower in 40% fuel mixture than in all the mixtures. Furthermore, by increasing the load of the brake lever, CO emission increased, which was due to the incomplete mixture in the combustion chamber. The released CO₂ was reduced by 40% fuel mixture and increased by increasing the percentage of biodiesel, and by increasing the brake lever load, the release of CO₂ increased in all mixtures. NO_x released in 40% fuel mixture was less than all the mixtures. Also, by increasing the load, NO_x emission increased.

Conclusion

A study of the engine air use rate showed that for all diesel and biodiesel mixtures at different brake lever loads, the rate of air consumption was approximately the same, which is due to the constant temperature in the laboratory during engine testing. By increasing the percentage of biodiesel in fuel mixtures by up to 40% v/v, B40 had the lowest SFC and emissions at different brake lever loads. Therefore, economically and given lower fuel consumption and air quality index, it is superior to other fuel mixtures and its use is recommende.



بررسی آزمایشگاهی و تحلیل عملکرد موتور دیزل با سوخت بیودیزل در وضعیت ربع دریاچه گاز

اسماعیل حقگو^۱، محمد صالح پور^{۲*}، علی علیجانی^۳، آدمین کاظمی^۴

۱ و ۲ و ۳- گروه مهندسی مکانیک، واحد بندر انزلی، دانشگاه آزاد اسلامی، بندر انزلی، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۴

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

کلید واژگان:

موتور دیزل، سوخت بیودیزل، آلایندگی، پسماند روغن گیاهی، لگام ترمز

*نویسنده مسئول: محمد صالح پور

پست الکترونیکی:

mohammad.salehpour@iau.ac.ir

در سال‌های اخیر به دلیل آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی تلاش شده است تا از سوخت‌های پاک در خودروها استفاده شود. سوخت‌های مختلفی به‌عنوان جایگزین سوخت دیزل در موتورهای دیزلی بررسی شده‌اند که از مهم‌ترین آن‌ها سوخت به‌دست‌آمده از پسماند روغن گیاهی تحت عنوان سوخت بیودیزل است. در این تحقیق بررسی آزمایشگاهی، عملکرد و تعیین بهینه‌ی پارامترهای عملکردی یک موتور تحقیقاتی چهارزمانه‌ی دیزل با مخلوط سوخت دیزل و بیودیزل انجام شده است. در این راستا مخلوط‌های حجمی مختلف سوخت دیزل و بیودیزل (B0, B20, B40, B60, B80) توسط یک لگام ترمز الکتریکی در درصدهای بار مختلف و در موقعیت دریاچه‌ی گاز موتور تحت آزمایش در وضعیت ۱/۴ کورس حرکتی خود ثابت شده و تحت بارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد لگام ترمز مورد آزمایش قرار گرفته است سپس متغیرهای عملکردی موتور در اثر اعمال این بارها در دوره‌های ۱۵۳۵، ۱۵۰۰، ۱۴۵۰، ۱۴۰۰ و ۱۲۵۰ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در نتیجه با استفاده از ابزارهای مختلف اندازه‌گیری، نمودارهای مختلف موتور شامل راندمان حجمی، مصرف ویژه‌ی سوخت، آهنگ مصرف سوخت، راندمان حرارتی، نسبت هوا به سوخت، قدرت ترمزی، گشتاور ترمزی، آهنگ مصرف هوا و همچنین گازهای آلایندگی خروجی از موتور اندازه‌گیری شد. در ادامه تحلیل عملکرد موتور بر اساس نتایج آزمایشگاهی به‌دست‌آمده و نمودارهای مختلف بررسی شده‌اند. ورودی‌های در نظر گرفته شده شامل درصد حجمی مخلوط سوخت، دور موتور و درصد بار موتور و خروجی آن شامل پارامترهای عملکردی موتور و ایندکس آلایندگی هستند. با تحلیل نمودارهای عملکردی، مخلوط سوخت B40 (۴۰٪ حجمی بیودیزل / ۶۰٪ دیزل) در بارهای مختلف لگام ترمز دارای کمترین مصرف ویژه‌ی سوخت ترمزی و آلایندگی است. بنابراین از نظر اقتصادی، و کاهش مصرف سوخت و کاهش آلایندگی نسبت به بقیه‌ی مخلوط‌های سوخت برتری داشته و استفاده از آن توصیه می‌شود.



۱- مقدمه

امروزه به دلیل صنعتی شدن سریع کشورها، تقاضا برای سوخت‌های فسیلی بیش از هر زمان دیگری افزایش یافته است، اما ذخایر سوخت‌های فسیلی با سرعت نگران‌کننده‌ای در سراسر جهان در حال به اتمام رسیدن هستند و ذخایر جدیدی که با استفاده از پیشرفته‌ترین فناوری‌ها پیداشده‌اند، برای تأمین تقاضای فزاینده‌ی آن‌ها کافی نیست. بنابراین، نیاز به یافتن منابع جایگزین احساس می‌شود. از طرف دیگر، سوخت‌های مورد استفاده در صنعت حمل‌ونقل، تحت قوانین سخت‌گیرانه‌ای برای کنترل آلودگی هستند و در این پیگیری‌ها نیاز به جایگزینی سوخت‌های فسیلی همراه با حفظ شرایط مناسب محیط‌زیست ضروری است. تمامی تلاش‌های تحقیقاتی پژوهشگران از گذشته تا امروز، یافتن منابع سوخت جایگزین با آلاینده‌ی کم و مقرون‌به‌صرفه و در نتیجه کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی است. از میان سوخت‌های جایگزین پیشنهادی برای موتورهای دیزلی، در سال‌های اخیر ترکیب بیودیزل^۱ و دیزل- اتانول^۲ توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۱]. دلیل این امر این است که سوخت‌های مزبور دارای حامل‌های انرژی تجدید پذیر هستند و ضمناً مطالعات نشان داده است که با استفاده از این سوخت‌های تجدید پذیر می‌توان میزان کاهش مونوکسید کربن و هیدروکربن نسوخته از موتورهای دیزلی را به دست آورد. البته، توجه به این نکته ضروری است که ظرفیت تولید سوخت‌های مذکور در ایران مهیا می‌باشد [۲].

