



بررسی آزمایشگاهی ترکیب حاصل از امولسیون‌های بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و اتانول-بیودیزل-دیزل بر روی عملکرد و آلایندگی موتورهای دیزلی پاشش مستقیم

عباس زارع نژاد اشکذری^{۱*}، صادق پورتنقی یوسفده^۲

^۱ استادیار، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، azarenezhad.a@gmail.com

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، sadegh71151@gmail.com

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۹ خرداد ۱۴۰۰

پذیرش: ۱۵ اسفند ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

بیودیزل

اتانول

موتور دیزل

آلایندگی

چکیده

در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی ترکیب حاصل از امولسیون‌های بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و اتانول-بیودیزل-دیزل بر روی عملکرد و آلایندگی یک موتور دیزلی پاشش مستقیم پرداخته شده است. اتانول با خلوص بالا در سه سطح ۲، ۴ و ۶ درصد حجمی و بیودیزل تهیه شده از روغن پسماند آشپزخانه‌ای در چهار سطح ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حجمی با سوخت دیزل مخلوط گردید و ۱۱ نمونه سوخت تهیه شد که به صورت اختصاری با $BxEy$ نمایش داده می‌شود. x و y به ترتیب نشان‌دهنده درصد حجمی بیودیزل و اتانول در مخلوط‌های آماده شده، می‌باشد. آزمایشات در حالت بار کامل و با تغییر سرعت از ۸۰۰ تا ۱۸۰۰ و با گام ۲۰۰ دور بر دقیقه انجام شد. نتایج نشان داد که دیزل خالص دارای کمترین میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش در مقایسه با سایر نمونه‌های تهیه شده می‌باشد. استفاده از ترکیب سوخت B15E6 میزان انتشار آلاینده مونوکسید کربن را تا ۴۰ درصد در مقایسه با دیزل خالص بهبود بخشید. همچنین استفاده از این ترکیب میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن و هیدروکربن نسوخته را به ترتیب ۲۷ و ۵۵ درصد نسبت به دیزل خالص کاهش داد.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

افزایش بهای نفت، کاهش منابع تجدیدناپذیر سوخت‌های فسیلی و همچنین اعمال استانداردهای سخت‌گیرانه بر میزان انتشار آلاینده‌ها در سال‌های اخیر، توجه بسیاری از محققان را به بهره‌گیری از سوخت‌های اکسیژن‌دار نظیر بیودیزل و اتانول جهت استفاده در موتورهای دیزلی معطوف کرده است [۱-۳]. بیودیزل که استرهای منوالکیل اسیدچرب با زنجیره بلند می‌باشد از منابع تجدیدپذیر مانند روغن‌های گیاهی، پسماند و چربی‌های حیوانی بدست می‌آید [۴]. برخلاف سوخت دیزل که فاقد اکسیژن است، بیودیزل متناسب با نوع روغنی که در تولید آن استفاده می‌شود، تقریباً حاوی ۱۰ تا ۱۲ درصد اکسیژن می‌باشد [۵ و ۶]. اتانول را به عنوان یک سوخت تجدیدپذیر می‌توان توسط فرآیند تخمیر از محصولات گیاهی که حاوی مقدار زیادی شکر می‌باشند، تولید کرد. همچنین هر ترکیبی که بتوان آن را به شکر تبدیل کرد، مانند نشاسته و سلولوز، در تولید اتانول استفاده می‌شود [۷]. اتانول تقریباً حاوی ۳۵ درصد اکسیژن می‌باشد که به کاهش دوده و ذرات معلق کمک می‌کند [۸ و ۹]. براساس مطالعات انجام‌شده مخلوط‌های بیودیزل و اتانول تا ۲۰ درصد حجمی، می‌توانند بدون ایجاد هیچ‌گونه تغییری در موتورهای دیزل استاندارد با دیزل خالص ترکیب شوند [۱۰-۱۲]. پژوهش‌های مختلفی در زمینه تاثیر ترکیب سوخت‌های دیزل، اتانول و بیودیزل بر روی عملکرد و آلایندگی موتورهای دیزلی، انجام شده است.

سایین^۱ و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۰، تاثیر افزودن درصد‌های مختلف متانول و اتانول به سوخت دیزل خالص را بر روی پارامترهای عملکردی و مقادیر آلاینده‌های خروجی یک موتور دیزل پاشش مستقیم به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. مطابق نتایج آن‌ها، مقادیر مصرف سوخت ویژه و آلایندگی اکسیدهای ازت افزایش یافت در حالی که آلایندگی مونوکسید کربن، هیدروکربن نسوخته، دوده و نیز بازده گرمایی موتور در مقایسه با دیزل خالص کاهش یافت.

ادیله^۲ و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۱۲، آزمایش‌های متعددی را به منظور ارزیابی احتراق، عملکرد و آلایندگی خروجی در یک موتور دیزلی تک‌سیلندر، با استفاده از بیودیزل روغن پسماند تحت شرایط ۵ و ۲۰ درصد حجمی و در سرعت‌های مختلف موتور انجام دادند. نتایج نشان داد که استفاده از بیودیزل روغن پسماند، کاهش قابل توجهی روی آلایندگی مونوکسید کربن و هیدروکربن نسوخته دارد و باعث افزایش آلایندگی اکسیدهای ازت^۳ در مقایسه با سوخت دیزل می‌شود. همچنین به دلیل کاهش ارزش حرارتی بیودیزل پسماند، افزایش ۵٫۹۵ درصدی در مصرف سوخت ویژه موتور مشاهده شد.

یو^۴ [۱۵] در سال ۲۰۱۳، با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی، درصد‌های حجمی مختلف بیودیزل روغن پسماند را بر روی عملکرد و آلایندگی یک موتور دیزل تک‌سیلندر در دوره‌های مختلف بررسی کرد. نتایج نشان داد که تفاوت اندکی با استفاده از بیودیزل روغن پسماند در خصوصیات احتراق مانند تاخیر احتراق، نرخ افزایش فشار و آزادسازی انرژی و همچنین کاهش چشمگیری در آلایندگی ذرات معلق، هیدروکربن و مونوکسید کربن وجود داشت. علاوه بر این، کاهش جزیی در توان خروجی به همراه افزایش مصرف سوخت ویژه و آلایندگی اکسیدهای ازت در مقایسه با سوخت دیزل مشاهده شد.

کن^۵ و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۱۴، با استفاده از روش آزمایشگاهی، تاثیر افزودن درصد‌های مختلف بیودیزل روغن پسماند آشپزخانه به سوخت دیزل خالص را بر روی ویژگی‌های احتراق و عملکرد یک موتور دیزلی تحت بارهای مختلف کارکردی، بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزودن بیودیزل به سوخت، بیشینه فشار داخل سیلندر و همچنین بیشینه انرژی آزاد شده، کاهش ناچیزی یافته در حالی که مدت زمان احتراق افزایش یافت. همچنین با افزودن بیودیزل، مصرف سوخت ویژه ترمزی و آلایندگی اکسیدهای ازت، افزایش و آلایندگی هیدروکربن نسوخته و دوده برای تمام بارهای موتور کاهش یافت.

میری و همکاران [۱۷] در سال ۱۳۹۴ به بررسی تجربی عملکرد موتور دیزل تک سیلندر با سوخت بیودیزل روغن کلزای غیر خوراکی تحت شرایط متفاوت عملکردی موتور پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش سوخت بیودیزل نسبت به دیزل خالص، توان و گشتاور موتور ابتدا کاهش و سپس افزایش و در مقابل مصرف سوخت ویژه موتور ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

پرپتیجانتو^۶ و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۱۵، با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، ویژگی‌های عملکرد و آلایندگی ترکیب سوخت بیواتانول با شرایط ۲٫۵، ۵، ۷٫۵ و ۱۰ درصد حجمی و دیزل خالص را روی یک موتور دیزل چهارسیلندر در سرعت‌ها و بارهای مختلف بررسی کردند. نتایج شبیه سازی نشان داد که از جمله مزیت مخلوط‌های دیزل- اتانول، کاهش آلایندگی مونوکسیدکربن، دوده و اکسیدهای ازت می‌باشد.

الدوودی^۷ و همکاران [۱۹] در سال ۲۰۱۹، 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 آلایندگی یک موتور دیزل تک سیلندر در سرعت ثابت و تحت بارهای مختلف بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش سوخت بیودیزل، مقادیر فشار بیشینه و نیز آلایندگی اکسیدهای ازت کاهش یافت.

⁴ Xue⁵ Can⁶ Praptijanto⁷ Al-Dawody¹ Sayin² Adaileh³ NO_x

آزمایشگاهی یا عددی، تاثیر افزودن بیودیزل یا اتانول به صورت مجزا به سوخت دیزل خالص بر روی عملکرد و آلایندگی موتورهای دیزلی بررسی شده است. ولی در مورد تاثیر همزمان ترکیب حاصل از امولسیون (اتانول-بیودیزل-دیزل) با درصدهای حجمی مختلف، بر روی عملکرد و آلایندگی موتورهای دیزلی، مطالعه‌ای انجام نگرفته است. از طرفی برخی از تحقیقات انجام شده، روند مشابهی را برای پارامترهای عملکردی و آلایندگی خروجی موتور نشان نمی‌دهند. بنابراین در کار حاضر، بررسی آزمایشگاهی ترکیب حاصل از امولسیون‌های (اتانول-بیودیزل)، (اتانول-دیزل) و (اتانول-بیودیزل-دیزل) بر روی عملکرد و آلایندگی یک موتور دیزلی پاشش‌مستقیم، تحت شرایط کارکردی مختلف، انجام شده است.

۲- سوخت‌های مورد آزمایش

بیودیزل تولید شده از روغن پسماند آشپزخانه به روش ترانس استریفیکاسیون، اتانول با خلوص بالا (۹۹٫۹ درصد) تولید شده توسط تخمیر نیشکر و دیزل خالص، سوخت‌های مورد استفاده در این تحقیق می‌باشند. در جدول ۱ خصوصیات سوخت‌های مورد استفاده، آورده شده است. دیزل خالص با علامت BOE0 (دیزل ۱۰۰ درصد) نمایش داده شده است. ترکیب حجمی امولسیون سوخت‌های مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۲ آورده شده است. بیودیزل در ۴ سطح حجمی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با دیزل ترکیب شد و با علامت‌های BOE0، B5E0، B10E0، B15E0 و B20E0 نام‌گذاری گردید. اتانول در ۳ سطح حجمی ۲، ۴ و ۶ درصد با دیزل ترکیب شده و با علامت‌های BOE2، BOE4 و BOE6 نام‌گذاری شد. جلوگیری از جدایش فاز در ترکیب اتانول و دیزل دارای اهمیت زیادی می‌باشد. تحقیقاتی که در رابطه با اختلاط اتانول و دیزل انجام گرفته است [۲۲ و ۲۳]، نشان داد که جدایش فاز در مخلوط اتانول-دیزل در دمای بالاتر از ۱۰ درجه سانتیگراد اتفاق نمی‌افتد. لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر، تمامی شرایط کاری در دمای بالای ۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. همچنین سه نمونه سوخت نیز با ترکیب همزمان اتانول-بیودیزل-دیزل آماده گردید که با علامت‌های B5E2، B10E4 و B15E6 نام‌گذاری شد.

جدول ۱: مشخصات سوخت‌های مورد استفاده

ویژگی سوخت	دیزل	بیودیزل	اتانول
محتوای اکسیژن (wt.%)	۰	۱۱	۳۵
محتوای کربن (wt.%)	۸۷	۷۸	۵۱
محتوای هیدروژن (wt.%)	۱۳	۱۱	۱۴
عدد ستان (-)	۵۶	۶۲	۷
ارزش حرارتی (MJ kg^{-1})	۴۳٫۳۷	۳۴٫۳۵	۲۷٫۲۱
نقطه اشتعال ($^{\circ}\text{C}$)	۶۹٫۸	۱۱۰٫۱۵	۱۳
ویسکوزیته سینماتیکی (mm^2s^{-1})	۳٫۴۳	۴٫۱۸	۱۰٫۱۲
چگالی (kgm^{-3})	۸۴۹٫۷	۸۸۸٫۳	۷۹۲٫۹

همچنین مخلوط ۲۰ درصد متیل استر روغن پسماند آشپزخانه، بهینه‌ترین حالت از نظر بهبود عملکرد و آلایندگی بود.

