



Research Article

## Energy Balance Analysis of Gasoline Engine Using Different Alcohols as Additives in Gasoline Fuel

Donya khoshkname<sup>1</sup>, Behdad Shadidi<sup>2\*</sup>, Hossien Haji Agha Alizade<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D student, Department of Biosystems Engineering, faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received: 17 Nov 2023

Accepted: 11 Feb 2024

### Abstract

The lack of fossil fuels, the increase in energy prices and environmental problems have caused many countries to switch to biofuels and renewables. The lack of fossil fuels, the increase in energy prices and environmental problems have caused many countries to switch to biofuels and renewables. with the aim of evaluating the energy balance of a four-cylinder water-cooled gasoline engine using gasoline fuel compounds and ethanol, butanol, propanol, and pentanol alcohols in different volume percentages at three different speeds of 1000, 1500, and 2000 rpm. The results showed that the braking power of the experimental engine showed different behavior in different volume percentages of the fuel compounds, and according to the amount of propanol, butanol and pentanol, the amount of braking power is different. The highest braking power related to fuel number 6 at the speed of 2000 rpm was 47.11 kW and the lowest value related to fuel number 1 was 21.81 kW at the speed of 1000 rpm. The highest amount of heat loss of the cooling system related to fuel number 6 was 10.84 kW at a speed of 1000 rpm and the lowest value related to fuel number 1 was 17.07 kW at a speed of 1000 rpm. The highest exhaust heat loss related to fuel number 6 was 17.07 kW at the speed of 2000 rpm and the lowest value related to fuel number 2 was 14.54 at the speed of 1000 rpm. The highest uncalculated heat loss related to fuel number 6 was 18.57 kW at 2000 rpm speed and the lowest value was related to fuel number 5 at 11.47 kW at 1000 rpm speed.

**Keyword:** Renewable Energy, Bio-Alcohols, Performance Evaluation, Internal Combustion Engines.

\* b.shadidi@basu.ac.ir

### Please Cite This Article Using:

Khoshkname. D, Shadidi. B, Haji Agha Alizade. H. "Energy Balance Analysis of Gasoline Engine Using Different Alcohols as Additives in Gasoline Fuel", Journal of Farayandno – Vol. 18 – No. 84, pp.19-35, In Persian, (2024).

## تحلیل تراز انرژی موتور بنزینی با استفاده الکل های مختلف به عنوان افزودنی در سوخت بنزین

دنیا خشکنامه<sup>1</sup>، به داد شدیدی<sup>2\*</sup>، حسین حاجی آقا علیزاده<sup>3</sup>

<sup>1</sup> دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، همدان، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

<sup>2</sup> استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

<sup>3</sup> دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

دریافت: 1402/08/26 پذیرش: 1402/11/22

### چکیده

کمبود سوخت های فسیلی، افزایش بهای انرژی و ملاحظات زیست محیطی سبب شده تا بسیاری از کشورها به سوخت های زیستی و تجدیدپذیر روی بیاورند. در موتورهای احتراق داخلی استفاده از سوخت های فسیلی بسیار رایج است که مصرف بسیار زیادی نیز دارند. یکی از روش های کاهش مصرف سوخت های فسیلی استفاده از سوخت های زیستی نظیر الکل ها در موتورهای احتراق داخلی هست. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تراز انرژی یک موتور بنزینی چهار سیلندر آب خنک با استفاده از ترکیبات سوخت بنزین و الکل های اتانول، بوتانول، پروپانول و پنتانول در درصدهای حجمی مختلف در سه دور مختلف 1000، 1500 و 2000 rpm انجام شد. نتایج نشان داد توان ترمزی موتور آزمایشی ترکیبات سوخت در درصدهای حجمی مختلف رفتار متفاوتی از خود نشان می داد و با توجه به میزان پروپانول و بوتانول میزان توان ترمزی متفاوت است. بیشترین توان ترمزی مربوط به سوخت شماره 6 در سرعت 2000rpm به میزان 47/11kw و کمترین مقدار مربوط به سوخت شماره 1 به میزان 21/81 kw در سرعت 1000rpm بود. بیشترین مقدار تلفات حرارتی سیستم خنک کننده مربوط به سوخت شماره 6 به میزان 10/84kw در سرعت 1000rpm و کمترین مقدار مربوط سوخت شماره 1 به میزان 7/7 kw در سرعت 1000rpm بود. بیشترین تلفات حرارتی آگروز مربوط به سوخت شماره 6 به میزان 17/07 kw در سرعت 2000rpm و کمترین مقدار مربوط به سوخت شماره 2 به میزان 14/54 در سرعت 1000rpm بود. بیشترین تلفات حرارتی محاسبه نشده مربوط به سوخت شماره 2 به میزان 18/57kw در سرعت 2000rpm و کمترین مقدار مربوط به سوخت شماره 5 به میزان 11/47kw در سرعت 1000rpm بود.

**کلمات کلیدی:** انرژی تجدیدپذیر، الکل های زیستی، ارزیابی عملکرد، موتورهای احتراق داخلی.

\* b.shadidi@basu.ac.ir

## 1- مقدمه

با توجه به کاهش سریع سوخت‌های فسیلی، روند سریع آلودگی محیط‌زیست توسط موتورهای احتراق داخلی، همچنین تأثیر آن بر گرمایش جهانی و وجود قوانین سخت‌گیرانه بین‌المللی برای آلودگی‌های زیست‌محیطی و کمبود انرژی، سبب انگیزه برای کشف و ارزیابی سوخت‌های جایگزین شده است. از طرفی چون هزینه‌ی سوخت‌های فسیلی روزبه‌روز در حال افزایش هست علاقه به تولید سوخت‌های جایگزینی که به توان به‌راحتی از آن‌ها در موتورهای احتراقی استفاده کرد بالا رفته است [1] سوخت‌های الکلی در دماهای پایین‌تری نسبت به بنزین می‌سوزند و فراریت کمتری نسبت به بنزین دارند و باعث می‌شوند موتور در هوای سرد روشن شود. استفاده از این نوع سوخت‌ها در مقایسه با بنزین به دلیل عدد اکتان بالا و حرارت بالای تبخیر آن‌ها به‌عنوان سوخت در موتورهای جرقه‌ای می‌تواند بازده حرارتی و توان خروجی را افزایش دهد. با این حال، محتوای انرژی پایین آن و نسبت هوا به سوخت استوکیومتری به این معنی است که مصرف سوخت (بر اساس حجم یا جرم) بیشتر از سوخت‌های هیدروکربنی خواهد بود. در اثر احتراق بنزین با الکل‌ها در محفظه موتور مقداری آب و کربن دی‌اکسید و مقدار زیادی انرژی آزاد می‌شود که آب اضافی تولید شده با تشکیل محصولات اسیدی در حین احتراق، فرسودگی سوپاپ‌ها، صندلی سوپاپ‌ها و سیلندرهای ممکن است بیشتر از سوختن هیدروکربن باشد. برای خنثی کردن این اسیدها ممکن است مواد افزودنی خاصی به سوخت اضافه شود [2]. استفاده از سوخت‌های جایگزین مانند الکل‌ها، بیودیزل‌ها، هیدروژن و غیره در موتورهای خودرو در این زمینه مورد بحث است. یکی از این روش‌ها استفاده از سوخت‌های زیستی است که شامل مخلوط‌های سوخت اصلی با اتانول، متانول، پروپانول، پنتانول و بوتانول می‌باشد [3].

