نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

بررسی تجربی عملکرد و آلاینده‌های موتور دیزل تک سیلندر هواخنک در بارهای مختلف با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیویزل

علی رحیمی[۱]، برات قبادیان[۲]* مهدی منتظری[۳]

۱ و ۲ و ۳ – به ترتیب فارغ‌التحصیل کارشناس ارشد و دانشیار و دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس

ایمیل مکاتبه کننده: ghobadib@modares.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر با استفاده از سوخت زیستی بیودیزل تولیدی از روغن کرچک و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل خالص، متغیرهای عملکردی و آلاینده‌های خروجی از یک موتور دیزل تک سیلندر هوا خنک مورد ارزیابی قرار گرفت. این تحقیق در بارهای مختلف موتور (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) و در دور ثابت ۱۹۵۰rpm انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد، توان تولیدی برای تمام مخلوط‌های سوخت بیودیزل در بارهای مختلف موتور نسبت به سوخت دیزل خالص اندکی افزایش داشت. با توجه به کاهش جزئی مصرف سوخت موتور با استفاده از مخلوط‌های سوخت بیودیزل، مقدار مصرف ویژه سوخت نیز با استفاده از این مخلوط‌ها مقداری کاهش داشت. انتشار آلاینده CO برای تمام مخلوط‌های سوخت در بارهای متوسط موتور کمترین مقدار را داشت و میزان آن برای مخلوط‌های سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص به طور میانگین ٦ درصد کاهش نشان داد. انتشار آلاینده CO_2 برای تمام مخلوط‌های سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص دچار کاهش گردید و احتراق مخلوط B15 با ۸/۵ درصد، بیشترین مقدار کاهش را به خود اختصاص داد. میزان انتشار آلاینده NO_x خروجی از موتور برای مخلوط‌های B5 و B10 نسبت به سوخت دیزل خالص به مقدار جزئی افزایش و دو مخلوط B15 و B20 میزان انتشار این آلاینده را کاهش دادند. احتراق مخلوط‌های بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته را به طور میانگین ۲۱ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: سوخت بیودیزل، عملکرد، آلاینده‌ها، موتور دیزل هوا خنک.

مقدمه

کشاورزی مکانیزه به انرژی، به خصوص سوخت‌های فسیلی نیازمند است. به دلیل روند رو به رشد مکانیزاسیون در ایران، استفاده از سوخت‌های فسیلی در حال افزایش می‌باشد. بیودیزل سوخت تجدیدپذیر جایگزین برای موتورهای دیزل است که از نظر ساختار شیمیایی جزء استرها محسوب می‌شود. این سوخت می‌تواند از روغن گیاهانی مثل ذرت، آفتابگردان، برخی دانه های روغنی مانند کرچک، بادام زمینی و همچنین روغن‌های پسماند خوراکی و چربی‌های حیوانی در کنار یک عامل متیل کننده تولید شود (Demirbas, 2006). امروزه موتورهای دیزل به عنوان یک منبع توان اساسی در تأمین نیروی محرکه خودروها و ماشین‌های غیرجاده‌ای به‌کاربرده می‌شوند. این موتورها یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان سوخت دیزل بوده و دود خروجی از اگزوز این موتورها یکی از عوامل ایجادکننده آلودگی محیط زیست به شمار می‌آید. در حال حاضر جستجو برای یافتن و استفاده از سوخت‌های جایگزین به واسطه دو عامل محدودیت منابع فسیلی و مشکلات جدی آلودگی محیط زیست، یکی از اهداف مهم محققان می‌باشد. از طرفی به دلیل رویکرد نامناسب تقسیم زمین‌های کشاورزی در کشور و کوچک شدن اراضی زراعی و باغی در سالیان اخیر و عدم صرفه اقتصادی خرید ادوات و ماشین‌های کشاورزی سنگین و همچنین عدم کارایی مناسب این ماشین‌ها در اراضی کوچک، استفاده از ماشین‌های کشاورزی سبک از قبیل تراکتورهای دو چرخ با توان‌های مختلف، انواع دروگرها و ... که توان مورد نیاز خود را از موتورهای دیزل تک سیلندر هوا خنک کسب می‌کنند رو به فزونی گذاشته است. کاربرد رو به گسترش این ماشین‌ها و همچنین استفاده زیاد از موتورهای دیزل تک سیلندر هوا خنک در دیگر دستگاه‌های کشاورزی و صنعت از قبیل دیزل ژنراتورها، موتور آب و غیره و جنبه آلودگی محیط زیست و پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی، لزوم استفاده از سوخت‌های جایگزین را در این نوع موتورها بیش از پیش آشکار می‌نماید.بر اساس آمار ارائه شده توسط موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی کشور در سال ۱۳۸۸، ۱۳۸۲۷۹ دستگاه تراکتور دو چرخ کشاورزی با توان‌های بین ٤/٥ تا ۱۳ اسب بخار، ۱٦۷٥٤ دروگر خودگردان زیر ۱۰ اسب بخار و ۱۹٥۷٦۷ دستگاه موتور پمپ آب زیر ۲۰ اسب بخار در بخش کشاورزی کشور در حال استفاده بودند (وکیلی و همکاران، ۱۳۹۱) که سوخت عمده مصرفی آن‌ها نیز گازوئیل می‌باشد.