شیرنشان و همکاران [۲۰] در سال ۱۳۹۸ به بررسی تاثیر مخلوط‌های بیودیزل- JP-4- دیزل و شرایط کارکردی موتور بر روی مشخصه‌های آلایندگی یک موتور دیزل پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار بیودیزل در مخلوط سوخت، مقدار انتشار آلایندگی‌های هیدروکربن و کربن مونواکسید به علت وجود مولکول‌های اکسیژن در ساختار بیودیزل که سبب احتراق بهتر و کامل‌تر می‌شوند، کاهش می‌یابد. همچنین نتایج مشخص کرد که تولید آلایندگی اکسیدهای ازت به شدت وابسته به مقدار بیودیزل در مخلوط سوخت می‌باشد که علت آن تراکم ناپذیری کمتر و عدد ستان بیشتر سوخت بیودیزل است.

شدیدی و همکاران [۲۱] در سال ۱۳۹۹ به بررسی متغیرهای عملکردی و آلایندگی موتور دیزل در نسبت‌های مختلف نسبت تعادلی هوا به سوخت با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل-اتانول پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش درصد اتانول در مخلوط سوخت دیزل و اتانول باعث افزایش نسبت تعادلی هوا به سوخت و در نتیجه کاهش توان و گشتاور و افزایش مصرف سوخت موتور گردید.

همانطور که بیان شد یکی از فناوری‌های نوین جهت بهبود فرآیند احتراق و همچنین کاهش مصرف سوخت و آلایندگی موتور، استفاده از افزودنی‌های مناسب به سوخت دیزل و نیز سوخت‌های جایگزین نظیر بیودیزل و اتانول می‌باشد. استفاده از الکل‌ها به عنوان سوخت جایگزین، موضوع اصلی و داغ تحقیقات امروزی است. در میان الکل‌ها اتانول به عنوان یک جایگزین پایدار و سازگار با محیط زیست، در حال حاضر به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته و از نظر هزینه تولید ارزان و غیر سمی است [۹-۷]. اتانول به عنوان یک منبع تجدیدپذیر به آسانی و از مواد آلی همچون دانه‌های گیاهی و یا چغندر قند و غیره بدست می‌آید. اتانول یک اکسیژن در ساختار مولکولی خود دارد که روند احتراق را بهبود بخشیده و مقدار آلایندگی‌ها خروجی را کاهش می‌دهد. از طرفی بیودیزل که از منابع تجدیدپذیر، مانند روغن‌های گیاهی و یا چربی‌های حیوانی تهیه می‌شود، قابلیت ترکیب با دیزل معمولی را داشته و می‌تواند با نسبت‌های مختلف با دیزل ترکیب شده و به عنوان سوخت مورد استفاده قرار گیرد. مهمترین تفاوت اصلی در ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل خالص، در مقدار اکسیژن آن‌ها است. اکسیژن موجود در بیودیزل متناسب با نوع روغن مورد استفاده در تولید آن، حدود ۱۱ تا ۱۲ درصد است در صورتی که سوخت دیزل، بدون اکسیژن است [۶-۴]. لذا ترکیب امولسیون (اتانول-بیودیزل-دیزل)، یک ترکیب اکسیژن‌دار است که قابلیت اشتعال در موتورهای دیزل را به خوبی دارد. در واقع بیودیزل به عنوان پخش‌کننده ذرات اتانول در داخل سوخت دیزل عمل می‌کند و مخلوط پایدار را به وجود می‌آورد. مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که در تحقیقات صورت گرفته با استفاده از روش‌های

۳- آزمون موتور

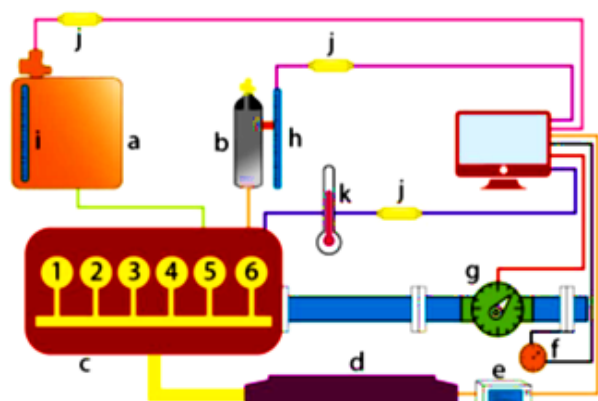
۳-۱- دستگاه آزمایش

موتور استفاده شده در این تحقیق، موتور دیزلی پاشش مستقیم چهارزمانه شش سیلندر با قدرت ۶۲ کیلو وات در سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه و با حجم جابجایی ۵،۹۹ لیتر است. مشخصات فنی موتور در جدول ۳ و همچنین طرحواره بستر آزمون در شکل ۱، آمده است. به منظور اندازه گیری گشتاور و توان، از یک دینامومتر هیدرولیکی ۴۰۰ کیلو وات، با دقت اندازه گیری ± 2 نیوتن متر و ثابت نگه داشتن دور با دقت ± 5 دور در دقیقه استفاده شده که با ایجاد میدان مغناطیسی، نیروی ترمزی در برابر چرخش موتور ایجاد می نماید. دینامومترهای ادی کارنت مجهز به سامانه داده برداری عددی بوده که با جریان آب خنک می گردند. در حالی که هیچ باری بر روی موتور اعمال نمی شود، دینامومتر به صورت آزادانه بر روی بلبرینگ ها چرخش می کند 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 می شود. دستگاه مورد استفاده جهت اندازه گیری مصرف سوخت، دبی سنج جرمی SWPF-60 A بود که با دقت صدم کیلوگرم بر ساعت اندازه گیری می نمود. اساس کار آن این گونه بود که سوخت از مخزن خارج شده و در یک بازه زمانی مشخص، میزان اختلاف وزن مخزن، اندازه گیری شده و در نهایت

مقدار مصرف سوخت در بازه زمان مشخص می گردید. حسگرهای دما از نوع دماسنج مقاومتی (R) که قابلیت اندازه گیری دما تا ۱۹۰۰ درجه را داراست، می باشند. سیم پیچ آن ها از پلاتین خالص ساخته شده، و میزان مقاومت پایه آن ها حدود ۱۰۰ اهم است. چون اتاق آزمون، مجهز به مدارالکتریکی مخصوصی بوده و مقاومت را در حسگر مربوطه سریعاً به ولتاژ تبدیل می کند لذا پاسخ پذیری حسگرهای دما در حد مطلوب بوده و دقت آن ها ± 1 درجه است. برای اندازه گیری دور از یک دورسنج مغناطیسی که به محور خروجی متصل است، استفاده شد. همچنین برای اندازه گیری مقادیر انتشار اکسیدهای ازت، مونوکسید کربن، دی اکسید کربن و هیدروکربن نسوخته در کلیه 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 می دهد. لازم به یادآوری است که دستگاه های اندازه گیری آلاینده ها، قبل از انجام آزمایش ها به طور دقیق کالیبره شده تا از دقت اندازه گیری ها اطمینان حاصل شود. محدوده تغییرات و کالیبراسیون دستگاه در جدول ۴ آمده است. اطلاعات مربوط به نتایج آزمایشات در یک سیستم کامپیوتری آنالیز و دریافت می گردید.

جدول ۲: ترکیب حجمی سوخت های تهیه شده

سوخت	B0E0	B5E0	B10E0	B15E0	B20E0	B0E2	B0E4	B0E6	B5E2	B10E4	B15E6
دیزل (درصد حجمی)	۱۰۰	۹۵	۹۰	۸۵	۸۰	۹۸	۹۶	۹۴	۹۳	۸۶	۷۹
بیودیزل (درصد حجمی)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۰	۰	۰	۵	۱۰	۱۵
اتانول (درصد حجمی)	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۴	۶	۲	۴	۶



شکل ۱: طرحواره بستر آزمون موتور: (a) مخزن سوخت، (b) مخزن هوا، (c) موتور مورد آزمایش، (d) صدا خفه کن، (e) دستگاه آنالیز آلاینده ها، (f) دورسنج، (g) دینامومتر، (h) ظرف اندازه گیری دبی هوا، (i) ظرف اندازه گیری دبی سوخت، (j) ترنسیوسر، (j) دماسنج

جدول ۳: مشخصات موتور مورد استفاده [۲۴]

ساخت و مدل موتور	LOVOL,1006TG1A
نوع موتور	دیزلی، پاشش مستقیم، چهارزمانه، مجهز به توربوشارژر
آرایش سیلندر	به صورت سری و عمودی
تعداد سیلندر	۶
حجم جابجایی	۵،۹۹ لیتر
قطر پیستون	۱۰۰ میلی متر
کورس پیستون	۱۲۷ میلی متر
دور موتور	۸۰۰-۱۸۰۰ دور بر دقیقه
نسبت تراکم	۱۷،۵:۱
حداکثر توان خروجی	۶۲ کیلو وات

خطاهای ثابت و تصادفی خطاهایی هستند که ممکن است در یک اندازه گیری تجربی سبب عدم قطعیت گردند. معمولاً خطاهای ثابت با کالیبره نمودن وسایل اندازه گیری از بین می روند ولی خطاهای تصادفی از طریق تحلیل آماری شناسایی می شوند. در کار حاضر با توجه به اینکه آزمون های موتور در قالب سه سری تکرار آزمایش ها با هدف اندازه گیری پارامترهای عملکردی و آلاینده ها انجام گرفته است، لذا برای هر نقطه، سه داده آزمایشگاهی جمع آوری شده و سپس میانگین داده ها محاسبه و به عنوان داده نهایی آزمایشگاهی استفاده شده است.

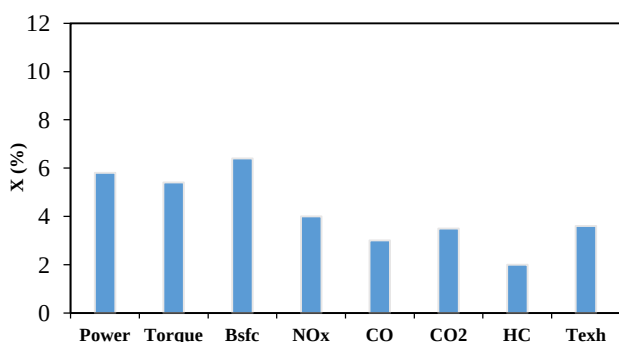
خطای احتمالی یا عدم قطعیت داده ها از رابطه (۱) محاسبه می شود [۲۵ و ۲۶]:

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{n^{0.5}} \quad (1)$$

که در این رابطه، σ_m انحراف معیار مقدار میانگین و σ انحراف معیار مجموعه اندازه گیری ها و n تعداد اندازه گیری ها در هر نقطه می باشد. برای کلیه نتایج آزمایشگاهی $n = 3$ می باشد. درصد عدم قطعیت داده های آزمایشگاهی نیز از رابطه (۲) محاسبه شده است [۲۵ و ۲۶]:

$$X = \frac{\sigma_m}{\bar{X}} \times 100 \quad (2)$$

که در رابطه بالا، X ، عدم قطعیت داده آزمایشگاهی بر حسب درصد و $\bar{X}$ ، مقدار میانگین حسابی داده های آزمایشگاهی می باشد. در شکل (۲)، مقدار میانگین عدم قطعیت داده های آزمایشگاهی برای پارامترهای عملکردی و آلاینده ها نشان داده شده است. در یک مرحله آزمایش، یعنی در یک دور مشخص در شرایط پایدار موتور و با یک ترکیب سوخت معین، مقادیر آلاینده های اکسیدهای ازت، مونوکسید کربن، هیدروکربن نسوخته، دی اکسید کربن و همچنین مصرف سوخت ویژه ترمزی، گشتاور، توان و دمای گازهای خروجی، اندازه گیری می شود.