تعداد انرژی موتورهای احتراق داخلی توسط برخی از محققین با استفاده از برخی مدل‌های ترمودینامیکی انجام شده است. مدل‌های ترمودینامیکی بر اساس قانون اول ترمودینامیک هستند. این مدل‌ها برای آنالیز انتقال حرارت موتور بوده ابزارهای بسیار مؤثری برای سنجش عملکرد موتور و سایر پارامترهای عملکرد موتور هستند [4]. در مواقعی که سوخت‌های فسیلی مانند بنزین با سوخت‌های الکلی ترکیب می‌شود تلفات حرارتی و عملکرد موتور تا حد قابل توجهی متفاوت است. این تغییرات به دلایل زیر است: الکل‌ها دارای اثر خنک‌کنندگی هستند و در مقایسه با سوخت‌های فسیلی دارای درجه اکتان بالاتری هستند [5].

انرژی ورودی به‌طور کامل به کار مفید تبدیل نخواهد شد و به‌طور تقریبی فقط 30٪ انرژی ورودی به کار مفید تبدیل می‌شود<sup>1</sup> [6]. قانون اول (انرژی) ترمودینامیک ابزارهایی برای ارزیابی استفاده مؤثر و کارآمد از انرژی هستند. اساس این روش که طبق قانون اول ترمودینامیک می‌باشد بدین صورت است که با انتخاب حجم کنترلی بر روی موتور می‌توان میزان انرژی ورودی به موتور توسط احتراق سوخت را به دست آورد. همچنین می‌توان انرژی خروجی از موتور که بخشی از آن به‌صورت توان خالص خروجی می‌باشد و سایر آن به‌صورت انرژی خنک کاری موتور، انرژی دود خروجی و انرژی تلف‌شده توسط اصطکاک و انتقال حرارت تابشی و جابجایی از بدنه موتور می‌باشد را به دست آورد [7].

متغیرهای موتور و عوامل طراحی زیر بر تعادل انرژی موتورهای احتراق داخلی تأثیر می‌گذارند: سرعت موتور، بار، نسبت هم‌ارزی، نسبت تراکم (CR)، زمان‌بندی جرقه، محل شمع، قطر سوپاپ، بالابر سوپاپ، سرعت شعله، چرخش،

<sup>1</sup> Shadidi et al

کوبیدن، سیلندر مواد سر اثرات این متغیرها ممکن است از موتوری به موتور دیگر و سوختی به سوخت دیگر متفاوت باشد [8].

عبارات اصلی تعادل انرژی عبارت‌اند از توان ترمزی، تلفات سیستم خنک‌کننده، تلفات حرارتی اگزوز و تلفات حرارتی محاسبه نشده یا تلفات حرارتی متفرقه نامیده می‌شود [4]. اتلاف حرارت اگزوز را می‌توان با فرض گرمای ویژه هوا، در دمای متوسط خروجی، به‌عنوان میانگین گرمای ویژه گازها یا با استفاده از کالری سنج خروجی محاسبه کرد. بخش قابل توجهی از تلفات اگزوز (12%) به محیط اطراف تابش می‌شود و بقیه به محیط خنک‌کننده ختم می‌شود. مقدار قابل توجهی از قدرت اصطکاک (حدود 50%) بین رینگ پیستون و پیستون و دیواره سیلندر پخش می‌شود و به‌عنوان گرما در محیط خنک‌کننده از بین می‌رود [5].

در طی دهه‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی استفاده از الکل‌ها به‌عنوان افزودنی جهت بررسی پارامترهای عملکردی موتور توسط محققان زیادی در سرتاسر جهان انجام شده است. از مهم‌ترین سوخت‌های گیاهی شامل روغن‌های گیاهی، روغن‌های حیوانی، روغن‌های خوراکی بازیافت شده، بیواتانول و بیومتانول می‌باشد استفاده از متانول به‌عنوان سوخت موتور در دهه 1970 میلادی که به دهه بحران نفتی معروف است به سبب در دسترس بودن، هزینه‌های پایین تولید و مزیت‌های زیست‌محیطی مطرح بوده است. این سوخت هم از منابع فسیلی و هم منابع تجدیدپذیر به دست می‌آید. این منابع شامل زغال سنگ، گاز طبیعی، ضایعات صنایع غذایی و شهری، چوب و ضایعات محصولات کشاورزی می‌باشد [20]. والنر و همکاران مطالعه‌ای را برای ارزیابی استفاده از بوتانول به‌عنوان یک سوخت اکسیژن‌دار، به جای اتانول در موتور بنزینی انجام دادند. سوخت‌های آزمایش شده در این مطالعه، بنزین خالص به‌عنوان پایه و همچنین مخلوط‌هایی از 10 درصد حجمی اتانول در بنزین (E10) بودند. راندمان حرارتی ترمز بین سه سوخت بسیار مشابه بود. مصرف سوخت ویژه (BSFC) یک معیار نرمال شده برای مصرف سوخت موتور می‌باشد، افزایش تقریباً 3/4 درصدی برای BU10 و 4/2 درصدی برای E10 در مقایسه با بنزین را نشان داد [9].

در مطالعه‌ای اثرات سوخت‌های ترکیبات اتانول-متانول-بنزین بر عملکرد موتور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مخلوط متانول-بنزین بالاترین گشتاور ترمز موتور را ارائه می‌دهد. ترکیبات اتانول و بنزین بالاترین توان ترمزی را ارائه می‌دهند [10]. در مطالعه‌ای<sup>3</sup> انتشار آلاینده‌های یک موتور بنزینی با استفاده از ترکیبات سوخت بنزین و اتانول در درصدهای حجمی مختلف را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد با افزودن اتانول به بنزین انتشار آلاینده‌های HC و CO به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. همچنین اتانول به دلیل داشتن ارزش حرارتی پایین‌تر نسبت به بنزین موجب افزایش مصرف سوخت در موتورهای بنزینی می‌شود [11]. در پژوهشی یک موتور آزمایشی چهار سیلندر چهارزمانه با سوخت‌های اتانول و بنزین با نسبت‌های 0، 5، 10، 15 و 20 درصد مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش درصد اتانول در ترکیبات اتانول و بنزین، درصد کار مفید افزایش می‌یابد، در حالی که گرمای از دست‌رفته در آب خنک‌کننده و اگزوز در مقایسه با عملکرد سوخت پایه (بنزین خالص) کاهش می‌یابد [12].