تئوری و پیشینه تحقیق

بیودیزل سوختی تجدیدپذیر، غیر سمی، بدون ترکیبات آروماتیک است (خاتمی‌فر،۱۳۸٥). از این رو در سال‌های اخیر به دلیل کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و مسائل زیست محیطی و قابلیت تجدید پذیری سوخت‌های زیستی، تحقیقات وسیعی در راستای امکان جایگزینی استفاده از بیودیزل به جای سوخت دیزل انجام گرفته است. از آنجا که قسمت اعظم آلاینده‌هایی نظیر اکسیدهای نیتروژن، مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن و ذرات معلق از گاز خروجی اگزوز موتورهای دیزلی ناشی می‌شوند، لذا در میان سوخت‌های موجود، تحقیق در راستای یافتن سوخت جایگزین و مناسب برای سوخت دیزل، سهم وسیعی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است (Caruana, 2000). کربن دی‌اکسید آزاد شده از سوختن این سوخت‌ها توسط گیاهان جذب می‌شود و همین گیاهان برای تولید دوباره

بیودیزل مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین کربن دی‌اکسید در اتمسفر با تشکیل یک سیستم بسته، بازیافت می‌شود (Anonymous, 2010). تحقیق صورت گرفته بر روی یک موتور دیزل تک سیلندر نشان داد که استفاده از سوخت بیودیزل روغن هسته زردآلو و مخلوط‌های ۵، ۲۰ و ۵۰ درصد حجمی آن با سوخت دیزل در موتور دیزل پاشش مستقیم(Direct Ignition) ، عملکرد موتور در درصدهای پایین بیودیزل بهتر و آلایندگی کمتر بود. همچنین میزان مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور (Brake Specific Fuel Consumption) نسبت به مخلوط‌های غنی‌تر بیودیزل کمتر بود. در غلظت‌های بالاتر آلاینده‌ها (CO ، HC و دود) کاهش، ولی NOx کمی افزایش داشت. عملکرد موتور با استفاده از سوخت بیودیزل پایین‌تر از دیزل بود (Gumus and Kasifoglu, 2010). تحقیق دیگری که بر روی یک موتور دیزل پاشش مستقیم انجام شد، ترکیب‌های سوختی با استفاده از روغن تجزیه چوب (Wood Pyrolysis Oil) و متیل استر گیاه جاتروفا (Jatropha Methyl Ester) با نسبت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی WPO و ۹۵، ۹۰ و ۸۵ درصد حجمی JME و همچنین JME خالص استفاده شد. میزان NO در ترکیب ۱۵ درصدWPO ، ۲/۵ درصد کاهش نشان داد ولی برای سایر ترکیبات دچار افزایش شد. میزان دوده به ترتیب ۲۵، ۲٦/۷، ۲۲/۱و ۱۸/۲ درصد برای JME و ترکیبات آن با WPO در مقایسه با سوخت دیزل کاهش یافت. راندمان حرارتی ترمزی نیز به ترتیب در ترکیبات ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی WPO در بار کامل موتور به میزان ۰/۵، ٤/۷۵ و ۷/٤ درصد از دیزل خالص بالاتر بود (Prakash et al., 2013). بیودیزل تولیدی از روغن پنبه دانه در یک موتور دیزل تک سیلندر پاشش مستقیم (DI) با استفاده از ترکیبات سوخت دیزل و بیودیزل با درصدهای حجمی ۵، ۲۰، ۵۰ و ۷۵ درصد در شرایط تمام بار و در سرعت‌های ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۷۵۰ و ... و ۲۵۰۰ دور بر دقیقه، عملکرد و آلاینده‌های موتور بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که مخلوط‌های با درصد پایین بیودیزل (B5) گشتاور موتور را در سرعت‌های متوسط و بالای موتور در مقایسه با دیزل افزایش دادند. عملکرد موتور برای B5 و B20 با دیزل تفاوت چندانی نداشت. با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط‌ها، آلاینده‌ها کاهش یافتند. در بار کامل و سرعت‌های پایین، مقدار BSFC برای B20 از همه کمتر بود. مقدار NOx برای تمامی مخلوط‌ها به‌خصوص B5 کاهش یافت (Aydin and Bayindir, 2010).

