

تاثیر بازگردانی گازهای خروجی و نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) بر روی عملکرد و آلاینده‌گی مخلوط‌های اتانول / بیودیزل / دیزل در یک موتور اشتعال تراکمی

عباس زارع نژاد اشکذری^{1*} و صادق پور تقی یوسفده²

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر، a.zare@pgs.usb.ac.ir

2- کارشناسی ارشد، مهندسی معماری کشتی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر، sadegh71151@gmail.com

* نویسنده مخاطب

(تاریخ دریافت: 1400/05/26، دریافت آخرین اصلاحات: 1400/07/10، پذیرش: 1400/10/25)

چکیده: در مطالعه حاضر به بررسی آزمایشگاهی تاثیر همزمان امولسیون حاصل از اتانول-بیودیزل-دیزل به همراه نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) بر روی مشخصه‌های آلاینده‌گی و عملکرد یک موتور دیزلی پاشش مستقیم در EGRهای مختلف پرداخته شده است. نانوذرات TiO_2 در سه سطح 0، 40 و 60 ppm به بیودیزل روغن پسماند آشپزخانه در سطح‌های 0، 10 و 20 درصد حجمی و اتانول در سطح‌های 0، 4 و 6 درصد حجمی اضافه شد و از سیستم EGR در نرخ‌های 0، 20 و 30 درصد استفاده شد. در مجموع 31 ترکیب بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و اتانول-بیودیزل-دیزل به همراه نانوذرات TiO_2 و درصدهای مختلف EGR، در بار کامل و در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm مورد بررسی قرار گرفتند که به صورت اختصاری با $\text{TiO}_2\text{z} + \text{EGRw} + \text{BxEy}$ نامگذاری شدند. x، y، w و z به ترتیب نشان‌دهنده درصدحجمی بیودیزل، اتانول، EGR و TiO_2 استفاده شده در ترکیب‌اند. نتایج نشان دادند که استفاده از ترکیب $\text{B10E4} + \text{EGR20} + \text{TiO}_2\text{60}$ انتشار اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، کربن مونوکسید (CO) و هیدروکربن‌های نسوخته (HC) را نسبت به دیزل خالص به ترتیب 5/8، 20/3 و 40 درصد کاهش داد. همچنین توان خروجی در $\text{B10E0} + \text{TiO}_2\text{60}$ ، 11/2 درصد نسبت به دیزل خالص، بهبود یافت، در صورتی که با استفاده از ترکیب امولسیونی $\text{B10E4} + \text{EGR30}$ ، مصرف سوخت موتور 26/7 درصد نسبت به دیزل خالص، افزایش یافت.

کلیدواژگان: نانوذرات، بازگردانی گازهای خروجی، سوخت زیستی، مطالعه تجربی

مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش بهای نفت، اعمال استانداردهای سخت‌گیرانه بر میزان انتشار آلاینده‌ها و کاهش منابع تجدیدناپذیر سوخت‌های فسیلی، توجه بسیاری از محققان را به بهره‌گیری از سوخت‌های اکسیژن‌دار نظیر بیودیزل¹ و اتانول برای استفاده در موتورهای دیزلی معطوف کرده است [1-3]. بیودیزل که استرهای منوالکیل اسیدچرب با زنجیره بلند است، از منابع تجدیدپذیر مانند روغن‌های گیاهی، پسماند و چربی‌های حیوانی به دست می‌آید [4]. برخلاف سوخت دیزل که فاقد اکسیژن است، بیودیزل متناسب با نوع روغنی که در تولید آن استفاده می‌شود، تقریباً حاوی 10 تا 12 درصد اکسیژن است [5، 6]. اتانول را به عنوان یک سوخت تجدیدپذیر می‌توان توسط فرایند تخمیر از محصولات گیاهی که حاوی مقدار زیادی شکر اند، تولید کرد. همچنین هر ترکیبی که بتوان آن را به شکر تبدیل کرد، مانند نشاسته و سلولز، در تولید اتانول استفاده می‌شود [7]. اتانول تقریباً حاوی 35 درصد اکسیژن است که به کاهش دوده و ذرات معلق کمک می‌کند [8، 9]. براساس مطالعات انجام‌شده، مخلوط‌های بیودیزل و اتانول تا 20 درصد حجمی، می‌توانند بدون ایجاد هیچ‌گونه تغییری در موتورهای دیزل استاندارد با دیزل خالص ترکیب شوند

1. Biodiesel

[10-12]. از معایب استفاده از سوخت‌های اکسیژن دار می‌توان به کاهش میزان توان و گشتاور خروجی و افزایش میزان مصرف سوخت اشاره کرد که در اکثر مطالعات انجام گرفته توسط محققان گزارش شده است [13، 14]. مطالعات گذشته نشان می‌دهد که استفاده از نانوذرات می‌تواند باعث بهبود توان و گشتاور خروجی و همچنین کاهش مصرف سوخت شود [15، 16]. در بسیاری از تحقیقات انجام گرفته، از جمله معایب گزارش شده در استفاده از نانوذرات و همچنین بیودیزل، می‌توان به افزایش انتشار آلاینده NO_x اشاره کرد [17، 18]. از طرفی، سیستم EGR¹، از جمله روش‌هایی است که می‌توان با استفاده از آن میزان انتشار NO_x را کاهش داد [19، 20]. کارتیکیان و همکارانش (2014) ویژگی‌های عملکرد، احتراق و آلاینده‌های یک موتور تک‌سیلندر را برای مخلوط‌های مختلف (80٪ گازوییل + 20٪ متیل استر روغن کانولا²، 80٪ گازوییل + 20٪ متیل استر روغن کانولا + 50 ppm از نانوکاتالیست اکسید روی و 80٪ گازوییل + 20٪ متیل استر روغن کانولا + 100 ppm نانوکاتالیست اکسید روی (ZnO) مورد بررسی قرار دادند. همچنین خواص مشخصه سوخت مانند نقطه ابری شدن، نقطه اشتعال، گرانی، عدد ستان³ و ارزش حرارتی سوخت‌های حاوی نانوکاتالیست را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نشان دادند که افزودن نانوکاتالیست اکسید روی باعث تسریع در نرخ واکنش و افزایش NO_x شده است. همچنین گزارش کردند که چگالی مخلوط‌های سوختی در اثر استفاده از نانوکاتالیست، بدون تغییر، گرانی افزایش، نقطه اشتعال به مقدار جزئی افزایش، عدد ستان به مقدار بسیار کمی افزایش و ارزش حرارتی نیز بدون تغییر بوده است [21].

راجیش کومار و همکاران (2015) به بررسی استفاده از سوخت‌های پنتانول و دیزل بر روی عملکرد و آلاینده‌گی یک موتور دیزل تک‌سیلندر و پاشش مستقیم با استفاده از سیستم EGR پرداختند. پنتانول را در چهار سطح حجمی 10، 20، 30 و 45 درصد با دیزل خالص مخلوط کردند و آزمایش‌ها را در چهار بار مختلف موتور انجام دادند و از سیستم EGR در سه نرخ 10، 20 و 30 درصد با هدف کاهش نیتروژن اکسید استفاده کردند. نتایج آنها نشان دادند که تمامی ترکیب‌های تهیه شده از پنتانول دارای میزان انتشار هیدروکربن و کربن مونوکسید بیشتری نسبت به سوخت دیزل خالص اند [22].

ایلماز و همکاران (2017) به ارزیابی تجربی استفاده از سوخت‌های دیزل، بیودیزل و پنتانول در یک موتور دیزل تک‌سیلندر چهارزمانه، تحت بارهای مختلف موتور پرداختند. نتایج آنها نشان دادند که استفاده از بیودیزل و پنتانول، انتشار NO_x را نسبت به دیزل خالص افزایش می‌دهند. همچنین در ترکیب‌هایی که از هر سه سوخت استفاده شده بود، مصرف سوخت ویژه ترمزی⁴ افزایش یافت. افزودن پنتانول به ترکیب، باعث افزایش انتشار آلاینده‌های HC و CO شد [23].

یوواراجان و همکاران (2019) با اضافه نمودن نانواکسید نقره در درصدهای جرمی و اندازه ذرات مختلف به بیودیزل، ویژگی‌های احتراق و آلاینده‌گی یک موتور دیزل تک‌سیلندر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که استفاده از بیودیزل، میزان انتشار NO_x را افزایش و افزودن نانوذرات، انتشار این آلاینده را کاهش می‌دهد. همچنین مقادیر آلاینده‌های HC و CO با استفاده از بیودیزل کاهش یافت و با افزودن نانوذرات، کاهش بیشتری در مقادیر این آلاینده‌ها مشاهده شد [24].

الداوودی و همکاران (2019)، با استفاده از روش‌های عددی و آزمایشگاهی، تاثیر درصدهای حجمی مختلف مخلوط متیل استر پسماند آشپزخانه با سوخت دیزل خالص را بر روی عملکرد و آلاینده‌گی یک موتور دیزل تک سیلندر در سرعت ثابت و تحت بارهای مختلف بررسی کردند. نتایج نشان دادند که با افزایش سوخت بیودیزل، مقادیر فشار بیشینه و نیز آلاینده NO_x کاهش می‌یابند. همچنین مخلوط 20 درصد متیل استر روغن پسماند آشپزخانه، بهینه‌ترین حالت از نظر بهبود پارامترهای عملکردی و آلاینده‌گی بود [25].

1. Exhaust Gas Recirculation
2. Canola Oil Methyl Ester
3. Cetane Number
4. Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

احمت (2020)، ویژگی های احتراق، عملکرد و آلاینده‌گی یک موتور دیزل را با استفاده از روغن بیودیزل کتان بررسی کرد و نتایج حاصل از آزمایش نشان دادند که با افزایش درصد بیودیزل، مقادیر اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، دی اکسید کربن (CO_2) و همچنین بازده حرارتی در مقایسه با دیزل خالص کاهش می‌یابند [26].

مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که در تحقیقات صورت گرفته با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی یا عددی، تاثیر افزودن بیودیزل، اتانول یا نانوذرات، به صورت مجزا به سوخت دیزل خالص بر روی عملکرد و آلاینده‌گی موتورهای دیزلی بررسی شده است، ولی در مورد تاثیر همزمان ترکیب‌های حاصل از امولسیون‌های بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و اتانول-بیودیزل-دیزل، به همراه درصد‌های مختلف استفاده از افزودنی نانوذرات، در نرخ های EGR متفاوت، بر روی عملکرد و آلاینده‌گی موتورهای دیزلی، مطالعه‌ای انجام نگرفته است. بنابراین در کار حاضر به بررسی آزمایشگاهی تاثیر استفاده از درصد‌های مختلف افزودنی‌های نانوذرات TiO_2 ، اتانول و بیودیزل، به همراه EGR، بر روی مشخصه‌های آلاینده‌گی و عملکرد یک موتور دیزلی پاشش مستقیم، تحت شرایط کارکردی مختلف، پرداخته شده است تا ضمن بررسی پارامترهای توان، گشتاور، مصرف سوخت، دمای گازهای خروجی و همچنین مقادیر آلاینده‌های CO ، NO_x و CO_2 و HC برای هر یک از ترکیب‌های تهیه شده، ترکیب بهینه از لحاظ عملکرد و آلاینده‌گی حاصل شود.

مواد و روش‌ها

سوخت‌های مورد آزمایش

بیودیزل تولید شده از روغن پسماند آشپزخانه به روش ترانس استریفیکاسیون¹، اتانول با خلوص بالا (99/9 درصد) و دیزل خالص، سوخت‌های مورد استفاده در این مطالعه‌اند. در جدول 1 مشخصات سوخت‌های مورد استفاده، آورده شده است. دیزل خالص با علامت D100 نمایش داده شده است. بیودیزل در دو سطح 10 و 20 درصد حجمی، با دیزل خالص ترکیب شد و با علامت‌های B10E0 و B20E0 نامگذاری شدند. اتانول نیز در دو سطح 4 و 6 درصد حجمی، با دیزل خالص ترکیب شد و با علامت‌های B0E4 و B0E6 نشان داده شدند. جلوگیری از جدایش فاز در ترکیب اتانول و دیزل دارای اهمیت زیادی است. تحقیقاتی که در رابطه با اختلاط اتانول و دیزل انجام گرفته است [14، 27، 28]، نشان دادند که جدایش فاز در مخلوط اتانول-دیزل در دمای بالاتر از 10 درجه سانتیگراد اتفاق نمی‌افتد. ذکر این نکته لازم است که در تحقیق حاضر، تمامی شرایط کاری در دمای بالای 20 درجه سانتیگراد است. همچنین یک ترکیب نیز با اضافه کردن همزمان بیودیزل و اتانول به دیزل تهیه و با علامت B10E4 نامگذاری شد.

جدول 1- مشخصات سوخت‌های دیزل، بیودیزل و اتانول

Table 1- Properties of diesel, biodiesel and ethanol fuels

Fuel property	Units	Diesel	Biodiesel	Ethanol	Method
Oxygen content	wt. %	0	11	35	D5293
Carbon content	wt. %	87	78	51	D5291
Hydrogen content	wt. %	13	11	14	D5292
Cetane number	-	55	62	7	D6890
Calorific value	MJkg ⁻¹	43.37	34.35	27.52	D240
Flash point	°C	69.8	110.15	13	D93
Kinematic viscosity @ 40 °C	mm ² s ⁻¹	3.42	4.19	1.13	D445
Density @ 15 °C	kgm ⁻³	847.7	887.3	794.9	D127

1. Transesterification

آماده‌سازی مخلوط‌های سوخت با افزودنی TiO_2

به‌منظور افزودن نانوذرات TiO_2 و تهیه مخلوطی پایدار، از دستگاه Bandalin Sonopuls HD 3400 ultrasonic homogenizer استفاده شده است. برای حصول اطمینان از توزیع یکنواخت نانوذرات و پایداری ترکیبات آماده شده، این فرایند به مدت 30 دقیقه انجام شد. میانگین اندازه نانوذرات استفاده شده از قطر نازل انژکتور کوچکتر بوده و بنابراین هیچ‌گونه خللی در مسیر جریان سوخت ایجاد نمی‌شود. تمامی نمونه سوخت‌های آماده شده، برای بررسی پایداریشان به مدت 96 ساعت در ظروف دربسته نگهداری شدند که هیچ‌گونه تغییر فازی در آنها مشاهده نشد. نانوذرات TiO_2 در دو سطح 40 و 60 ppm به ترکیب‌های تهیه شده از دیزل/اتانول/بیودیزل اضافه شد. مشخصات اصلی TiO_2 در جدول 2 آورده شده است.

سیستم بازگردانی گازهای خروجی

بازگردانی بخشی از گازهای خروجی به منیفولد¹ ورودی و ترکیب آن با هوای تازه از روش‌های موثر در کاهش انتشار آلاینده اکسیدهای نیتروژن (NO_x) است. در تحقیقات متعددی که در رابطه با کاربرد سامانه EGR برای کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن (NO_x) انجام شده، این نتیجه به‌دست آمده است که بدون خنک کردن گازهای خروجی برگشتی، نمی‌توان به حداکثر میزان کاهش انتشار NO_x دست یافت، زیرا دمای بالای گازهای خروجی می‌تواند سبب افزایش تولید اکسیدهای نیتروژن (NO_x) شود [29]. در مطالعه حاضر از سیستم سرد بازگردانی گازهای خروجی در دو نرخ 20 و 30 درصد استفاده شده است. استفاده از این سیستم، دمای بیشینه و غلظت اکسیژن را کاهش می‌دهد و باعث افزایش گرمای ویژه مخلوط در داخل محفظه احتراق می‌شود. به‌وسیله شیر یک‌طرفه²، نرخ EGR کنترل می‌شود و برای اندازه‌گیری میزان جریان گازهای خروجی از یک اوریفیس‌متر³ استفاده شده است. با استفاده از رابطه (1) نرخ EGR به‌صورت درصد بیان می‌شود [30]:

$$\%EGR = \left(\frac{CO_2 \text{ intake}}{CO_2 \text{ exhaust}} \right) \times 100 \quad (1)$$

جدول 2- خصوصیات تیتانیوم دی‌اکسید

Table 2- Properties of TiO_2

Chemical name	Titanium dioxide
Purity	>99%
Form	Powder
Colour	White
Average particle size	20 nm
Molecular weight	82.3 g/mol
Chemical abstract service (CAS) number	12188-41-9

آزمون موتور

موتور استفاده شده در این تحقیق، موتور دیزلی پاشش مستقیم چهارزمانه شش‌سیلندر با قدرت 62 کیلو وات با سرعت 2000 دور در دقیقه و با حجم جابجایی 5/99 لیتر است. مشخصات فنی موتور در جدول 3 و همچنین شماتیک بستر آزمون در شکل 1، آورده شده است. به‌منظور اندازه‌گیری گشتاور و توان، از یک دینامومتر هیدرولیکی⁴ 400 کیلو وات، با دقت اندازه‌گیری ± 2

1. Manifold
2. Flap Valve
3. Orifice Meter
4. Hydraulic Dynamometer

نیوتن متر¹ و ثابت نگه داشتن دور با دقت ± 5 دور در دقیقه استفاده شده است که با ایجاد میدان مغناطیسی، نیروی ترمزی در برابر چرخش موتور ایجاد می‌نماید. دینامومترهای ادی کارنت² مجهز به سامانه داده‌برداری عددی بوده که با جریان آب، خنک می‌شوند. در حالیکه هیچ باری بر روی موتور اعمال نمی‌شود، دینامومتر به صورت آزادانه بر روی بلبرینگ‌ها چرخش می‌کند، اما به محض اعمال بار، مقاومت ایجاد شده در اثر میدان مغناطیسی بر روی نیروسنج وارد شده و عدد نشان داده شده توسط نیروسنج به عنوان گشتاور وارد بر موتور شناخته می‌شود. دستگاه مورد استفاده برای اندازه‌گیری مصرف سوخت، دبی‌سنج جرمی - SWPF- A 60 است که با دقت صدم کیلوگرم بر ساعت، اندازه‌گیری می‌کند. اساس کار آن این‌گونه است که سوخت از مخزن خارج شده و در یک بازه زمانی مشخص، میزان اختلاف وزن مخزن، اندازه‌گیری شده و در نهایت مقدار مصرف سوخت در بازه زمان، مشخص می‌شود. حسگرهای دما از نوع دماسنج مقاومتی (R) است که قابلیت اندازه‌گیری دما تا 1900 درجه را دارد. سیم‌پیچ آن‌ها از پلاتین خالص ساخته شده و میزان مقاومت پایه آن‌ها حدود 100 اهم است. چون اتاق آزمون، مجهز به مدارالکتریکی مخصوصی بوده و مقاومت را در حسگر مربوطه به سرعت به ولتاژ تبدیل می‌کند، بنابراین پاسخ‌پذیری حسگرهای دما در حد مطلوب بوده و دقت آن‌ها ± 1 درجه است. برای اندازه‌گیری دور، از یک دورسنج مغناطیسی که به محور خروجی متصل است، استفاده می‌شود. همچنین برای اندازه‌گیری مقادیر آلاینده‌های CO ، CO_2 و HC در تمامی مراحل آزمون موتور، از دستگاه Testo 350 استفاده شده است. این دستگاه دارای یک صفحه نمایش است که اطلاعات حاصل از سنسجش آلاینده را نشان می‌دهد. یادآوری این نکته لازم است که دستگاه اندازه‌گیری آلاینده‌ها، قبل از انجام آزمایش‌ها به طور دقیق کالیبره شده تا از دقت اندازه‌گیری‌ها اطمینان حاصل شود. محدوده تغییرات و کالیبراسیون دستگاه در جدول 4 آورده شده است. اطلاعات مربوط به نتایج آزمایش‌ها در یک سیستم کامپیوتری آنالیز و دریافت می‌شود. محدوده تعریف شده برای دور موتور از 1000 تا 1800 دور در دقیقه است. به ازای هر دور کاری موتور در این محدوده، آزمایش‌های موتور با هدف اندازه‌گیری عملکرد و آلاینده‌گی با استفاده از ترکیب‌های مختلف و شرایط متفاوت نانوذررات TiO_2 و سیستم EGR انجام گردید. موتور مورد آزمایش و بستر آزمون در شکل 2 آورده شده است.