با توجه به تازگی استفاده از سوخت‌های بیودیزل، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی مدل‌سازی و نحوه‌ی عملکرد این نوع سوخت و تأثیر آن بر روی کارایی موتور دیزل انجام شده است. به دلیل اینکه موتور دیزل بدون تغییر عمده‌ای می‌تواند از سوخت بیودیزل استفاده نماید، راه برای تحقیقات آزمایشگاهی مختلف هموار شده است [۲]. در همین راستا وونگ و همکاران [۳] عملکرد یک موتور بیودیزل با هدف کاهش آلودگی، کاهش هزینه‌ی سوخت و افزایش بازه‌ی عملکردی موتور را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها روش یادگیری ماشین اکستریم را برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی موتور بیودیزل پیشنهاد دادند. در مقاله مذکور از روش‌های مختلف هوش مصنوعی شامل ترکیب روش تجمعی ذره، ماشین بردار پشتیبان، جستجوی فاخته و ... برای تحلیل نتایج استفاده شد. تابع هدف در نظر گرفته شده ترکیبی از عوامل اقتصادی (هزینه‌ی خرید و تولید سوخت)، گازهای آلاینده و عملکرد موتور بود. جادهاو و همکاران [۴] تأثیر هم‌زمان پارامترهای نسبت تراکم، فشار اینجکشن^۳، هندسه‌ی نازل، نسبت سوخت و چرخش گازهای خروجی بر روی مصرف سوخت ویژه، راندمان حرارتی، مونوکسید کربن، هیدروکربن‌ها، دی‌اکسید کربن و ناکس عملکرد موتور تحقیقاتی بیودیزل را بررسی کردند. با استفاده از روش تاگوچی و در نظر گرفتن پنج سطح برای هر پارامتر ورودی طراحی آزمایش‌ها انجام شد. بهبود ۵/۵ درصد و ۶۸/۳ درصد به ترتیب در بار جزئی و بار کامل در عملکرد موتور گزارش شده است. جوناح و همکاران [۵] عملکرد موتور بیودیزل با روغن کرچک هم‌وزنه‌ی^۴

^۱ Biodiesel^۲ Diesel-ethanol^۳ Renewable energy^۴ P. K. Wong et al^۵ S. D. Jadhav et al^۶ Injection^۷ J. C. Umeuzuegbu et al^۸ Homogenous

قلیایی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها ترکیب سوخت بیودیزل و سرعت موتور را به‌عنوان پارامتر ورودی و قدرت ترمزی، مصرف سوخت ویژه، بازده حرارتی ترمزی، گشتاور و هزینه را به‌عنوان خروجی در نظر گرفتند. به‌منظور مدل‌سازی عملکرد موتور از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد و از مدل حاصل به‌عنوان ورودی الگوریتم NSGA-II برای بهینه‌سازی چندهدفی موتور بهره گرفته شد. در ادامه نتایج به‌دست‌آمده از سوخت روغن کرچک با سوخت فسیلی مقایسه شد و نشان داده شد که این سوخت می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشد. با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفی مقادیر بهینه برای درصد ترکیبی سوخت ۷۸/۷ درصد و برای سرعت موتور ۱۷۵۷/۴۸ دور بر دقیقه حاصل شد. در تحقیقی دیگر، کومار و همکاران [۶]. شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش سطح پاسخ برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی نسبت سوخت‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. توابع عملکردی متفاوت موتور مورد ارزیابی قرار گرفتند و نشان داده شد که ترکیب ۳۰ درصد اتانول، ۲۰ درصد بیودیزل و ۵۰ درصد سوخت فسیلی بهترین عملکرد را از نظر بهبود شرایط موتور و کاهش آلایندگی دارد. آناندهان [۷] در پژوهش خود از روغن جوجوبا برای موتور دیزل استفاده کرد. ترکیب‌های مختلف ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد این سوخت در آزمایش‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج از آزمایش‌ها مشخص شد که ترکیب ۲۰ درصد این سوخت باعث بهتر شدن بازده و کاهش گازهای آلاینده موتور می‌شود، اما آلودگی ناکس آن بیشتر از سایر ترکیبات بود. نجفی و همکاران [۸] ساختار یک موتور دیزل را برای استفاده‌ی هم‌زمان از دو مورد سوخت با گاز طبیعی و افزودنی تری‌استات‌گلیسرول^۳ به‌عنوان سوخت آزمایشی تغییر دادند. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و شبکه‌های عصبی بهینه‌شده با الگوریتم ژنتیک، نسبت سوخت‌ها به‌منظور کاهش آلایندگی به دست آمدند. با استفاده از ترکیب سوخت‌های مختلف میزان ناکس و مونوکسید کربن به ترتیب به میزان ۶۳ و ۴۲ درصد کاهش پیدا کردند. خوب بخت و همکاران [۹] در تحقیقشان، تأثیر ترکیبات مختلف بیودیزل و اتانول را بر شاخص عملکرد یک موتور دیزل بررسی کردند. از روش طراحی آزمایش‌ها و روش پاسخ سطح برای انجام و تحلیل آزمایش‌ها استفاده شد. نتایج نشان دادند که افزایش بیودیزل و یا افزایش درصد اتانول در مخلوط سوخت باعث کاهش قدرت ترمزی موتور می‌شود. بیشترین مقدار نیروی ترمزی برای سوخت خالص در دور موتور ۲۸۰۰ دور بر دقیقه به دست آمد، درحالی‌که بیشترین راندمان حرارتی برای ترکیب ۱۲/۸۳ و ۵ درصد سوخت‌ها و در دور موتور ۱۹۰۰ و بار ۸۰ درصد موتور حاصل شد.

آسونی و همکاران [۱۰]^۴ آزمایش‌هایی بر روی یک موتور چهار سیلندر چهارزمانه‌ی پاشش مستقیم در بارهای مختلف ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ نیوتن‌متر و سرعت دوران ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ دور بر دقیقه انجام دادند. آن‌ها راندمان حرارتی ترمزی، مصرف ویژه‌ی سوخت، مونوکسید کربن، اکسید نیتروژن و هیدروکربن را با استفاده از تعیین بهینه بار، سرعت و ترکیب سوخت توسط الگوریتم نلدرمید انجام دادند. از شبکه‌ی عصبی چندلایه‌ی پرسپترون برای نگاشت غیرخطی خروجی مدل بر روی ورودی‌های آن استفاده شده است. جلالیان‌تبار و همکاران [۱۱]^۵ با استفاده از شبکه‌های عصبی و الگوریتم NSGA-II توابع عملکردی یک موتور دیزل را بهینه کردند. نتایج کار آن‌ها کاهش