مطالعه تحقیقات گذشته نشان می‌دهد با وجود گستردگی و روند افزایش به‌کارگیری موتورهای دیزل سبک هوا خنک در صنعت و کشاورزی ایران، تاکنون تحقیق جامع و کاملی در زمینه بررسی عملکرد این نوع موتورها با استفاده از سوخت‌های جایگزین (بیودیزل تولیدی از روغن کرچک) انجام نگرفته است. لذا در تحقیق حاضر با استفاده از سوخت بیودیزل با نسبت حجمی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد و مخلوط آن با سوخت دیزل خالص متغیرهای عملکردی و آلاینده های موتور دیزل تک سیلندر هوا خنک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق به صورت داده‌های تجربی و عملی آزمایشگاهی می‌تواند به عنوان منبع معتبر برای صحه‌گذاری مطالعات و تحقیقات نظری و مقایسه با تحقیقات تجربی در آینده مورد بهره برداری محققان قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، تولید بیودیزل روغن کرچک با روش ترانس استریفیکاسیون و استفاده از دستگاه اولتراسونیک (به منظور شدت بخشی فرآیند تولید بیودیزل) انجام شد. مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل (صفر تا بیست درصد حجمی بیودیزل با گام ۵ درصد) تهیه شد. از یک موتور دیزل چهار زمانه تک سیلندر هوا خنک که کاربردهای فراوانی در کشاورزی و صنعت دارد برای انجام آزمون‌ها استفاده گردید. عملکرد موتور (مصرف سوخت، مصرف ویژه سوخت و توان) به وسیله دینامومتر موتورهای چهار زمانه تحت بارهای مختلف و در سرعت ۱۹۵۰ rpm، پس از رسیدن موتور به وضعیت پایدار، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری میزان مصرف سوخت نیز طبق استاندارد ASTM D7589 توسط سامانه اندازه‌گیری مصرف سوخت انجام گردید. برای اندازه‌گیری میزان آلایندگی موتور از دستگاه آلاینده‌سنج MAHA-MGT5 استفاده گردید. این دستگاه قادر به تعیین مقادیر CO، CO2، HC با استفاده از تکنولوژی مادون قرمز و هم‌چنین تعیین مقادیر گازهای O2، NOX با استفاده از حسگرهای شیمیایی می‌باشد.

مشخصات سوخت تولید شده

سوخت‌های جایگزین تجدیدپذیر به موادی اطلاق می‌شود که دارای ویژگی‌های مشابه با سوخت‌های فسیلی بوده و می‌تواند به طور موثر جایگزین سوخت‌های فسیلی شود. بیودیزل، اتیل استر یا متیل استری است که از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تولید شده و به عنوان سوخت در موتورهای دیزل یا سایر سامانه‌های حرارتی استفاده می‌شود (Ghobadian and Rahimi, 2004). بیودیزل استفاده شده در این تحقیق متیل استر روغن کرچک است که در آزمایشگاه بیودیزل گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس تولید شد. سوخت گازوییل مورد استفاده، گازوییل متداول در ایران (گازوییل شماره ۲) است. برخی از خواص مهم بیودیزل استفاده شده به همراه استانداردهای مربوطه و حدود مجاز آن‌ها در جدول (۳-۱) ارایه شده است.