جدول 3- مشخصات موتور مورد آزمایش [31]

Table 3- Specifications of the test engine [31]

Manufacturer and model	LOVOL,1006TG1A
Engine type	six-cylinder, four-stroke, direct injection, turbocharged
Number of cylinders	6
Cylinder volume	5.99 lit
Bore and stroke	100 * 127 (mm)
Compression ratio	17.5/1
Maximum torque	337 Nm@1400 rpm
Maximum power	62 kW@2000 rpm
Number of holes in nozzle	5

1. Newton Meters
2. Eddy Current Dynamometer

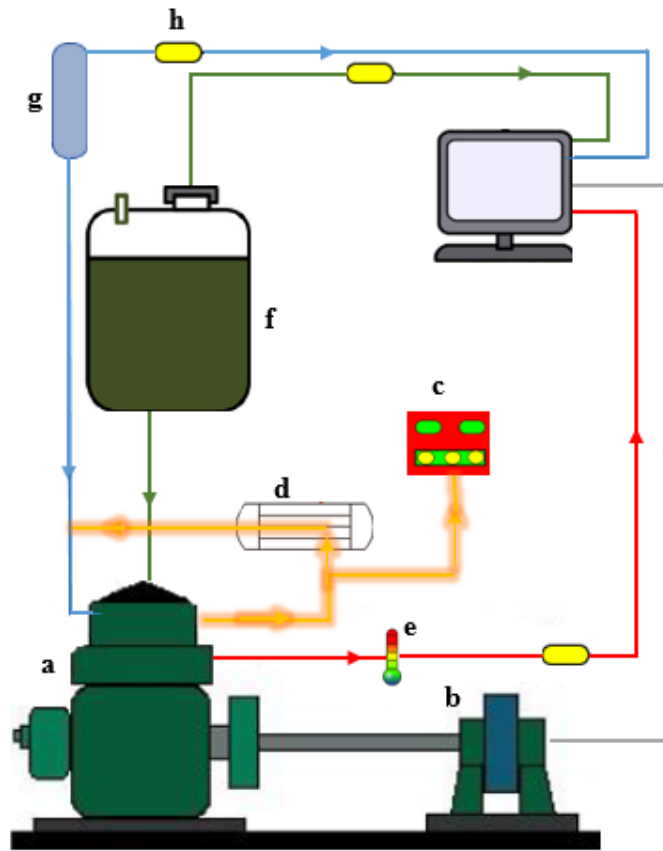


Figure 1- Schematic arrangement of the engine test bed: (a) diesel engine, (b) dynamometer, (c) gas analyser, (d) EGR system, (e) thermometer, (f) fuel tank, (g) air tank, (h) transducer

شکل 1- طرحواره بستر آزمون موتور: (a) موتور دیزلی مورد آزمایش، (b) دینامومتر، (c) دستگاه آنالیزر آلاینده‌ها، (d) سیستم EGR، (e) دماسنج، (f) مخزن سوخت، (g) مخزن هوا، (h) ترنس‌دوسر

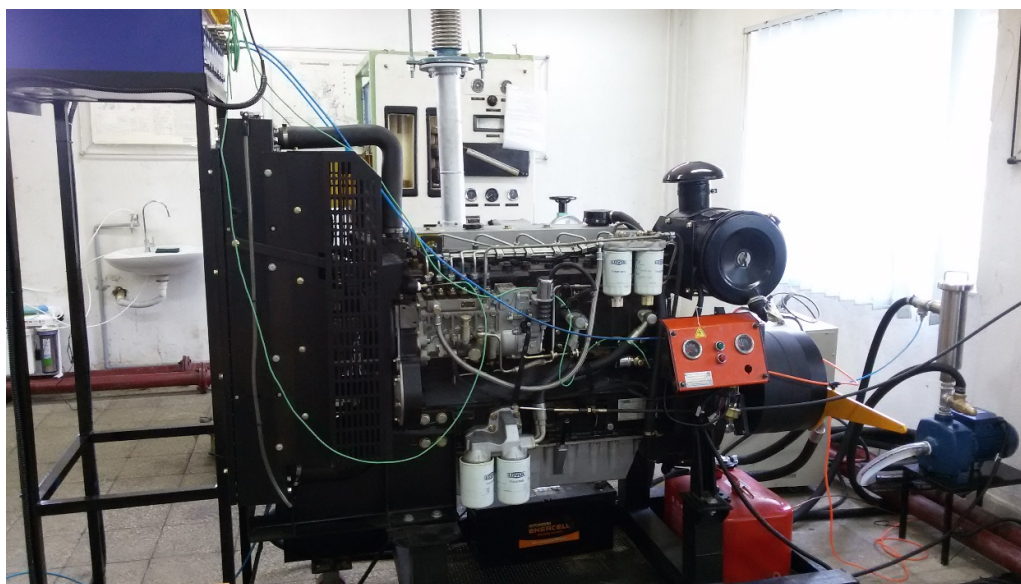


Figure 2- Diesel engine and engine test bed

شکل 2- موتور دیزلی مورد آزمایش و بستر آزمون

نحوه انجام آزمایش بدین صورت است که ابتدا موتور در حدود 10 دقیقه گرم شده تا از نظر دمای آب ورودی و خروجی و دمای روغن به حالت پایا برسد تا آزمایشها در حالت تقریباً متعادل و پایدار انجام گیرد. برای آماده کردن دستگاه ابتدا سطح روغن داخل محفظه میل‌لنگ¹ چک شده تا کاملاً پر باشد. سپس جریان ورودی آب به دینامومتر را برقرار نموده و شیر سوزنی را باز کرده تا با بیشینه جریان آب بدست آمده، این اطمینان به وجود آید که آب‌بندهای دینامومتر روغن کاری شده‌اند. حال جریان آب را تا حد چکه‌چکه کردن کاهش داده و موتور را روشن می‌نماییم. اجازه داده که موتور حدود ده دقیقه کار کند تا گرم شود. حال اهم کنترل گاز را تا موقعیت بیشینه آن جلو برده و سرعت بیشینه موتور یادداشت می‌شود. مقادیرهای سرعت، گشتاور، دمای هوای ورودی، جرم سوخت، آلاینده‌های CO ، CO_2 ، HC و همچنین پارامترهای دمای گازهای خروجی و مصرف سوخت ترمزی را زمانی که موتور به خروجی یکنواختی رسید، یادداشت کرده و این روند برای شرایط کارکردی مختلف تکرار می‌شود. پس از انجام آزمایش، شیر سوزنی به آرامی بسته می‌شود. اکنون گاز را بسته تا دور موتور آرام شود. اجازه داده تا موتور چند دقیقه‌ای در این حالت کار کند، سپس موتور خاموش شده و شیر اصلی آب بسته می‌شود. ذکر این نکته لازم است که اندازه‌گیری برای هر نمونه سه مرتبه تکرار شده و میانگین آن‌ها به عنوان داده نهایی ثبت می‌شود. تمامی تجهیزات، پیش از انجام آزمایش‌ها کالیبره شده تا از بروز خطای احتمالی در داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده تا حد امکان جلوگیری شود.

جدول 4- مشخصات دستگاه آلاینده سنج Testo 350

Table 4- Specification of the Testo 350 emission analyser

Parameter	Range	Resolution
NO_x	0-3000 ppm	1 ppm
CO	0-5000 ppm	1 ppm
CO_2	0-50 vol%	0.1 vol%
HC	0-40000 ppm	1 ppm

تحلیل عدم قطعیت داده‌های آزمایشگاهی

صرف نظر از دقت آزمایش، به دلایل مختلف ممکن است در جمع‌آوری داده‌های تجربی خطا وجود داشته باشد. بعضی از این خطاها از نوع تصادفی بوده و برخی به دلیل بروز اشتباه حین انجام آزمایش رخ می‌دهند. داده‌های نادرست حاصل از اشتباه‌های آشکار، بلافاصله قابل تشخیص بوده و کنار گذاشته می‌شوند. ولی در مورد داده‌هایی که مشکوک‌اند، به سادگی نمی‌توان تشخیص داد. بنابراین برای شناسایی این خطاها، از تحلیل عدم قطعیت داده‌های آزمایشگاهی که به روش آماری صورت گرفته، استفاده شده است. در کار حاضر با توجه به اینکه آزمون‌های موتور در قالب سه‌سری تکرار آزمایش‌ها با هدف اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی و آلاینده‌گی انجام گرفته است، بنابراین برای هر نقطه، سه‌داده آزمایشگاهی جمع‌آوری شده و سپس میانگین داده‌ها محاسبه و به‌عنوان داده نهایی آزمایشگاهی استفاده شده است. خطای احتمالی یا عدم قطعیت داده‌ها از رابطه (2) محاسبه می‌شود:

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{n^{0.5}} \quad (2)$$

که در این رابطه، σ_m انحراف معیار مقدار میانگین و σ انحراف معیار مجموعه اندازه‌گیری‌ها و n تعداد اندازه‌گیری‌ها در هر نقطه است. برای کلیه نتایج آزمایشگاهی $n = 3$ است. درصد عدم قطعیت داده‌های آزمایشگاهی نیز از رابطه (3) محاسبه شده است:

$$X = \frac{\sigma_m}{\bar{x}} \times 100 \quad (3)$$

که در رابطه بالا، X ، عدم قطعیت داده آزمایشگاهی بر حسب درصد و \bar{x} ، مقدار میانگین حسابی داده‌های آزمایشگاهی است. در شکل 3، مقدار میانگین عدم قطعیت داده‌های آزمایشگاهی برای پارامترهای عملکردی و آلاینده‌ها نشان داده شده است.

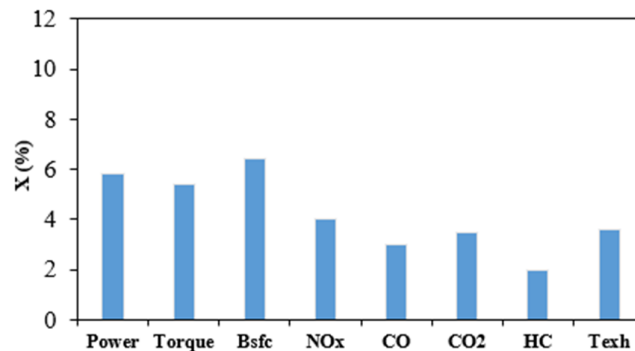


Figure 3- Average values of uncertainty of emission and performance parameters

شکل 3- مقادیر میانگین عدم قطعیت پارامترهای عملکردی و آلاینده‌ها

بحث بر روی نتایج

توان ترمزی

شکل‌های 4 تا 7 تغییرات توان در سرعت‌های مورد آزمایش برای ترکیب‌های سوخت آماده شده از دیزل/ اتانول/ بیودیزل، در شرایط متفاوت استفاده از افزودنی نانوذرات TiO_2 و سیستم EGR را نشان می‌دهد. در شکل 4 که از نانوذرات و سیستم EGR استفاده نشده است، مشاهده می‌شود که در ترکیب‌های سوخت آماده شده، با افزایش سرعت، میزان قدرت نیز افزایش می‌یابد.

مخلوط دیزل خالص در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش دارای بیشترین مقدار توان است. با افزایش درصد بیودیزل در ترکیب، مقدار توان خروجی کاهش می‌یابد. به‌گونه‌ای که استفاده از ترکیب‌های B10E0 و B20E0 به ترتیب بین 3/3 تا 6/4 درصد و 8/6 تا 16/2 درصد، میزان توان خروجی را در مقایسه با D100 در سرعت‌های مورد مطالعه کاهش دادند. بیودیزل نسبت به دیزل دارای ارزش گرمایی پایین‌تری است و با افزایش درصد آن، ارزش گرمایی مخلوط نیز کاهش می‌یابد. همچنین بیودیزل از چگالی بالاتری نسبت به دیزل برخوردار است که این امر مانع اتمیزه شدن¹ مناسب سوخت در هنگام پاشش می‌شود. این دو عامل می‌توانند از دلایل اصلی کاهش توان ترمزی موتور با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط باشد [32-34]. نتایج مشابهی در آزمایش‌های یسیلیورت مشاهده گردید که با افزایش درصد بیودیزل در ترکیب، مقدار توان خروجی نسبت به دیزل خالص بین 6 تا 11 درصد در شرایط متفاوت آزمایشگاهی کاهش یافت [3].

با افزایش درصد اتانول در ترکیب همانند بیودیزل، توان ترمزی نسبت به دیزل خالص کاهش یافت. استفاده از B0E4 بین 3/5 تا 4/5 درصد و استفاده از B0E6 بین 5/9 تا 12/3 درصد، موجب کاهش میزان توان خروجی نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش شد. اتانول نسبت به دیزل، ارزش گرمایی و عدد ستان پایین‌تری دارد که باعث پایین آمدن ارزش حرارتی مخلوط می‌شود. همچنین به دلیل بالاتر بودن گرمای نهان تبخیر² اتانول نسبت به دیزل، بخشی از انرژی سوخت صرف تبخیر اتانول می‌شود که این دلایل می‌توانند باعث افت توان ترمزی موتور با افزایش درصد اتانول در مخلوط باشند [35]. روند مشابهی در تحقیقات یانگ و همکارانش مشاهده شد که افزایش درصد اتانول در ترکیب بین 5 تا 8 درصد میزان توان خروجی را در شرایط عملکردی متفاوت موتور، نسبت به دیزل خالص کاهش داد [36]. استفاده از B10E4 نیز موجب کاهش توان خروجی بین 11/8 تا 14/1 درصد نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد مطالعه شد.

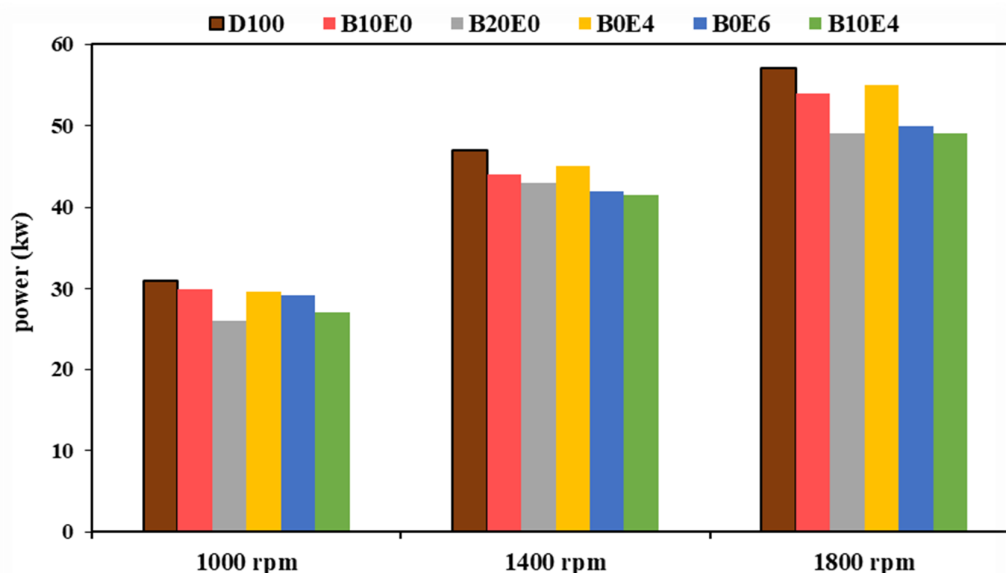


Figure 4- Variation of power for diesel/ ethanol/ biodiesel blends at various engine speeds

شکل 4- تغییرات توان برای ترکیب‌های دیزل/ اتانول/ بیودیزل در سرعت‌های متفاوت

1. Atomization
2. Latent Heat of Evaporation

در شکل 5 تاثیر استفاده از EGR در دو نرخ 20 و 30 درصد روی توان خروجی، برای ترکیب‌های سوخت آماده‌شده، آورده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش درصد EGR، توان خروجی کاهش می‌یابد؛ به گونه ای که میزان توان خروجی در استفاده از B10E4+EGR30 در سرعت‌های مورد آزمایش بین 13/8 تا 19/2 درصد نسبت به B10E4+EGR20 کمتر است. کمترین مقدار توان در مقایسه با D100 در مخلوط B20E0+EGR30 مشاهده شد که بطور میانگین در سرعت‌های مورد آزمایش توان خروجی را 27/8 درصد کاهش داد. همچنین استفاده از B0E6+EGR30 میزان توان خروجی را در مقایسه با دیزل خالص، در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 26، 27/7 و 21/1 درصد کاهش داد. جایگزینی درصدی از هوای تازه با گازهای EGR و کاهش میزان اکسیژن موجود در محفظه احتراق می‌تواند از دلایل اصلی کاهش توان خروجی موتور و همچنین گشتاور در استفاده از سیستم EGR باشد [37]. روند مشابهی در تاثیر استفاده از بازگردانی گازهای خروجی بر روی توان خروجی در آزمایشات کوکولانک و همکارانش مشاهده گردید [28].

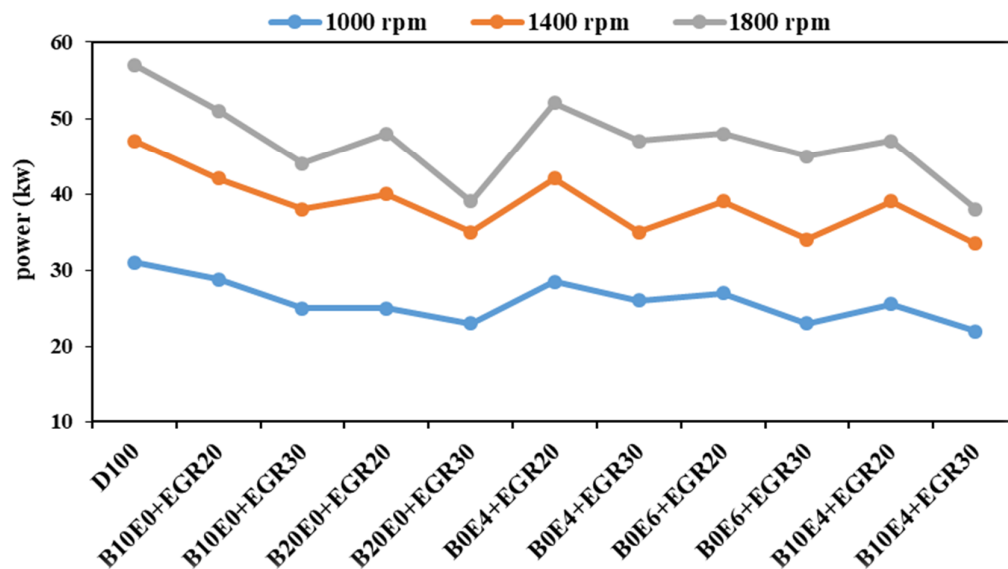


Figure 5- Variation of power for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20, 30% and various engine speeds

شکل 5- تغییرات توان برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = ۲۰، ۳۰٪ و سرعت‌های متفاوت

تاثیر افزودن نانوذرات TiO_2 در مقادیر 40 و 60 ppm بر روی توان خروجی مخلوط تهیه شده از دیزل / اتانول / بیودیزل در شکل 6 آورده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نانوذرات، میزان توان خروجی افزایش می‌یابد؛ به گونه ای که استفاده از B10E0+ TiO_2 40 در مقایسه با D100، توان خروجی را بین 0/9 تا 3/2 درصد در سرعت‌های مورد مطالعه افزایش داد. استفاده از B10E0+ TiO_2 60 بین 5/1 تا 9/5 درصد، توان بیشتری نسبت به B10E0+ TiO_2 40 تولید نمود. بیشترین میزان توان نسبت به دیزل خالص برای B10E0+ TiO_2 60 با 11/2 درصد افزایش در سرعت 1000 rpm به ثبت رسید. استفاده از B10E4+ TiO_2 60 نسبت به دیزل خالص باعث افزایش توان به میزان 6/4، 5/3 و 1/7 درصد، در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm شد. بالاتر بودن نسبت سطح به حجم که باعث بهبود فرآیند اکسایش¹ ترکیبات سوخت می‌شود و همچنین محتوای انرژی بالای ذرات TiO_2 که تقریباً بین 100-150 Mj/kg است، می‌تواند از دلایل اصلی افزایش توان و همچنین گشتاور با افزودن نانوذرات

1. Oxidation

TiO₂ به ترکیب‌های تهیه شده باشد [39]. آزمایش‌های اورس و همکارانش نیز نشان دادند استفاده از نانوافزودنی TiO₂ تا 5 درصد میزان توان خروجی را افزایش می‌دهد [40].