^۱A. N. Kumar et al

^۲ Glycerol

^۳C. Esonye et al

^۴F. Jaliliantabar et al

۶۳/۷ درصدی در ناکس و ۵۴/۰۵ درصد در هیدروکربن‌ها را با استفاده از ترکیب بیودیزل و سوخت فسیلی (به نسبت حجمی ۱۰ به ۹۰) نشان دادند. دی و همکاران [۱۲] خواص مختلف سوخت ترکیبی دیزل-اتانول-پالم را در یک موتور تک سیلندر چهارزمانه‌ی پاشش مستقیم بررسی کردند. نتایج کارشان مؤید این امر بود که رفتار موتور بر اساس شاخص عملکردی چندگانه که ترکیبی از عوامل مختلف بود، برای بار ۲۰ درصد و نسبت ۲۰-۷۵-۵ برای دیزل-پالم-اتانول در شرایط بهینه خواهد بود. داس و همکاران [۱۳] در کارشان، نسبت تراکم، بار و ترکیب سوخت (شامل سوخت بازیافتی پلاستیک و اتانول) برای یک موتور چهارزمانه‌ی پاشش مستقیم را برای بهبود راندمان حرارتی و کاهش گازهای آلاینده تعیین کردند. آزمایش‌های انجام‌گرفته بر روی موتور در سرعت دوران ثابت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و نسبت بارها و تراکم‌های متفاوت انجام گرفت. آن‌ها نتیجه گرفتند که نسبت تراکم ۱۸:۱ و بار ۱۰۰ درصد، بهترین بازدهی حرارتی و کمترین آلودگی را برای ترکیب ۲۰ درصد سوخت ضایعات پلاستیکی و ۲۰ درصد اتانول با ۶۰ درصد سوخت دیزل خواهد داشت. می‌توان از شبکه‌های عصبی چندلایه‌ی پرسپترون برای مدل‌سازی عملکرد موتور بیودیزل استفاده کرد [۴، ۶، ۷]. در تحقیقات دیگری نیز از شبکه‌ی انفیس [۱۴]، برنامه‌ریزی ژنتیکی [۱۵]، شبکه‌های عصبی GMDH [۱۶] و شبکه‌ی عصبی پایه شعاعی [۱۷] برای بررسی رفتار و عملکرد موتور بیودیزل استفاده شده است.

همچنین می‌توان موارد متعدد دیگری را با رجوع به کارهای: گونسالوزو همکاران^۳ [۱۸]، حسین زاده و همکاران^۴ [۱۹]، سیوامانی و همکاران^۵ [۲۰]، کومار [۲۱]، سلوان و همکاران^۶ [۲۲]، یو و ژاو [۲۳]، اوزگار و توسون [۲۴]، هریرام و همکاران^۷ [۲۵]، تچامانی و همکاران^۸ [۲۶]، دنگ و همکاران^۹ [۲۷]، مورتی و همکاران^{۱۰} [۲۸]، بتیکو و همکاران^{۱۱} [۲۹] مورد بررسی قرار دهد.

در این مقاله سوخت به‌دست‌آمده از پسماند روغن گیاهی به‌عنوان سوخت بیودیزل در یک بستر آزمایشگاهی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا مخلوط‌های حجمی مختلف سوخت دیزل و بیودیزل (B0, B20, B40, B60, B80) توسط یک لگام ترمز الکتریکی در درصدهای بار مختلف و در موقعیت دریچه‌ی گاز موتور تحت آزمایش در وضعیت ۱/۴ کورس حرکتی خود ثابت‌شده و تحت بارهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد لگام ترمز مورد آزمایش قرار گرفته است و در نتیجه متغیرهای عملکردی موتور در اثر اعمال این بارها در دوره‌های ۱۵۳۵، ۱۵۰۰، ۱۴۵۰،

^۱S. Dey et al^۲A. K. Das, Padhi et al^۳P. C. Gonçalves et al^۴R. Hosseinalizadeh et al^۵S. Sivamani et al^۶S. Sindhanai Selvan et al^۷V. Hariram et al^۸A. P. Tchameni et al^۹C. Deng et al^{۱۰}N. Shenbaga Vinayaga Moorthi et al^{۱۱}E. Betiku et al

۱۴۰۰ و ۱۲۵۰ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. با استفاده از ابزارهای مختلف اندازه‌گیری، نمودارهای عملکردی مختلف موتور شامل راندمان حجمی، مصرف ویژه سوخت، آهنگ مصرف سوخت، راندمان حرارتی، نسبت هوا به سوخت، قدرت ترمزی، گشتاور ترمزی، آهنگ مصرف هوا و همچنین گازهای آلاینده‌ی خروجی از موتور مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ادامه تحلیل عملکرد موتور بر اساس نتایج آزمایشگاهی به‌دست‌آمده و نمودارهای مختلف بررسی شده‌اند. ورودی‌های در نظر گرفته‌شده شامل درصد حجمی مخلوط سوخت، دور موتور و درصد بار موتور و خروجی آن شامل پارامترهای عملکردی موتور و ایندکس آلاینده‌ی هستند. به‌طور کلی نوآوری تحقیق حاصل ایجاد یک بستر آزمایشگاهی مناسب جهت اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی خروجی یک موتور بیودیزل با امکان تغییر در پارامترهای ورودی مؤثر آن می‌باشد.

۲- روش انجام آزمایش

در این تحقیق به‌منظور مطالعه‌ی پارامترهای عملکردی موتور دیزل با سوخت بیودیزل، نسبت‌های حجمی مختلفی از سوخت بیودیزل با گازوئیل متداول در ایران تهیه شد که در جدول (۱) درصد‌های حجمی و علائم اختصاری سوخت‌های مورد استفاده در آزمایش آمده است. به‌منظور حصول داده‌های عملکردی موتور و استفاده از آن‌ها برای ارزیابی عملکرد آن بر اساس مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل در بارهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد لگام ترمز موتور لیستر پیتر AC1 Cool در آزمایشگاه موتورهای احتراق داخلی دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه گیلان بررسی شده است.

جدول ۱. درصد‌های حجمی از سوخت‌های استفاده‌شده در آزمایش

ردیف	درصد‌های ترکیب سوخت	علائم اختصاری سوخت‌ها
۱	۱۰۰٪ دیزل	B0
۲	۲۰٪ بیودیزل + ۸۰٪ دیزل	B20
۳	۴۰٪ بیودیزل + ۶۰٪ دیزل	B40
۴	۶۰٪ بیودیزل + ۴۰٪ دیزل	B60
۵	۸۰٪ بیودیزل + ۲۰٪ دیزل	B80

۲-۱- تجهیزات آزمایش

۲-۱-۱- موتور مورد استفاده

موتور به‌کاررفته در این تحقیق، دیزل چهارزمانه‌ی تنفس طبیعی هوا خنک از نوع لیستر پیتر AC1 Cool با حداکثر توان ۶/۵ اسب بخار در سرعت دوران ۳۶۰۰ دور بر دقیقه است (شکل ۱) ضمناً مشخصات فنی آن در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱. موتور دیزل لیستر پیتر AC1 Cool

جدول ۲. مشخصات فنی موتور دیزل لیستر پیتر AC1 Cool

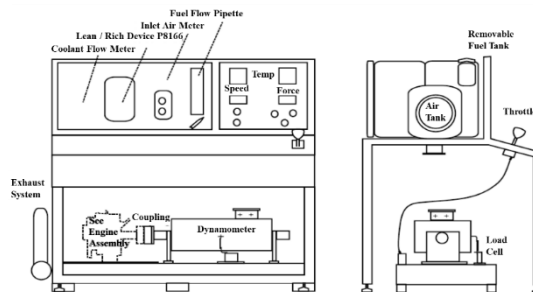
ردیف	مشخصه	مقدار	واحد
۱	تعداد سیلندر	۱	-
۲	قطر سیلندر	۷۶.۲	mm
۳	کورس پیستون	۶۶.۷	mm
۵	حجم سیلندر	۳۰۴	cc
۶	نسبت تراکم	۱۷:۱	-
۷	حداکثر دور موتور	۳۶۰۰	rpm
۸	حداکثر گشتاور موتور	۱۵.۶n.m در ۲۶۵۰rpm	n.m
۹	گنجایش روغن	۲.۸	lit