جدول ۳-۱: ویژگی‌های سوخت بیودیزل تولیدی به همراه استانداردهای مربوطه

ویژگی	روش‌استانداردآزمون	حدود مجاز	بیودیزل	واحد
نقطه اشتعال	EN 14214	کمترین ۱۲۰	۱۸۸/۶	°C
گرانروی‌سینماتیک	EN 14214	۳/۵۰-۵/۰۰	۱۳/۳۰	mm^2/s
چگالی	EN 14214	-----	۰/۹۰۸	g/cm^3
آب و رسوبات	EN 14214	بیشترین ۰/۰۵	۰/۰۵	% vol.
پایداری اکسیداسیون	EN 14112	کمترین ۸	۱۳	hours

مشخصات دینامومتر و موتور تحت آزمایش

در این تحقیق از دینامومتر جریان گردابی (Eddy Current) مدل WE400 طرح شنک آلمان برای اندازه‌گیری گشتاور، سرعت دورانی و محاسبه توان استفاده گردید. این دینامومتر قابلیت اندازه‌گیری حداکثر توان ۲۱ اسب بخار، حداکثر دور ۱۰۰۰۰rpm و حداکثر گشتاور ۸۰ N.m را داراست. دقت این دستگاه برای متغیرهای اندازه‌گیری شده ۰/۵ تا ۱ درصد فول اسکیل می‌باشد. در شکل (۳–۱) نمایی از اتاق آزمون موتور و دینامومتر نشان داده شده است.

شکل **Error! No text of specified style in document.**-۱: دینامومتر و تجهیزات اتاق آزمون موتور.

جدول ۳–۲ مشخصات فنی موتور مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۳–۲: مشخصات فنی موتور مورد استفاده در تحقیق.

مدل	3LD 510
کارخانه سازنده	شرکت لمباردینی ایتالیا
تعداد سیلندر	۱
کورس سیلندر	۹۰ میلی‌متر
قطر سیلندر	۸۵ میلی‌متر
حجم سیلندر	۵۱۰ سانتی متر مکعب
حداکثر توان در ۳۰۰۰ rpm	۱۲/۲ اسب بخار (۹ کیلووات)
حداکثر گشتاور در ۱۸۰۰ rpm	۳۳ نیوتن متر
نسبت تراکم	۱: ۱۷/۵

سامانه اندازه‌گیری مصرف سوخت

سامانه اندازه‌گیری مصرف سوخت شامل باک، اتصالات، لوله‌های انتقال سوخت، حسگر اندازه‌گیری حجمی مصرف سوخت، مبدل‌های خنک کننده سوخت برگشتی از موتور، مبدل‌های کنترل فشار سوخت، سنجه فشار سوخت و

حسگر اندازه‌گیری دمای سوخت می‌باشد. دقت اندازه‌گیری این دستگاه ۱± سی سی بر ساعت می‌باشد. این سامانه شامل دو صفحه نمایشگر دیجیتال دمای سوخت بر حسب درجه سلسیوس و مصرف سوخت بر حسب سانتی متر مکعب بر ساعت می‌باشد. این سامانه سوخت برگشتی از موتور را پس از عبور از مبدل‌ها و خنک کردن سوخت مجدد وارد مسیر حرکت سوخت به موتور می‌گرداند. این سامانه مجهز به کنترل کننده افت فشار مخزن سوخت برای افزایش دقت اندازه‌گیری سوخت مصرفی می‌باشد.