تأثیر استفاده همزمان از 20 درصد EGR و 40 ppm TiO₂ بر روی توان خروجی در ترکیب‌های آماده‌شده، در شکل 7 آورده شده است. مشاهده می‌شود که ترکیب B10E0+EGR20+TiO₂60 در سرعت‌های مورد آزمایش مقادیر توان نزدیکی به D100 به ثبت رسانده است. استفاده از ترکیب‌های B20E0+EGR20+TiO₂60 و B0E6+EGR20+TiO₂60 در سرعت‌های مورد آزمایش به ترتیب بین 4/3 تا 8/8 درصد و 6/5 تا 9/7 درصد نسبت به دیزل خالص میزان توان را کاهش داد. در سرعت‌های مورد آزمایش ترکیب B0E4+EGR20+TiO₂60 بطور میانگین 2/5 درصد، توان خروجی را نسبت به D100 افزایش داد. ترکیب B10E4+EGR20+TiO₂60 نیز میزان توان خروجی را به‌طور میانگین 1/5 درصد نسبت به D100 کاهش داد.

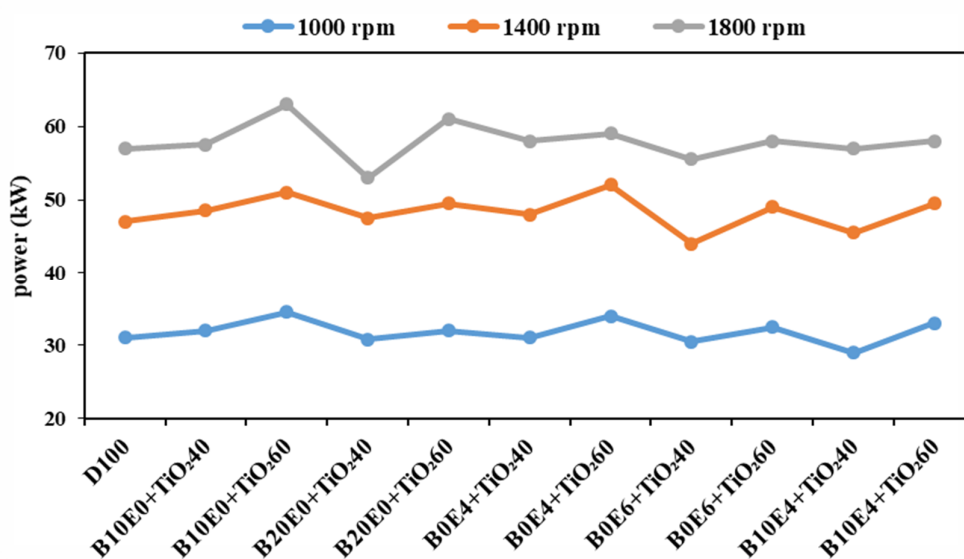


Figure 6- Variation of power for diesel / ethanol / biodiesel blends at TiO₂ = 40, 60 ppm and various engine speeds
 شکل 6- تغییرات توان برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در TiO₂ = 40, 60 ppm و سرعت‌های متفاوت

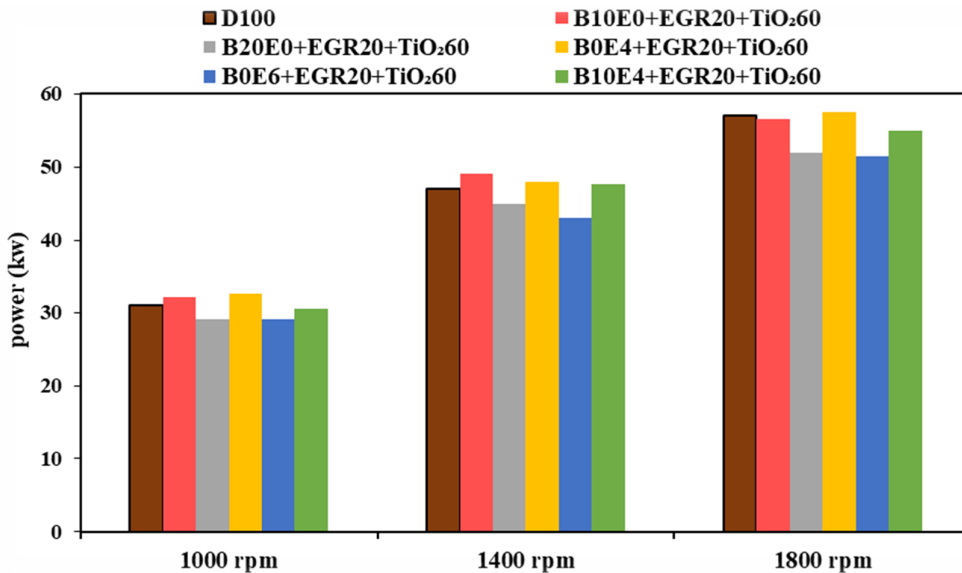


Figure7- Variation of power for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20%, TiO₂ = 60 ppm and various engine speeds

شکل 7- تغییرات توان برای ترکیب‌های مختلف دیزل/اتانول/بیودیزل در EGR = 20% ، TiO₂ = 60ppm و سرعت‌های متفاوت

گشتاور

در رابطه با تاثیر بیودیزل بر روی گشتاور و توان خروجی، مطالعات متعددی انجام گرفته است که با توجه به منبعی که از آن بیودیزل تهیه می شود و موتور مورد آزمایش، نتایج مختلفی به دست آمده است [41-43]. تغییرات گشتاور در سرعت‌های مورد مطالعه برای ترکیب‌های آماده شده در شرایط متفاوت از افزودن نانوذرات TiO₂ و سیستم EGR در شکل‌های 8 تا 11 آورده شده است.

در شکل 8 مشاهده می‌شود که میزان گشتاور با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط کاهش می‌یابد. ترکیب B10E0 در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 4، 7/2 و 1/5 درصد، گشتاور را نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش داده است. همچنین استفاده از ترکیب B20E0 در سرعت‌های مورد مطالعه بین 7/13 تا 8/20 درصد میزان گشتاور را نسبت به D100 کاهش داد. چگالی و گرانیوی بالاتر بیودیزل نسبت به دیزل که مانع از اتمیزه شدن سوخت به هنگام پاشش می‌شود، می‌تواند دلیل اصلی کاهش میزان گشتاور باشد. همچنین بیودیزل نسبت به دیزل از ارزش حرارتی پایین تری برخوردار است که این دلیل نیز می‌تواند میزان گشتاور تولیدی را کاهش دهد [44، 45]. نتایج تحقیقات آلتایی و همکارانش نیز نشان داد که در شرایط کارکردی متفاوت با افزایش درصد بیودیزل در ترکیب، میزان گشتاور خروجی نسبت به دیزل خالص کاهش می‌یابد. [32]. همچنین با افزایش درصد اتانول در ترکیب، میزان گشتاور خروجی نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش یافت. ترکیب B0E4 بین 9/2 تا 7/6 درصد و ترکیب B0E6 به‌طور میانگین 3/16 درصد میزان گشتاور را در سرعت‌های مورد مطالعه نسبت به دیزل خالص کاهش دادند. گرمای نهان تبخیر بالاتر اتانول به‌همراه ارزش گرمایی و عدد ستان پایین تر آن نسبت به دیزل، می‌تواند از دلایل اصلی این کاهش باشد [46]. استفاده از ترکیب B10E4 نیز به‌طور میانگین 3/10 درصد، گشتاور را در سرعت‌های مورد آزمایش نسبت به D100 کاهش داد.

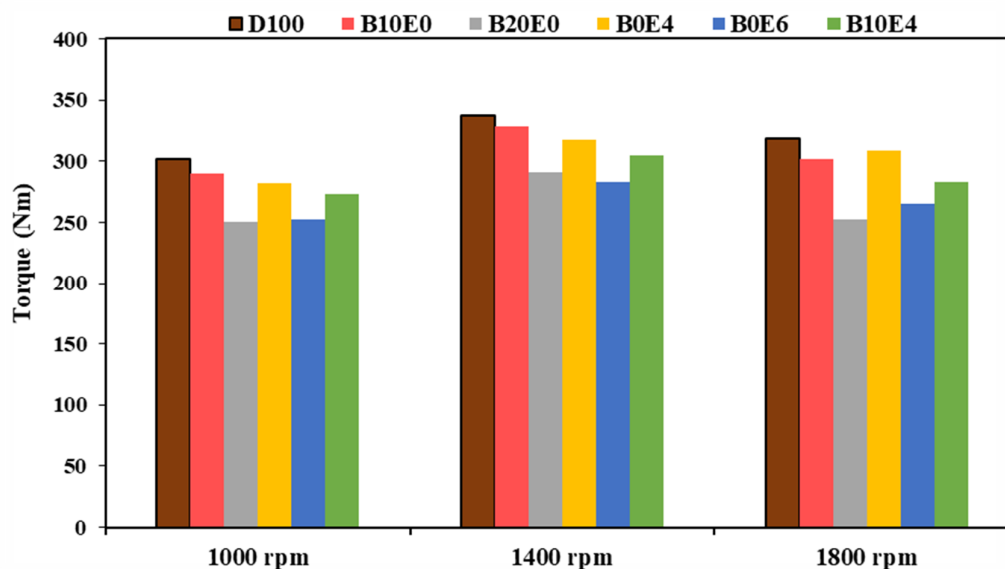


Figure 8- Variation of Torque for diesel / ethanol / biodiesel blends at various engine speeds

شکل 8- تغییرات گشتاور برای ترکیب‌های دیزل/ اتانول/ بیودیزل در سرعت‌های متفاوت

تأثیر استفاده از EGR در دو نرخ 20 و 30 درصد بر میزان گشتاور، برای ترکیب‌های سوخت تهیه شده از اتانول/ بیودیزل/ دیزل، در سرعت‌های مورد مطالعه در شکل 9 آورده شده است. برای هر نمونه سوخت تهیه شده مشاهده می‌شود که با افزایش درصد EGR در ترکیب، میزان گشتاور کاهش می‌یابد. کمترین میزان گشتاور نسبت به دیزل خالص برای ترکیب‌های B20E0+EGR30 و B0E6+EGR30 ثبت گردید که به‌طور میانگین، میزان گشتاور را به ترتیب 27/7 و 28/5 درصد کاهش داد. استفاده از ترکیب‌های B10E0+EGR20 و B0E4+EGR20 در سرعت‌های مورد آزمایش، گشتاور تولید شده را به‌طور میانگین بین 7/9 تا 10/4 درصد نسبت به دیزل خالص کاهش داد. کاهش میزان اکسیژن موجود در محفظه احتراق، هنگام استفاده از سیستم بازگردانی گازهای خروجی و جایگزین شدن مقداری از هوای تازه ورودی به محفظه احتراق با گازهای EGR، می‌تواند از دلایل اصلی کاهش گشتاور در استفاده از سیستم EGR باشد [37، 38].

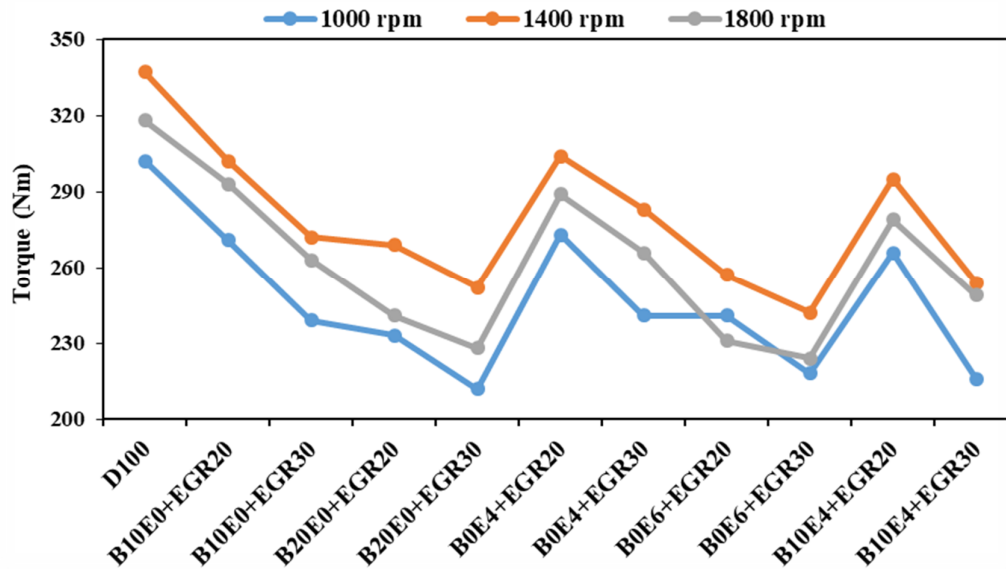


Figure 9- Variation of Torque for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20, 30% and various engine speeds

شکل 9- تغییرات گشتاور برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = 20, 30% و سرعت‌های متفاوت

تغییرات گشتاور برای ترکیبات تهیه شده از دیزل / اتانول / بیودیزل در اثر افزودن نانوذرات TiO_2 در مقادیر 40 و 60 ppm در سرعت‌های مورد مطالعه در شکل 10 آورده شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد نانوذرات، مقدار گشتاور افزایش می‌یابد. ترکیب‌های $B10E0+TiO_260$ و $B0E4+TiO_260$ در سرعت‌های مورد آزمایش به‌طور میانگین بین 2/8 تا 3 درصد مقدار گشتاور را نسبت به دیزل خالص افزایش دادند که بیشترین میزان افزایش گشتاور در نمونه‌های مورد مطالعه است. استفاده از ترکیب $B10E4+TiO_240$ مقدار گشتاور را به‌طور میانگین در سرعت‌های مورد آزمایش 6/6 درصد نسبت به دیزل خالص کاهش داد و استفاده از ترکیب $B10E4+TiO_260$ میزان گشتاور را نسبت به ترکیب $B10E4+TiO_240$ به‌طور میانگین 4/3 درصد در سرعت‌های مورد مطالعه افزایش داد. محتوای انرژی و نسبت سطح به حجم بالای ذرات TiO_2 می‌تواند از دلایل اصلی افزایش گشتاور باشد [39, 40].

در شکل 11 تغییرات گشتاور در اثر استفاده همزمان از 20 درصد EGR و دی اکسید تیتانیوم 60 ppm برای ترکیب‌های دیزل / اتانول / بیودیزل در سرعت‌های مورد مطالعه آورده شده است. استفاده از ترکیب‌های $B10E0+EGR20+TiO_260$ و $B0E4+EGR20+TiO_260$ مقادیر گشتاور تقریباً برابری با سوخت دیزل خالص در سرعت‌های مورد مطالعه ثبت نمود. استفاده از ترکیب‌های $B20E0+EGR20+TiO_260$ و $B0E6+EGR20+TiO_260$ به‌طور میانگین به‌ترتیب باعث کاهش گشتاور به میزان 15/8 و 10/6 درصد نسبت به دیزل خالص شد. همچنین استفاده از ترکیب $B10E4+EGR20+TiO_260$ در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به‌ترتیب 3، 7/7 و 6/2 درصد، کاهش گشتاور را نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد مطالعه ثبت نمود.