شکل ۲: مقادیر میانگین عدم قطعیت پارامترهای عملکردی و آلاینده ها

هر آزمایش سه بار تکرار شده تا در حد امکان از بروز خطا در نمونه گیری و ثبت داده های آزمایشگاهی جلوگیری شود. در هر

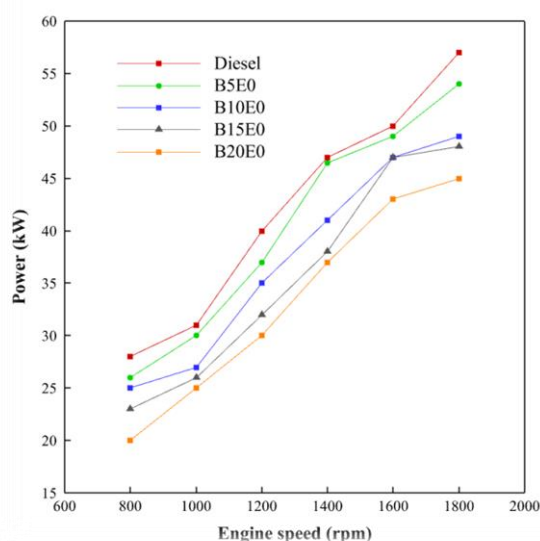
محدوده تعریف شده برای دور موتور از ۱۰۰۰ تا ۱۸۰۰ دور در دقیقه بوده که آزمایشات در حالت بار کامل و با تغییر سرعت در محدوده مذکور و با گام ۲۰۰ دور بر دقیقه انجام شد. به ازای هر دور کاری موتور در این محدوده، آزمایش های موتور با هدف اندازه گیری عملکرد و آلایندگی با استفاده از سوخت های مختلف (اتانول با خلوص بالا در سه سطح ۲، ۴ و ۶ درصد حجمی و بیودیزل تهیه شده از روغن پسماند آشپزخانه ای در چهار سطح ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حجمی)، انجام گرفت. میزان نرخ جرم کل سوخت ورودی، ۰/۰۰۵۵ کیلوگرم بر ثانیه و برابر ۱۹/۸ کیلوگرم بر ساعت برای سوخت دیزل در دور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه می باشد. همچنین تمامی شرایط کاری در دمای محیط، انجام شد. لازم به ذکر است که در تمامی حالات مورد بررسی به غیر از تغییر در نوع ترکیب های سوخت ورودی و سرعت موتور، سایر پارامترهای فیزیکی نظیر زمان باز و بسته شدن سوپاپ ها، زمان شروع پاشش و طول مدت پاشش سوخت، ثابت و برابر شرایط استاندارد موتور در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که اندازه گیری برای هر نمونه سه مرتبه تکرار شد و میانگین آن ها به عنوان داده نهایی ثبت شد. تمامی تجهیزات، پیش از انجام آزمایش ها کالیبره شده تا از بروز خطای احتمالی در داده های آزمایشگاهی بدست آمده تا حد امکان جلوگیری شود.

جدول ۴: پارامترها، محدوده تغییرات و دقت دستگاه آلاینده سنج

پارامتر	محدوده تغییرات	دقت
اکسیدهای ازت	۰-۳۰۰۰ (ppm)	۱۰ (ppm)
مونوکسید کربن	۰-۵۰۰۰ (ppm)	۱۰ (ppm)
دی اکسید کربن	۰-۵۰ (vol %)	۰،۱ (vol %)
هیدروکربن نسوخته	۰-۱۰۰۰۰ (ppm)	۱۰ (ppm)

۲-۳- تحلیل عدم قطعیت داده های آزمایشگاهی

در مطالعات تجربی محاسبه عدم قطعیت امری ضروری است. عدم قطعیت، اطلاعاتی در مورد کیفیت پارامترهای اندازه گیری شده ارائه می دهد. به عبارت دیگر عدم قطعیت در مورد شک و احتمالی درستی نتیجه پارامتر اندازه گیری شده، اطلاعاتی را بیان می کند. صرف نظر از دقت آزمایش، به دلایل مختلف ممکن است در جمع آوری داده های تجربی خطا وجود داشته باشد. بعضی از این خطاها از نوع تصادفی بوده و برخی به علت بروز اشتباه حین انجام آزمایش رخ می دهند. داده های نادرست حاصل از اشتباهات واضح، بلافاصله قابل تشخیص بوده و کنار گذاشته می شوند. ولی در مورد داده هایی که مشکوک هستند، به سادگی نمی توان تشخیص داد. بنابراین جهت شناسایی این خطاها، از تحلیل عدم قطعیت داده های آزمایشگاهی که به روش آماری صورت گرفته، استفاده شده است. عدم قطعیت یا مقدار احتمالی خطا، بسته به شرایط آزمایش ممکن است به میزان زیادی تغییر کند.



شکل ۳: تغییرات توان بر حسب دور موتور برای درصد‌های مختلف ترکیب بیودیزل-دیزل

مشابه قبل، مخلوط دیزل خالص در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش دارای بیشترین مقدار توان می‌باشد. مخلوط B0E2، در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، مقدار توان بسیار نزدیکی به مخلوط دیزل خالص به ثبت رسانده است. همچنین مخلوط B0E6 کمترین مقدار توان را نسبت به سایر ترکیب‌ها و دیزل خالص دارد. در سرعت‌های ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۴۰۰، ۱۶۰۰ و ۱۸۰۰ به ترتیب برابر ۲۵، ۲۰، ۲۳، ۲۰، ۱۲ و ۱۶ درصد کاهش توان نسبت به دیزل خالص برای مخلوط B0E6 به ثبت رسیده است. اتانول دارای عدد ستان پایین‌تری نسبت به دیزل خالص بوده و با افزودن آن به ترکیب، عدد ستان مخلوط نیز کاهش می‌یابد که این امر موجب افزایش تاخیر در اشتعال ترکیب‌های سوخت تهیه شده، می‌شود. ولی ارزش حرارتی آن کمتر از سوخت دیزل می‌باشد که اساسی‌ترین عامل افت توان ترمزی موتور با افزایش درصد اتانول در مخلوط، می‌باشد. همچنین دمای مخلوط هوا و سوخت، طی فرآیند تراکم، به دلیل بالاتر بودن گرمای نهان تبخیر اتانول نسبت به دیزل، کاهش می‌یابد که موجب افت بازده احتراقی و در نتیجه کاهش توان ترمزی با افزایش درصد اتانول در مخلوط می‌شود [۳۰ و ۳۱].

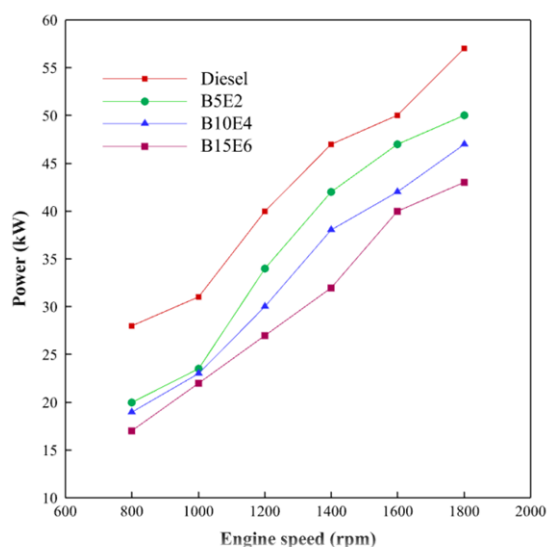
شکل ۵ مقادیر توان نسبت به سرعت را برای درصد‌های مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود

مرحله، ممکن است اندکی اختلاف مشاهده شود که از خصوصیات کارهای تجربی می‌باشد. این اختلاف ممکن است به دلیل خطای دستگاه ثبت داده‌های آزمایشگاهی، از کالیبره خارج شدن حسگرها و یا خطای اپراتور باشد. برای حصول اطمینان از صحت نتایج بدست آمده، اعداد نامربوط حذف می‌شوند. یعنی اگر از سه مقدار ثبت شده، عددی غیرمنطقی باشد آن را کنار گذاشته و با استفاده از روابط به‌دست آمده درصد عدم قطعیت حاصل می‌شود. برای مثال، همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد داده‌های ثبت شده برای آلایندة اکسیدهای ازت با ± 4 درصد، قابل پذیرش می‌باشد. به عبارت دیگر، در نتایج $\text{NO}_x = 100 \text{ ppm}$ ، این مقدار در محدوده $(96 - 104)$ یعنی $100 \pm 4 \text{ ppm}$ خواهد بود.

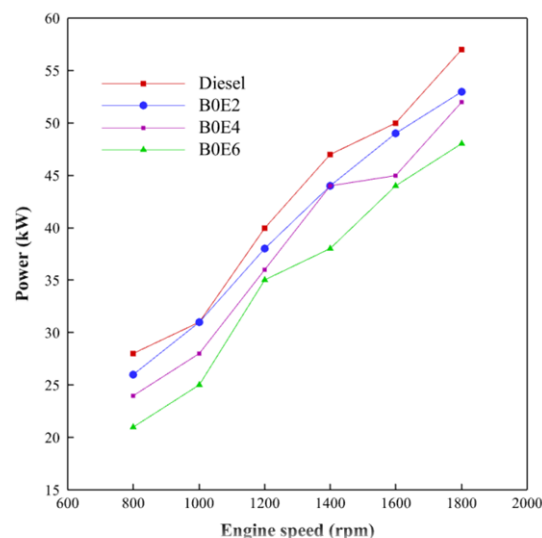
۴- بحث بر روی نتایج

شکل‌های ۳، ۴ و ۵، تغییرات توان ترمزی نسبت به سرعت‌های مختلف موتور را به ترتیب برای درصد‌های مختلف حجمی بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مخلوط دیزل خالص در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش دارای بیشترین مقدار توان می‌باشد. ترکیب امولسیون B5E0 در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، مقدار توان بسیار نزدیکی به مخلوط دیزل خالص به ثبت رسانده است، در حالی که ترکیب امولسیون B20E0 کمترین مقادیر توان را نسبت به سایر ترکیب‌ها و همچنین دیزل خالص دارد. در سرعت‌های ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۴۰۰، ۱۶۰۰ و ۱۸۰۰ به ترتیب ۲۹، ۲۰، ۲۵، ۲۲، ۱۴ و ۲۱ درصد کاهش توان نسبت به دیزل خالص برای مخلوط B20E0 به ثبت رسیده است. بیودیزل نسبت به دیزل دارای ارزش گرمایی پایین‌تری می‌باشد 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 شدن مناسب سوخت در هنگام پاشش می‌شود [۲۷ و ۲۸]. این دو عامل می‌تواند از دلایل اصلی کاهش توان ترمزی موتور با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط باشد. همچنین مشاهده می‌گردد که با افزایش سرعت در هر یک از سوخت‌های مورد مطالعه، میزان توان تولیدی افزایش می‌یابد بصورتی که مقدار توان برای سوخت دیزل خالص در سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه، ۱۴ درصد افزایش نسبت به سرعت ۱۶۰۰ دور در دقیقه داشته است. همچنین ترکیب B20E0 در سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه نسبت به سرعت ۸۰۰ دور در دقیقه ۲۵ درصد افزایش در میزان توان تولیدی داشته است که این امر می‌تواند در نتیجه بهبود نسبت سوخت به هوا با افزایش سرعت باشد [۲۹].

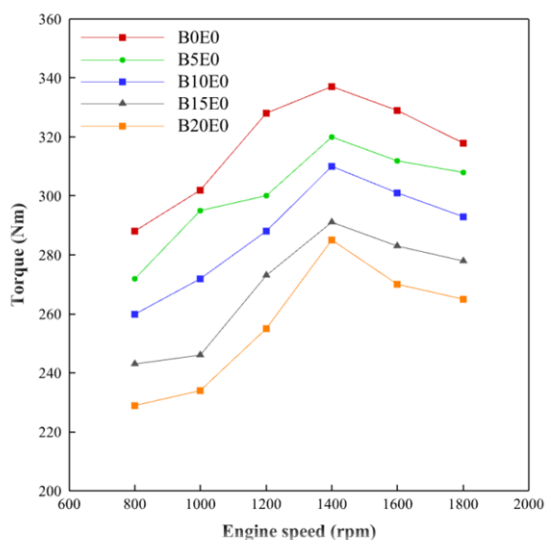
شکل ۴ مقادیر توان نسبت به سرعت را برای درصد‌های مختلف اتانول-دیزل نشان می‌دهد.