استفاده‌ی مداوم از سوخت‌های فسیلی باعث کاهش منابع آن‌ها در سرتاسر دنیا شده و به همین خاطر پژوهشگران بسیاری در سرتاسر جهان به دنبال راه‌حلی برای کاهش استفاده از منابع سوخت‌های فسیلی هستند از طرفی بازدهی

<sup>2</sup> Wallner et al

<sup>3</sup> Sahin et al

کم سوخت‌های زیستی نسبت به سوخت‌های فسیلی سبب شده تا محققان زیادی تحقیقات گسترده‌ای در جهت رفع این نواقص و بهتر کردن شرایط استفاده از سوخت‌های زیستی با بازدهی بالا انجام دهند. لذا تاکنون تحقیقی بر روی تراز انرژی موتور با استفاده از ترکیبات اتانول، بوتانول، پروپانول و پنتانول در درصدهای حجمی مختلف صورت نگرفته است. این مطالعه تراز انرژی در یک موتور آب‌خنک چهار سیلندر بنزینی کوپله شده به دینامومتر با استفاده از ترکیبات سوخت بنزین خالص و اتانول - بوتانول - پروپانول و پنتانول در سرعت‌های 1000، 1500 و 2000 rpm مورد بررسی و در نهایت داده‌های مربوط به توان ترمزی، تلفات حرارتی اگزوز، تلفات سیستم خنک‌کننده و تلفات حرارتی اگزوز تجزیه و تحلیل گردید.

## 2- مواد و روش‌ها

در ادامه روش انجام پژوهش ارائه می‌شود.

### 2-1- تهیه سوخت‌های مورد آزمایش

سوخت بنزین مورد نیاز برای این آزمایش از جایگاه سوخت دانشگاه واقع در میدان پژوهش همدان تهیه گردید. اتانول، بوتانول، پروپانول و پنتانول مورد نیاز از برند مرک آلمان با درجه‌ی خلوص 99,6 درصد تهیه شد. پس از تهیه سوخت بنزین و الکل‌های اتانول، بوتانول، پروپانول و پنتانول ترکیبات سوخت طبق درصدهای حجمی مشخص شده ترکیب شدند. در جدول 1 نسبت ترکیبات سوخت‌های تهیه شده ارائه شده است. حرف E نشان دهنده‌ی اتانول، B مخفف بوتانول، Pr مخفف پروپانول، Pe مخفف پنتانول و G نماد بنزین است. عددهای زیرنویس نشان‌دهنده‌ی درصد حجمی هر سوخت است. به‌عنوان مثال مخلوط سوخت  $G_{60}Pe_{10}E_{10}Bu_{10}Pr_{10}$  یعنی 60 درصد حجمی سوخت را بنزین، 10 درصد حجمی را پنتانول، 10 درصد حجمی را اتانول، 10 درصد حجمی را بوتانول و همچنین 10 درصد حجمی را پروپانول تشکیل می‌دهد.

جدول 1- نسبت ترکیب‌های سوخت

بنزین خالص (%)	پروپانول (%)	بوتانول (%)	اتانول (%)	پنتانول (%)	نام سوخت	نوع سوخت
60	10	10	10	10	1	$G_{60}Pe_{10}E_{10}Bu_{10}Pr_{10}$
40	20	20	10	10	2	$G_{40}Pe_{10}E_{10}Bu_{20}Pr_{20}$
55	10	10	10	15	3	$G_{55}Pe_{15}E_{10}Bu_{10}Pr_{10}$
35	20	20	10	15	4	$G_{35}Pe_{15}E_{10}Bu_{20}Pr_{20}$
50	10	10	10	20	5	$G_{50}Pe_{20}E_{10}Bu_{10}Pr_{10}$
30	20	20	10	20	6	$G_{30}Pe_{20}E_{10}Bu_{20}Pr_{20}$
100	0	0	0	0	شاهد	G100

### 2-2- مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایش

در این تحقیق از موتور چهار سیلندر آب‌خنک کوپله شده به دینامومتر، موجود در دانشکده‌ی فنی مهندسی دانشگاه بوعلی سینا، جهت انجام آزمایش‌ها استفاده شد (شکل 1) این موتور مانند تمامی موتورهای احتراق داخلی موجود در کشور چهارسیلندر پاشش مستقیم می‌باشد.

## جدول 2- مشخصات موتور آزمایشی

FORD CVH414	نوع
4	تعداد سیلندر
65/5	توان
77/24	قطر پیستون
74/3	طول کورس پیستون
3000	سرعت (rpm)

جدول 3 قیمت هر لیتر (بر حسب تومان) از الکل‌های مورد استفاده در آزمایش که در سال 1400 در این مطالعه انجام گرفته است را به صورت میانگین نشان می‌دهد.

## جدول 3- میانگین قیمت الکل‌های مورد استفاده

الکل	قیمت (تومان)
اتانول	180000
بوتانول	240000
پروپانول	350000
پنتانول	700000

جدول 4 مشخصات بنزینی که در این مطالعه مورد استفاده گرفته را نشان می‌دهد.

## جدول 4- مشخصات بنزین [21]

C4-C12	فرمول شیمیایی
44	کمترین ارزش حرارتی $\text{MJ Kg}^{-1}$
14/8	استوکیومتری $\text{kg kg}^{-1}$ AFR
0/75-0/7	چگالی $\text{kg m}^{-3}$
215-25	نقطه جوش (درجه سانتی گراد)
400-300	دمای خود اشتعال (درجه سانتی گراد)
320-310	گرمای نهان تبخیر $\text{kJ kg}^{-1}$
90	عدد اکتان



شکل 1- موتور کوپله شده به دینانومتر

برای اندازه‌گیری گشتاور، دمای آب ورودی، دمای آب خروجی و دمای آگزوز از دینانومتر PLINT کوپله شده به موتور ساخت کارخانه‌ی فورد آلمان استفاده شد. داده‌های مربوط به گشتاور، دمای آب ورودی، دمای آب خروجی و دمای آگزوز موتور در استند دینانومتر نمایش داده می‌شد (شکل 2).



شکل 2- استند دینانومتر

جهت بررسی تراز انرژی موتور مورد آزمایش از ترکیب بنزین با الکل‌های اتانول، بوتانول، پروپانول و پنتانول با درصدهای حجمی مختلف در سرعت‌های مختلف موتور مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت.