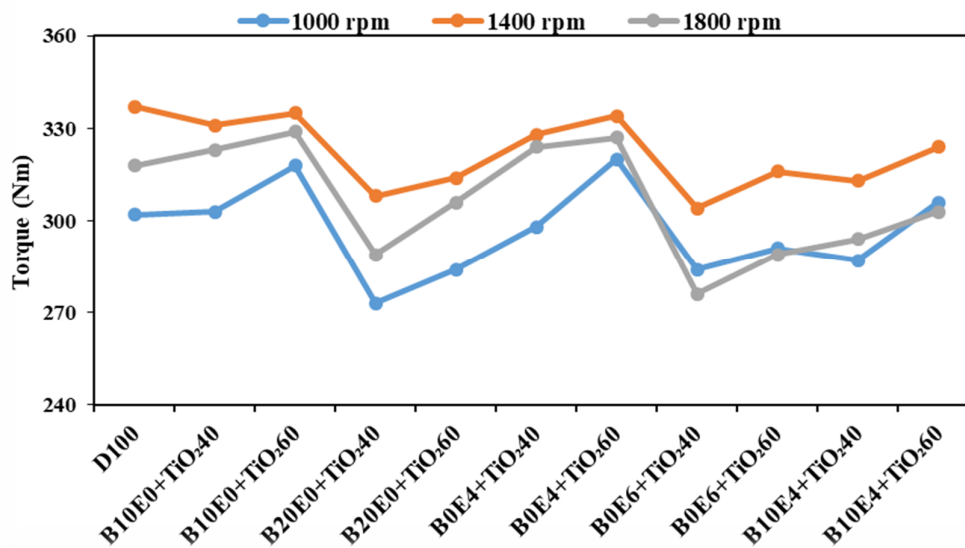


Figure 10- Variation of Torque for diesel / ethanol / biodiesel blends at TiO₂ = 40, 60 ppm and various engine speeds
 شکل 10- تغییرات گشتاور برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در TiO₂ = 40, 60 ppm و سرعت‌های متفاوت

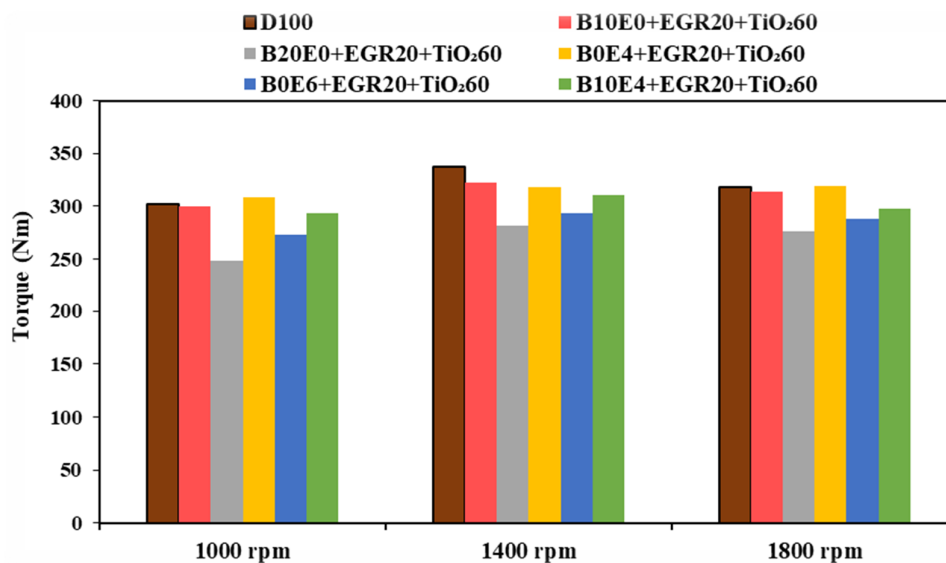


Figure 11- Variation of Torque for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR=20%, TiO₂ = 60 ppm and various engine speeds
 شکل 11- تغییرات گشتاور تغییرات توان برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = 20% ، TiO₂ = 60ppm و سرعت‌های متفاوت

مصرف سوخت ویژه ترمزی

روند تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی برای نمونه‌های تهیه شده و در شرایط متفاوت استفاده از افزودنی EGR و TiO_2 و در سرعت‌های مورد آزمایش در شکل‌های 12 تا 15 آورده شده است. در شکل 12 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد بیودیزل در ترکیب، مقدار مصرف سوخت افزایش می‌یابد. ترکیب B10E0 در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 6 و 4/4 و 6/9 درصد مقدار مصرف سوخت را نسبت به D100 افزایش می‌دهد. همچنین استفاده از ترکیب B20E0 بطور میانگین 19 درصد افزایش، در مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی، نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد مطالعه ثبت نمود. نتایج مطالعات احمیت نیز روند مشابهی برای تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی با افزایش درصد بیودیزل در ترکیب نشان دادند، که تا 10 درصد افزایش در میزان مصرف سوخت مشاهده شد [13]. بالاتر بودن چگالی و گرانشی بیودیزل نسبت به دیزل خالص و پایین تر بودن ارزش گرمایی بیودیزل نسبت به دیزل خالص، می‌تواند از دلایل افزایش میزان مصرف سوخت باشد [47]. همچنین افزایش درصد اتانول نیز میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی را نسبت به دیزل خالص افزایش داد. ترکیب‌های B0E4 و B0E6 به‌طور میانگین به ترتیب 5/9 و 20/7 درصد، میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی را در سرعت‌های مورد آزمایش نسبت به دیزل خالص افزایش دادند. پایین تر بودن عدد ستان اتانول نسبت به دیزل و همچنین پایین تر بودن ارزش حرارتی اتانول نسبت به دیزل، می‌تواند از دلایل افزایش میزان مصرف سوخت باشد. استفاده از ترکیب B10E4 نیز بطور میانگین 9/5 درصد میزان مصرف سوخت را نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش افزایش داد. نتایج آزمایشات یانگی و همکارانش نیز نشان داد که در شرایط عملکردی موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی تا 12 درصد نسبت به دیزل خالص با افزایش درصد اتانول در ترکیب افزایش یافت [2].

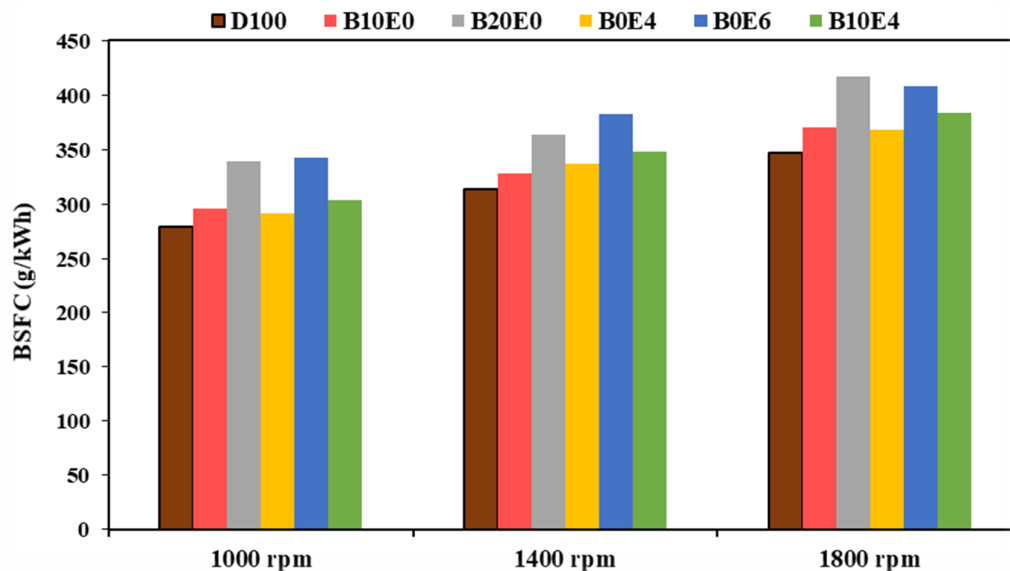


Figure 12- Variation of BSFC for diesel / ethanol / biodiesel blends at various engine speeds

شکل 12- تغییرات مصرف سوخت برای ترکیب‌های دیزل / اتانول / بیودیزل در سرعت‌های متفاوت

در شکل 13 مشاهده می‌شود که افزایش درصد EGR در نمونه‌های آماده شده، باعث افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی می‌شود. استفاده از ترکیب‌های B20E0+EGR30 و B0E6+EGR30 به‌طور میانگین 30/4 و 30 درصد، مصرف سوخت را نسبت به D100 در سرعت‌های مورد مطالعه افزایش دادند که بیشترین میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی در سرعت‌های مورد آزمایش بود. ترکیب‌های B10E0+EGR20 و B0E4+EGR20 به‌طور میانگین 8/7 و 9/7 درصد میزان مصرف سوخت را نسبت به دیزل خالص افزایش دادند که کمترین میزان مصرف سوخت در میان ترکیب‌های مورد مطالعه بود. کاهش بیشینه دمای محفظه احتراق و همچنین کاهش میزان اکسیژن ورودی به محفظه احتراق در استفاده از سیستم EGR که باعث احتراق ناقص می‌شود، می‌تواند از دلایل اصلی افزایش میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی باشد [48]. آزمایش‌های کومار و همکاران نیز نشان داد که با افزایش درصد استفاده از EGR در ترکیب، میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به دیزل خالص در شرایط کارکردی متفاوت افزایش می‌یابد [22].

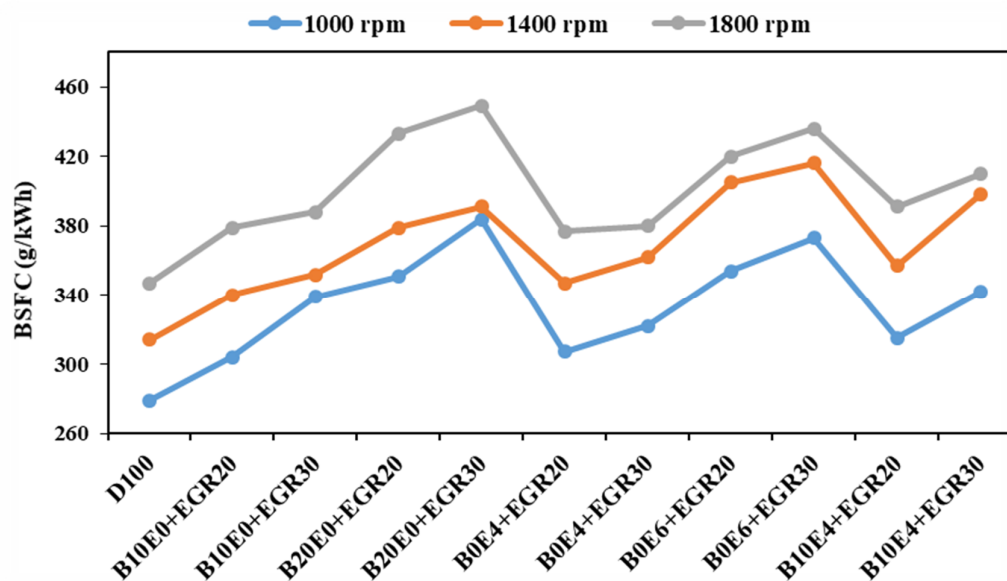


Figure 13- Variation of BSFC for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20, 30% and various engine speeds

شکل 13- تغییرات مصرف سوخت ترمزی برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در 20، 30٪ EGR و سرعت‌های متفاوت

تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی در استفاده از افزودنی TiO_2 در مقادیرهای 40 و 60 ppm برای ترکیب‌های دیزل / اتانول / بیودیزل آماده شده در سرعت‌های مورد مطالعه در شکل 14 آورده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش درصد افزودنی TiO_2 در ترکیب‌های آماده شده، میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی کاهش می‌یابد. استفاده از ترکیب‌های B0E4+ TiO_2 60 و B10E0+ TiO_2 60 به‌طور میانگین به ترتیب 11/7 و 12 درصد، کاهش در میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی را نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش ثبت کردند. استفاده از ترکیب B10E4+ TiO_2 60 در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 13/5، 13/2 و 16/5 درصد میزان مصرف سوخت را نسبت به ترکیب B10E4 کاهش داد. استفاده از ترکیب B20E0+ TiO_2 40 بطور میانگین در سرعت‌های مورد مطالعه 7/1 درصد میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی را نسبت به دیزل خالص افزایش داد و نسبت به ترکیب B20E0 بطور میانگین مصرف سوخت را 9/8 درصد کاهش داد. بهبود فرآیند احتراق

در نتیجه اختلاط بهتر هوا با سوخت با اضافه کردن افزودنی TiO_2 می تواند دلیل کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی باشد [49]، [50]. اورس و همکاران نیز در تحقیقاتشان نشان دادند که استفاده از TiO_2 ، مصرف سوخت ویژه ترمزی را تا 11 درصد نسبت به دیزل خالص در شرایط متفاوت آزمایشگاهی کاهش می دهد [40].

تاثیر استفاده همزمان از همزمان از 20 درصد EGR و $60TiO_2$ ppm بر روی مصرف سوخت ویژه ترمزی برای نمونه سوخت های تهیه شده در شکل 15، آورده شده است. استفاده از ترکیب $B10E4+EGR20+TiO_260$ در سرعت های 1000، 1400 و 1800 rpm میزان مصرف سوخت را به ترتیب 4/7، 2/5 و 2 درصد نسبت به دیزل خالص افزایش داد. ترکیب های $B10E0+EGR20+TiO_260$ و $B0E4+EGR20+TiO_260$ مقادیر مصرف سوخت تقریباً برابری با دیزل خالص ثبت کردند. ترکیب های $B20E0+EGR20+TiO_260$ و $B0E6+EGR20+TiO_260$ بطور میانگین به ترتیب 11/2 و 12/1 درصد میزان مصرف سوخت را نسبت به دیزل خالص در سرعت های مورد مطالعه افزایش دادند.

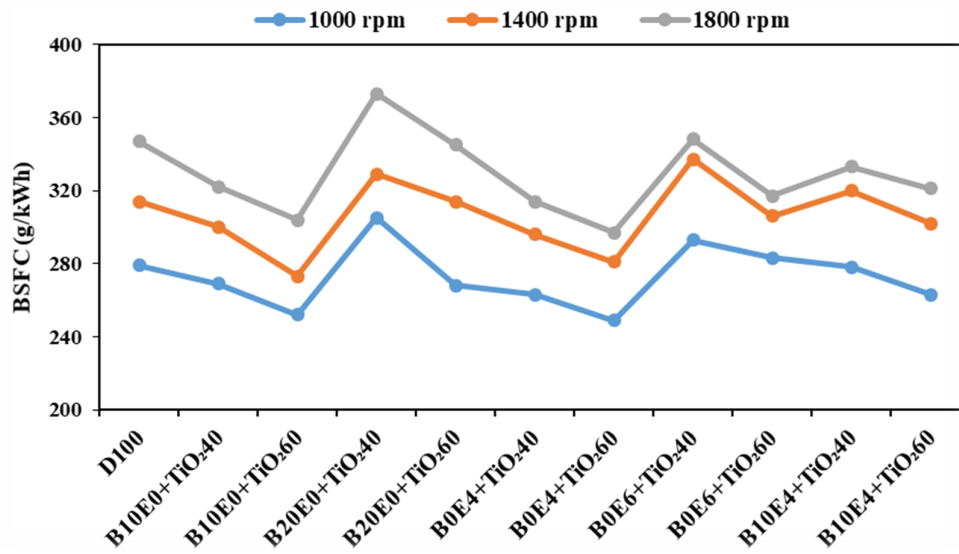


Figure 14- Variation of BSFC for diesel / ethanol / biodiesel blends at $TiO_2 = 40, 60$ ppm and various engine speeds

شکل 14- تغییرات مصرف سوخت برای ترکیب های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در $TiO_2 = 40, 60$ ppm و سرعت های متفاوت

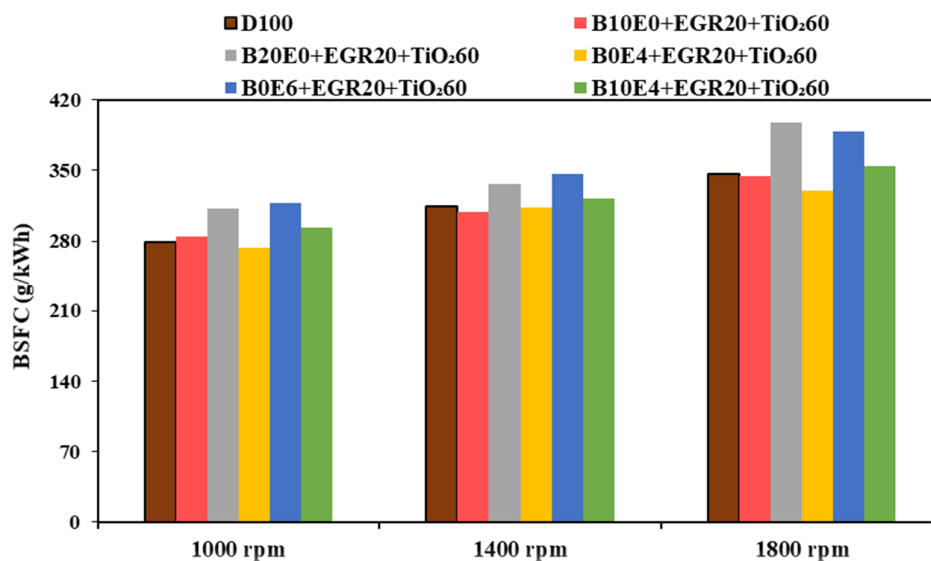


Figure 15- Variation of BSFC for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20%, TiO₂ = 60 ppm and various engine speeds

شکل 15- تغییرات مصرف سوخت برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = 20% ، TiO₂ = 60ppm و سرعت‌های متفاوت

دمای گازهای خروجی

در شکل‌های 16 تا 19 روند تغییرات دمای گازهای خروجی برای نمونه سوخت‌های آماده شده در شرایط متفاوت استفاده از سیستم EGR و TiO₂ در سرعت‌های مورد مطالعه آورده شده است. در همه ترکیب‌های سوخت مورد مطالعه با افزایش سرعت، دمای گازهای خروجی افزایش می‌یابد که دلیل آن کاهش مدت زمان احتراق و کاهش میزان انتقال حرارت از محصولات احتراق به دیواره سیلندر است.

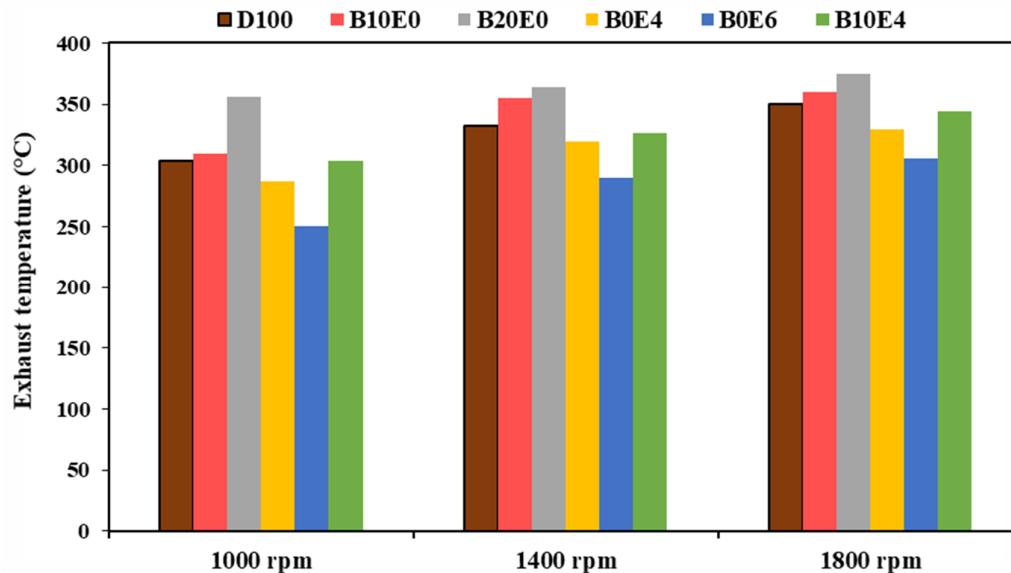


Figure 16- Variation of Exhaust temperature for diesel / ethanol / biodiesel blends at various engine speeds

شکل 16- تغییرات دمای گازهای خروجی برای ترکیب‌های دیزل / اتانول / بیودیزل در سرعت‌های متفاوت

در شکل 16 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد بیودیزل، دمای گازهای خروجی نسبت به دیزل خالص افزایش می‌یابد. محتوای اکسیژن بالاتر بیودیزل نسبت به دیزل خالص و اختلاط بهتر سوخت و هوا که سبب بهبود فرآیند احتراق می‌شود، می‌تواند دلیل افزایش دمای گازهای خروجی با افزایش میزان بیودیزل در مخلوط باشد. استفاده از ترکیب B10E0 در سرعت‌های مورد مطالعه، دمای گازهای خروجی را نسبت به دیزل خالص به‌طور میانگین $3/8$ درصد افزایش داد. ترکیب B20E0 در مقایسه با دیزل خالص باعث افزایش دمای گازهای خروجی در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب به میزان $17/1$ ، $9/6$ و $7/1$ درصد شد. نتایج مطالعات احمیت نیز روند مشابهی در تغییرات دمای گازهای خروجی با افزایش درصد بیودیزل در ترکیب را نشان می‌دهد که افزایش درصد بیودیزل در ترکیب، تا 14 درصد دمای گازهای خروجی را در شرایط متفاوت آزمایشگاهی، افزایش داد [35]. با افزایش درصد اتانول در مخلوط، برخلاف بیودیزل، دمای گازهای خروجی کاهش یافت. عدد ستان پایین‌تر اتانول نسبت به دیزل و گرمای نهان تبخیر بالاتر اتانول نسبت به دیزل، می‌تواند از دلایل کاهش دمای گازهای خروجی باشد [51، 52]. استفاده از ترکیب‌های B0E4 و B0E6 دمای گازهای خروجی را به‌طور میانگین 5 و $14/3$ درصد در سرعت‌های مورد مطالعه نسبت به دیزل خالص کاهش داد. ترکیب B10E4 مقادیر دمای تقریباً یکسانی با دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش ثبت کرد.