شکل ۵: تغییرات توان بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل



شکل ۴: تغییرات توان بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل

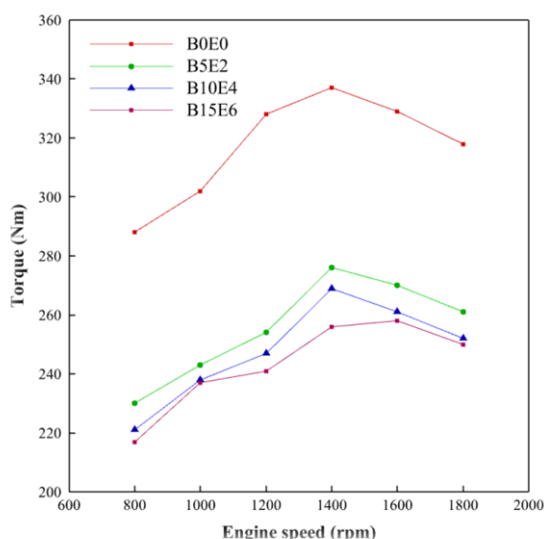


شکل ۶: تغییرات گشتاور بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-دیزل

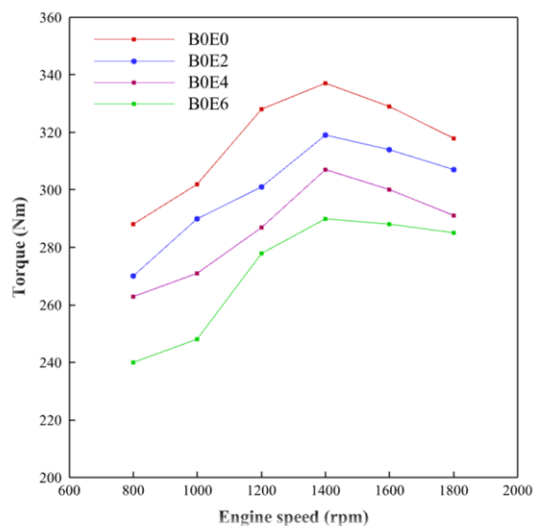
در شکل ۷ اثر افزودن درصدهای مختلف حجمی اتانول-دیزل بر روی گشتاور موتور آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، همه ترکیب‌های اتانول-دیزل مقادیر گشتاور پایین‌تری نسبت به دیزل خالص دارند. گرمای نهان تبخیر بالاتر اتانول، ارزش گرمایی و عدد ستان پایین‌تر آن نسبت به دیزل می‌تواند از دلایل این کاهش باشد [۳۴]. کمترین میزان گشتاور در سرعت‌های مورد مطالعه، برای مخلوط B0E6 با ۱۰ تا ۱۸ درصد

در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، هر سه نمونه آماده شده، مقدار توان کمتری نسبت به دیزل خالص ثبت کرده‌اند. مخلوط B15E6 کمترین مقدار توان را نسبت به سایر ترکیب‌ها و همچنین دیزل خالص دارد. استفاده از این مخلوط در سرعت‌های مورد آزمایش باعث کاهش توان به میزان ۲۵ تا ۴۰ درصد شده است. ترکیب امولسیون B5E2 در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، مقدار توان بسیار نزدیکی به مخلوط دیزل خالص به ثبت رسانده است. به صورتی که در سرعت‌های مورد آزمایش ۶ تا ۲۹ درصد کاهش در مقدار توان برای مخلوط B5E2 مشاهده شده است. شکل‌های ۶، ۷ و ۸، تغییرات گشتاور نسبت به سرعت‌های مختلف موتور را بترتیب برای درصدهای مختلف حجمی بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل، و بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش بیشترین مقدار گشتاور برای دیزل خالص به ثبت رسیده است. چگالی و گرانشی بالاتر بیودیزل نسبت به دیزل که مانع از اتمیزه شدن مناسب سوخت به هنگام پاشش می‌شود می‌تواند دلیل کاهش میزان گشتاور باشد. همچنین بیودیزل نسبت به دیزل از ارزش حرارتی پایین‌تری برخوردار است که این دلیل نیز می‌تواند میزان گشتاور تولیدی را کاهش دهد [۳۲ و ۳۳]. کمترین میزان گشتاور در سرعت‌های مورد مطالعه، برای مخلوط B20E0 با ۱۷ تا ۲۳ درصد کاهش نسبت به دیزل خالص مشاهده شد. مخلوط B5E0 در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، مقدار گشتاور بسیار نزدیکی به دیزل خالص به ثبت رسانده است، به صورتی که بیشینه اختلاف نسبت به دیزل خالص ۸٫۶ درصد و در سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه مشاهده شد.

[۳۵]. استفاده از مخلوط B5E0 باعث افزایش ۱ تا ۵ درصد و استفاده از مخلوط B20E0 سبب افزایش ۱۰ تا ۱۸ درصد در مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به دیزل خالص، در سرعت‌های مختلف موتور گردید.

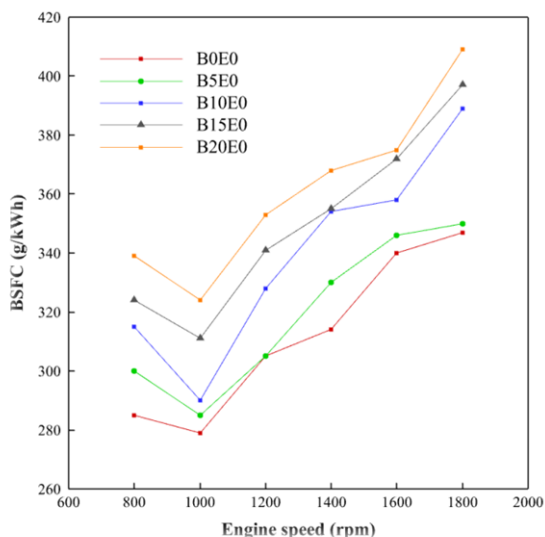


کاهش نسبت به دیزل خالص مشاهده شد. همچنین استفاده از مخلوط B0E2 سبب کاهش ۴ تا ۸ درصدی گشتاور نسبت به دیزل خالص، در سرعت‌های مورد آزمایش گردید.



شکل ۷: تغییرات گشتاور بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل

شکل ۸: تغییرات گشتاور بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل



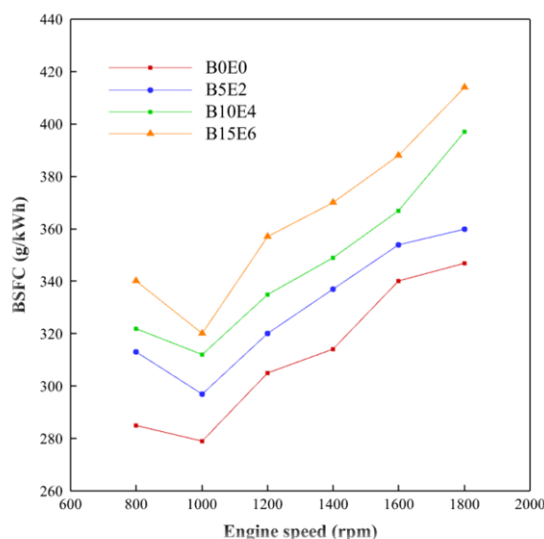
شکل ۹: تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-دیزل

شکل ۱۰: تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به سرعت را برای درصدهای مختلف حجمی اتانول نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد اتانول در مخلوط، مقدار مصرف

شکل ۸ مقادیر گشتاور نسبت به سرعت را برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، هر سه نمونه آماده شده، گشتاور کمتری نسبت به دیزل خالص ثبت کرده‌اند. به صورتی که استفاده از مخلوط B15E6، سبب کاهش ۲۲ تا ۲۷ درصد و همچنین استفاده از مخلوط B5E2، موجب کاهش ۱۸ تا ۲۳ درصدی گشتاور نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش گردید.

شکل‌های ۹ الی ۱۱، تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به سرعت‌های مختلف موتور را به ترتیب برای درصدهای مختلف حجمی بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهند. شکل ۹ تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به سرعت را برای درصدهای حجمی مختلف بیودیزل نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که مصرف سوخت موتور، ابتدا کاهش یافته و سپس روند افزایشی را دارا می‌باشد. می‌توان این‌گونه بیان کرد که مصرف سوخت ویژه ترمزی، ابتدا با افزایش سرعت دورانی موتور، به دلیل کوتاه‌تر شدن زمان تلفات حرارتی در طی هر چرخه، کاهش یافته و در سرعت‌های بیشتر، مجدداً به دلیل تلفات اصطکاکی زیاد، افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط بیودیزل-دیزل، مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش می‌یابد. بالاتر بودن چگالی و گرانیوی بیودیزل نسبت به دیزل خالص و پایین‌تر بودن ارزش حرارتی بیودیزل نسبت به دیزل می‌تواند دلیل افزایش میزان مصرف سوخت باشد

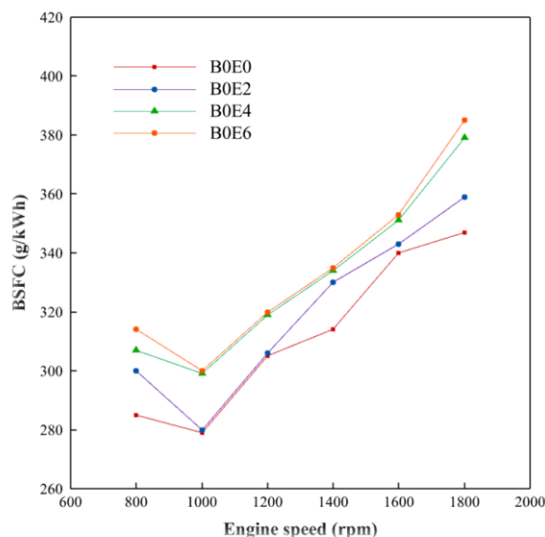
به دیزل خالص، توسط ترکیب B15E6 به ثبت رسیده است. استفاده از امولسیونهای B10E4 و B5E2 نیز بترتیب باعث افزایش ۸ تا ۱۴ درصد و ۴ تا ۱۰ درصدی مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی شدند.



شکل ۱۱: تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل

شکل‌های ۱۲ الی ۱۴، تغییرات دمای گازهای خروجی نسبت به سرعت‌های مختلف موتور را بترتیب برای درصدهای مختلف حجمی بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که در همه مخلوط‌های سوخت با افزایش سرعت، دمای گازهای خروجی افزایش می‌یابد. همانطور که بیان شد بالاتر بودن عدد ستان بیودیزل نسبت به دیزل خالص، باعث کاهش تاخیر در اشتعال می‌شود. ولی دمای گازهای خروجی وابستگی مستقیم به میزان اکسیژن موجود در محفظه احتراق دارند. به عبارت دیگر، در دسترس بودن اکسیژن، عامل اصلی برای افزایش دمای گازهای خروجی می‌باشد. اکسیژن‌دار بودن سوخت بیودیزل موجب می‌شود تا اکسیژن بیشتری در محفظه احتراق حضور داشته و در نتیجه باعث افزایش دمای احتراق و بالطبع افزایش دمای گازهای خروجی با افزایش میزان بیودیزل در مخلوط گردد [۳۸-۴۰]. بیشینه مقدار دما برای مخلوط B20E0 ثبت گردیده که موجب افزایش ۱۳ تا ۱۶ درصدی دمای گازهای خروجی نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش گردید. همچنین ترکیب امولسیون B5E0 در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، مقدار دمای بسیار نزدیکی به دیزل خالص به ثبت رسانید، به صورتی که افزایش دمای ۲ تا ۷ درصدی نسبت به دیزل خالص را دارد.