### 3-2- محاسبات تراز انرژی

برای بررسی تعادل گرمایی موتور لازم است که توان ترمزی ( $P_b$ )، تلفات حرارتی آگزوز ( $Q_{exh}$ )، تلفات حرارتی سیستم خنک‌کننده ( $Q_w$ ) و تلفات محاسبه نشده ( $Q_{un}$ ) مورد ارزیابی قرار گیرند.



با در نظر گرفتن حجم کنترل اطراف موتور معادله پایستگی انرژی را برای پارامترهای بالا می‌توان نوشت:

$$Q_s = P_b + Q_w + Q_{exh} + Q_{un} \quad (1)$$

$Q_s = Q_{un}$  انرژی گرمایی کل یا همان انرژی شیمیایی سوخت است که طی فرایند احتراق به گرما تبدیل می‌شود

و از رابطه زیر محاسبه می‌شود: [6]

$$Q_s = \dot{m}_f * Q_{LHV} \quad (2)$$

$Q_s$  انرژی گرمایی کل بر حسب (kw)

$\dot{m}_f$  دبی جرمی سوخت بر حسب (kg/s)

$Q_{LHV}$  ارزش حرارتی پایینی سوخت بر حسب (kj/kg)

### 2-3-1- توان ترمزی موتور (Pb)

توان ترمزی در واقع توان روی چرخ لنگر است که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد [6]:

$$P_b = \frac{2 * \pi * N \left( \frac{\text{rev}}{s} \right) * T (N.m)}{10^3}$$

N سرعت،

T گشتاور

مقدار گشتاور و دور موتور را دینامومتر کوپله شده به موتور اندازه‌گیری می‌کند.

### 2-3-2- تلفات حرارتی سیستم خنک‌کننده (Qw)

تلفات حرارتی سیستم خنک‌کننده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد [12]:

$$Q_w = \dot{m}_w * c_w * (T_2 - T_1) \quad (4)$$

$\dot{m}_w$  دبی جرمی آب (kg/s)

$c_w$  گرمای ویژه آب (kJ/kg °C)

$T_1$  دمای آب ورودی (°C)

$T_2$  دمای آب خروجی (°C)

### 2-3-3- تلفات حرارتی اگزوز (Qexh)

تلفات حرارتی اگزوز از رابطه زیر محاسبه می‌شود [6]:

$$Q_{exh} = (\dot{m}_f + \dot{m}_w) * C_e * (T_g - T_a) \quad (5)$$

$T_g$  دمای گازهای خروجی از اگزوز بر حسب (°k)

$T_a$  دمای هوای محیط بر حسب (°k)

$C_e$  گرمای ویژه متوسط گازهای خروجی از اگزوز



### 2-3-4- تلفات محاسبه نشده (Q<sub>un</sub>)

تلفات حرارتی سیستم روغن کاری (شامل تلفات اصطکاکی میان میل‌لنگ و یاتاقان‌ها، رینگ‌ها، دیواره سیلندر و غیره)، به‌علاوه انتقال حرارت تشعشع و جابجایی از بدنه موتور تلفات محاسبه نشده می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود: [6]

$$Q_{un} = Q_s - (P_b + Q_w + Q_{exh}) \quad (6)$$

### 3- نتایج و بحث

#### 3-1- نتایج محاسبات تراز انرژی

محاسبات مربوط به تراز انرژی موتور بنزینی شامل تلفات محاسبه نشده، تلفات حرارتی اگزوز، توان ترمزی و تلفات سیستم خنک‌کننده در سه سرعت 1000، 1500 و 2000 دور بر دقیقه مورد بررسی قرار گرفت.

#### 3-1-1- محاسبه توان ترمزی

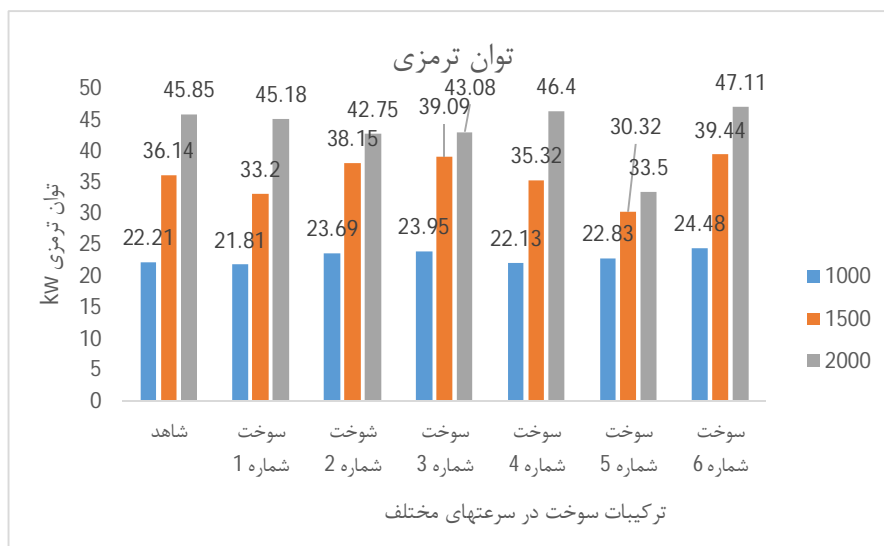
شکل 3 توان ترمزی موتور در سرعت‌های مختلف با استفاده از ترکیبات مورد آزمایش را نشان می‌دهد. توان ترمزی در هر ترکیب سوخت با افزایش سرعت از 1000 rpm تا 2000 rpm افزایش می‌یابد، سینگ و همکاران<sup>4</sup>، 2015. این افزایش را می‌توان به دلیل افزایش بار موتور و فشار سیلندر دانست. علت افزایش توان ترمزی و گشتاور در اثر افزودن الکل‌های اتانول، بوتانول، پروپانول و پنتانول به بنزین مربوط به گرمای نهان تبخیر بالاتر الکل‌ها است. به علت بالا بودن گرمای نهان تبخیر الکل‌ها، دمای هوای ورودی در منیفولد کاهش می‌یابد و باعث افزایش بازده حجمی و افزایش توان موتور می‌شود. به دلیل وجود اکسیژن اضافی که در ساختار الکل‌ها وجود دارد احتراق کامل صورت می‌گیرد و در نتیجه فشار داخل سیلندر افزایش می‌یابد که در نهایت موجب افزایش گشتاور و توان می‌شود. [13] در بنزین خالص میزان توان ترمزی در دور 2000 rpm به میزان 45/85 kw بود؛ اما در ترکیبات سوخت شماره 1، 3 و 5 با افزایش درصد پنتانول (از 10٪ تا 20٪) موجود در سوخت توان ترمزی کاهش یافت و سوخت شماره 5 نسبت به سایر سوخت‌ها دارای توان ترمزی کمتری بود. ورما و همکاران<sup>5</sup> در سال 2021 در طی آزمایشی مشابه دریافتند که با افزودن پنتانول بیشتر به بنزین سوپر توان ترمزی موتور کاهش یافت [14]. در ترکیبات سوخت شماره 2، 4، 6 که میزان پروپانول و بوتانول 20٪ بود سبب افزایش توان ترمزی شد. ابرار و همکاران<sup>6</sup> نیز در سال 2023 طی مطالعه‌ای دریافتند که افزایش درصد پروپانول و بوتانول به بنزین سبب افزایش میزان توان ترمزی می‌شود [15]. بالاترین توان ترمزی مربوط به ترکیب سوخت شماره 6 در سرعت 2000rpm به میزان 47/11 kw بود که مقدار آن نسبت به بنزین خالص در دور 2000 rpm برابر با 1/26 kw افزایش داشت و بعد از آن هم ترکیب سوخت شماره 4 در دور 2000rpm به میزان 0/55 kw افزایش داشت. کمترین میزان توان ترمزی مربوط به سوخت شماره 1 در دور 1000 rpm به میزان 21/81kw بود که نسبت به بنزین خالص 0/66 kw افزایش توان ترمزی مشاهده شد. کاهش