در شکل 17 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد EGR در نمونه سوخت‌های تهیه شده از دیزل / اتانول / بیودیزل، دمای گازهای خروجی کاهش می‌یابد. دلیل آن می‌تواند محتوای اکسیژن پایین‌تر هوای ورودی و کاهش در بیشینه دمای محفظه احتراق باشد [53]. بیشترین میزان کاهش دمای گازهای خروجی نسبت به دیزل خالص برای ترکیب B0E6+EGR30 مشاهده شد که در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm دمای گازهای خروجی را به ترتیب 24 و 26 و 22 درصد کاهش داد. استفاده از ترکیب B10E4+EGR30 به‌طور میانگین 11 درصد دمای گازهای خروجی را در سرعت‌های مورد مطالعه نسبت به ترکیب

B10E4 کاهش داد. همچنین آزمایشات کومار و همکاران نیز نشان داد که استفاده از سیستم بازگردانی گازهای خروجی، باعث کاهش دمای گازهای خروجی می‌شود [22].

تغییرات دمای گازهای خروجی در استفاده از افزودنی TiO_2 در مقادیر 40 و 60 ppm به سوخت‌های تهیه شده، در شکل 18 آورده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نانوذرات در ترکیب، سطوح دمایی بالاتری ایجاد می‌شود. بیشترین میزان افزایش دمای گازهای خروجی نسبت به دیزل خالص در میان نمونه‌های تهیه شده، در B20E0+ TiO_2 60 مشاهده شد. استفاده از این ترکیب در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm، دمای گازهای خروجی را به ترتیب 24، 25/9 و 30/2 درصد نسبت به دیزل خالص افزایش داد. محتوای اکسیژن بالاتر و اختلاط بهتر سوخت و هوا می‌تواند از دلایل اصلی افزایش دمای محفظه احتراق در استفاده از TiO_2 باشد [54].

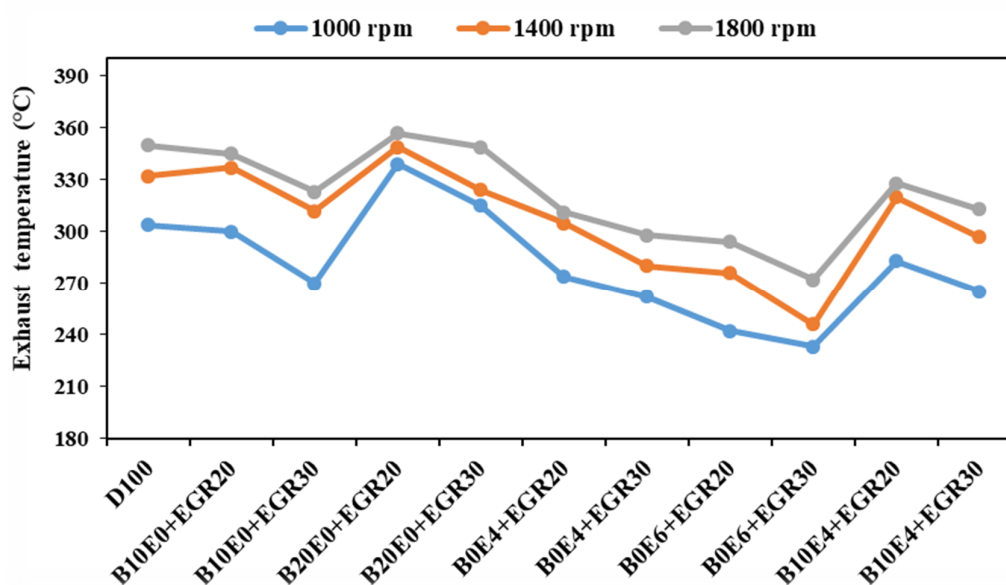


Figure 17- Variation of Exhaust temperature for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20, 30% and various engine speeds
 شکل 17- تغییرات دمای گازهای خروجی برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = ۲۰، ۳۰٪ و سرعت‌های متفاوت

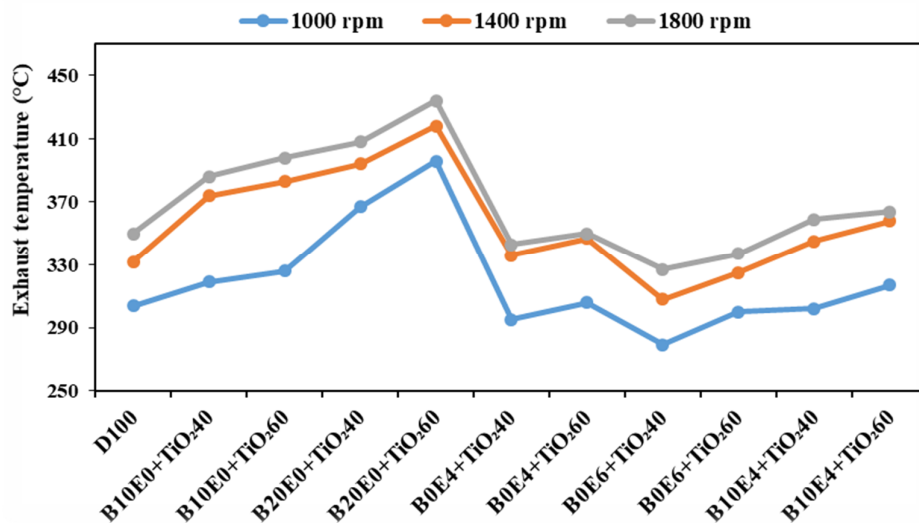


Figure 18- Variation of Exhaust temperature for diesel / ethanol / biodiesel blends at TiO₂ = 40, 60 ppm and various engine speeds

شکل 18- تغییرات دمای گازهای خروجی برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در TiO₂ = 40, 60 ppm و سرعت‌های متفاوت

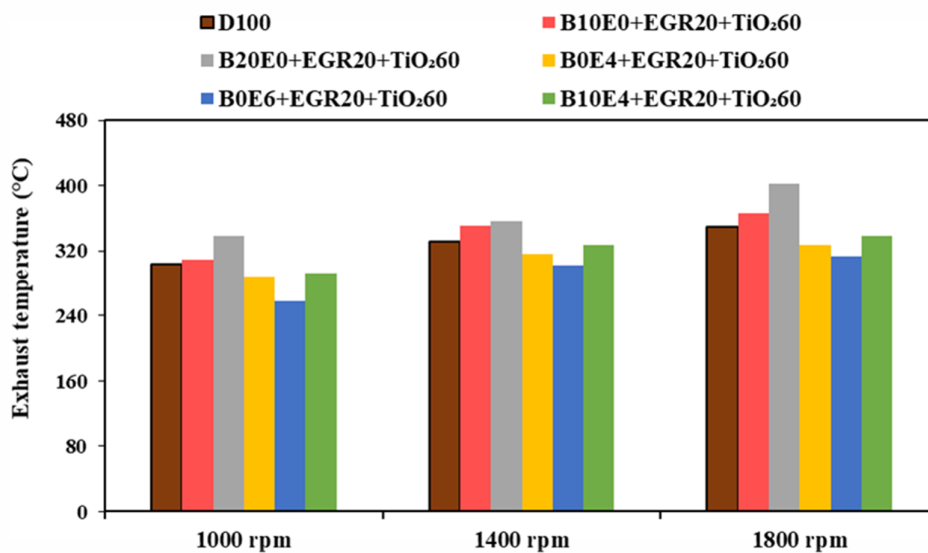


Figure 19- Variation of exhaust temperature for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR=20%, TiO₂ = 60 ppm and various engine speeds

شکل 19- تغییرات دمای گازهای خروجی برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = 20% ، TiO₂ = 60ppm و سرعت‌های متفاوت

روند تغییرات دمای گازهای خروجی در استفاده همزمان از EGR و نانوذرات TiO_2 برای نمونه‌های تهیه شده در سرعت‌های مختلف، در شکل 19 آورده شده است. بیشترین دمای گازهای خروجی در میان ترکیب‌های آماده شده نسبت به دیزل خالص، در ترکیب $B20E0+EGR20+TiO_260$ مشاهده شد. استفاده از این ترکیب به‌طور میانگین $11/2$ درصد دمای گازهای خروجی را نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد مطالعه، افزایش داد. کمترین دمای گازهای خروجی نسبت به دیزل خالص برای ترکیب $B0E6+EGR20+TiO_260$ ثبت شد که به‌طور میانگین $11/5$ درصد کاهش در دمای گازهای خروجی مشاهده شد. استفاده از ترکیب $B10E4+EGR20+TiO_260$ سطوح دمایی تقریباً برابری با دیزل خالص ایجاد کرد.

آلاینده‌های نیتروژن (NO_x)

شکل‌های 20 تا 23 روند تغییرات انتشار آلاینده NO_x در شرایط متفاوت استفاده از EGR و TiO_2 را برای ترکیب‌های تهیه شده در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد. در تمامی ترکیب‌های آماده شده، مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت، آلاینده NO_x کاهش می‌یابد. آلاینده NO_x بستگی زیادی به دمای محفظه احتراق دارد [55-57]. در شکل 20 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد بیودیزل در ترکیب، میزان انتشار NO_x افزایش می‌یابد. ترکیب‌های $B10E0$ و $B20E0$ به‌طور میانگین $4/3$ و 17 درصد، میزان انتشار NO_x را در سرعت‌های مورد مطالعه، نسبت به $D100$ افزایش دادند. افزایش درصد اتانول در ترکیب، موجب کاهش آلاینده NO_x نسبت به دیزل خالص شد. گرمای نهان تبخیر بالاتر و عدد ستان پایین‌تر و همچنین ارزش حرارتی پایین‌تر اتانول نسبت به دیزل که باعث کاهش دمای محفظه احتراق می‌شوند، می‌تواند دلیل کاهش آلاینده NO_x با افزایش درصد اتانول در مخلوط باشد [35، 36]. ترکیب‌های $B0E4$ و $B0E6$ به‌طور میانگین $5/5$ و $13/6$ درصد، انتشار NO_x را نسبت به دیزل خالص کاهش دادند. ترکیب $B10E4$ مقادیر تقریباً برابری با دیزل خالص در انتشار آلاینده NO_x به ثبت رسانید. نتایج مطالعات هانگ و همکارانش نیز نشان داد که افزایش درصد اتانول در ترکیب، باعث کاهش میزان انتشار آلاینده نیتروژن اکسید خواهد شد [35]. در شکل 21 مشاهده می‌شود که در ترکیب‌های آماده شده با افزایش درصد EGR، آلاینده NO_x کاهش می‌یابد. کاهش دمای محفظه احتراق و همچنین کاهش غلظت اکسیژن می‌تواند از دلایل اصلی کاهش NO_x با استفاده از سیستم EGR باشد [53]. استفاده از ترکیب $B0E6+EGR30$ به‌طور میانگین $27/8$ درصد، انتشار NO_x را نسبت به $D100$ کاهش داد که کمترین میزان آلاینده NO_x در میان ترکیب‌های تهیه شده، را دارد. استفاده از ترکیب $B10E4+EGR30$ نیز آلاینده NO_x را نسبت به $D100$ به‌طور میانگین $18/7$ درصد در سرعت‌های مورد مطالعه کاهش داد.

در شکل 22 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد TiO_2 در ترکیب، آلاینده NO_x ، افزایش می‌یابد. بیشینه مقدار NO_x برای مخلوط $B20E0+TiO_260$ به ثبت رسید که در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب $23/4$ ، $33/4$ و $39/4$ درصد، انتشار این آلاینده را افزایش داد. استفاده از ترکیب $B10E4+TiO_260$ در سرعت‌های مختلف نسبت به $D100$ به‌طور میانگین $6/6$ درصد و نسبت به ترکیب $B10E4+TiO_240$ ، $5/1$ درصد میزان انتشار NO_x را افزایش داد. با افزایش درصد TiO_2 در ترکیب، تعداد اتم‌های اکسیژن بیشتری برای واکنش با اتم‌های نیتروژن در محفظه احتراق در دسترس است و همچنین دما و فشار داخل محفظه احتراق افزایش می‌یابد که می‌تواند از دلایل اصلی افزایش آلاینده NO_x باشد [58، 59].

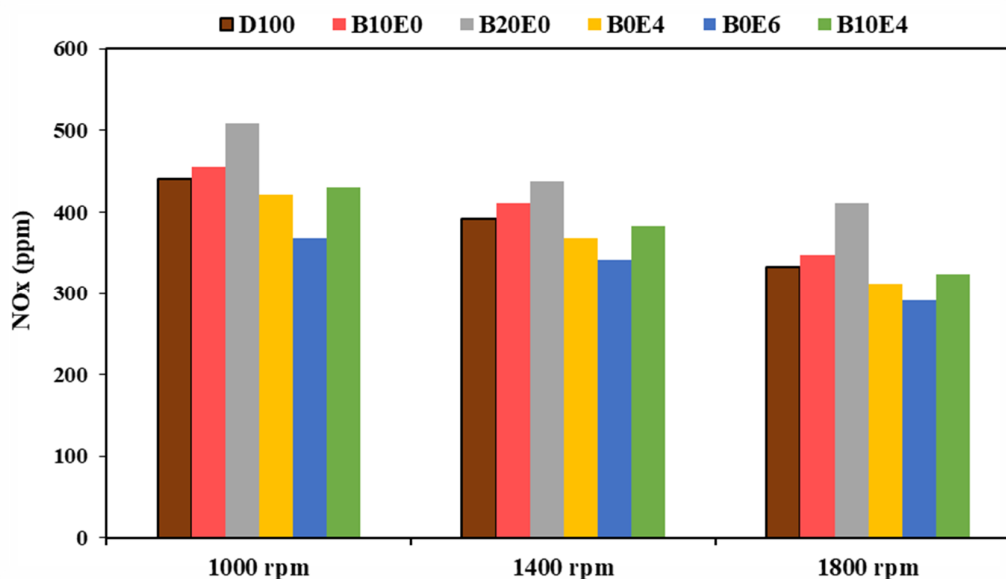


Figure 20- Variation of NO_x for diesel / ethanol / biodiesel blends at various engine speeds

شکل 20- تغییرات آلاینده NO_x برای ترکیب‌های دیزل / اتانول / بیودیزل در سرعت‌های متفاوت

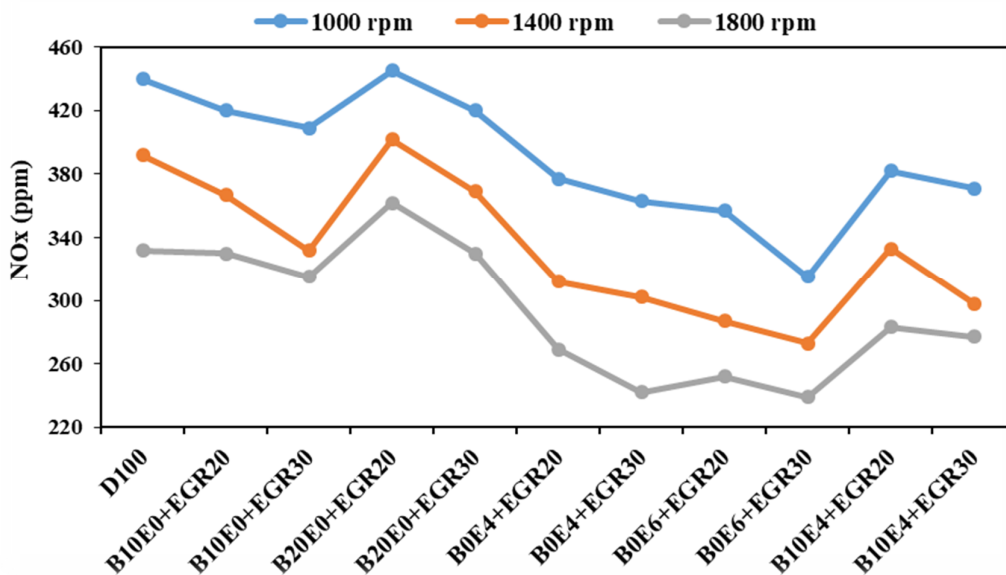


Figure 21- Variation of NO_x for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20, 30% and various engine speeds

شکل 21- تغییرات NO_x برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = ۲۰، ۳۰٪ و سرعت‌های متفاوت

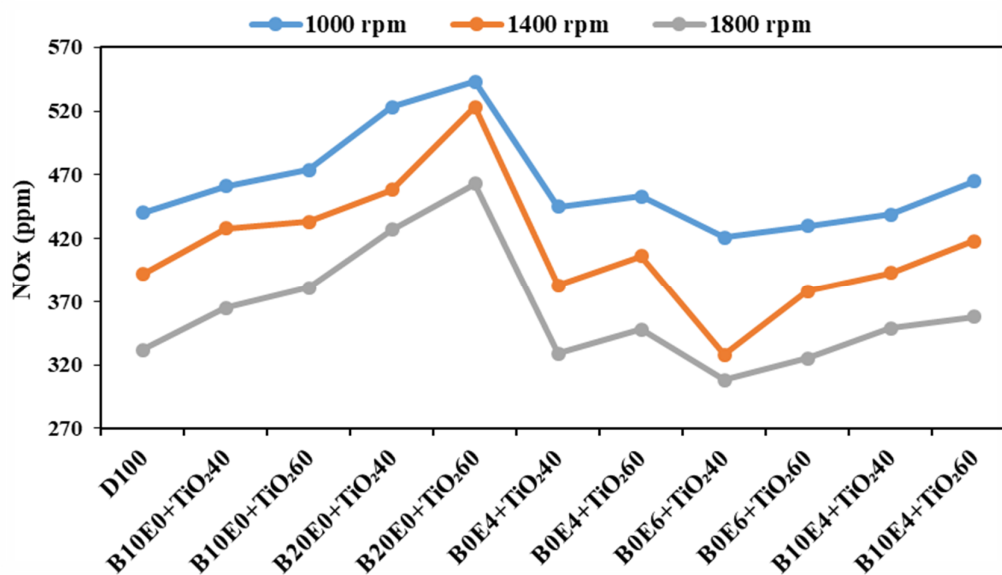


Figure 22- Variation of NO_x for diesel / ethanol / biodiesel blends at TiO₂ = 40, 60 ppm and various engine speeds

شکل 22- تغییرات NO_x برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در TiO₂ = 40 ، 60 ppm و سرعت‌های متفاوت

روند تغییرات انتشار NO_x در استفاده همزمان از سیستم EGR و نانوذرات TiO₂ برای ترکیب‌های تهیه شده، در شکل 23 آورده شده است. ترکیب B20E0+EGR20+TiO₂60 به‌طور میانگین 18/1 درصد انتشار NO_x را نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش، افزایش داد که بیشترین مقدار NO_x در میان نمونه‌های مورد مطالعه است. همچنین کمترین میزان انتشار NO_x نسبت به D100 برای ترکیب B0E6+EGR20+TiO₂60 با 17/4 درصد کاهش به ثبت رسیده است.