مشخصات دستگاه آلاینده‌سنج

برای اندازه‌گیری میزان آلایندگی موتور از دستگاه آلاینده‌سنج MAHA-MGT5 استفاده گردید. این دستگاه قادر به تعیین مقادیر CO، CO2، HC با استفاده از تکنولوژی مادون قرمز و هم‌چنین تعیین مقادیر گازهای O2، NOx با استفاده از حسگرهای شیمیایی می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده توسط این دستگاه به کمک نرم‌افزار (Euro System) MAHA نمایش داده می‌شود. دقت اندازه‌گیری این دستگاه برای مقادیر CO، CO2، HC و NOx به ترتیب ۰/۰۶٪ و ۰/۵٪ حجمی، ۱۲ و ۳۲ ppm می‌باشد. روش کار بدین صورت است که هنگامی که دور موتور به میزان مورد نظر می‌رسید، پروب دستگاه به درون محفظه تعبیه شده بر سر خروجی اگزوز موتور قرار داده می‌شد و پس از نمایش داده‌های مربوط به گازهای آلاینده بر روی صفحه نمایش رایانه متصل به دستگاه، پروب خارج می‌گردید. شکل ۳-۲ نمونه‌ای از صفحه نمایش رایانه در حین انجام آزمون آلایندگی با دستگاه آلاینده‌سنج MAHA-MGT5 را نشان می‌دهد.

شکل **Error! No text of specified style in document.**-۲: نمونه‌ای از صفحه نمایش رایانه در انجام آزمون آلایندگی.

روش و مراحل انجام آزمایش

آزمون‌ها در قالب یک طرح کوتاه مدت و با هدف مقایسه متغیرهای عملکردی و آلاینده‌های خروجی موتور ، بین مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل انجام گرفت. متغیرهای تحت کنترل در این آزمون‌ها بار اعمالی از طرف دینامومتر به موتور و نوع سوخت بوده است. مراحل انجام آزمایش به شرح ذیل می‌باشد:

۱- راه‌اندازی سامانه کنترل مرکزی دینامومتر

۲- گرم نمودن موتور

۳- اعمال بار و حالت پایدار دور موتور: برای هر یک از مخلوط‌های سوخت، بار موتور در ۵ حالت مختلف صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد در دور ثابت ۱۹۵۰rpm به موتور اعمال شد.

٤- اندازه‌گیری گشتاور و محاسبه توان

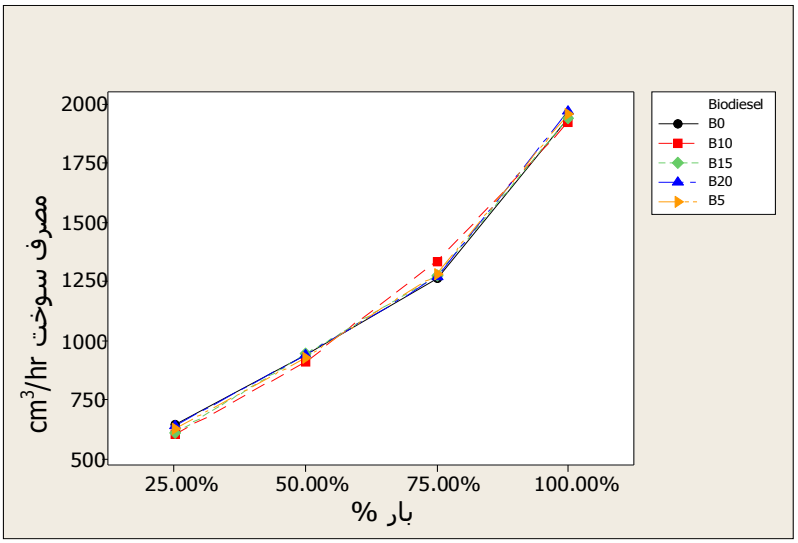
۵- اندازه‌گیری مصرف سوخت: برای اندازه‌گیری مصرف سوخت، یک حسگر پس از عبور جریان سوخت به صورت حجمی، سیگنالی را به سیستم کنترل ارسال می‌کرد. دستگاه سوخت سنج مجهز به سامانه کنترل دمای سوخت و همچنین جبران افت فشار سوخت بود.

٦- اندازه‌گیری آلاینده‌ها: حسگر دستگاه آلاینده‌سنج در مسیر دود خروجی موتور قرار گرفت و میزان آلاینده‌ها در طول آزمایش و در بارهای مختلف موتور از روی نمایشگر آن یادداشت گردید. در پایان هر آزمون حسگر آلاینده‌سنج از مسیر دود خارج و تمیز می‌شد تا نشستن دوده روی آن باعث کاهش دقت اندازه‌گیری نگردد.