<sup>4</sup> Singh et al

<sup>6</sup> verma et al

<sup>7</sup> Abrar et al

توان و گشتاور در هنگام استفاده از مخلوط‌های سوخت ذکر شده این دلیل است که گرمای ویژه مخلوط افزایش می‌یابد و به دلیل جذب حرارت بیشتر موجب کاهش دمای احتراق و در نتیجه کاهش توان می‌شود [6].



شکل 3- توان ترمزی موتور

شکل 4 میانگین درصد تغییرات توان ترمزی در تمام سرعت‌ها نسبت به بنزین خالص را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده بالاترین درصد تغییرات میانگین توان ترمزی مربوط به ترکیب سوخت شماره 6 میزان 7/36 درصد بوده است و کمترین میانگین تغییرات توان مربوط به ترکیب سوخت شماره 5 به میزان 13/41- درصد بوده است.

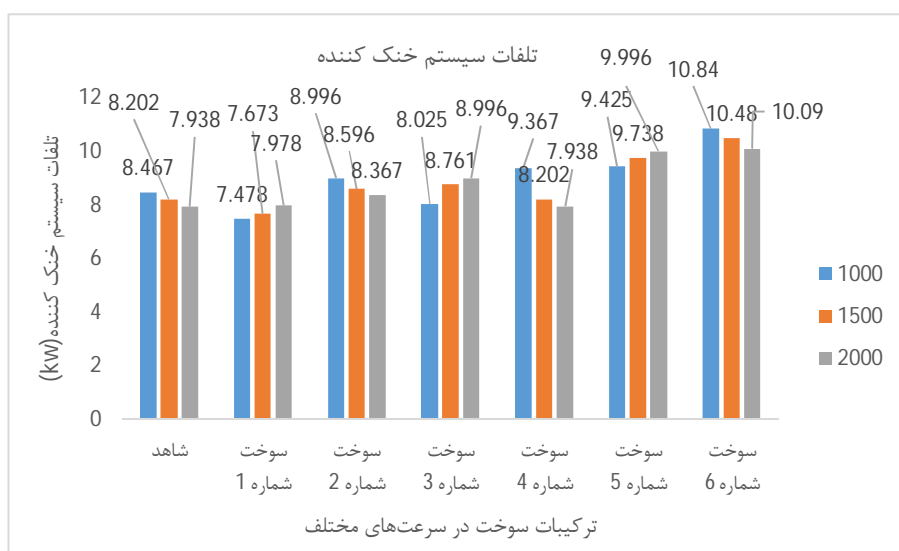


شکل 4- درصد تغییرات توان موتور با استفاده از مخلوط‌های سوخت نسبت به بنزین خالص

### 3-1-2- تلفات سیستم خنک‌کننده

با توجه به شکل 6 تلفات سیستم خنک‌کننده در سوخت بنزین خالص با افزایش سرعت موتور از 1000 تا 2000 rpm کاهش می‌یابد و در ترکیبات سوخت شماره 1، 3 و 5 روند مشابهی با بنزین مشاهده شد یعنی هرچه سرعت موتور

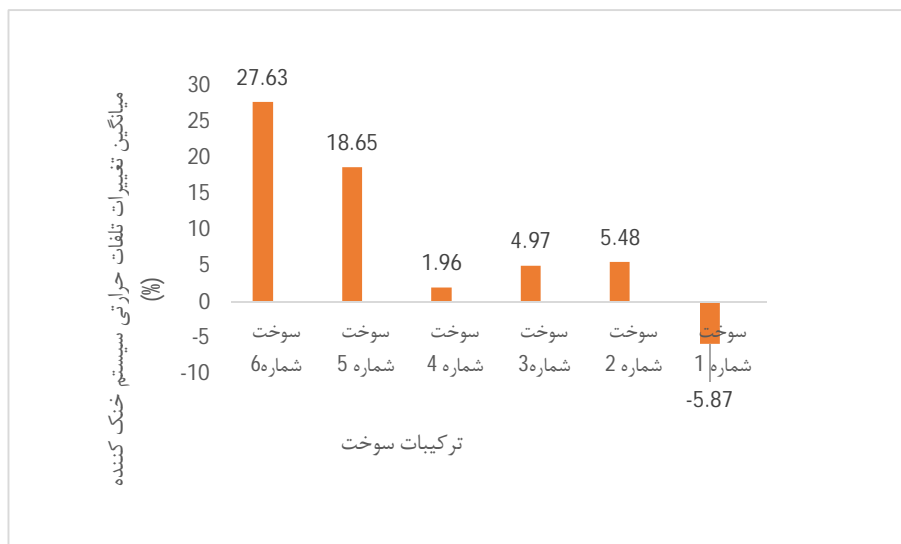
بالتر رود میزان تلفات سیستم خنک‌کننده کمتر شد. کیانی و همکاران در سال 2012 نیز در آزمایشی مشابه با افزایش سرعت موتور و افزایش میزان پنتانول تلفات سیستم خنک‌کننده کاهش یافت [12]. در ترکیبات سوخت شماره 2، 4 و 6 چون میزان بوتانول و پروپانول نسبت به سایر سوخت‌ها بیشتر است با افزایش دور موتور و افزایش میزان پنتانول در ترکیبات سوخت تلفات سیستم خنک‌کننده افزایش یافت. آبدین و همکاران<sup>7</sup> در سال 2013 دریافتند که با افزایش میزان بوتانول و پروپانول در سوخت تلفات سیستم خنک‌کننده افزایش یافت [16]. با توجه به شکل 5، بیشترین تلفات سیستم خنک‌کننده مربوط به ترکیب سوخت شماره 6 در دور 1000 rpm به میزان 10/84 kw که نسبت به بنزین خالص به میزان 2/38 kw افزایش داشت و کمترین میزان تلفات سیستم خنک‌کننده مربوط به ترکیب سوخت شماره 1 در دور 1000 rpm به میزان 7/40 kw بود که در مقایسه با سوخت بنزین خالص در این سرعت 1/1 kw کاهش داشت.