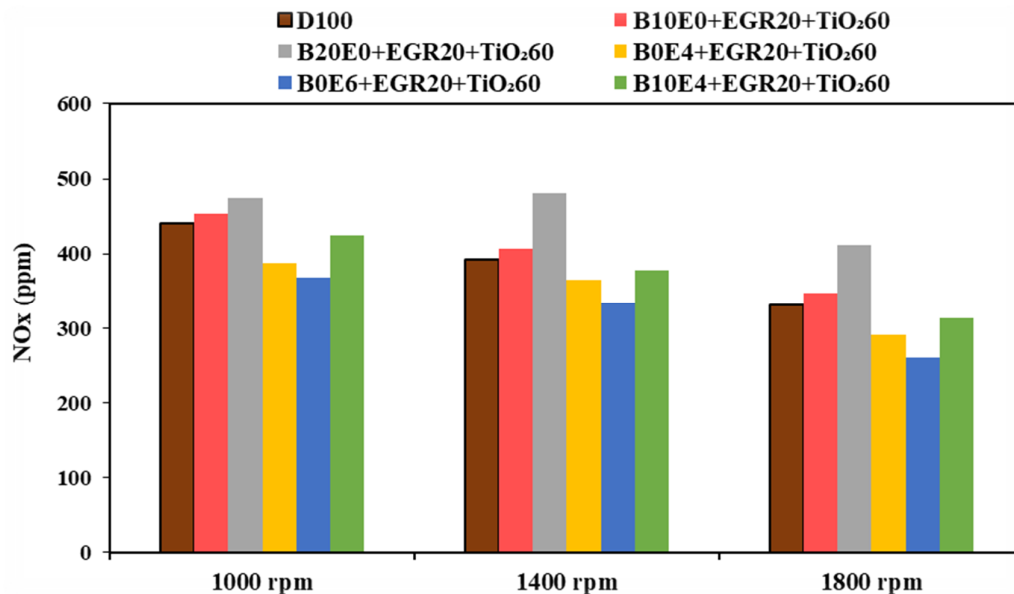


Figure 23- Variation of NO_x for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR=20%, TiO₂ = 60 ppm and various engine speeds

شکل 23- تغییرات NO_x برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = 20% ، TiO₂ = 60ppm و سرعت‌های متفاوت

آلاینده مونوکسید کربن (CO)

شکل‌های 24 تا 27 روند تغییرات آلاینده CO را برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل، در شرایط متفاوت استفاده از افزودنی TiO₂ و سیستم EGR نشان می‌دهد. CO گازی سمی، بی‌بو، بی‌رنگ و بی‌مزه است که به دلیل احتراق ناقص پدید می‌آید [60، 61]. در شکل 24 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد بیودیزل و اتانول در ترکیب، آلاینده CO نسبت به دیزل خالص کاهش می‌یابد. همچنین در نمونه‌های تهیه شده با افزایش سرعت، مقدار CO کاهش می‌یابد که این می‌تواند در نتیجه بهبود نسبت هوا به سوخت و احتراق کامل باشد. بیشترین میزان انتشار CO برای دیزل خالص و در سرعت 1000 rpm ثبت شده است. ترکیب B10E4 به‌طور متوسط 18/5 درصد میزان انتشار آلاینده CO را در سرعت‌های مورد مطالعه نسبت به دیزل خالص کاهش داد. مطالعات هانگ و همکاران نیز نشان داد که در شرایط کارکردی متفاوت با افزایش درصد اتانول در ترکیب، میزان انتشار آلاینده CO تا 40 درصد نسبت به دیزل خالص کاهش می‌یابد [35]، همچنین نتایج تحقیقات آلتایی و همکاران نشان دادند که با افزایش درصد بیودیزل در ترکیب، انتشار CO به‌میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [32].

در شکل 25 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد EGR در ترکیب، انتشار CO افزایش می‌یابد که می‌تواند در نتیجه احتراق ناقص باشد [62]. به‌گونه‌ای که ترکیب B10E0+EGR30 نسبت به ترکیب B10E0+EGR20 به‌طور متوسط 7 درصد، میزان انتشار CO را در سرعت‌های مورد آزمایش افزایش داد. همچنین استفاده از ترکیب B10E4+EGR20 در مقایسه با ترکیب B10E4+EGR30 به‌طور متوسط 6/8 درصد میزان انتشار CO را کاهش داد.

تأثیر افزودن TiO₂ به نمونه سوخت‌های تهیه شده، بر روی انتشار CO در شکل 26 آورده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش درصد TiO₂ در ترکیب، انتشار CO کاهش می‌یابد. افزودن TiO₂ در ترکیب با افزایش سطح واکنش و اختلاط بهتر سوخت و هوا، به احتراق کامل کمک می‌کند که می‌تواند دلیل اصلی کاهش CO باشد [49، 54، 63]. نتایج مطالعات نانتاگوپال

و همکاران نیز نشان دادند که با افزایش درصد نانوافزودنی در ترکیب میزان انتشار آلاینده CO کاهش می‌یابد [54]. استفاده از ترکیب B10E4+TiO₂60 کمترین میزان انتشار CO را در سرعت‌های مورد آزمایش ثبت کرد. به‌گونه‌ای که به‌طور میانگین این ترکیب نسبت به دیزل خالص، 32/5 درصد و نسبت به ترکیب B10E4+TiO₂40، 7/4 درصد انتشار CO را کاهش داد. تاثیر استفاده همزمان از سیستم EGR و نانوذرات TiO₂ در مخلوط‌های مختلف بر میزان انتشار CO در شکل 27 آورده شده است. مشاهده می‌شود که استفاده از ترکیب B10E4+EGR20+TiO₂60 در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm آلاینده CO را به ترتیب 16، 19/4 و 20/3 درصد نسبت به دیزل خالص کاهش می‌دهد.

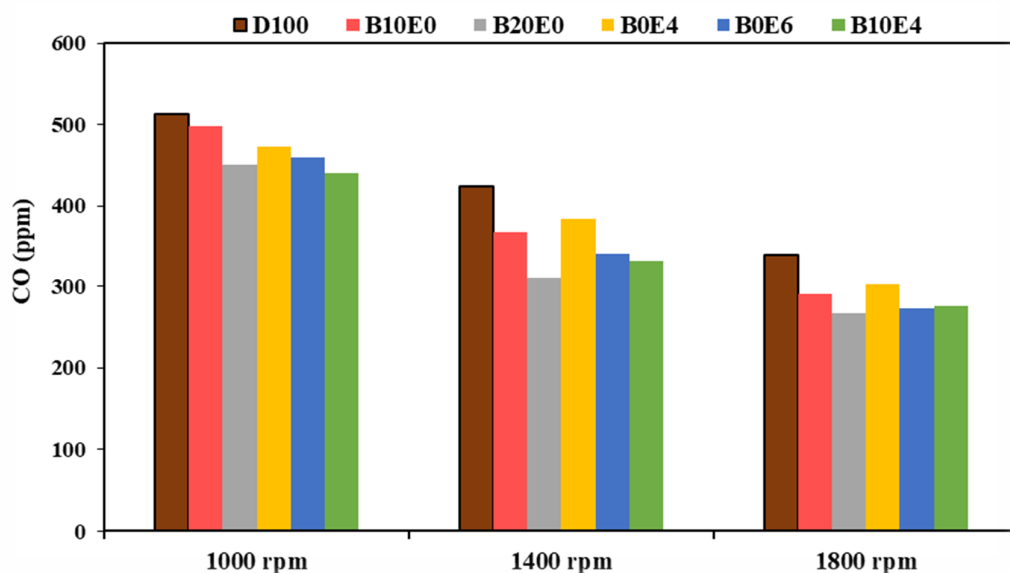


Figure 24- Variation of CO for diesel / ethanol / biodiesel blends at various engine speeds

شکل 24- تغییرات CO برای ترکیب‌های دیزل / اتانول / بیودیزل در سرعت‌های متفاوت

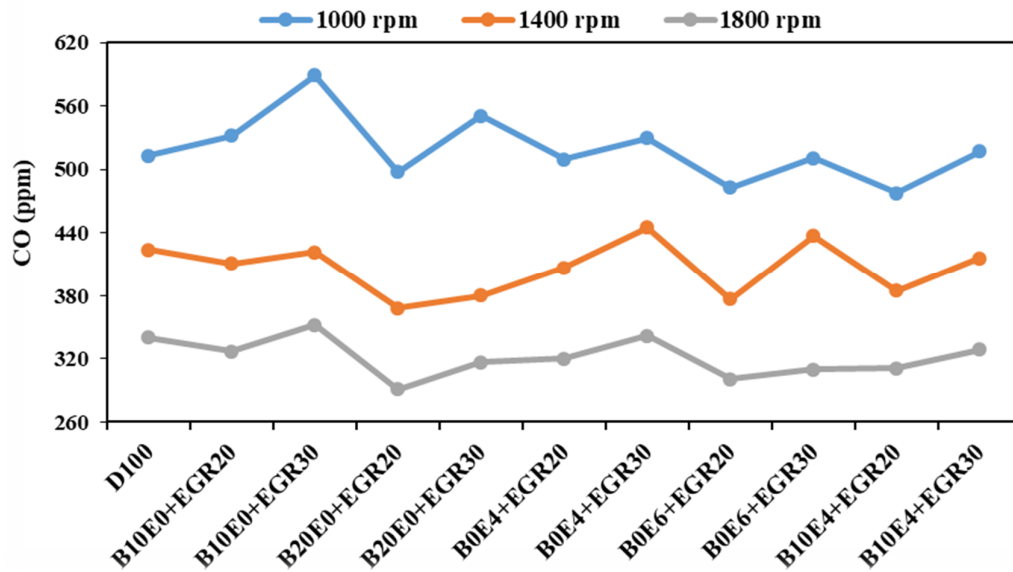


Figure 25- Variation of CO for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20, 30% and various engine speeds
 شکل 25- تغییرات CO برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در ۲۰، ۳۰٪ EGR و سرعت‌های متفاوت

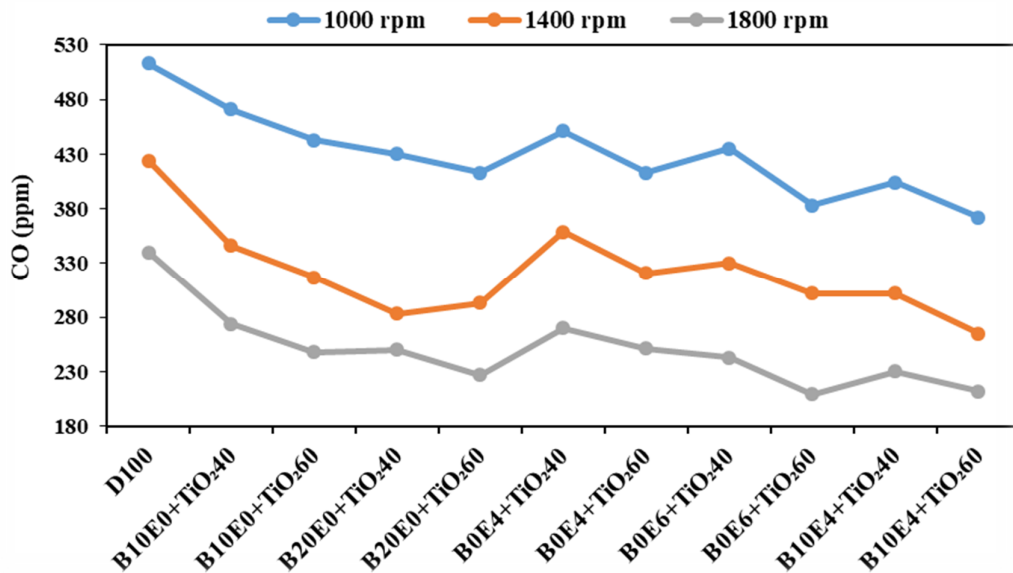


Figure 26- Variation of CO for diesel / ethanol / biodiesel blends at TiO2 = 40, 60 ppm and various engine speeds
 شکل 26- تغییرات آلاینده CO برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در 40، 60 ppm TiO2 و سرعت‌های متفاوت

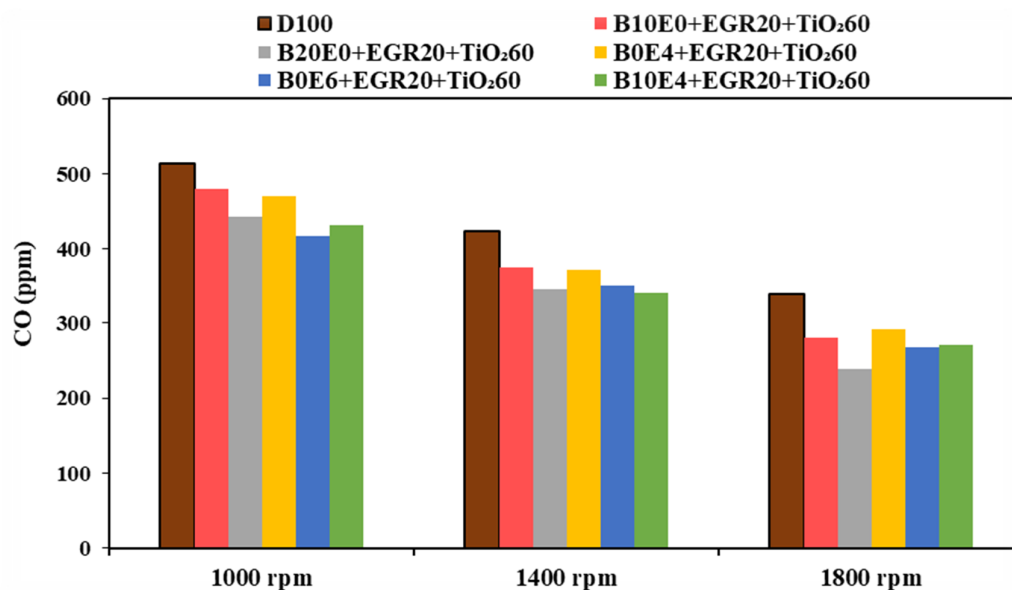


Figure 27- Variation of CO for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR=20%, TiO₂ = 60 ppm and various engine speeds

شکل 27- تغییرات CO برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = 20%، TiO₂ = 60ppm و سرعت‌های متفاوت

آلاینده دی‌اکسید کربن (CO₂)

روند تغییرات CO₂ برای ترکیب‌های دیزل/اتانول/بیودیزل و در شرایط متفاوت استفاده از EGR و TiO₂ در شکل‌های 28 تا 31 آورده شده است. مشاهده می‌شود که در همه ترکیب‌های آماده شده، با افزایش سرعت، انتشار CO₂ افزایش می‌یابد که اختلاط بهتر سوخت و هوا و احتراق کامل‌تر می‌تواند دلیل این امر باشد. در شکل 28 مشاهده می‌شود که در ترکیب‌های آماده شده از اتانول و بیودیزل، انتشار CO₂ نسبت به دیزل خالص کاهش می‌یابد. بیودیزل و اتانول هر دو نسبت کربن به هیدروژن پایین‌تری در مقایسه با دیزل خالص دارند، که این امر می‌تواند دلیل اصلی کاهش میزان CO₂ با استفاده از بیودیزل و اتانول باشد [64]. البته افزایش درصد اتانول و بیودیزل در ترکیب باعث افزایش انتشار CO₂ گردید که در نتیجه بهبود فرآیند احتراق است. مخلوط B10E4 نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 31/5، 12 و 10 درصد، مقدار CO₂ را کاهش داد.

در شکل 29 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد EGR، انتشار CO₂ افزایش می‌یابد که دلیل آن افزایش غلظت CO₂ در هوای ورودی است [66]. مخلوط B20E0+EGR30 در مقایسه با دیزل خالص، به‌طور میانگین 8/4 درصد CO₂ را در سرعت‌های مورد مطالعه، افزایش داد.

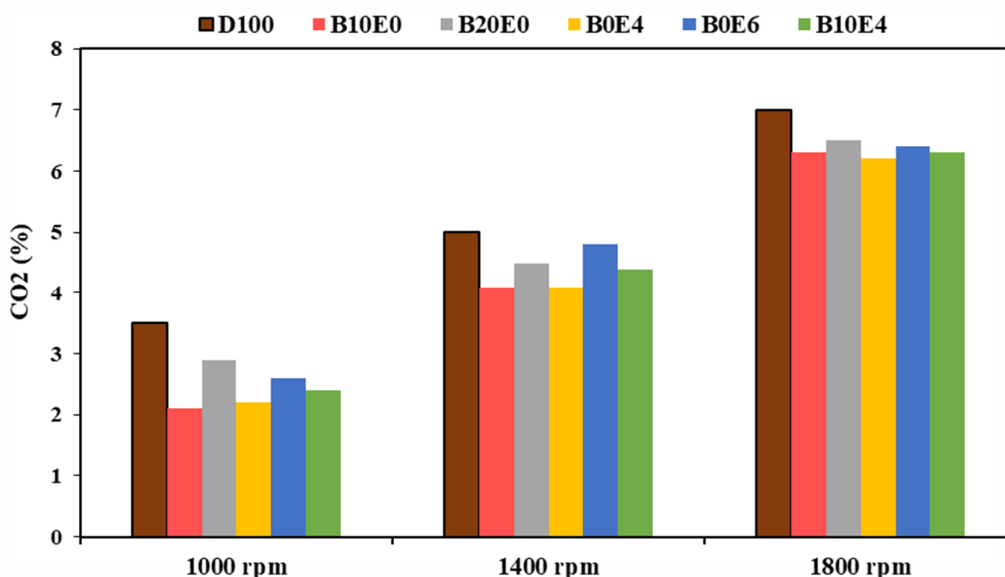


Figure 28- Variation of CO₂ for diesel / ethanol / biodiesel blends at various engine speeds

شکل 28- تغییرات CO₂ برای ترکیب‌های دیزل / اتانول / بیودیزل در سرعت‌های متفاوت

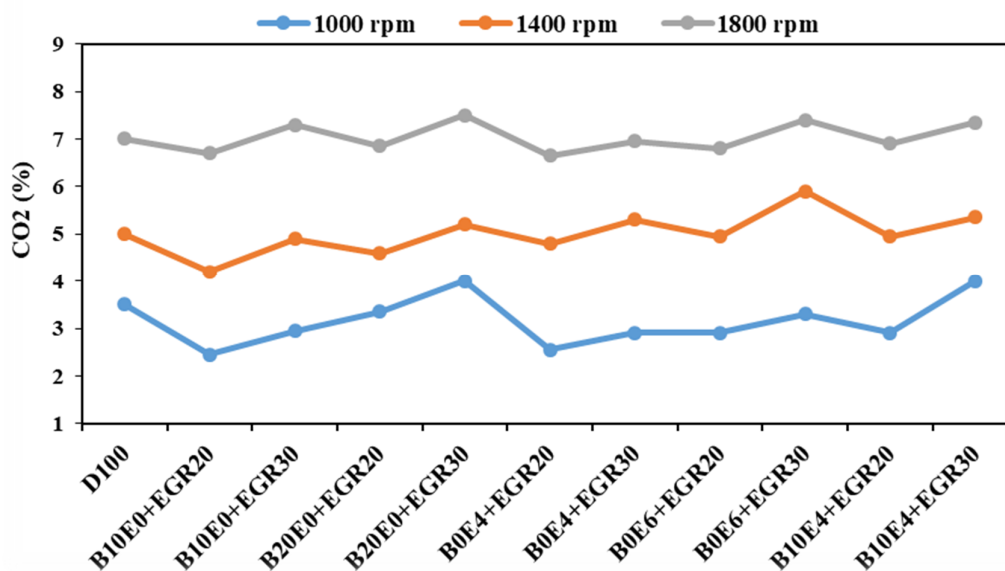


Figure 29- Variation of CO₂ for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20, 30% and various engine speeds

شکل 29- تغییرات CO₂ برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = ۲۰، ۳۰٪ و سرعت‌های متفاوت

تأثیر افزودن درصدهای مختلف TiO_2 به ترکیب‌های آماده شده از دیزل/ اتانول/ بیودیزل در انتشار CO_2 به‌ازای سرعت‌های مختلف، در شکل 30 آورده شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد TiO_2 در ترکیب، انتشار CO_2 نیز افزایش می‌یابد که بهبود فرایند احتراق در نتیجه افزودن TiO_2 ، می‌تواند دلیل اصلی این امر باشد [67]. همچنین استفاده از ترکیب $B20E0+TiO_260$ در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 17/1، 28 و 11/4 درصد، انتشار CO_2 را درمقایسه با دیزل خالص افزایش داد که بیشترین میزان افزایش در بین ترکیب‌های مورد مطالعه بود.