نتایج و بحث

مصرف سوخت موتور تحت آزمایش

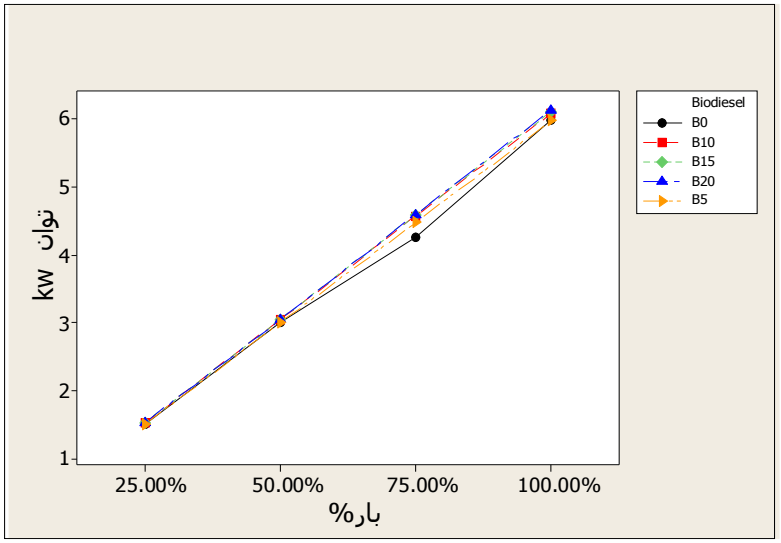
شکل ٤-۱ میزان مصرف سوخت مخلوط‌های مختلف دیزل و بیودیزل را در بارهای مختلف موتور نشان می‌دهد. برای تمام مخلوط‌ها، با افزایش در بار موتور مصرف سوخت بیشتر، صرف افزایش توان موتور می‌گردد تا به مقدار بیشینه خود در بار کامل برسد. میزان مصرف سوخت برای تمام مخلوط‌ها به سوخت دیزل خالص نزدیک بود.



شکل **-Error! No text of specified style in document.**۳: تغییرات مصرف سوخت مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به بار موتور

توان موتور تحت آزمایش

شکل ٤-۲ تغییرات توان موتور تحت آزمایش نسبت به تغییرات دور را با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نشان می‌دهد. توان با افزایش در بار موتور برای تمام مخلوط‌های سوخت افزایش می‌یابد تا به مقدار بیشینه خود در بار ۱۰۰ درصد برسد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توان موتور در بارهای پایین، برای تمام مخلوط‌های سوخت بسیار به هم نزدیک می‌باشد اما در بارهای بالای موتور با افزایش نسبت هم ارزی سوخت- هوا، اکسیژن اضافی موجود در مخلوط‌های بیودیزل باعث احتراق کامل‌تر سوخت شده و منجر به بهبود توان خروجی موتور می‌گردد (Gumus and Kasifoglu, 2010). اما در حالت کلی توان موتور با استفاده از مخلوط‌های بیودیزل به سوخت دیزل خالص نزدیک بود و اختلاف معنی‌داری بین مخلوط‌های سوخت مشاهده نشد.



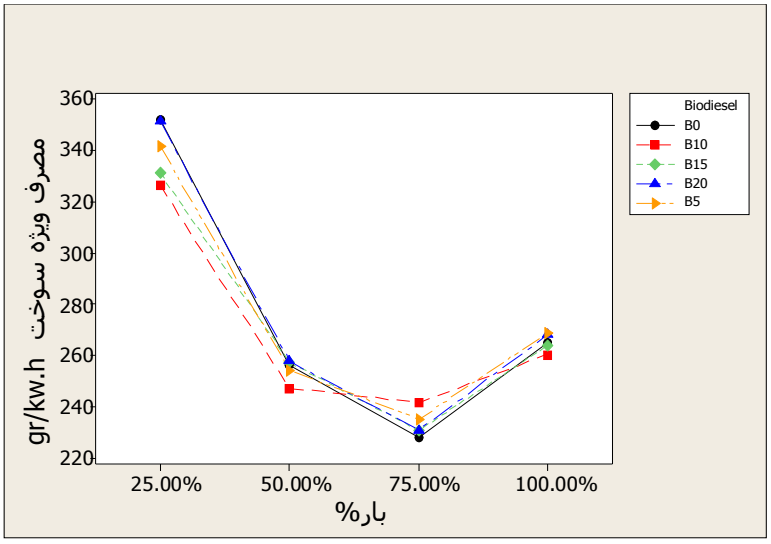
شکل **Error! No text of specified style in document.**-٤: تغییرات توان مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به بار موتور .