شکل 5- تلفات سیستم خنک‌کننده موتور در ترکیبات مختلف سوخت

همان‌طور که در شکل 6 مشاهده می‌شود، میزان تلفات سیستم خنک‌کننده در ترکیب سوخت شماره 6 دارای بیشترین میانگین نسبت به بنزین خالص و به میزان 27/63 درصد بود و ترکیب سوخت شماره 1 دارای کمترین درصد میانگین تغییرات نسبت به سوخت بنزین خالص به میزان 5/87- درصد بود.

<sup>7</sup> Abedin et al

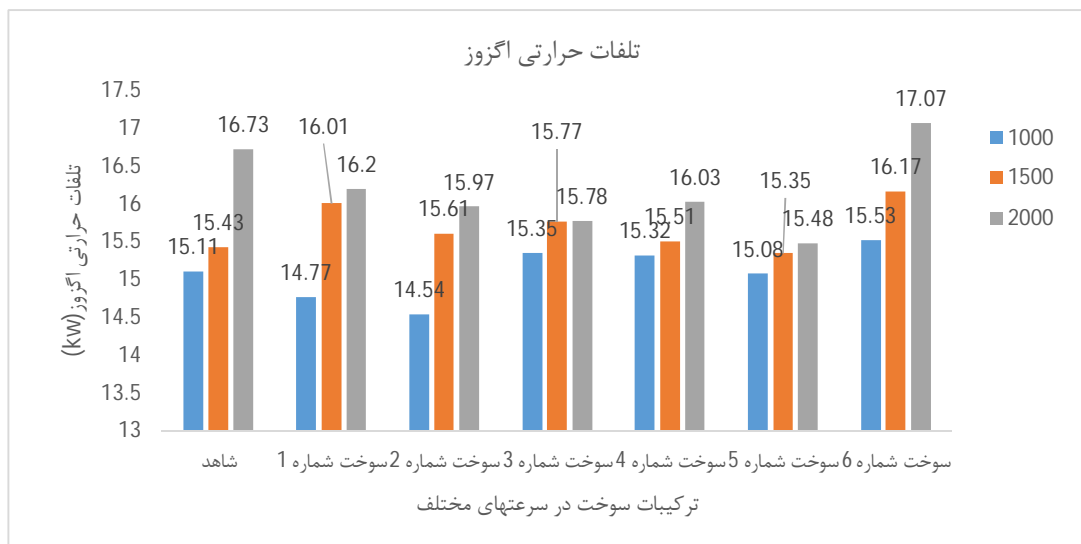


شکل 6- درصد تغییرات تلفات سیستم خنک‌کننده موتور با استفاده از مخلوط‌های سوخت نسبت به بنزین خالص.

### 3-1-3- تلفات حرارتی اگزوز

شکل 7 تلفات حرارتی اگزوز را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل 9 پیداست با افزایش سرعت موتور از 1000 rpm تا 2000 در ترکیبات سوخت میزان تلفات حرارتی اگزوز افزایش می‌یابد. از آنجا که ترکیبات سوخت دارای درصدهای متفاوتی از الکل‌ها هستند در ترکیبات سوخت شماره 1، 3 و 5 با افزایش میزان پنتانول در سوخت، تلفات حرارتی اگزوز در تمامی سرعت‌ها کاهش می‌یابد. کیانی و همکاران در سال 2012 نیز دریافتند که با افزایش درصد پنتانول در سوخت میزان تلفات حرارتی اگزوز در مقایسه با بنزین خالص کاهش می‌یابد [12]. در ترکیبات سوخت شماره 2، 4 و 6 با توجه به افزایش میزان بوتانول و پروپانول در سوخت‌ها تلفات حرارتی اگزوز در تمامی سرعت‌ها به ترتیب افزایش یافت. در مطالعه مشابهی که توسط یوسری و همکاران<sup>8</sup> 2016 انجام شد نشان داد که افزایش بوتانول و پروپانول تا 20 درصد حجمی سبب افزایش تلفات حرارتی اگزوز می‌شود [17]. بیشترین تلفات حرارتی اگزوز مربوط به ترکیب سوخت 6 در سرعت 2000rpm به میزان 17/07kw بود که نسبت به بنزین خالص به میزان 0/34 kw افزایش داشت. کمترین میزان تلفات حرارتی اگزوز مربوط به ترکیب سوخت شماره 2 به میزان 14/54kw در سرعت 1000 rpm بود که در مقایسه با بنزین خالص در سرعت به میزان 1/66 kw کاهش داشت.

<sup>8</sup> Yusri et al



شکل 7- تلفات حرارتی اگزوز موتور در ترکیبات مختلف سوخت

میزان میانگین تغییرات تلفات حرارتی اگزوز در ترکیبات سوخت با توجه سرعت موتور در شکل 10 نشان داده شده است. روند افزایشی ترکیبات سوخت شماره 6، شاهد، 1، 5، 2، 3 و 4 به صورت به میزان 15/66، 15/75، 16/25، 15/63، 15/62 و 15/37 کیلووات می‌باشد.