۲-۱-۲- لگام ترمز الکتریکی P8160

لگام ترمز الکتریکی P8160 به عنوان یکی از دقیق ترین دستگاه های اندازه گیری گشتاور پذیرفته شده است. این دستگاه، تغییرات وسیعی از قدرت و سرعت را ارائه می دهد. به علاوه این نوع لگام ترمز دارای یک الکتروموتور DC با توان ۱۰ کیلووات و دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه می باشد ضمناً توان خروجی موتور توسط سنسور لودسل قابل اندازه گیری است. لازم به توضیح است که لگام ترمز (شکل ۲) و مجموعه ی تجهیزات (شکل ۳) به کاررفته در تحقیق حاضر ساخت شرکت CUSONS کشور بریتانیا است، که مشخصات لگام ترمز مزبور در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲. لگام ترمز P8160 به همراه موتور لیستر پیترا AC1 COOL



شکل ۳. مجموعه‌ی تجهیزات مورداستفاده در آزمایش موتور لیستر پیترا AC1 COOL

جدول ۳. مشخصات لگام ترمز P8160

شماره‌ی سریال دستگاه	P8160/145
ولتاژ	ولت ۳۸۰
تعداد فاز	۳
فرکانس	هرتز ۵۰
توان مصرفی	وات ۸۰۰۰

۳-۱-۲- دورسنج

با استفاده از این حسگر می‌توان سرعت خروجی موتور را اندازه‌گیری نمود. براین اساس حسگر، سرعت دورانی محور در حال دوران را ثبت کرده و متناسب با سرعت محور، پالس‌هایی را تولید می‌کند. این پالس‌ها به یک دورشمار الکترونیکی قطع و وصل‌کننده ارسال می‌شوند که این دورشمار تعداد پالس‌های رسیده را در طول دوره زمانی کوتاه و جمع می‌کند در ادامه نتیجه به طور دیجیتالی توسط دورشماری که معمولاً برحسب دور در دقیقه است نشان داده می‌شود. ضمناً دورسنج استفاده‌شده در لگام ترمز P8160 در (شکل ۴) نشان داده شده است.



شکل ۴. دورسنج لگام ترمز P8160

۴-۱-۲- اندازه‌گیر جریان سوخت

نرخ مصرف سوخت مایع توسط یک موتور را می‌توان به چند طریق مختلف می‌توان اندازه‌گیری کرد. در این تحقیق برای اندازه‌گیری جریان سوخت از روش پیپت استفاده شده است. در این روش، یک پیپت با ظرفیت مشخص به‌عنوان دستگاه ساده و دقیق اندازه‌گیری جریان سوخت برای موتورهای با اندازه‌ی کوچک و متوسط به کار می‌رود. در دستگاه مزبور خروجی پایینی پیپت، لوله اصلی تأمین سوخت می‌باشد و لوله‌ی متصل به کاربراتور یا پمپ انژکتور به یک شیر دوراوه وصل می‌گردند. در این صورت دو حالت زیر برقرار است:

۱- موقعیت RUN: در این حالت، ورود سوخت به کاربراتور یا انژکتور انجام می‌گیرد.

۲- موقعیت MEASURE: در این حالت، ورود سوخت به کاربراتور یا انژکتور قطع می‌گردد و سوخت در پیپت بالا می‌آید.

اندازه‌گیر جریان سوخت استفاده‌شده در لگام ترمز P8160 در شکل ۵ نشان داده‌شده است.



شکل ۵. اندازه‌گیر جریان سوخت لگام ترمز P8160

۱-۲-۵- اندازه‌گیر جریان هوا

برای این منظور، در تحقیق حاضر، از روش مخزن و اریفیس استفاده شده است. این روش یکی از متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری آهنگ جریان هوا به داخل یک موتور می‌باشد در این روش، هوای ورودی به موتور از یک صفحه‌ی روزنه دار عبور می‌کند، در این حالت افت فشار در دو طرف صفحه‌ی روزنه دار، اندازه‌ای از نرخ جریان هوا است. اندازه‌گیر جریان هوای مورد استفاده در لگام ترمز P8160 در (شکل ۶) نشان داده شده است.



شکل ۶. جریان سنج هوای ورودی موتور لگام ترمز P8160

۶-۱-۲- سوخت

بیودیزل به کاررفته در کار فعلی، متیل استر روغن گیاهی پسماند است که مراحل تولید آن در آزمایشگاه دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفته است ضمناً، سوخت گازوئیل استفاده شده در این تحقیق، گازوئیل متداول در ایران می‌باشد که مشخصات هر دو نوع سوخت مذکور در جداول ۴ و ۵ ارائه شده‌اند.

جدول ۴. ویژگی‌های مهم سوخت بیودیزل مورد استفاده به همراه استانداردهای ASTM و حدود مجاز [۱۰]

ردیف	نام مشخصه	روش استاندارد آزمون	حدود مجاز	بیودیزل	واحد
۱	نقطه‌ی اشتعال	ASTM D-92	کمترین ۱۳۰	۱۷۶	°C
۲	گرانروی سینماتیک	ASTM D-445	۶/۰ - ۱/۹	۴/۷۳	mm ² /s
۳	نقطه‌ی ابری شدن	ASTM D-2500	---	-۱	°C
۴	نقطه‌ی ریزش	ASTM D-97	---	-۴	°C
۵	رنگ	ASTM D-1500	---	۱1.5	---
۶	خوردگی مس	ASTM D-130	حداکثر شماره ۳	a1	---
۷	گلیسیرین آزاد	ASTM D-6584	حداکثر شماره ۰/۰۲	۰/۰۱۶	%mass
۸	آب و رسوبات	ASTM D-2709	حداکثر شماره ۰/۰۵	۰/۰۵	%vol
۹	چگالی	---	---	۰/۸۸	g/cm ³
۱۰	ارزش حرارتی پایین	---	---	۳۸۷۳۰	kJ/kg

جدول ۵. ویژگی‌های مهم سوخت دیزل مورد استفاده به همراه استانداردهای ASTM [۱۰]

ردیف	نام مشخصه	روش استاندارد آزمون	سوخت دیزل	واحد
۱	نقطه‌ی اشتعال	ASTM D- 93	۶۱	°C
۲	گرانروی سینماتیک	ASTM D- 445	۴/۱	mm ² /S
۳	چگالی	ASTM D- 4052	۰/۸۳۹	g/cm ³

۴	ارزش حرارتی پایین	ASTM D- 240	۴۲/۵۷	mJ/kg
۵	جرم مولکولی	---	۲۰۹	kg/mol
۶	درصد جرمی کربن	---	۸۶/۵	%
۷	درصد جرمی هیدروکربن	---	۱۳/۵	%
۸	درصد جرمی گوگرد	---	۰/۷۱	%