در شکل 31 تأثیر استفاده همزمان از EGR و TiO_2 بر انتشار CO_2 در سوخت‌های تهیه شده از دیزل/ اتانول/ بیودیزل به‌ازای سرعت‌های مختلف آورده شده است. بیشترین میزان انتشار CO_2 نسبت به دیزل خالص برای ترکیب $B20E0+EGR20+TiO_260$ مشاهده شد که در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 22/8، 34 و 14/2 درصد، CO_2 را افزایش داد. همچنین استفاده از ترکیب $B10E4+EGR20+TiO_260$ در سرعت‌های مورد آزمایش، به‌طور میانگین 8/8 درصد، انتشار CO_2 را نسبت به دیزل خالص افزایش داد.

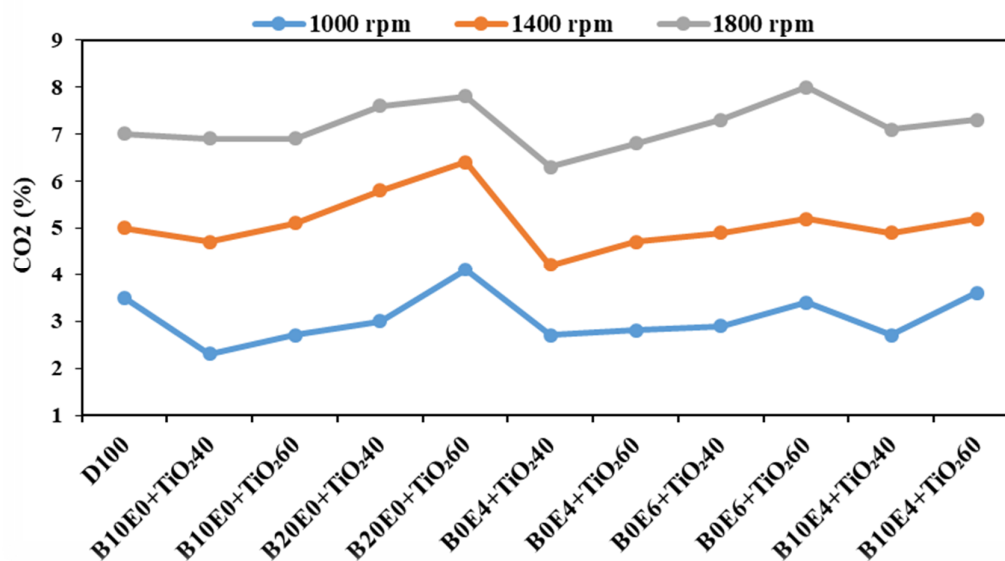


Figure 30- Variation of CO_2 for diesel / ethanol / biodiesel blends at $TiO_2 = 40, 60$ ppm and various engine speeds
 شکل 30- تغییرات CO_2 برای ترکیب‌های مختلف دیزل/ اتانول/ بیودیزل در $TiO_2 = 40, 60$ ppm و سرعت‌های متفاوت

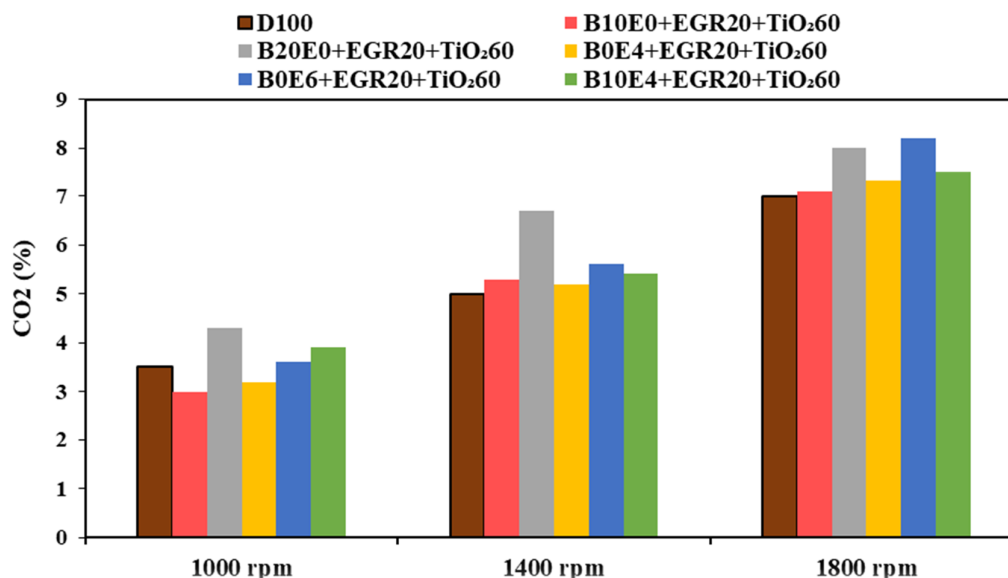


Figure 31- Variation of CO₂ for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR=20%, TiO₂ = 60 ppm and various engine speeds
 شکل 31- تغییرات CO₂ برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = 20% ، TiO₂ = 60ppm و سرعت‌های متفاوت

آلاینده هیدروکربن (HC)

شکل‌های 32 تا 35 تغییرات آلاینده HC در سرعت‌های مورد آزمایش را برای مخلوط‌های آماده شده از دیزل / اتانول / بیودیزل، در شرایط متفاوت استفاده از افزودنی TiO₂ و سیستم EGR نشان می‌دهد. در تمامی مخلوط‌های آماده شده، با افزایش سرعت، آلاینده HC کاهش می‌یابد که در نتیجه بهبود فرآیند احتراق است [68].

در شکل 32 مشاهده می‌شود که افزودن اتانول و بیودیزل به سوخت، باعث کاهش آلاینده HC شده است. محتوای اکسیژن بالاتر بیودیزل و اتانول نسبت به دیزل خالص که سبب بهبود فرآیند احتراق می‌شود و همچنین نسبت کربن به هیدروژن پایین‌تر بیودیزل و اتانول در مقایسه با دیزل خالص، می‌تواند از دلایل اصلی آن باشد. استفاده از ترکیب B0E6 در مقایسه با دیزل خالص به‌طور میانگین 29/7 درصد و در مقایسه با B0E4 در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 18/5، 19/5 و 14/3 درصد، انتشار HC را کاهش داد.

در شکل 33 مشاهده می‌شود که با افزایش درصد EGR، آلاینده HC افزایش می‌یابد. کمبود محتوای اکسیژن در هوای ورودی و ایجاد احتراق ناقص می‌تواند دلیل اصلی افزایش آلاینده HC باشد [69، 70]. ترکیب B10E0+EGR30 نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 4/3، 5/7 و 8 درصد، انتشار HC را افزایش داد و بیشترین میزان انتشار را در بین مخلوط‌های تهیه شده، ثبت نمود. روند مشابهی در میزان انتشار HC با استفاده از سیستم EGR در تحقیقات کومار و همکاران مشاهده شد [22].

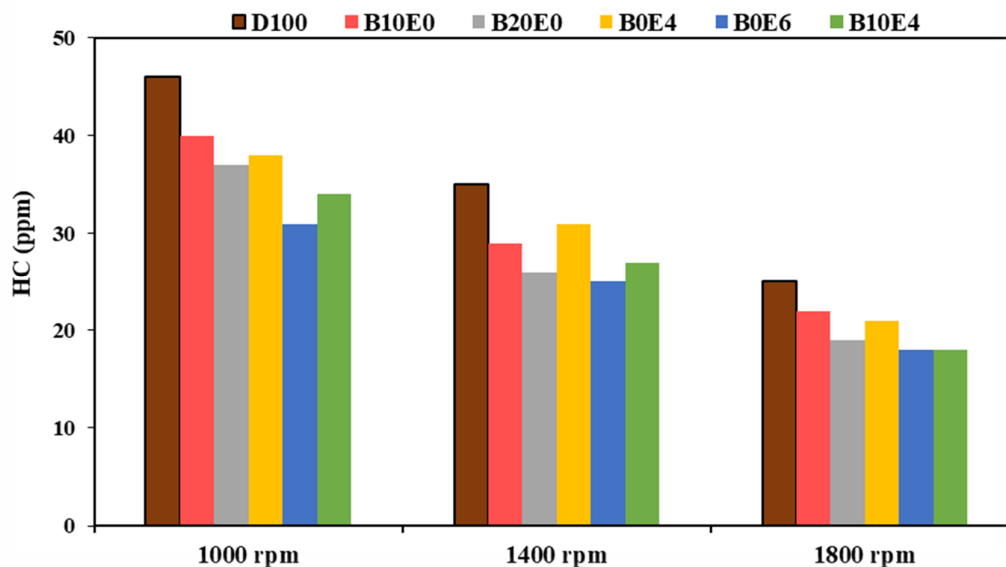


Figure 32- Variation of HC for diesel / ethanol / biodiesel blends at various engine speeds

شکل 32- تغییرات HC برای ترکیب‌های دیزل / اتانول / بیودیزل در سرعت‌های متفاوت

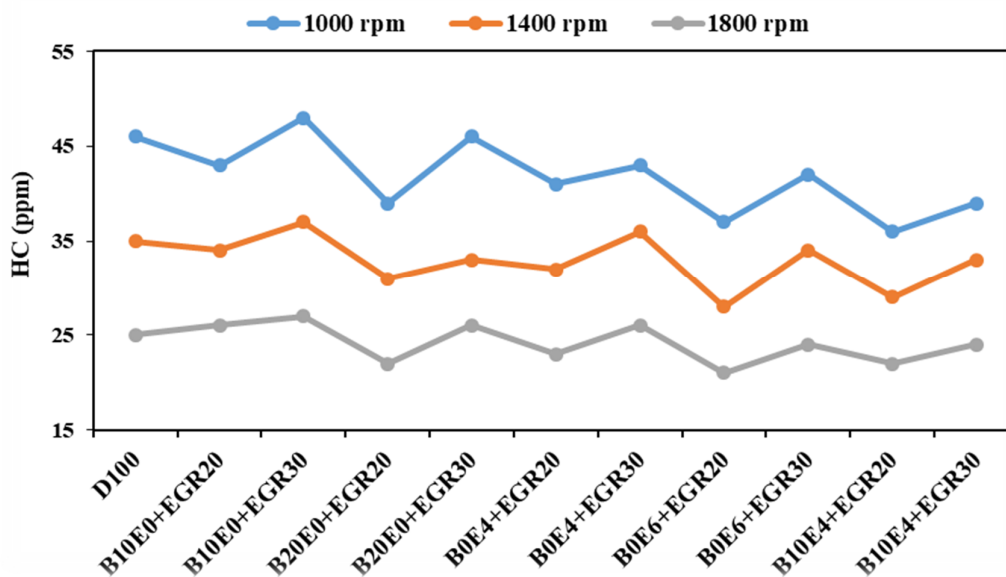


Figure 33- Variation of HC for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR = 20, 30% and various engine speeds

شکل 33- تغییرات HC برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = ۲۰، ۳۰٪ و سرعت‌های متفاوت

تاثیر افزودن TiO_2 در مقادیر 40 و 60 ppm به ترکیب‌های سوخت تهیه شده از دیزل/ اتانول/ بیودیزل بر میزان انتشار آلاینده HC در شکل 34 آورده شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد TiO_2 ، آلاینده HC کاهش می‌یابد. دسترسی به محتوای اکسیژن بالاتر با افزایش درصد TiO_2 می‌تواند دلیل اصلی این امر باشد [71، 72]. مشاهده می‌شود که استفاده از ترکیب B10E0+ TiO_2 60، آلاینده HC را در سرعت‌های مختلف، به‌طور میانگین 23/6 درصد نسبت به دیزل خالص کاهش می‌دهد. همچنین ترکیب B10E4+ TiO_2 60 در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 31، 32/5 و 40 درصد انتشار HC را نسبت به دیزل خالص کاهش داد. تحقیقات ساریکوس و همکاران نیز نشان دادند که با افزایش درصد TiO_2 در ترکیب، میزان انتشار HC تا 42 درصد کاهش می‌یابد [40].

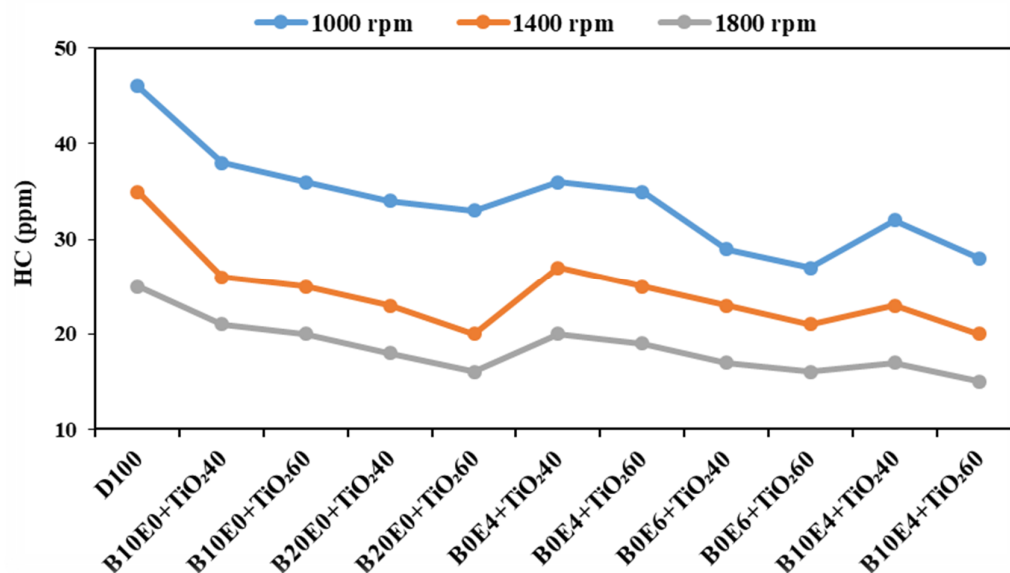


Figure 34- Variation of HC for diesel / ethanol / biodiesel blends at $TiO_2 = 40, 60$ ppm and various engine speeds

شکل 34- تغییرات HC برای ترکیب‌های مختلف دیزل/ اتانول/ بیودیزل در $TiO_2 = 40, 60$ ppm و سرعت‌های متفاوت

در شکل 35 تاثیر استفاده همزمان از EGR و TiO_2 بر انتشار آلاینده HC در ترکیب‌های تهیه شده از دیزل/ اتانول/ بیودیزل به‌ازای سرعت‌های مختلف آورده شده است. تمامی ترکیب‌های سوخت، آلاینده HC را نسبت به دیزل خالص کاهش دادند. بیشترین میزان کاهش آلاینده HC نسبت به دیزل خالص در ترکیب B10E4+EGR20+ TiO_2 60 مشاهده شد که در سرعت‌های 1000، 1400 و 1800 rpm به ترتیب 30/5، 31/4 و 40 درصد، انتشار HC را کاهش داد.

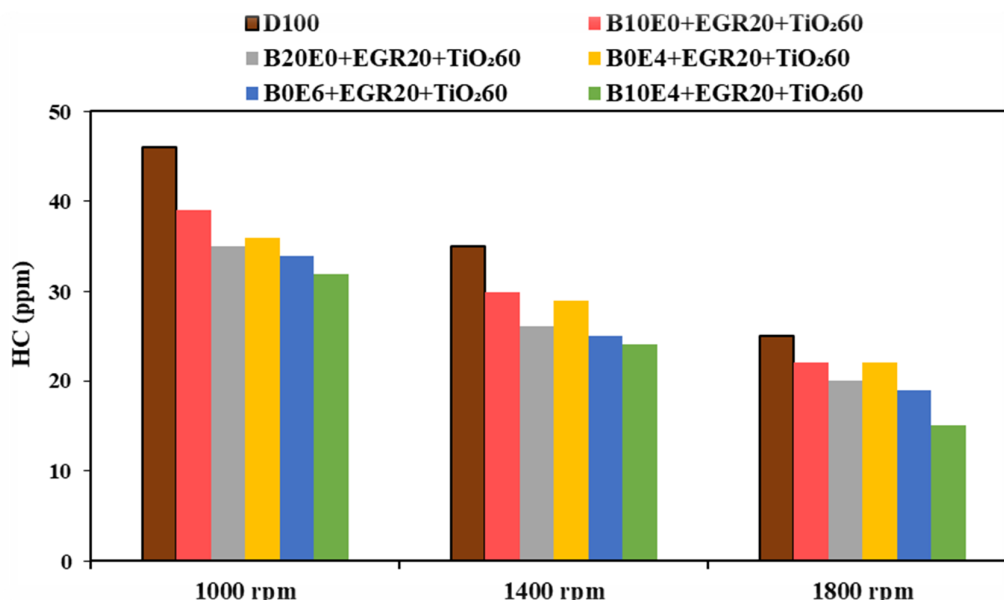


Figure 35- Variation of HC for diesel / ethanol / biodiesel blends at EGR=20%, TiO₂ = 60 ppm and various engine speeds

شکل 35- تغییرات HC برای ترکیب‌های مختلف دیزل / اتانول / بیودیزل در EGR = 20%، TiO₂ = 60ppm و سرعت‌های متفاوت

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به صورت تجربی به بررسی پارامترهای عملکردی و آلاینده‌گی یک موتور دیزل پاشش مستقیم با به‌کارگیری سطوح مختلف نانوذرات TiO₂ و EGR در ترکیب‌های آماده شده از دیزل / اتانول / بیودیزل پرداخته شده است. مهم‌ترین نتایج عبارت‌اند از:

- 1- با افزایش نرخ EGR و افزایش درصد اتانول و بیودیزل در مخلوط، سطح کلی توان و گشتاور کاهش پیدا کرد درحالی‌که با افزایش درصد TiO₂ در مخلوط، مقدار توان و گشتاور افزایش یافت.
- 2- مصرف سوخت ویژه ترمزی با افزایش نرخ EGR و همچنین افزایش درصد اتانول و بیودیزل در مخلوط، افزایش یافت. در صورتی‌که با افزایش درصد TiO₂ در مخلوط، مقدار مصرف سوخت کاهش یافت.
- 3- افزایش نرخ EGR و افزایش درصد اتانول در مخلوط، باعث کاهش دمای گازهای خروجی گردید در صورتی‌که افزایش درصد بیودیزل و TiO₂ در مخلوط، دمای گازهای خروجی را افزایش داد.
- 4- میزان آلاینده‌های HC و CO با افزایش نرخ EGR، افزایش یافت در صورتی‌که افزودن نانوذرات، و نیز افزایش درصد حجمی بیودیزل و اتانول در ترکیب، مقادیر این آلاینده‌ها را کاهش داد.
- 5- انتشار آلاینده NO_x با افزایش درصد بیودیزل و TiO₂ افزایش یافت. درحالی‌که افزایش نرخ EGR و افزایش درصد اتانول در نمونه‌های تهیه شده، انتشار این آلاینده را کاهش داد.
- 6- با افزایش درصد اتانول، بیودیزل، TiO₂ و نیز افزایش نرخ EGR در مخلوط‌های سوخت، انتشار آلاینده CO، افزایش یافت.