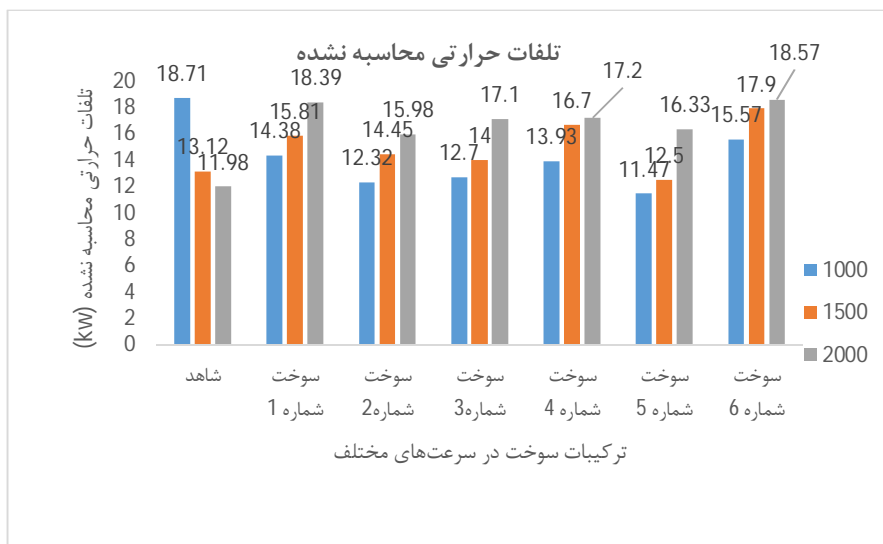
همان‌طور که در شکل 8 مشاهده می‌شود، میزان تلفات حرارتی اگزوز در ترکیب سوخت شماره 6 دارای بیشترین میانگین نسبت به بنزین خالص به میزان 3/2 کیلووات می‌باشد و ترکیب سوخت شماره 5 دارای کمترین درصد میانگین تغییرات تلفات حرارتی اگزوز به میزان 2/72- کیلووات می‌باشد.



شکل 8- درصد تغییرات تلفات حرارتی اگزوز موتور با استفاده از مخلوط‌های سوخت نسبت به بنزین خالص.

### 3-4- تلفات حرارتی محاسبه نشده

شکل 9 میزان تلفات حرارتی محاسبه نشده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، سوخت بنزین خالص در دور 1000 rpm دارای بالاترین تلفات حرارتی محاسبه نشده به میزان 18/71 kw می‌باشد. همچنین می‌توان با توجه به شکل دریافت که در تمامی سوخت‌ها با افزایش سرعت موتور تلفات حرارتی محاسبه نشده افزایش می‌یابد. با افزایش میزان پنتانول و افزایش سرعت موتور در ترکیبات سوخت شماره 1، 3 و 5 میزان تلفات حرارتی محاسبه نشده کاهش می‌یابد، ویای و همکاران<sup>9</sup> 2014 دریافتند با افزایش میزان پنتانول به دیزل تلفات حرارتی محاسبه نشده به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد [18]. میزان تلفات حرارتی محاسبه نشده در ترکیبات سوخت شماره 2، 4 و 6 در تمامی سرعت‌ها با افزایش میزان بوتانول و پروپانول افزایش می‌یابد. پالانی و همکاران<sup>10</sup> در سال 2023 نشان دادند دلیل افزایش تلفات حرارتی محاسبه نشده را وجود درصد بالای ترکیب بوتانول و سایر الکل‌ها است [19]. بیشترین تلفات حرارتی محاسبه نشده مربوط به ترکیب سوخت شماره 6 در دور 2000 rpm به میزان 18/57 kw بود که نسبت به بنزین خالص به میزان 0/14 کاهش داشت کمترین تلفات حرارتی محاسبه نشده مربوط به ترکیب سوخت شماره 5 به میزان 11/47 kw در دور 1000 rpm می‌باشد که نسبت به بنزین خالص در این دور 0/51 کاهش داشته است.

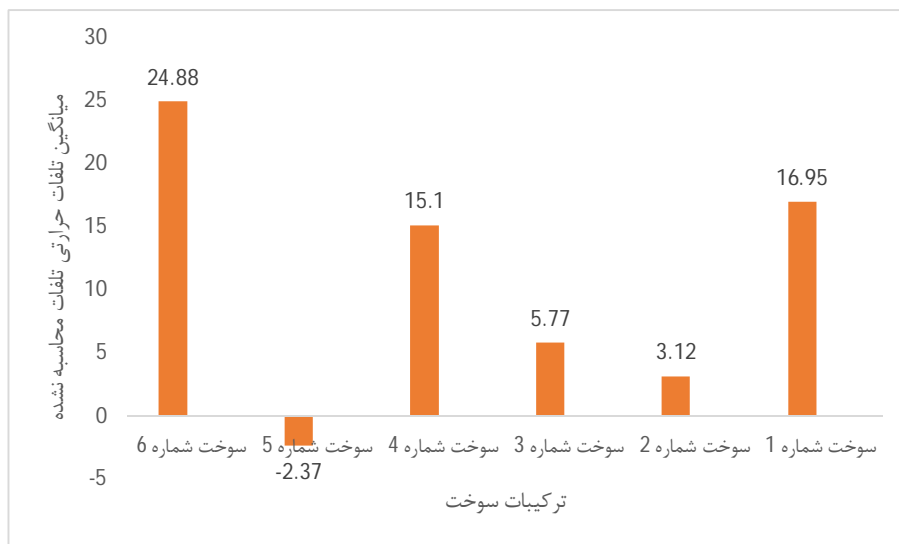


شکل 9- تلفات حرارتی محاسبه نشده موتور در ترکیبات مختلف سوخت

با توجه به شکل 10، کمترین تلفات محاسبه نشده مربوط به ترکیب سوخت 5 و بالاترین تلفات محاسبه نشده مربوط به ترکیب سوخت شماره 6 است؛ یعنی میانگین تلفات محاسبه ترکیب سوخت شماره 5 به میزان 2/37- درصد نسبت به بنزین خالص کاهش داشته است. در ترکیب سوخت شماره 6 نسبت به بنزین خالص به میزان 24/88 درصد افزایش داشته است.

<sup>9</sup> wie et al

<sup>10</sup> Palani et al



شکل 10- درصد تغییرات تلفات حرارتی محاسبه نشده موتور با استفاده از مخلوط‌های سوخت نسبت به بنزین خالص

#### 4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه تراز انرژی یک موتور بنزینی چهار سیلندر آب‌خنک را با استفاده از ترکیب سوخت بنزین، اتانول، بوتانول، پنتانول و پروپانول و در دورهای مختلف موتور (1000، 1500 و 2000 rpm) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:

- 1- توان ترمزی با افزایش سرعت موتور افزایش یافت. در ترکیبات سوخت شماره 1، 3 و 5 با افزایش درصد پنتانول موجود در سوخت توان ترمزی به ترتیب کاهش یافت و ترکیب سوخت شماره 5 نسبت به سایر سوخت‌ها دارای توان ترمزی کمتری بود. در ترکیبات سوخت شماره 2، 4 و 6 که میزان پروپانول و بوتانول 20% بود افزایش توان ترمزی گزارش گردید.
- 2- تلفات سیستم خنک‌کننده در ترکیبات سوخت شاهد، 1، 3 و 5 با افزایش سرعت موتور از 1000 rpm تا 2000 کاهش یافت. در ترکیبات سوخت 2، 4 و 6 چون میزان بوتانول و پروپانول نسبت به سایر سوخت‌ها بیشتر بود با افزایش دور موتور و افزایش میزان پنتانول در ترکیبات سوخت تلفات سیستم خنک‌کننده افزایش یافت.
- 3- در ترکیبات سوخت 1، 3 و 5 با افزایش میزان پنتانول در سوخت تلفات حرارتی اگزوز در تمامی سرعت‌ها کاهش یافت. در ترکیبات سوخت 2، 4 و 6 با توجه به افزایش میزان بوتانول و پروپانول در سوخت‌ها تلفات حرارتی اگزوز در تمامی سرعت‌ها افزایش یافت.
- 4- در تمامی سوخت‌ها با افزایش سرعت موتور تلفات حرارتی محاسبه نشده افزایش یافت. با افزایش میزان پنتانول و افزایش سرعت موتور در ترکیبات سوخت 1، 3 و 5 میزان تلفات حرارتی محاسبه نشده کاهش یافت. میزان تلفات حرارتی محاسبه نشده در ترکیبات سوخت 2، 4 و 6 در تمامی سرعت‌ها با افزایش میزان بوتانول و پروپانول افزایش یافت.