۲-۲- روش و مراحل آزمایش

آزمایش‌ها باهدف مطالعه‌ی تأثیر سهم بیودیزل بر پارامترهای عملکردی موتور انجام شده‌اند. پارامترهای تحت کنترل شامل بار اعمالی از طرف لگام ترمز به موتور و نوع سوخت (مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل) هستند. بدین منظور، دمای هوای ورودی و دمای گاز خروجی از طریق دماسنج روی موجود بر روی دستگاه نشان داده شد، ضمناً نرخ آهنگ مصرف هوا به روش اندازه‌گیری اختلاف فشار بین دو صفحه‌ی روزه دار و با لحاظ معادلات مربوط محاسبه شد. لازم به توضیح است که نرخ مصرف سوخت با اندازه‌گیری زمان برای حجم ۱۰ CC سوخت و حل معادلات به دست آمد. بارهای مختلف نیز از طرف لگام ترمز به موتور اعمال شدند. روال آزمایش برای هر یک از سوخت‌ها بدین شکل است که در ابتدا و بعد از روشن شدن موتور دریاچه‌ی گاز موتور تحت آزمایش در وضعیت $\frac{1}{4}$ کورس حرکتی قرار داده می‌شود و در حالت بی‌باری مقادیر موردنظر ثبت می‌شوند. سپس آزمایش موردبحث در ۴ مرحله‌ی دیگر با اعمال بارهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به موتور تکرار می‌شود. توجه به این نکته ضروری است که پارامترهایی مانند مصرف ویژه سوخت، فشار مؤثر میانگین ترمزی، قدرت ترمزی، راندمان حجمی، راندمان حرارتی، گشتاور، نرخ مصرف هوا، نرخ مصرف سوخت و نسبت هوای به سوخت به‌عنوان متغیر مقایسه می‌شوند.

۳- نتایج و بحث

خصوصیات بیودیزل تولیدشده از روغن‌های گیاهی، به طور چشمگیری به زنجیره‌های اسیدهای چرب موجود در خوراک مورد استفاده بستگی دارد [۱۰]، بنابراین باید توجه داشت که نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق منحصر به بیودیزل با پایه‌ی روغن پسماند خوراکی است و نتایج آن قابل‌تعمیم به سایر سوخت‌های بیودیزل نمی‌باشد.

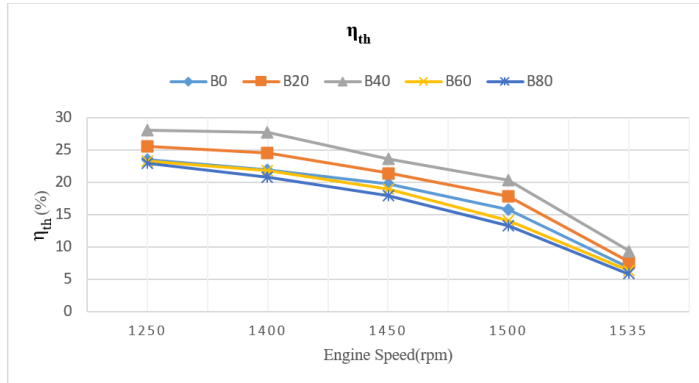
۳-۱- تأثیر سوخت بیودیزل بر راندمان حرارتی ترمزی

شکل ۹ تأثیر سوخت بیودیزل بر راندمان حرارتی ترمزی را، در حالتی که دریاچه‌ی گاز مشابه با دو زیر بخش قبلی است در بارهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد نشان می‌دهد لازم به توضیح است که حالت $\frac{1}{4}$ کورس حرارتی و درصد بارهای ذکر شده تا زیر بخش ۳-۷ برقرار است. راندمان حرارتی ترمزی بیان‌کننده‌ی میزان بهره‌دهی حرارت آزادشده در فرایند احتراق و تولید قدرت ترمزی است که بستگی به توان خروجی موتور، دبی سوخت مصرفی و ارزش حرارتی آن دارد از این منظور به دلیل نقش مهم ترکیب سوخت بر راندمان حرارتی موتور، تأثیر ترکیب سوخت مورد آزمایش بر راندمان حرارتی موتور موردبررسی قرار گرفت.

$$\eta_{th} = \frac{W}{M_{f \text{ mix}} H_{v \text{ mix}}} \quad (3)$$

در رابطه‌ی قبل، η_{th} ، W ، $M_{f_{mix}}$ ، $H_{v_{mix}}$ به ترتیب بیانگر راندمان حرارتی، توان ترمزی، دبی جرمی مخلوط سوخت و ارزش حرارتی مخلوط سوخت هستند.

بررسی مقادیر راندمان حرارتی نشان می‌دهد که با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت تا B40 حجمی افزایش پیدا کرده و با افزایش بیشتر درصد سوخت بیودیزل (بیش از ۴۰٪) کاهش می‌یابد. در مجموع مخلوط سوخت B40 دارای بیشترین راندمان حرارتی در مقایسه با سایر مخلوط‌های سوخت می‌باشد.



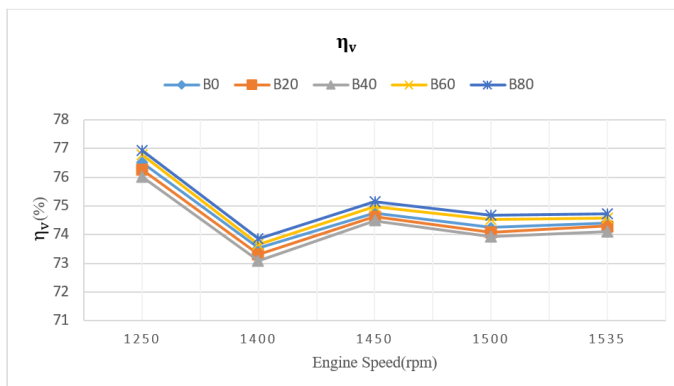
شکل ۷. تأثیر سوخت بیودیزل بر راندمان حرارتی در بارهای مختلف

۳-۲- تأثیر سوخت بیودیزل بر راندمان حجمی

یکی دیگر از معیارهای بررسی عملکرد موتور راندمان حجمی است. بنابراین در شکل ۱۰، تأثیر سوخت بیودیزل بر راندمان حجمی برای شرایطی مشابه با زیر بخش ۳-۳ نشان داده شده است. راندمان حجمی (η_v) برابر نسبت حجم مخلوط ورودی به استوانه (دبی جرمی هوا + دبی جرمی سوخت) به حجم جاروب شده (دبی جرمی اندیکاتوری) می‌باشد. بنابراین:

$$\eta_v = \frac{\dot{M}_a + \dot{M}_f}{\dot{M}_i} \quad (4)$$

ارزیابی مقادیر راندمان حجمی نشان می‌دهد که با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت تا B40 حجمی، راندمان حجمی کاهش و در صورت افزایش بیشتر درصد بیودیزل (بیش از ۴۰٪) راندمان حجمی افزایش می‌یابد. این در حالی است که تغییرات راندمان حجمی با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط سوخت ناچیز می‌باشد و می‌توان از این افت راندمان در مخلوط سوخت B40 صرف نظر کرد و راندمان حجمی را در بار ثابت برای همه‌ی مخلوط‌های سوخت ثابت در نظر گرفت.