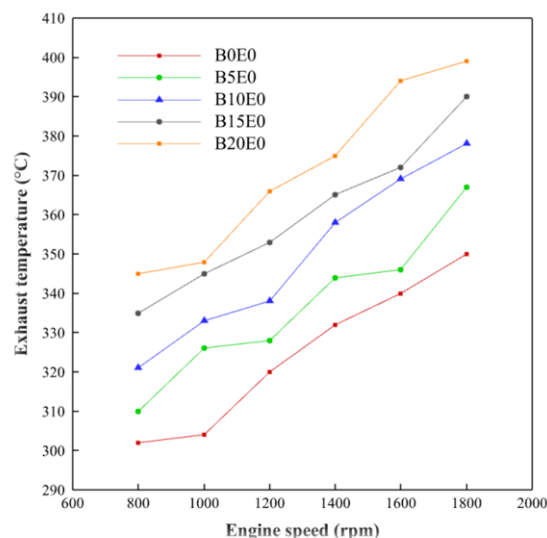
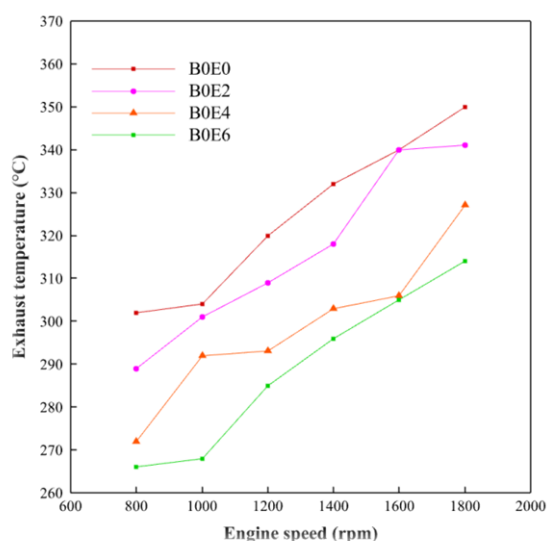
سوخت ویژه ترمزی افزایش می‌یابد. پایین‌تر بودن عدد ستان اتانول نسبت به دیزل و افزایش تاخیر در اشتعال و همچنین پایین‌تر بودن ارزش حرارتی اتانول نسبت به دیزل می‌تواند از دلایل افزایش میزان مصرف سوخت باشد. مخلوط B0E6 دارای بیشترین میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی می‌باشد که استفاده از آن در سرعت‌های مورد آزمایش، باعث افزایش ۴ تا ۱۰ درصدی مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به دیزل خالص گردید. همچنین با استفاده از مخلوط‌های B0E2 و B0E4 نیز به ترتیب بین ۳ تا ۹ درصد و ۱ تا ۵ درصد افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی در سرعت‌های مختلف موتور مشاهده شد. همچنین مشاهده می‌گردد که در تمامی ترکیب‌های تهیه شده با درصدهای مختلف بیودیزل و اتانول، مصرف سوخت ویژه ترمزی در ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. بگونه‌ای که در استفاده از ترکیب B10E4 در سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه نسبت به سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه، ۳ درصد کاهش در مصرف سوخت ویژه ترمزی مشاهده گردید و با افزایش سرعت تا ۱۶۰۰ دور بر دقیقه، ۱۷٫۶ درصد افزایش در مصرف سوخت ویژه ترمزی ثبت گردید. بهبود فرآیند احتراق و افزایش نسبت هوا به سوخت در سرعت‌های پایین می‌تواند دلیل پایین آمدن مصرف سوخت باشد. همچنین کاهش بازده حجمی با افزایش سرعت، می‌تواند دلیل بالارفتن مصرف سوخت ویژه ترمزی باشد [۳۶ و ۳۷]. شکل ۱۱، تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به سرعت را برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: تغییرات گشتاور بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشینه میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی در سرعت‌های مورد آزمایش (افزایش ۱۴ تا ۱۹ درصد) نسبت

گازهای خروجی افزایش می‌یابد. دمای گازهای خروجی در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه به میزان ۱۵٫۸ درصد

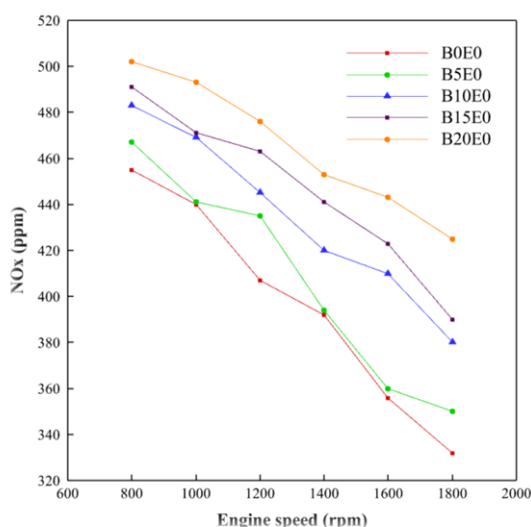


شکل ۱۲: تغییرات دمای گازهای خروجی بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-دیزل

شکل ۱۳: تغییرات دمای گازهای خروجی بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل

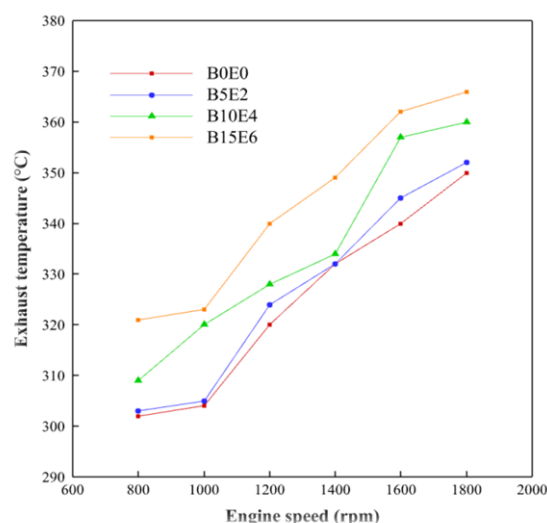
نسبت به سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت دیزل خالص افزایش یافت. همچنین ترکیب B10E4 در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه نسبت به سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه میزان دمای گازهای خروجی را ۱۶٫۵ درصد افزایش داد. کاهش مدت زمان فرآیند احتراق، افزایش تعداد مراحل انجام فرآیند احتراق در واحد زمان و کاهش میزان انتقال حرارت از محصولات احتراق به دیواره سیلندر می‌تواند از دلایل اصلی افزایش دمای گازهای خروجی با افزایش سرعت در نمونه‌های مورد مطالعه باشد [۳۸ و ۴۲].

شکل ۱۳ تغییرات دمای گازهای خروجی نسبت به سرعت را برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد اتانول در مخلوط، دمای گازهای خروجی کاهش می‌یابد. اتانول دارای عدد ستان پایینی بوده و در نتیجه مدت زمان تاخیر در اشتعال را افزایش می‌دهد. ولی ارزش حرارتی آن کمتر از دیزل خالص و نیز گرمای نهان تبخیر آن نسبت به دیزل، بالاتر می‌باشد (که دمای مخلوط هوا و سوخت، طی فرآیند تراکم، به دلیل بالاتر بودن گرمای نهان تبخیر اتانول نسبت به دیزل، کاهش می‌یابد). با افزایش درصد اتانول در مخلوط‌های تهیه شده، ارزش حرارتی آن‌ها کاهش می‌یابد که می‌تواند دلیل اصلی کاهش دمای گازهای خروجی باشد [۴۱ و ۴۲]. مخلوط B0E6 کمترین دمای گازهای خروجی را نسبت به سایر ترکیب‌ها و همچنین دیزل خالص دارد. به صورتی که کاهش ۱۰ تا ۱۲ درصدی دما نسبت به دیزل خالص را نشان می‌دهد. شکل ۱۴ تغییرات دمای گازهای خروجی نسبت به سرعت را برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، هر سه نمونه آماده شده، دمای گازهای خروجی بالاتری نسبت به دیزل خالص ثبت کرده‌اند. مخلوط B5E2 کمترین دمای گازهای خروجی را نسبت به سایر ترکیب‌ها (به استثنای دیزل خالص) دارد. همچنین استفاده از امولسیون‌های B10E4 و B15E6 نیز بترتیب باعث افزایش ۱ تا ۵ درصد و ۴ تا ۷ درصدی دمای گازهای خروجی نسبت به دیزل خالص شدند. مشاهده می‌شود که در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه با افزایش سرعت، دمای



شکل ۱۵: تغییرات آلاینده اکسیدهای ازت بر حسب دور موتور برای درصد‌های مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول

گرمای نهان تبخیر بالاتر و نیز ارزش حرارتی پایین‌تر اتانول نسبت به دیزل که باعث کاهش دمای محفظه احتراق می‌شوند، می‌تواند دلیل کاهش آن باشد [۵۲-۵۰]. از طرفی می‌دانیم مکانیزم زل‌دوویج برای دمای پایین‌تر از ۱۴۰۰ کلوین به سمت غیر فعال شدن می‌رود. [۵۳] بنابراین ارزش حرارتی پایین‌تر می‌تواند این مکانیزم و در نتیجه آلاینده اکسیدهای ازت را خیلی کاهش دهد. با استفاده از ترکیب‌های B0E2 و B0E4 در سرعت‌های مورد آزمایش به ترتیب بطور میانگین ۳,۹ و ۶,۸ درصد کاهش در میزان انتشار آلاینده اکسیدهای ازت مشاهده شد. همچنین ترکیب B0E6 در سرعت‌های مورد آزمایش بین ۶ تا ۱۱ درصد میزان انتشار آلاینده اکسیدهای ازت را نسبت به دیزل خالص کاهش داد که کمترین میزان انتشار در بین ترکیب‌های مورد مطالعه بود. شکل ۱۷ تغییرات آلاینده اکسیدهای ازت نسبت به سرعت را برای درصد‌های مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، هر سه نمونه آماده شده، آلاینده اکسیدهای ازت بیشتری را نسبت به دیزل خالص ثبت کرده‌اند. بیشینه مقدار اکسیدهای ازت برای مخلوط B15E6 ثبت گردیده که موجب افزایش ۷ تا ۱۴ درصدی نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش گردید. همچنین ترکیب امولسیون B5E2 در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، مقادیر اکسیدهای ازت بسیار نزدیکی به دیزل خالص به ثبت رسانده، به صورتی که که میزان انتشار آن، تقریباً برابر با دیزل خالص می‌باشد. شکل‌های ۱۸ الی ۲۰، تغییرات آلاینده مونوکسید کربن نسبت به سرعت‌های مختلف موتور را به ترتیب برای درصد‌های