## 5- فهرست علائم

## علائم انگلیسی

انرژی گرمایی کل بر حسب (kw)	Qs
دبی جرمی سوخت بر حسب (kg/s)	m <sub>f</sub>
ارزش حرارتی پایینی سوخت بر حسب (kj/kg)	Q <sub>LHV</sub>
دمای گازهای خروجی از اگزوز بر حسب (°k)	T <sub>g</sub>
دمای هوای محیط بر حسب (°k)	T <sub>a</sub>
گرمای ویژه متوسط گازهای خروجی از اگزوز	C <sub>e</sub>
دبی جرمی آب (kg/s)	W
گرمای ویژه آب (kJ/kg °C)	C <sub>w</sub>
دمای آب ورودی (°C)	T <sub>1</sub>
دمای آب خروجی (°C)	T <sub>2</sub>
گشتاور	T
سرعت	N

## 6- منابع

- [1] Ong, H. C. Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., "A review on energy pattern and policy for transportation sector in Malaysia", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.16, no.1, pp. 532-542, 2012.
- [2] Arbab, M. I., Masjuki, H. H., Varman, M., Kalam, M. A., Imtenan, S., Sajjad, H., "Fuel properties, engine performance and emission characteristic of common biodiesels as a renewable and sustainable source of fuel", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp.133-147, 2013.
- [3] Motamedi, H., Hedayatkah, A., Amopour Bahnamiry, M., "A review of Bioethanol production through biomass bioprocessing", *Human & Environment*, vol. 17, no. 2, pp. 43-63, 2019.
- [4] Durgun, O. R. H. A. N., Şahin, Z. E. H. R. A., "Theoretical investigation of heat balance in direct injection (DI) diesel engines for neat diesel fuel and gasoline fumigation", *Energy Conversion and Management*, vol. 50, no. 1, pp. 43-5, 2009.
- [5] Özcan, H., & Söylemez, M. S., "Thermal balance of a LPG fuelled, four stroke SI engine with water addition", *Energy conversion and management*, vol. 47, no. 5, pp. 570-581, 2006.
- [6] Shadidi, B., Haji Agha Alizade, H., Ghobadian, B., "The effect of a novel hybrid nano-catalyst in diesel-biodiesel fuel blends on the energy balance of a diesel engine", *Energy Equipment and Systems*, vol. 5, no. 1, pp. 59-69, 2017.
- [7] Dincer, I., "The role of exergy in energy policy making", *Energy policy*, vol. 30, no. 2, pp. 137-149, 2002.
- [8] Kaisan, M. U., Yusuf, L. O., Ibrahim, I. U., Abubakar, S., Narayan, S., "Effects of propanol and camphor blended with gasoline fuel on the performance and emissions of a spark ignition engine", *ACS omega*, vol. 5, no. 41, pp. 26454-26462, 2020.
- [9] Wallner, T., Miers, S. A., McConnell, S., "A comparison of ethanol and butanol as oxygenates using a direct-injection, spark-ignition engine", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol.131, no. 3, 2009.

- [10] Elfasakhany A, "Experimental study on emissions and performance of an internal combustion engine fueled with gasoline and gasoline/n-butanol blends", *Energy Convers Manage*, vol. 88, pp. 277-283, 2014.
- [11] Shahinsha, N. M., John, J. A., Singh, K., Kumar, N., "Reduction in automotive emissions by ethanol blending", *SI engine: A review. Materials Today: Proceedings*, 2023.
- [12] Kiani Deh Kiani, M., Ghobadian, B., Ommi, F., Najafi, G., Yusaf, T., "Artificial neural networks approach for the prediction of thermal balance of SI engine using ethanol-gasoline blends", *International Conference on Availability, Reliability, and Security*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 31-43, August 2012.
- [13] Singh SB, Dhar A, Agarwal AK, "Technical feasibility study of butanol-gasoline blends for powering medium-duty transportation spark ignition engine", *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 706-716, 2015.
- [14] Verma, A., Dugala, N. S., Singh, S., "Experimental investigations on the performance of SI engine with Ethanol-Premium gasoline blends", *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [15] Abrar, I., Arora, T., Khandelwal, R. "Bioalcohols as an alternative fuel for transportation: Cradle to grave analysis", *Fuel Processing Technology*, vol. 242, 107646.
- [16] Abedin, M.J., et al., "Energy balance of internal combustion engines using alternative fuels", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, pp. 20-33, 2013.
- [17] Yusri, I. M., Mamat, R., Azmi, W. H., Najafi, G., Sidik, N. A. C., Awad, O. I., "Experimental investigation of combustion, emissions and thermal balance of secondary butyl alcohol-gasoline blends in a spark ignition engine", *Energy Conversion and Management*, vol. 123, pp. 1-14, 2016.
- [18] Wei, L., Cheung, C. S., Huang, Z., "Effect of n-pentanol addition on the combustion, performance and emission characteristics of a direct-injection diesel engine", *Energy*, vol. 70, pp. 172-180.
- [19] Palani, T., Esakkimuthu, G. S., Dhamodaran, G., Seetharaman, S., "Experimental study on dual oxygenates (ethanol, n-butanol) with gasoline on MPFI engine performance and emission characteristics", *International Journal of Environmental Science and Technology*, pp. 1-10, 2023.
- [20] Nazzal, I. T., "Experimental study of gasoline-alcohol blends on performance of internal combustion engine", *European journal of scientific research*, vol. 52, no.1, pp. 16-22.
- [21] Qi, D. H., Liu, S. Q., Zhang, C. H., Bian, Y. Z., "Properties, performance, and emissions of methanol-gasoline blends in a spark ignition engine", *Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part D: journal of automobile engineering*, vol. 219, no.3, pp. 405-412, 2005.