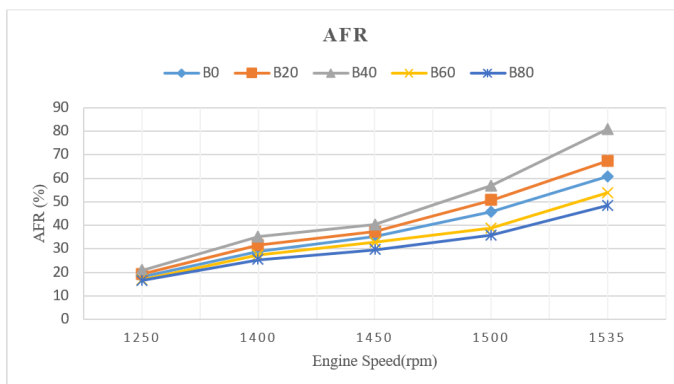
شکل ۸. تأثیر سوخت بیودیزل بر راندمان حجمی در بارهای مختلف

۳-۳- تأثیر سوخت بیودیزل بر نسبت هوا به سوخت

در شکل ۱۳ تغییرات نسبت هوا به سوخت^۱ در شرایطی مشابه با زیر بخش ۳-۳ نشان داده شده است. نسبت مذکور برابر با نسبت آهنگ مصرف هوا (M_a) به آهنگ مصرف سوخت (M_f) می باشد، بنابراین:

$$AFR = \frac{M_a}{M_f} \quad (7)$$

بررسی مقادیر نسبت مزبور نشان می دهد که مقادیر آن به ترتیب با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوطهای سوخت تا مخلوط سوخت B40 و سپس با افزایش بیشتر درصد بیودیزل در مخلوطهای سوخت دیزل و بیودیزل تا مخلوط سوخت B80 افزایش و کاهش می یابد. در واقع در مخلوطهای سوخت B0 تا B40 به دلیل ثابت بودن آهنگ وزنی مصرف هوای موتور در بار ثابت و کاهش آهنگ مصرف سوخت در این محدوده نسبت هوا به سوخت افزایش می یابد؛ اما در سوخت از مخلوطهای سوخت B40 تا B80 به علت افزایش آهنگ مصرف سوخت و ثابت بودن آهنگ مصرف هوای موتور در بار ثابت در این محدوده نسبت مورد بحث کاهش می یابد.



شکل ۹. تأثیر سوخت بیودیزل بر نسبت سوخت به هوا در بارهای مختلف

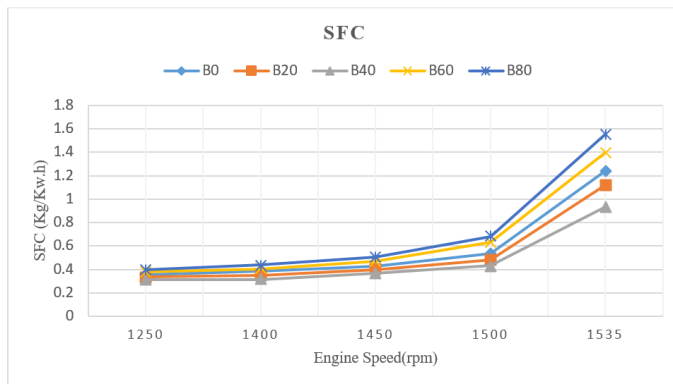
^۱Air to fuel ratio

۴-۳- تأثیر سوخت بیودیزل بر مصرف ویژه سوخت ترمزی

در شکل ۱۴ اثرگذاری سوخت بیودیزل بر مصرف ویژه سوخت، در شرایطی مشابه با زیر بخش ۳-۳ ارائه شده است. مصرف ویژه سوخت برحسب کیلوگرم بر کیلووات ساعت به صورت جرم سوخت مصرفی (M_f) به ازای تولید هر کیلووات ساعت انرژی (W) تعریف می‌شود [۱۱]:

$$SFC = \frac{M_f}{W} \quad (8)$$

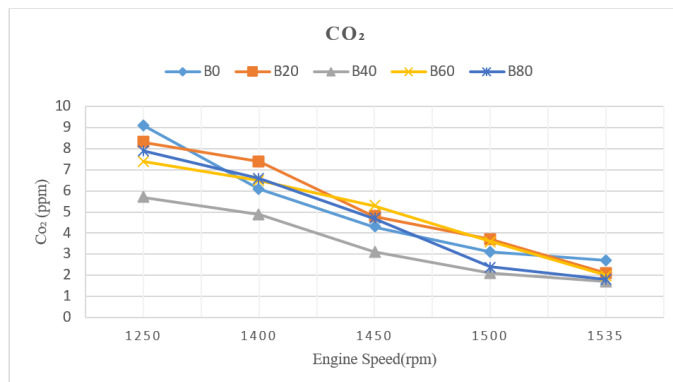
چون چگالی بیودیزل از دیزل بزرگ‌تر و ارزش حرارتی آن کوچک‌تر است، در نتیجه با افزایش درصد سوخت بیودیزل، چگالی مصرف سوخت افزایش و انرژی حرارتی آن کاهش می‌یابد. افزایش چگالی مخلوط سوخت موجب افزایش جرم مصرفی سوخت و افزایش ارزش حرارتی آن موجب افزایش انرژی آزاد شده می‌گردد که در نهایت منجر به تولید توان بیشتر خواهد شد [۱۳]. بررسی مقادیر مصرف ویژه سوخت نشان می‌دهد که مقادیر مزبور با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل تا مخلوط سوخت B40 کاهش و با افزایش بیشتر درصد بیودیزل تا مخلوط سوخت B80 مصرف ویژه سوخت ترمزی افزایش می‌یابد. در واقع افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت تا مخلوط سوخت B40، باعث کاهش مصرف سوخت بوده که مبنی بر کاهش مصرف ویژه سوخت می‌شود و همچنین با افزایش مخلوط سوخت B40 تا مخلوط سوخت B80 و با افزایش نرخ مصرف سوخت مصرف ویژه سوخت کاهش می‌یابد. مخلوط سوخت B40 کمترین مقدار مصرف ویژه سوخت را دارد، بنابراین استفاده از آن نسبت به بقیه مخلوط‌های سوخت برتری داشته و توصیه می‌شود.