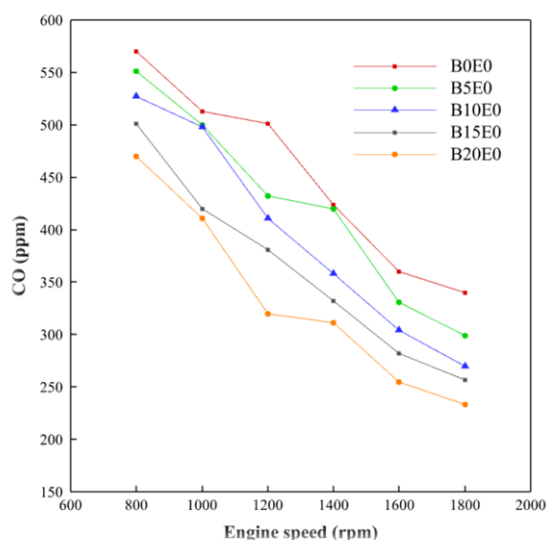


شکل ۱۶: تغییرات دمای گازهای خروجی بر حسب دور موتور برای

درصد‌های مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل

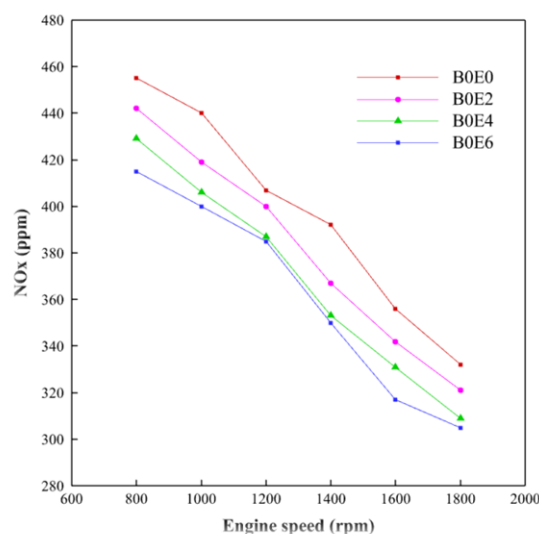
شکل‌های ۱۵ الی ۱۷، تغییرات آلاینده اکسیدهای ازت نسبت به سرعت‌های مختلف موتور را به ترتیب برای درصد‌های مختلف حجمی بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود با افزایش درصد بیودیزل، میزان انتشار آلاینده اکسیدهای ازت نسبت به دیزل خالص افزایش می‌یابد [۳۵]. بیودیزل دارای عدد ستان بالایی بوده و در نتیجه مدت زمان تاخیر در اشتعال را کاهش می‌دهد. از طرفی اکسیژن موجود در بیودیزل باعث واکنش با ازت و نیز باعث افزایش دمای احتراق می‌شود که می‌تواند دلیل افزایش آلاینده اکسیدهای ازت باشد. زیرا، دمای بالا و در دسترس بودن اکسیژن در محفظه احتراق، دو عامل اصلی برای تشکیل اکسیدهای ازت هستند [۳۸-۴۰]. ترکیب B5E0 مقادیر انتشار نزدیکی به سوخت دیزل به ثبت رسانید. با استفاده از ترکیب B10E0 در سرعت‌های مورد مطالعه، افزایش ۶,۱ تا ۱۵,۱ درصدی در میزان انتشار آلاینده اکسیدهای ازت نسبت به دیزل خالص مشاهده شد. همچنین با استفاده از ترکیب‌های B15E0 و B20E0 به ترتیب بطور میانگین ۱۳,۷ و ۲۰,۲ درصد افزایش در میزان انتشار این آلاینده نسبت به سوخت دیزل خالص در سرعت‌های مورد مطالعه مشاهده گردید. شکل ۱۶ تغییرات آلاینده اکسیدهای ازت نسبت به سرعت موتور را برای درصد‌های مختلف ترکیب اتانول-دیزل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد اتانول در مخلوط، میزان انتشار آلاینده اکسیدهای ازت کاهش می‌یابد. محققان بسیاری، نتایج مشابهی در رابطه با کاهش آلاینده اکسیدهای ازت، با استفاده از ترکیب سوخت دیزل و اتانول نسبت به سوخت دیزل، ارائه کرده‌اند [۴۳-۴۹].

سوخت به هوا و احتراق کامل باشد. بیشترین میزان آلایندة مونوکسید کربن برای دیزل خالص و در سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه، ثبت شده است. در شکل ۱۸ مشاهده می گردد که با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط، میزان انتشار مونوکسید کربن کاهش می یابد. مخلوط B20E0 کمترین مقدار مونوکسید کربن را نسبت به سایر ترکیب ها و همچنین دیزل خالص دارد. به صورتی که که کاهش ۱۸ تا ۳۷ درصدی آلایندة مونوکسید کربن نسبت به دیزل خالص را نشان می دهد. میزان انتشار آلایندة مونوکسید کربن برای درصدهای مختلف حجمی اتانول در شکل ۱۹ آمده است. همانطور که مشاهده می شود، افزایش درصد اتانول در ترکیب، مانند بیودیزل سبب کاهش مونوکسید کربن گردیده است. وجود محتوای اکسیژن بالاتر اتانول نسبت به دیزل می تواند دلیل اصلی کاهش میزان انتشار مونوکسید کربن با افزایش درصد اتانول در ترکیب باشد [۵۰-۵۲]. کمترین میزان مونوکسید کربن در سرعت های مورد مطالعه، برای مخلوط B0E6 با ۱۴ تا ۳۱ درصد کاهش نسبت به دیزل خالص مشاهده شد. شکل ۲۰، میزان انتشار آلایندة مونوکسید کربن نسبت به سرعت را برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود کمترین میزان مونوکسید کربن در سرعت های مورد آزمایش (کاهش ۲۵ تا ۴۰ درصد) نسبت به دیزل خالص، توسط ترکیب B15E6 به ثبت رسیده است. در تمامی سوخت های مورد آزمایش با افزایش سرعت، میزان انتشار مونوکسید کربن کاهش می یابد که این می تواند در نتیجه بهبود نسبت هوا به سوخت و احتراق کامل باشد.

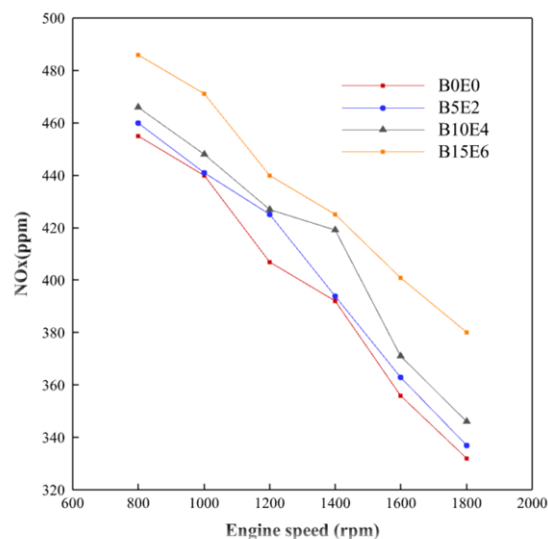


شکل ۱۸: تغییرات آلایندة مونوکسید کربن بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-دیزل

مختلف حجمی بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می دهند.



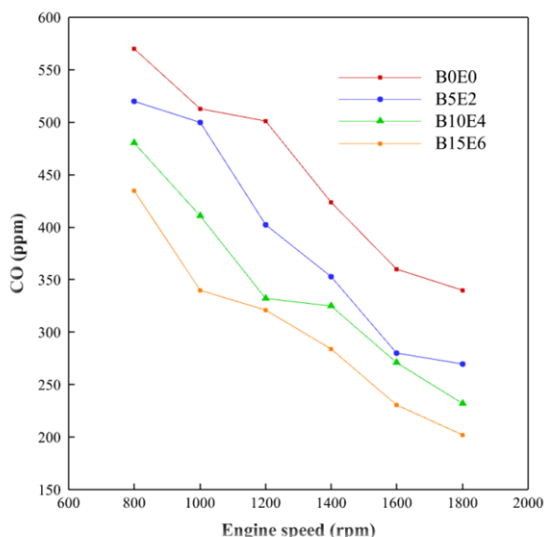
شکل ۱۹: تغییرات آلایندة اکسیدهای ازت بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل



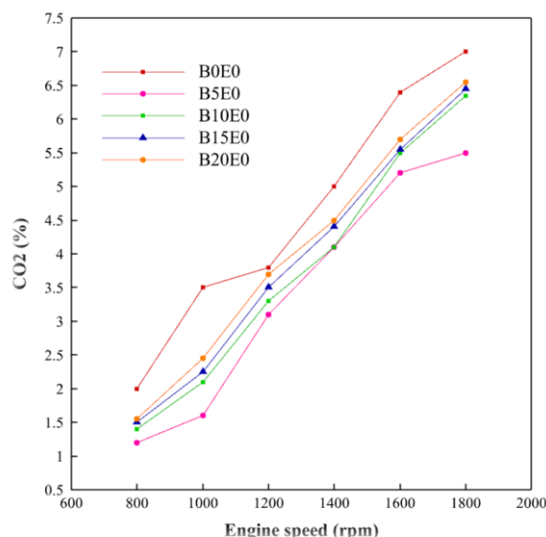
شکل ۲۰: تغییرات آلایندة اکسیدهای ازت بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل

مشاهده می شود که همه مخلوط های سوخت مقادیر مونوکسید کربن کمتری نسبت به دیزل خالص دارند. بیودیزل و اتانول هر دو سوخت های اکسیژن دار هستند و اکسیژن موجود در آن ها به احتراق کامل کمک می کند. لذا این کاهش می تواند در نتیجه بهبود نسبت

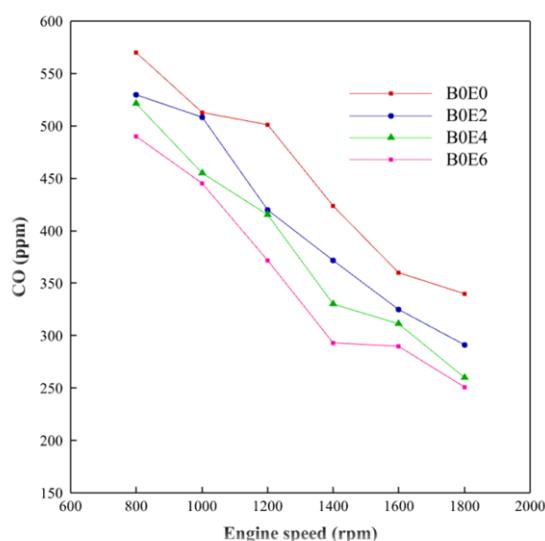
به ثبت رسیده است. شکل ۲۲، تغییرات انتشار دی اکسید کربن نسبت به سرعت موتور را برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که همه ترکیب‌های سوخت، آلاینده دی اکسید کربن کمتری نسبت به دیزل خالص دارند. افزایش درصد اتانول در ترکیب، سبب افزایش مقدار دی اکسید کربن می‌شود



شکل ۲۰: تغییرات آلاینده مونوکسید کربن بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول



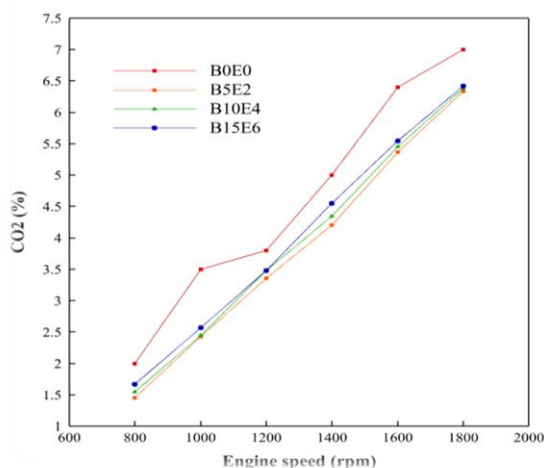
شکل ۲۱: تغییرات انتشار دی اکسید کربن بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-دیزل



شکل ۱۹: تغییرات آلاینده مونوکسید کربن بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل

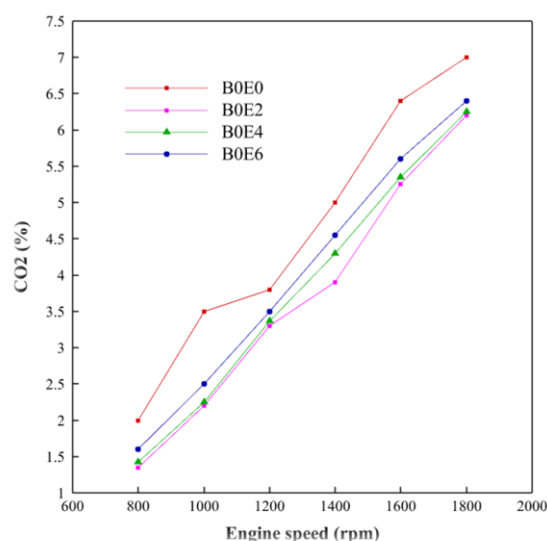
بیشترین میزان انتشار مونوکسید کربن برای دیزل خالص و در سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه ثبت شده است. ترکیب‌های B0E6 و B20E0 در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه نسبت به سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه به ترتیب ۵۰ و ۴۸ درصد کاهش در میزان انتشار آلاینده مونوکسید کربن ثبت کردند. شکل‌های ۲۱ الی ۲۳، تغییرات انتشار دی اکسید کربن نسبت به سرعت‌های مختلف موتور را به ترتیب برای درصدهای مختلف حجمی بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهند.