7- استفاده از ترکیب B10E4+EGR20+TiO₂60 نسبت به دیزل خالص، میزان انتشار آلاینده‌های HC، CO و NO_x را به ترتیب تا 40، 20/3 و 5/8 درصد کاهش داد. همچنین مقادیر توان و گشتاور نزدیکی به دیزل خالص ایجاد شد و فقط مصرف سوخت به‌طور میانگین 3 درصد افزایش یافت.

منابع

1. J. Han, L. Somers, R. Cracknell, A. Joedicke, R. Wardle, and V. R. R. Mohan, "Experimental investigation of ethanol/diesel dual-fuel combustion in a heavy-duty diesel engine," *Fuel*, 275, 2020, 117867.
2. Wu, Yangyi, Xiyuan Zhang, Zhao Zhang, Xichang Wang, Zhenlong Geng, Chao Jin, Haifeng Liu, and Mingfa Yao, "Effects of diesel-ethanol-THF blend fuel on the performance and exhaust emissions on a heavy-duty diesel engine," *Fuel*, 271, 2020, 117633.
3. M. K. Yesilyurt, "The effects of the fuel injection pressure on the performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with waste cooking oil biodiesel-diesel blends," *Renew. Energy*, 132, 2019, pp. 649-666.
4. E. Rajasekar, and S. Selvi, "Review of combustion characteristics of CI engines fueled with biodiesel," *Renew. Sustain. Energy Rev*, 35, 2014, pp. 390-399.
5. H. K. Suh, and C. S. Lee, "A review on atomization and exhaust emissions of a biodiesel-fueled compression ignition engine," *Renew. Sustain. Energy Rev*, 58, 2016, pp. 1601-1620.
6. S. K. Hoekman, A. Broch, C. Robbins, E. Ceniceros, and M. Natarajan, "Review of biodiesel composition, properties, and specifications," *Renew. Sustain. Energy Rev*, 16, 2012, pp. 143-169.
7. R. F. A. J. Association, "Ethanol industry outlook," 2010, pp. 1-32.
8. Y. Çelebi and H. Aydın, "An overview on the light alcohol fuels in diesel engines," *Fuel*, 236, 2019, pp. 890-911.
9. H. Kim, B. Choi, S. Park, and Y.-K. Kim, "Engine performance and emission characteristics of CRDI diesel engine equipped with WCC and DOC using ethanol blended diesel fuel," in *International Symposia on Alcohol Fuels*, San Diego, 2005.
10. W. M. Yang, H. An, S. K. Chou, K. J. Chua, B. Mohan, V. Sivasankaralingam, V. Raman, A. Maghbouli, and J. Li, "Impact of emulsion fuel with nano-organic additives on the performance of diesel engine," *Appl. Energy*, 112, 2013, pp. 1206-1212.
11. M. Nye and P. Southwell, "Conversion of rapeseed oil to esters for use as diesel fuel," in *Proc. 5th Canadian Bioenergy Res. and Develop. Seminar*, 1984, pp. 487-490.
12. M. P. Dorado, E. Ballesteros, J. Arnal, J. Gomez, and F. J. Lopez, "Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil," *Fuel*, 82, 2003, pp. 1311-1315.
13. A. Uyumaz, "Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with mustard oil biodiesel fuel blends at different engine loads," *Indian J. Eng. Mater. Sci*, 212, 2018, pp. 256-267.
14. H. Y. Kim, J. C. Ge, and N. J. Choi, "Effects of Ethanol-Diesel on the Combustion and Emissions from a Diesel Engine at a Low Idle Speed," *Fuel*, 10, 2020, 4153.
15. Q. Wu, X. Xie, Y. Wang, and T. Roskilly, "Effect of carbon coated aluminum nanoparticles as additive to biodiesel-diesel blends on performance and emission characteristics of diesel engine," *Fuel*, 221, 2018, pp. 597-604.
16. A. Ahmed, A. N. Shah, A. Azam, G. M. Uddin, M. S. Ali, S. Hassan, H. Ahmed, and T. Aslam, "Environment-friendly novel fuel additives: Investigation of the effects of graphite nanoparticles on performance and regulated gaseous emissions of CI engine," *Heat Mass Transf*, 211, 2020, 112748.
17. M. Aldhaidhawi, R. Chiriac, V. Bădescu, G. Descombes, and P. Podevin, "Investigation on the mixture formation, combustion characteristics and performance of a Diesel engine fueled with Diesel, Biodiesel B20 and hydrogen addition," *Fuel*, 42, 2017, pp. 16793-16807.
18. V. Arul Mozhi Selvan, R. Anand, and M. Udayakumar, "Effect of Cerium Oxide Nanoparticles and Carbon Nanotubes as fuel-borne additives in Diesterol blends on the performance, combustion and emission characteristics of a variable compression ratio engine," *Fuel*, 130, 2014, pp. 160-167.
19. H.-W. Wu, T.-T. Hsu, C.-M. Fan, P.-H. He, "Reduction of smoke, PM 2. 5, and NO_x of a diesel engine integrated with methanol steam reformer recovering waste heat and cooled EGR," *Energy Convers Manag*, 172, 2018, pp. 567-578.
20. M. Pan, Z. Zheng, R. Huang, X. Zhou, H. Huang, J. Pan, and Z. Chen, "Reduction in PM and NO_x of a diesel engine integrated with n-octanol fuel addition and exhaust gas recirculation," *Appl. Energy*, 187, 2019, 115946.
21. S. Karthikeyan, A. Elango, and A. Prathima, "Diesel engine performance and emission analysis using canola oil methyl ester with the nano sized zinc oxide particles," *Indian J. Eng. Mater. Sci*, 21, 2014, pp. 83-87.
22. S. Saravanan, "Effect of exhaust gas recirculation (EGR) on performance and emissions of a constant speed DI diesel engine fueled with pentanol/diesel blends," *Fuel*, 160, 2015, pp. 217-226.
23. N. Yilmaz and A. Atmanli, "Experimental assessment of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-1-pentanol blends," *Fuel*, 191, 2017, pp.190-197.

24. Y. Devarajan, D. B. Munuswamy, A. Mahalingam, and M. Transfer, "Investigation on behavior of diesel engine performance, emission, and combustion characteristics using nano-additive in neat biodiesel," *Heat Mass Transf*, 55, 2019, pp. 1641-1650.
25. M. F. Al-Dawody, A. A. Jazie, and H. Abbas, "Experimental and simulation study for the effect of waste cooking oil methyl ester blended with diesel fuel on the performance and emissions of diesel engine," *Alexandria Eng J*, 58, 2019, pp. 9-17.
26. A. Uyumaz, "Experimental evaluation of linseed oil biodiesel/diesel fuel blends on combustion, performance and emission characteristics in a DI diesel engine," *Fuel*, 267, 2020, 117150.
27. M. Lapuerta, O. Armas, and R. Garcia-Contreras, "Stability of diesel-bioethanol blends for use in diesel engines," *Fuel*, 86, 2007, pp. 1351-1357.
28. A. C. Hansen, Q. Zhang, and P. W. J. B. t. Lyne, "Ethanol-diesel fuel blends—a review," *Bioresource Technol*, 96, 2005, pp. 277-285.
29. C. Arcoumanis, C. Bae, R. Crookes, and E. Kinoshita, "The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review," *Fuel*, 87, 2008, pp. 1014-1030.
30. R. S. Baert, D. Beckman, and A. Veen, "Efficient EGR technology for future HD diesel engine emission targets," *SAE Transactions*, 108, 1999, pp. 381-393.
31. U. s. H. LOVOL Engines, The 1000 Series Engines Used For Genset, Part No. T76812896, 4 and 6 Cylinder Diesel Engines for Genset: 1004G, 1004TG, 1006TG1A, 1006TG2A, 1006TAG.
32. M. A. H. Altaie *et al.*, "Performance and exhaust emission characteristics of direct-injection diesel engine fueled with enriched biodiesel," *Energy Convers Manag*, 106, 2015, pp. 365-372.
33. I. R. Fattah, M. Kalam, H. Masjuki, and M. Wakil, "Biodiesel production, characterization, engine performance, and emission characteristics of Malaysian Alexandrian laurel oil," *RSC advances*, 4, 2014, pp. 17787-17796.
34. C. Kaplan, R. Arslan, and A. Sürmen, "Performance characteristics of sunflower methyl esters as biodiesel," *Energy Sources*, 28, 2006, pp. 751-755.
35. D. Rakopoulos, C. Rakopoulos, E. Kakaras, and E. Giakoumis, "Effects of ethanol-diesel fuel blends on the performance and exhaust emissions of heavy duty DI diesel engine," *Energy Convers Manag*, 49, 2008, pp. 3155-3162.
36. J. Huang, Y. Wang, S. Li, A. P. Roskilly, H. Yu, and H. Li, "Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends," *Appl Therm Eng*, 29, 2009, pp. 2484-2490.
37. V. Pirouzpanah and R. K. Sarai, "Reduction of emissions in an automotive direct injection diesel engine dual-fuelled with natural gas by using variable exhaust gas recirculation," *Proc Inst Mech Eng*, 217, 2003, pp. 719-725.
38. G. Kökkülünk, A. Parlak, V. Ayhan, I. Cesur, G. Gonca, and B. Boru, "Theoretical and experimental investigation of steam injected diesel engine with EGR," *Energy*, 74, 2014, pp. 331-339.
39. V. Saxena, N. Kumar, and V. K. Saxena, "A comprehensive review on combustion and stability aspects of metal nanoparticles and its additive effect on diesel and biodiesel fuelled CI engine," *Renew Sustain Energy Rev*, 70, 2017, pp. 563-588.
40. I. Örs, S. Sarikoç, A. Atabani, S. Ünalın, and S. Akansu, "The effects on performance, combustion and emission characteristics of DICI engine fuelled with TiO₂ nanoparticles addition in diesel/biodiesel/n-butanol blends," *Fuel*, 234, 2018, pp.177-188.
41. J. Xue, T. E. Grift, and A. Hansen, "Effect of biodiesel on engine performances and emissions," *Renew Sustain Energy Rev*, 15, 2011, pp.1098-1116.
42. C. Ilkilic, and R. Behçet, "The reduction of exhaust emissions from a diesel engine by using biodiesel blend," *Energy Source Part A*, 32, 2010, pp. 839-850.
43. S. Godiganur, C. S. Murthy, and R. Reddy, "6BTA 5.9 G2-1 Cummins engine performance and emission tests using methyl ester mahua (*Madhuca indica*) oil/diesel blends," *Renew Energy*, 34, 2009, pp. 2172-2177.
44. M. N. Nabi, A. Zare, F. M. Hossain, Z. D. Ristovski, and R. Brown, "Reductions in diesel emissions including PM and PN emissions with diesel-biodiesel blends," *J Clean Product*, 166, 2017, pp. 860-868.
45. M. Cetinkaya, Y. Ulusoy, Y. Tekin, F. Karaosmanoğlu, "Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel," *Energy Convers Manag*, 46, 2005, pp. 1279-1291.
46. L. Wei, C. Cheung, and Z. Ning, "Effects of biodiesel-ethanol and biodiesel-butanol blends on the combustion, performance and emissions of a diesel engine," *Energy*, 155, 2018, pp. 957-970.
47. S. Ahmed, M. H. Hassan, M. A. Kalam, S. A. Rahman, M. J. Abedin, and A. Shahir, "An experimental investigation of biodiesel production, characterization, engine performance, emission and noise of Brassica juncea methyl ester and its blends," *J Clean Product*, 79, 2014, pp. 74-81.
48. A. Praveen, G. L. N. Rao, and B. J. Balakrishna, "Performance and emission characteristics of a diesel engine using Calophyllum inophyllum biodiesel blends with TiO₂ nanoadditives and EGR," *Egypt J Pet.*, 27, 2018, pp. 731-738.
49. R. D'Silva, K. Binu, and T. Bhat, "Performance and Emission characteristics of a CI Engine fuelled with diesel and TiO₂ nanoparticles as fuel additive," *Mater Today: Proc*, 2, 2015, pp. 3728-3735.
50. K. Fangsuwannarak and K. J. A. j. o. a. s. Triratanasirichai, "Effect of metalloïd compound and bio-solution additives on biodiesel engine performance and exhaust emissions," *Am J Appl Sci*, 10, 2013, pp. 1201-1213.
51. W. Tutak, A. Jamrozik, M. Pyrc, and M. Sobiepański, "A comparative study of co-combustion process of diesel-ethanol and biodiesel-ethanol blends in the direct injection diesel engine," *Appl Therm Eng*, 117, 2017, pp. 155-163.

52. V. Gnanamoorthi and G. Devaradjane, "Effect of compression ratio on the performance, combustion and emission of DI diesel engine fueled with ethanol–Diesel blend," *J Energy Inst*, 88, 2015, pp. 19-26.
53. V. SinghYadav, S. Soni, and D. Sharma, "Performance and emission studies of direct injection CI engine in duel fuel mode (hydrogen-diesel) with EGR," *Int J Hydrog Energy*, 37, 2012, pp. 3807-3817.
54. K. Nanthagopal, B. Ashok, A. Tamilarasu, A. Johny, A. Mohan, "Influence on the effect of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles as an additive with Calophyllum inophyllum methyl ester in a CI engine," *Energy Convers Manag*, 146, 2017, pp. 8-19.
55. E. Buyukkaya, "Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics," *Fuel*, 89, 2010, pp. 3099-3105.
56. M. Zaharin, N. Abdullah, G. Najafi, H. Sharudin, T. Yusaf, "Effects of physicochemical properties of biodiesel fuel blends with alcohol on diesel engine performance and exhaust emissions: A review," *Renew Sustain Energy Rev*, 79, 2017, pp. 475-493.
57. S. A. Rahman, H. Masjuki, M. Kalam, M. Abedin, A. Sanjid, and M. Rahman, "Assessing idling effects on a compression ignition engine fueled with Jatropa and Palm biodiesel blends," *Renew Energy*, 68, 2014, pp. 644-650.
58. T. Selvan and G. Nagarajan, "Combustion and emission characteristics of a diesel engine fuelled with biodiesel having varying saturated fatty acid composition," *Int J Green Energy*, 10, 2013, pp. 952-965.
59. R. Egnell, "The influence of EGR on heat release rate and NO formation in a DI diesel engine," *SAE Technical Paper*, 2000.
60. H. Raheman, A. Phadatare, "Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel," *Biomass Bioenergy*, 27, 2004, pp. 393-397.
61. H. S. Pali, N. Kumar, Y. Alhassan, "Performance and emission characteristics of an agricultural diesel engine fueled with blends of Sal methyl esters and diesel," *Renew Energy*, 90, 2015, pp. 146-153.
62. D. Agarwal, S. K. Singh, and A. Agarwal, "Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance, emissions, deposits and durability of a constant speed compression ignition engine," *Appl Energy*, 88, 2011, pp. 2900-2907.
63. M. Tabatabaei, M. Ardjmand, A. Rashidi, B. Ghobadian, M. Barkhi, M. Pazouki, "A novel soluble nano-catalysts in diesel–biodiesel fuel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions," *Fuel*, 139, 2015, pp. 374-382.
64. G. Karavalakis, G. Deves, G. Fontaras, S. Stournas, Z. Samaras, and E. Bakeas, "The impact of soy-based biodiesel on PAH, nitro-PAH and oxy-PAH emissions from a passenger car operated over regulated and nonregulated driving cycles," *Fuel*, 89, 2010, pp. 3876-3883.
65. R. Chakraborty, A. K. Gupta, R. Chowdhury, "Conversion of slaughterhouse and poultry farm animal fats and wastes to biodiesel: Parametric sensitivity and fuel quality assessment," *Renew Sustain Energy Rev*, 29, 2014, pp. 120-134.
66. D. De Serio, A. de Oliveira, J. Sodr , "Effects of EGR rate on performance and emissions of a diesel power generator fueled by B7," *Renew Sustain Energy Review*, 39, 2017, pp. 1919-1927.
67. J. S. Basha and R. Anand, "An experimental study in a CI engine using nanoadditive blended water–diesel emulsion fuel," *Int J Green Energy*, 8, 2011, pp. 332-348.
68. [W.-G. Wang, D. W. Lyons, N. N. Clark, M. Gautam, P. Norton, "Emissions from nine heavy trucks fueled by diesel and biodiesel blend without engine modification," *Environ Sci Technol*, 34, 2000, pp. 933-939.
69. R. Kiplimo, E. Tomita, N. Kawahara, and S. Yokobe, "Effects of spray impingement, injection parameters, and EGR on the combustion and emission characteristics of a PCCI diesel engine," *Appl Therm Eng*, 37, 2012, pp. 165-175.
70. D. Kulandaivel, I. Rahamathullah, A. Sathiyagnanam, K. Gopal, and D. Damodharan, "Effect of retarded injection timing and EGR on performance, combustion and emission characteristics of a CRDi diesel engine fueled with WHDPE oil/diesel blends," *Fuel*, 278, 2020, 118304.
71. R. Vigneswaran, D. Balasubramanian, and B. S. Sastha, "Performance, emission and combustion characteristics of unmodified diesel engine with titanium dioxide (TiO₂) nano particle along with water-in-diesel emulsion fuel," *Fuel*, 285, 2021, 119115.
72. P. Gunasekar, S. Manigandan, N. Ilangovan, S. Nithya, J. Devipriya, and W. Saravanan, "Effect of TiO₂ and nozzle geometry on diesel emissions fuelled with biodiesel blends," *Fuel*, 40, 2019, pp. 477-481.

English Abstract

Influence of exhaust gas recirculation and TiO₂ nanoadditives on performance and exhaust emission characteristics of ethanol/biodiesel/diesel blends in a compression ignition engine

Abbas Zarenezhad Ashkezari^{1*}, Sadegh Pourtaghi Yousefdeh²

1- Ph.D. of Mechanical Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Assistant Professor, Imam Khomeini Marine Sciences University, a.zare@pgs.usb.ac.ir

2- MSc Student, Imam Khomeini Marine Sciences University, sadegh71151@gmail.com

*Corresponding author

(Received: 2021.08.08, Received in revised form 2021.10.02., Accepted: 2022.01.15)

In this study, the simultaneous effect of ethanol-biodiesel-diesel emulsion with TiO₂ nanoparticles in different EGRs on emission characteristics and performance of a direct injection diesel engine was investigated. TiO₂ nanoparticles at three levels of 0, 40 and 60 ppm were added to biodiesel produced from waste cooking oil at levels of 0, 10 and 20% and ethanol at levels of 0, 4 and 6% and an EGR system was used at rates of 0, 20 and 30 %. A total of 31 mixtures from biodiesel/diesel, ethanol/diesel and ethanol/biodiesel/diesel emulsions with TiO₂ nanoparticles and different percentages of EGR were tested at full load at speeds of 1000, 1400 and 1800 rpm. Briefly named with BxEy + EGRw + TiO₂z, that x, y, w, and z represent the biodiesel volume percentage, ethanol, EGR, and TiO₂ percentage used in the mixture, respectively. The results showed that the use of B10E4 + EGR20 + TiO₂60 reduced NO_x, CO and HC compared to pure diesel by 5.8, 20.3 and 40 percent, respectively. Also, the output power of B10E0 + TiO₂60 was improved by 11.2 percent compared to pure diesel. In addition, by using B10E4 + EGR30, fuel consumption increased by 26.7 percent compared to pure diesel.

Keywords: Nanoparticles, Exhaust gas recirculation, Biofuel, Experimental study