شکل ۱۰. تأثیر سوخت بیودیزل بر مصرف ویژه سوخت در بارهای مختلف

۵-۳- تأثیر سوخت بیودیزل بر انتشار دی‌اکسید کربن

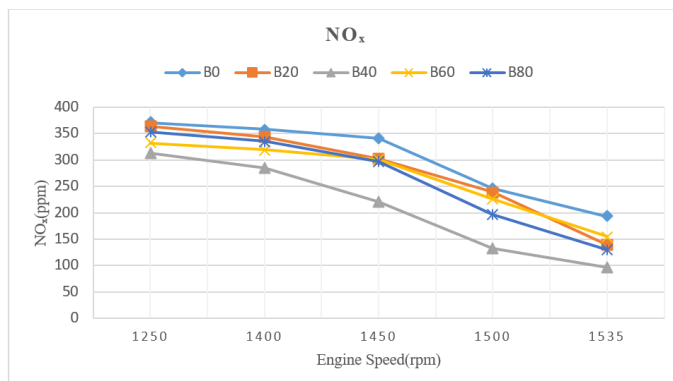
در شکل ۱۵ تأثیر سوخت بیودیزل بر انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2)، در شرایطی مشابه با زیر بخش ۳-۳ نشان داده شده است. با توجه به نمودار مزبور می‌توان دریافت کرد مقدار گاز منتشرشده دی‌اکسید کربن تا مخلوط سوخت B40 کاهش یافته و با افزایش درصد سوخت بیودیزل افزایش می‌یابد و البته با افزایش بار لگام ترمزی میزان انتشار دی‌اکسید کربن در تمامی مخلوط‌ها رو به افزایش است.



شکل ۱۱. تأثیر سوخت بیودیزل بر انتشار دی اکسید کربن در بارهای مختلف

۳-۶- تأثیر سوخت بیودیزل بر انتشار اکسیدهای نیتروژن

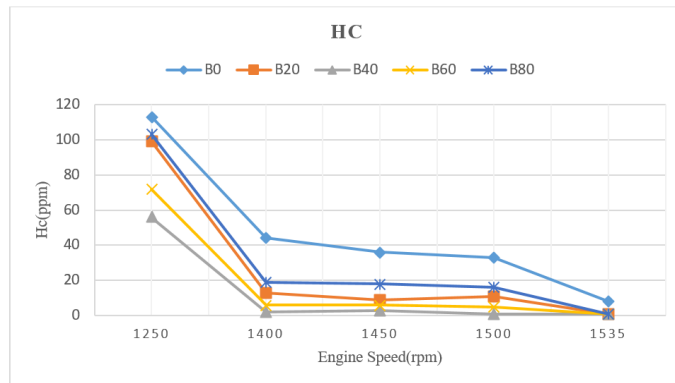
شکل ۱۶ تأثیر سوخت بیودیزل بر انتشار دی اکسیدهای نیتروژن (NO_x) را در شرایطی مشابه با زیر بخش ۳-۳ نشان می‌دهد. با بررسی شکل مذکور مشخص می‌شود که مقدار گاز منتشرشده‌ی اکسیدهای نیتروژن در مخلوط سوخت B40 از تمام مخلوط‌ها کمتر می‌باشد، و البته می‌توان پی برد که با افزایش بار که منتج به افزایش فشار و دما در محفظه‌ی احتراق می‌شود انتشار اکسیدهای نیتروژن افزایش می‌یابد.



شکل ۱۲. تأثیر سوخت بیودیزل بر انتشار اکسیدهای نیتروژن در بارهای مختلف

۳-۷- تأثیر سوخت بیودیزل بر هیدروکربن‌های نسوخته

تأثیر سوخت بیودیزل بر انتشار دی اکسید کربن (HC) در شکل ۱۷ شرایطی مشابه با زیر بخش ۳-۳ ارائه شده است. لازم به توضیح است که، عدد ستان بالای سوخت بیودیزل باعث کاهش هیدروکربن‌های نسوخته می‌شود. ضمناً اکسیژن موجود در سوخت بیودیزل باعث بهینه‌سازی مخلوط سوخت و هوا در محفظه‌ی احتراق می‌شود که این امر باعث کاهش انتشار هیدروکربن‌های نسوخته در خروجی موتور می‌شود. همچنین مخلوط سوخت B40 به دلیل تناسب اکسیژن موجود در آن از تمامی مخلوط‌ها، هیدروکربن‌های نسوخته‌ی کمتری منتشر کرده است.



شکل ۱۳. تأثیر سوخت بیودیزل بر هیدروکربن‌های نسوخته در بارهای مختلف

۴- نتیجه گیری

باتوجه به نوآوری تحقیق حاضر که ایجاد یک بستر آزمایشگاهی مناسب جهت اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی خروجی یک موتور بیودیزل با امکان تغییر در پارامترهای ورودی مؤثر آن می‌باشد، لازم به توضیح است که مخلوط سوخت B40 در بارهای مختلف لگام ترمز دارای کمترین مصرف سوخت، راندمان حجمی و مصرف ویژه سوخت ترمزی است همچنین دارای بالاترین راندمان حرارتی و نسبت سوخت به هوا می‌باشد در بررسی آلایندگی موتور با بررسی گازهای منتشر شده دی‌اکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربن‌های نسوخته در مخلوط‌های سوخت بیودیزل، مخلوط B40 دارای کمترین میزان آلایندگی می‌باشد؛ بنابراین از نظر اقتصادی و کاهش مصرف سوخت و آلایندگی نسبت به بقیه‌ی مخلوط‌های سوخت برتری داشته و استفاده از آن توصیه می‌شود.

References

- [۱] S. A. Shahir, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, A. Imran, I. M. R. Fattah, and A. Sanjid, "Feasibility of diesel–biodiesel–ethanol/bioethanol blend as existing CI engine fuel: An assessment of properties, material compatibility, safety and combustion," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 32, 379-395, 2014/04/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.029>
- [۲] B. Shadidi, G. Najafi, M. Zolfigol "A Review of the Existing Potentials in Biodiesel Production in Iran" *Sustainability* 2022, 14(6), 3284; doi: <https://doi.org/10.3390/su14063284>
- [۳] P. K. Wong, K. I. Wong, C. M. Vong, and C. S. Cheung, "Modeling and optimization of biodiesel engine performance using kernel-based extreme learning machine and cuckoo search," *Renewable Energy*, vol. 74, pp. 640-647, ۲۰۱۵ / ۰۱ / ۰۲ / ۲۰۱۵, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.075>
- [۴] S. D. Jadhav and M. S. Tandale, "Part load and full load multi-objective performance optimization of a single-cylinder diesel engine operating on Mangifera indica biodiesel as biofuel," *Biofuels*, vol. 9, no. 1, pp. 29-44, 2018/01/02 2018, doi: 10.1080/17597269.2016.1249740.