مشاهده می‌شود که در نمونه‌های مورد مطالعه با افزایش سرعت، میزان انتشار دی اکسید کربن افزایش یافته است. ترکیب B10E4 در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه، ۱۷ درصد افزایش نسبت به سرعت ۱۶۰۰ دور بر دقیقه داشته است. همچنین دیزل خالص در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه نسبت به سرعت ۱۶۰۰ دور بر دقیقه ۱۷ درصد افزایش در انتشار دی اکسید کربن داشته است. بهبود نسبت سوخت و هوا و احتراق کامل‌تر می‌تواند دلیل افزایش انتشار دی اکسید کربن با افزایش سرعت باشد. با افزایش درصد بیودیزل و اتانول به دیزل خالص در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه، مقدار انتشار دی اکسید کربن کاهش می‌یابد. بیودیزل و اتانول هر دو دارای نسبت کربن به هیدروژن پایین‌تری نسبت به دیزل خالص می‌باشند که این می‌تواند دلیل اصلی کاهش دی اکسید کربن نسبت به دیزل خالص باشد [۵۴ و ۵۵]. شکل ۲۱، میزان انتشار دی اکسید کربن برای درصدهای مختلف حجمی بیودیزل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین مقدار دی اکسید کربن برای مخلوط B5E0 با ۵۴ درصد کاهش و در سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه نسبت به دیزل خالص



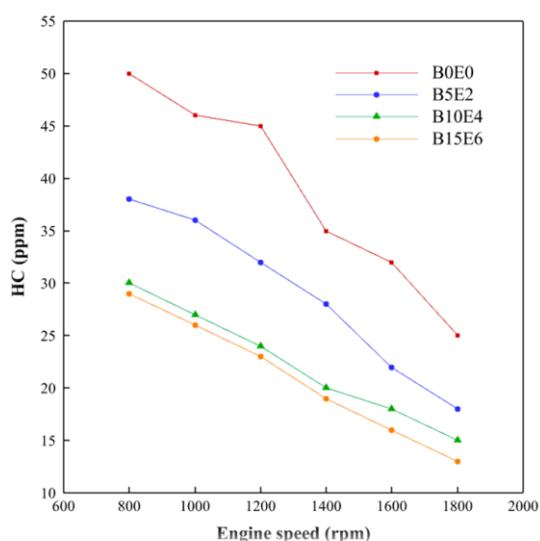
شکل ۲۳: تغییرات انتشار دی اکسید کربن بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد بیودیزل و اتانول به دیزل خالص در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه، مقدار آلایند هیدروکربن نسوخته کاهش می‌یابد. از دلایل اصلی تولید آلایند هیدروکربن نسوخته، احتراق ناقص می‌باشد. محتوای اکسیژن بالاتر بیودیزل و اتانول نسبت به دیزل خالص که سبب بهبود فرآیند احتراق می‌شود، می‌تواند دلیل کاهش آلایند هیدروکربن باشد [۵۶ و ۵۷]. شکل ۲۴، میزان انتشار آلایند هیدروکربن نسوخته برای درصدهای مختلف حجمی بیودیزل در سرعت‌های مختلف موتور را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین مقدار هیدروکربن نسوخته برای مخلوط B20E0 ثبت گردیده که موجب کاهش ۲۶ تا ۴۵ درصدی نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش گردید. شکل ۲۵ تغییرات آلایند هیدروکربن نسوخته نسبت به سرعت موتور را برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل نشان می‌دهد. با افزایش درصد اتانول در مخلوط، میزان انتشار آلایند هیدروکربن نسوخته، کاهش می‌یابد. کمترین مقدار هیدروکربن نسوخته در سرعت‌های مورد مطالعه، برای مخلوط B0E6 با ۲۴ تا ۳۸ درصد کاهش نسبت به دیزل خالص مشاهده شد. شکل ۲۶ مقادیر آلایند هیدروکربن نسوخته نسبت به سرعت را برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، هر سه نمونه آماده شده، آلایند هیدروکربن کمتری را نسبت به دیزل خالص ثبت کرده‌اند. کمترین مقدار هیدروکربن نسوخته برای مخلوط B15E6 ثبت گردیده که موجب کاهش ۴۲ تا ۵۰ درصدی نسبت به دیزل خالص در سرعت‌های مورد آزمایش گردید.

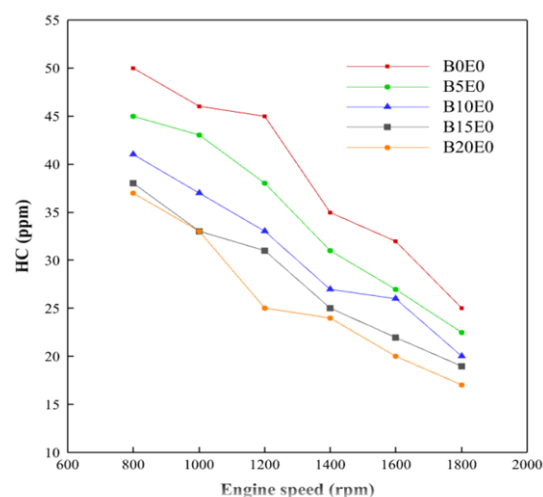


شکل ۲۴: تغییرات انتشار دی اکسید کربن بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل

که در نتیجه بهبود فرآیند احتراق می‌باشد. شکل ۲۳، مقادیر انتشار دی اکسید کربن نسبت به سرعت را برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش، هر سه نمونه آماده شده، مقادیر دی اکسید کربن کمتری نسبت به دیزل خالص ثبت کرده‌اند. مخلوط B5E2 کمترین مقدار دی اکسید کربن را نسبت به سایر ترکیب‌ها و همچنین دیزل خالص دارد. به صورتی که کاهش ۱۰ تا ۳۲ درصدی نسبت به دیزل خالص را نشان می‌دهد. شکل‌های ۲۴ الی ۲۶، تغییرات آلایند هیدروکربن نسوخته نسبت به سرعت‌های مختلف موتور را بترتیب برای درصدهای مختلف حجمی بیودیزل-دیزل، اتانول-دیزل و بیودیزل-اتانول-دیزل نشان می‌دهد. در نمونه سوخت‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت، میزان انتشار آلایند هیدروکربن کاهش می‌یابد. به گونه‌ای که انتشار این آلایند برای دیزل خالص در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه تا ۵۰ درصد نسبت به سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه کاهش یافته است. همچنین برای ترکیب B15E6 در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه نسبت به سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه تا ۵۶ درصد کاهش در میزان انتشار هیدروکربن مشاهده گردید. احتراق کامل‌تر و بهبود نسبت سوخت به هوا می‌تواند از دلایل کاهش انتشار آلایند هیدروکربن با افزایش سرعت باشد.



شکل ۲۶: تغییرات آلاینده هیدروکربن نسوخته بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-اتانول



شکل ۲۴: تغییرات آلاینده هیدروکربن نسوخته بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب بیودیزل-دیزل

۵- نتیجه گیری

در کار حاضر پارامترهای عملکردی و آلاینده‌های خروجی از یک موتور دیزلی پاشش مستقیم با استفاده از افزودنی‌های اتانول و بیودیزل بررسی گردید. مهمترین نتایج عبارتند از:

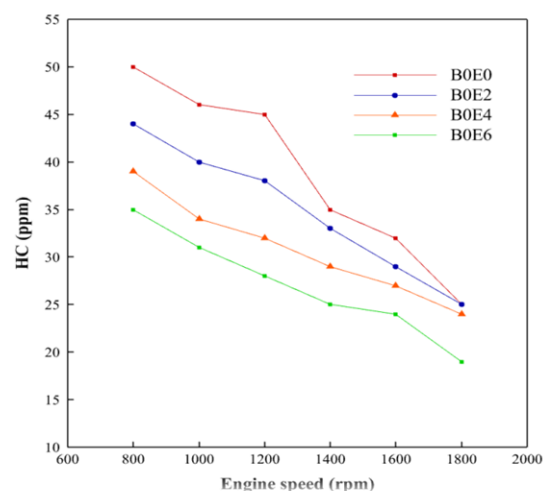
- سوخت دیزل خالص در تمامی سرعت‌های مورد آزمایش بیشترین مقدار گشتاور و توان تولیدی را دارد و با افزایش درصد اتانول و بیودیزل در ترکیب، مقدار این دو پارامتر کاهش می‌یابد.

- مصرف سوخت ویژه ترمزی بطور میانگین ۵,۵ درصد با افزودن اتانول و ۸,۷ درصد با افزودن بیودیزل، افزایش یافته و کمترین مقدار مصرف سوخت در تمامی حالت‌های مورد مطالعه، برای دیزل خالص مشاهده گردید.

- در تمامی نمونه‌های آماده‌شده، با افزایش سرعت، آلاینده اکسیدهای ازت، کاهش یافت. افزودن اتانول به دیزل موجب کاهش آلاینده اکسیدهای ازت تا ۱۱ درصد گردید، درحالی‌که با افزودن بیودیزل، انتشار این آلاینده تا ۲۸ درصد افزایش یافت.

- افزودن اتانول تا ۳۸ درصد و افزودن بیودیزل به دیزل تا ۵۴ درصد، میزان انتشار دی‌اکسید کربن را کاهش داد. همچنین در تمامی مخلوط‌های آماده شده، با افزایش سرعت، انتشار دی‌اکسید کربن نیز افزایش یافت.

- افزایش سرعت در تمامی نمونه‌های تهیه‌شده، مقادیر انتشار هیدروکربن را کاهش داد. مقدار این آلاینده بطور میانگین با



شکل ۲۵: تغییرات آلاینده هیدروکربن نسوخته بر حسب دور موتور برای درصدهای مختلف ترکیب اتانول-دیزل

ethanol blended diesel fuel, 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, Vol. 112, pp.1206-1212, 2013.

[11] M.J. Nye and P.H. Southwell, Conversion of rapeseed oil to esters for use as diesel fuel, Proceeding of 5th Canadian Bioenergy Research and Development Seminar, 1984.

[12] M.P. Dorado, E. Ballesteros, J.M. Arnal, J.Gómez and F.J. López, Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil, Fuel, Vol. 82, No. 11, pp.1311-1315, 2003.

[13] C. Sayin, Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol-diesel blends, Fuel, Vol. 89, No. 11, pp. 3410-3415, 2010.

[14] W.M. Adaileh and K.S. AlQdah, Performance of diesel engine fuelled by a biodiesel extracted from a waste cooking oil, Energy Procedia, Vol. 18, pp.1317-1334, 2012.

[15] J. Xue, Combustion characteristics, engine performances and emissions of waste edible oil biodiesel in diesel engine, Renew. Sustain. Energy Rev, Vol. 23, pp.350-365, 2013.

[16] Ö. Can, Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture, Energy Conversion and Management, Vol. 87, pp.676-686, 2014.

[17] S. R. Musavi Seyedi, S. M. Miri, and B. Ghobadian, Functional Variables of a Biodiesel-Powered Single-Cylinder Diesel Engine: An Experimental Analysis, J. Eng. Res, Vol. 38, pp.49-60, 2015. (in Persian)

[18] A. Praptijanto, A. Muharam, A. Nur and Y. Putrasari, Effect of ethanol percentage for diesel engine performance using virtual engine simulation tool, Energy Procedia, Vol. 68, pp. 345-354, 2015.

[19] M.F. Al-Dawody, A.A. Jazie and H.A. 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, Alex. Eng. J, Vol. 58, No. 1, pp. 9-17, 2019.

[20] A. Shirneshan and B. Hosseinzadeh Samani, Emission Characteristics of a Diesel Engine fueled with Diesel-biodiesel-JP-4 Blends. J. Engine Res, Research Study vol. 57, pp.3-14, 2020. (in Persian)

[21] B. Shadidi, H. Haji Agha Alizade, G. Najafi, S. A. Moosavian, and M. Khazaee, Investigation of performance and exhaust emission of diesel engine in different ratios of lambda coefficient using diesel-ethanol fuel blends. J. Engine Res, Vol. 60, pp.19-28, 2020. (in Persian)

[22] M. Lapuerta, O. Armas and R.G. Contreras, Stability of diesel-bioethanol blends for use in diesel engines, Fuel, Vol. 86, pp. 1351-1357, 2007.

[23] H. Y. Kim, J. C. Ge, and N. J. J. A. S. Choi, Effects of Ethanol-Diesel on the Combustion and Emissions

افزودن بیودیزل به دیزل تا ۲۳ درصد و با افزودن اتانول به دیزل تا ۱۷ درصد کاهش یافت.