- [۵] J. C. Umezuegbu, S. Okiy, C. C. Nwobi-Okoye, and O. D. Onukwuli, "Computational modeling and multi-objective optimization of engine performance of biodiesel made with castor oil," *Heliyon*, vol. 7, no. 3, p. e06516, 2021/03/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06516>.
- [۶] A. N. Kumar *et al.*, "Decanol proportional effect prediction model as additive in palm biodiesel using ANN and RSM technique for diesel engine," *Energy*, vol. 213, p. 119072, 2020/12/15/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119072>.
- [۷] R. Anandhan, S. Karpagarajan, P. Kannan, E. Neducheralathan, J. Arunprasad, and S. Sugumar, "Performance and emission analysis on diesel engine fueled with blends of jojoba biodiesel," *Materials Today: Proceedings*, 2021/02/27/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.165>.
- [۸] B. Najafi, E. Akbarian, S. M. Lashkarpour, M. Aghbashlo, H. S. Ghaziaskar, and M. Tabatabaei, "Modeling of a dual fueled diesel engine operated by a novel fuel containing glycerol triacetate additive and biodiesel using artificial neural network tuned by genetic algorithm to reduce engine emissions," *Energy*, vol. 168, pp. 1128-1137, 2019/02/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.142>.
- [۹] G. Khoobakht, M. Karimi, and K. Kheiralipour, "Effects of biodiesel-ethanol-diesel blends on the performance indicators of a diesel engine: A study by response surface modeling," *Applied Thermal Engineering*, vol. 148, pp. 1385-1394, 2019/02/05/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.08.025>.
- [۱۰] C. Esonye, O. D. Onukwuli, A. U. Ofoefule, and E. O. Ogah, "Multi-input multi-output (MIMO) ANN and Nelder-Mead's simplex based modeling of engine performance and combustion emission characteristics of biodiesel-diesel blend in CI diesel engine," *Applied Thermal Engineering*, vol. 151, pp. 100-114, 2019/03/25/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.101>.
- [۱۱] F. Jaliliantabar, B. Ghobadian, G. Najafi, R. Mamat, and A. P. Carlucci, "Multi-objective NSGA-II optimization of a compression ignition engine parameters using biodiesel fuel and exhaust gas recirculation," *Energy*, vol. 187, p. 115970, 2019/11/15/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115970>.
- [۱۲] S. Dey, N. M. Reang, M. Deb, and P. K. Das, "Study on performance-emission trade-off and multi-objective optimization of diesel-ethanol-palm biodiesel in a single cylinder CI engine: a Taguchi-fuzzy approach," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pp. 1-21, 2020, doi: <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1767234>.
- [۱۳] A. K. Das, Padhi, M.R., Hansdah, D. et al. , "Optimization of Engine Parameters and Ethanol Fuel Additive of a Diesel Engine Fuelled with Waste Plastic Oil Blended Diesel," *Process Integr Optim Sustain*, vol. 4, pp. 465-479, 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s41660-020-00134-7>.
- [۱۴] B. Najafi, S. Faizollahzadeh Ardabili, S. Shamshirband, K.-w. Chau, and T. Rabczuk, "Application of ANNs, ANFIS and RSM to estimating and optimizing the parameters that affect the yield and cost of biodiesel production," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 12, no. 1, pp. 611-624, 2018/01/01 2018, doi: <https://doi.org/10.1080/19942060.2018.1502688>.
- [۱۵] I. Boumanchar *et al.*, "Multiple regression and genetic programming for coal higher heating value estimation," *International Journal of Green Energy*, vol. 15, no. 14-

- 15, pp. 958-964, 2018/12/08 2018,
doi:<https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1529591>.
- [۱۶] M. H. Shojaeefard, M. M. Etghani, M. Akbari, A. Khalkhali, and B. Ghobadian, "Artificial neural networks based prediction of performance and exhaust emissions in direct injection engine using castor oil biodiesel-diesel blends," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 4, 2012,
doi:<https://doi.org/10.1063/1.4769200>.
- [۱۷] Y. Kassem and H. Çamur, "Prediction of biodiesel density for extended ranges of temperature and pressure using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and radial basis function (RBF)," *Procedia Computer Science*, vol. 120, pp. 311-316, 2017/01/01/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.244>.
- [۱۸] P. C. Gonçalves, L. P. C. Monteiro, and L. d. S. Santos, "Multi-objective optimization of a biodiesel production process using process simulation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 270, p. 122322, 2020/10/1 , ۲۰۲۰ / ۰ doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122322>.
- [۱۹] R. Hosseinalizadeh, A. Arshadi Khamseh, and M. M. Akhlaghi, "A multi-objective and multi-period model to design a strategic development program for biodiesel fuels," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 36, p. 100545, 2019/12/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100545>.
- [۲۰] S. Sivamani, S. Selvakumar, K. Rajendran, and S. Muthusamy, "Artificial neural network-genetic algorithm-based optimization of biodiesel production from Simarouba glauca," *Biofuels*, vol. 10, no. 3, pp. 393-401, 2019/05/04 2019,
doi:<https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1432267>.
- [۲۱] S. Kumar, "Comparison of linear regression and artificial neural network technique for prediction of a soybean biodiesel yield," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 42, no. 12, pp. 1425-1435, 2020/06/17 2020, doi:<https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1604858>.
- [۲۲] S. Sindhanai Selvan, P. Saravana Pandian, A. Subathira, and S. Saravanan, "Artificial neural network modeling-coupled genetic algorithm optimization of supercritical methanol transesterification of Aegle marmelos oil to biodiesel," *Biofuels*, pp. 1-9, 2018, doi: <https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1542567>.
- [۲۳] W. Yu and F. Zhao, "Prediction of critical properties of biodiesel fuels from FAMEs compositions using intelligent genetic algorithm-based back propagation neural network," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pp. 1-14, 2019,
doi:<https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1641575>.
- [۲۴] C. Özgür and E. Tosun, "Prediction of density and kinematic viscosity of biodiesel by artificial neural networks," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 39, no. 10, pp. 985-991, 2017/05/19 2017,
doi:<https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1280563>.
- [۲۵] V. Hariram *et al.*, "Performance assessment of artificial neural network on the prediction of Calophyllum inophyllum biodiesel through two-stage transesterification," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 43, no. 9, pp. 1060-1072, 2021/05/03 2021,
doi:<https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1634164>.

- [۲۶] A. P. Tchameni, L. Zhao, J. X. F. Ribeiro, and T. Li, "Predicting the rheological properties of waste vegetable oil biodiesel-modified water-based mud using artificial neural network," *Geosystem Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 101-111, 2019/03/04 2019, doi: <https://doi.org/10.1080/12269328.2018.1490209>.
- [۲۷] C. Deng, S. Gong, and W. Gao, "Biodiesel production from oil-rich feedstock: A neural network modeling," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 40, no. 6, pp. 638-644, 2018/03/19 2018, doi:<https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1454544>.
- [۲۸] N. Shenbaga Vinayaga Moorthi, P. Arul Franco, and K. Ramesh, "Application of design of experiments and artificial neural network in optimization of ultrasonic energy-assisted transesterification of Sardinella longiceps fish oil to biodiesel," *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 38, no. 6, pp. 731-741, 2015/08/18 2015, doi: <https://doi.org/10.1080/02533839.2015.1027740>.
- [۲۹] E. Betiku *et al.*, "Performance evaluation of adaptive neuro-fuzzy inference system, artificial neural network and response surface methodology in modeling biodiesel synthesis from palm kernel oil by transesterification," *Biofuels*, vol. ۱۲, no. 3, pp. 339-354, 2021/03/16 2021, doi:<https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1472980>.