- انتشار آلاینده کربن مونوکسید با افزودن اتانول به دیزل تا ۳۱ درصد و با افزودن بیودیزل به دیزل تا ۳۸ درصد کاهش یافت. همچنین برای تمامی نمونه‌های بررسی شده با افزایش سرعت میزان آلاینده کربن مونوکسید کاهش یافت.
- استفاده از ترکیب سوخت B15E6 بطور میانگین میزان انتشار دی‌اکسید کربن، مونوکسید کربن و هیدروکربن را به ترتیب ۳۲، ۳۳ و ۴۶ درصد نسبت به دیزل خالص کاهش داد و فقط در آلاینده اکسیدهای ازت به میزان ۱۰ درصد نسبت به دیزل خالص افزایش مشاهده شد.

مراجع و منابع

- [1] M. Shekofteh, T. M. Gundoshmian, A. Jahanbakhshi, and A. Heidari-Maleni, Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with functionalized multi-wall carbon nanotubes (MWCNTs-OH) and diesel-biodiesel-bioethanol blends, Energy Rep, Vol. 6, pp.1438-1447, 2020.
- [2] R. H. Vali and M. M. Wani, The effect of mixed nano-additives on performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with diesel-ethanol blend, Mater. Today: Proc, Vol. 43, pp.3842-3846, 2021.
- [3] M. Elkelawy, H. Alm-EldinBastawissi, E.A. El Shenawy, M.M.Shams, H. Panchal, K. Kumar Sadasivuni and A. Kumar Choudhary, Influence of lean premixed ratio of PCCI-DI engine fueled by diesel/biodiesel blends on combustion, performance, and emission attributes; a comparison study, Energy Convers. Manag, Vol. 10, p. 100066, 2021.
- [4] E. Rajasekar and S. Selvi, Review of combustion characteristics of CI engines fueled with biodiesel, Renew. Sustain. Energy Rev, Vol. 35, pp.390-399, 2014.
- [5] S. Kent Hoekman, A. Broch, C. Robbins, E. Cenicerio and M. Natarajan, Review of biodiesel composition, properties, and specifications, Renew. Sustain. Energy Rev, Vol. 16, No. 1, pp.143-169, 2012.
- [6] H.K. Suh and C.S. Lee, A review on atomization and exhaust emissions of a biodiesel-fueled compression ignition engine, Renewable and Sustainable Energy Rev, Vol. 58, pp.1601-1620, 2016.
- [7] Renewable Fuels Association, Ethanol Industry Outlook: Climate of Opportunity, Ethanol RFA. Org, 2010.
- [8] Y. Çelebi and H. Aydın, An overview on the light alcohol fuels in diesel engines, Fuel, Vol. 236, pp. 890-911, 2019.
- [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

- experimental investigation of biodiesel production, characterization, engine performance, emission and noise of Brassica juncea methyl ester and its blends, J. Clean. Prod, Vol. 79, pp. 74-81, 2014.
- [36] H. rahimi, B. Ghobadian, T. Yusaf, G. Najafi and M. Khatamifar, Diesterol: an environment-friendly IC engine fuel, Renew. Energy, Vol. 34, No. 1, pp. 335-342, 2009.
- [37] M. Karabektas and M. Hosoz, Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol-diesel fuel blends, Renew. Energy, Vol. 34, No. 6, pp. 1554-1559, 2009.
- [38] L. A. Raman, B. Deepanraj, S. Rajakumar, and V. Sivasubramanian, Experimental investigation on performance, combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel, Fuel, Vol. 246, pp. 69-74, 2019.
- [39] K. Abed, A. K. El Morsi, M. M. Sayed, A. El Shaib, and M. Gad, Effect of waste cooking-oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine, Egypt. J. Pet, Vol. 27, no. 4, pp. 985-989, 2018.
- [40] N. H. Abu-Hamdeh and K. A. Alnefaie, A comparative study of almond biodiesel-diesel blends for diesel engine in terms of performance and emissions, Biomed. Res. Int, Vol. 2015, 2015.
- [41] 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, Applied Therm. Engineering, Vol. 117, pp. 155-163, 2017.
- [42] 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 Insti, Vol. 88, No. 1, pp. 19-26, 2015.
- [43] C. Sayin, Engine performance an exhaust gas emission of methanol and ethanol-diesel blends, Fuel, Vol. 89, pp. 3410-3415, 2010.
- [44] Y. Di, C.S. Chenung and Z. Huang, Comparison of the effect of biodiesel-diesel and ethanol-diesel on the gaseous emission of a direct-injection diesel engine, Atmos Environ, Vol. 43, pp.2721-2730, 2009.
- [45] H. Rahimi, B. Ghobadian, T. Yusaf and GH. Najafi, Diesterol: An environmentfriendly IC engine fuel, Renewable Energy, Vol. 34, pp.335-342, 2009.
- [46] H. Aydin and C. Ilkilic, Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine, Applied Thermal Engineering, Vol. 30, pp.1199-1204, 2010.
- [47] A.I. El-Seesy, M. Nour, A.M. Attia, Z. He and H. Hassan, Investigation the effect of adding graphene oxide into diesel/higher alcohols blends on a diesel engine performance. Int. J. Green Energy, Vol. 17. pp. 233-253, 2020.
- [48] M. Nour, A.M. Attia and S.A. Nada, Improvement of CI engine combustion and performance running on ternary blends of higher alcohol (Pentanol and Octanol)/hydrous ethanol/diesel, Fuel, Vol. 251, pp. 10-22, 2019.
- from a Diesel Engine at a Low Idle Speed, Appl. Sci, Vol. 10, p. 4153, 2020.
- [24] LOVOL Engines, User's Handbook, The 1000 Series Engines Used For Genset, Part No. T76812896, 4 and 6 Cylinder Diesel Engines for Genset: 1004G, 1004TG, 1006TG1A, 1006TG2A, 1006TAG.
- [25] Mountcastle, Donald B, Brandon R Bucy, and John R Thompson. *Student Estimates of Probability and Uncertainty in Advanced Laboratory and Statistical Physics Courses*. Vol. 951. AIP Conference Proceedings: American Institute of Physics, 2007.
- [26] F.E. Mahan, Statistical Estimation of Uncertainty in the MCRT Method, 2019.
- [27] M.A.H. Altaie, R.B. Janius, U.Rashid, Y.H. Taufiq-Yap, R. Yunus, R. Zakaria and N.M. Adam, Performance and exhaust emission characteristics of direct-injection diesel engine fueled with enriched biodiesel, Energy Convers. Manag, Vol. 106, pp.365-372, 2015.
- [28] W. N. Maawa, R. Mamat, G. Najafi, and L. De Goey, Performance, combustion, and emission characteristics of a CI engine fueled with emulsified diesel-biodiesel blends at different water contents, Fuel, Vol. 267, p. 117265, 2020.
- [29] Y. H. Tan, M. O. Abdullah, C. Nolasco-Hipolito, N. S. A. Zauzi, G. W. Abdullah, Engine performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol emulsions, Energy Convers. Manag, Vol. 132, pp. 54-64, 2017.
- [30] H. Jincheng, Y. Wanga, 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. Engineering, Vol. 29, No. 11-12, pp. 2484-2490, 2009.
- [31] F. Pradelle, S. L. Braga, A. R. F. de Aguiar Martins, F. Turkovics, and R. N. Pradelle, Performance and combustion characteristics of a compression ignition engine running on diesel-biodiesel-ethanol (DBE) blends-Potential as diesel fuel substitute on an Euro III engine, Renew. Energy, Vol. 136, pp.586-598, 2019.
- [32] M. Cetinkaya, Y. Ulusoy, Y. Tekin and F. Karaosmanoğlu, Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel, Energy Convers. Manag, Vol. 46, No. 7-8, pp. 1279-1291, 2005.
- [33] Md. Nurun Nabi, A. Zare, F.M. Hossain, Z.D. Ristovski and R.J. Brown, Reductions in diesel emissions including PM and PN emissions with diesel-biodiesel blends, J. Clean. Prod, Vol. 166, pp. 860-868, 2017.
- [34] L., C. S. Cheung Wei and Z. Ning, Effects of biodiesel-ethanol and biodiesel-butanol blends on the combustion, performance and emissions of a diesel engine, Energy, Vol. 155, pp. 957-970, 2018.
- [35] S. Ahmed, M.Hj. Hassan, Md. AbulKalam, S.M.A. Rahman, Md.J. Abedin and A. Shahir, An

- [54] K. Sundar and R. Udayakumar, Comparative evaluation of the performance of rice bran and cotton seed biodiesel blends in VCR diesel engine, *Energy Rep*, Vol. 6, pp. 795-801, 2020.
- [55] R. Chakraborty, K.G. Abhishek and R. Chowdhury, Conversion of slaughterhouse and poultry farm animal fats and wastes to biodiesel: Parametric sensitivity and fuel quality assessment, *Renew. Sust. Energ. Rev*, Vol. 29, pp.120-134, 2014.
- [56] Y. Devarajan, D. Munuswamy, B. Nagappan, and G. Subbiah, Experimental assessment of performance and exhaust emission characteristics of a diesel engine fuelled with Punnai biodiesel/butanol fuel blends, *Pet. Sci*, Vol. 16, no. 6, pp. 1471-1478, 2019.
- [57] L. Geng, L. Bi, Q. Li, H. Chen, and Y. Xie, Experimental study on spray characteristics, combustion stability, and emission performance of a CRDI diesel engine operated with biodiesel-ethanol blends, *Energy Rep*, Vol. 7, pp. 904-915, 2021.
- [49] A.I. El-Seesy, H. Hassan, L. Ibraheem, Z. He and M.E. Soudagar, Combustion, emission, and phase stability features of a diesel engine fueled by Jatropha/ethanol blends and n-butanol as co-solvent. *Int. J. Green Energy*, Vol. 17, pp. 793-804, 2020.
- [50] M. Nour, A. M. Attia, and S. A. Nada, "Improvement of CI engine combustion and performance running on ternary blends of higher alcohol (Pentanol and Octanol)/hydrous ethanol/diesel, *Fuel*, Vol. 251, pp.10-22, 2019.
- [51] A. I. El-Seesy, M. Nour, A. M. Attia, Z. He, and H. Hassan, Investigation the effect of adding graphene oxide into diesel/higher alcohols blends on a diesel engine performance, *Int. J. Green Energy*, Vol. 17, pp. 233-253, 2020.
- [52] A. I. El-Seesy, H. Hassan, L. Ibraheem, Z. He, and M. E. M. Soudagar, Combustion, emission, and phase stability features of a diesel engine fueled by Jatropha/ethanol blends and n-butanol as co-solvent, *Int. J. Green Energy*, Vol. 17, pp. 793-804, 2020.
- [53] S. Turns, D.C. Haworth, *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*, McGraw Hill, ISBN10: 126047769X, Copyright: 2021.



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir

DOI:10.22034/ER.2022.697909



Experimental Investigation of the Combination of Ethanol-Biodiesel, Ethanol-Diesel, and Ethanol-Biodiesel-Diesel Emulsion Blends on Performance and Emissions of Direct Injection Diesel Engines

A. Zarenezhad Ashkezari ^{1*}, S. Pourtaghi Yousefdeh ²

¹ Assistant Professor of Mechanical Engineering, Imam Khomeini Marine Sciences University, Nowshahr, Iran, azarenezhad.a@gmail.com

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

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 9 June 2021

Accepted: 6 March 2022

Keywords:

Biodiesel

Ethanol

Diesel engine

Emissions

ABSTRACT

In this study, the combination of biodiesel-diesel, ethanol-diesel, and ethanol-biodiesel-diesel emulsion blends on performance and emissions of a direct injection diesel engine was investigated. High purity ethanol in three levels of 2, 4 and, 6 by volume percent and biodiesel prepared from waste cooking oil in four levels of 5, 10, 15 and 20 by volume percent were mixed with pure diesel. Thus, 11 fuel samples were prepared which were shown with BxEy, that x and y represent the volume percent of biodiesel and ethanol in the prepared mixtures, respectively. The experiments were performed at full load with the change in engine speed from 800 to 1800 rpm, with the interval 200 rpm. The results showed that pure diesel has the lowest specific fuel consumption at all of the speeds compared to other prepared mixtures. Using of B15E6 blend, reduced the emission of carbon monoxide by 40% compared to pure diesel. This mixture also, reduced the emissions of carbon dioxide and hydrocarbon by 27 and 55% compared to pure diesel, respectively.



© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.