مصرف ویژه سوخت موتور تحت آزمایش

میزان مصرف ویژه سوخت بستگی به نوع سوخت (چگالی سوخت)، نرخ مصرف سوخت و توان تولیدی در سر چرخ لنگر دارد. مصرف ویژه سوخت عبارت است از جرم سوخت بر حسب گرم که برای تولید یک کیلووات ساعت کار واقعی در موتور مصرف می‌شود. مقدار مصرف ویژه سوخت از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد. در این رابطه M برابر با آهنگ مصرف سوخت بر حسب گرم بر ساعت (g/h) و P توان تولیدی بر حسب کیلووات می‌باشد.

$$SFC(g/kW.h) = \frac{M}{P} \qquad (۱-۴)$$

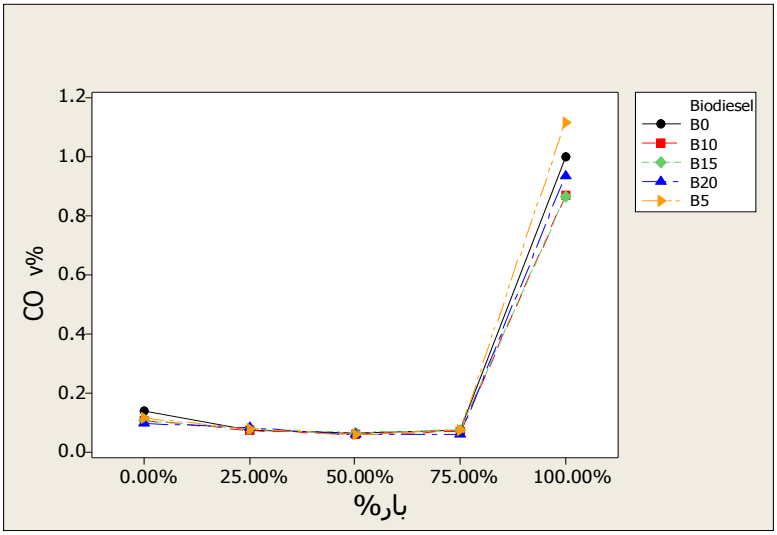
شکل ٤-۳ میزان مصرف ویژه سوخت مخلوط‌های مختلف دیزل- بیودیزل را در بارهای مختلف موتور نشان می‌دهد. میزان مصرف ویژه سوخت برای تمام مخلوط‌ها در بارهای متوسط موتور کمترین مقدار را داشت و این مقدار برای سوخت دیزل خالص از سایر مخلوط‌ها کمتر بود. از دلایل کاهش مصرف ویژه سوخت برای سوخت دیزل خالص در بارهای متوسط موتور می‌توان به ارزش حرارتی پایین‌تر سوخت بیودیزل، افزایش چگالی سوخت با استفاده از این مخلوط‌ها و کاهش کیفیت پاشش این سوخت اشاره کرد (Ozsezen et al., 2008 ; Behcet, 2011). در بارهای پایین موتور نیز میزان مصرف ویژه سوخت برای مخلوط‌های بیودیزل کمتر از سوخت دیزل خالص بود. احتراق بهبود یافته سوخت بیودیزل به دلیل اکسیژن دار بودن آن و زمان احتراق موثر برای سوخت های بیودیزل می‌تواند از دلایل این کاهش باشد(Behcet, 2011).



شکل **Error! No text of specified style in document.-٥**: تغییرات مصرف ویژه سوخت مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به بار موتور.

میزان انتشار آلاینده CO

تغییرات میزان گاز CO خروجی مخلوط‌های مختلف دیزل و بیودیزل در بارهای مختلف موتور در شکل (٤-٤) نشان داده شده است.



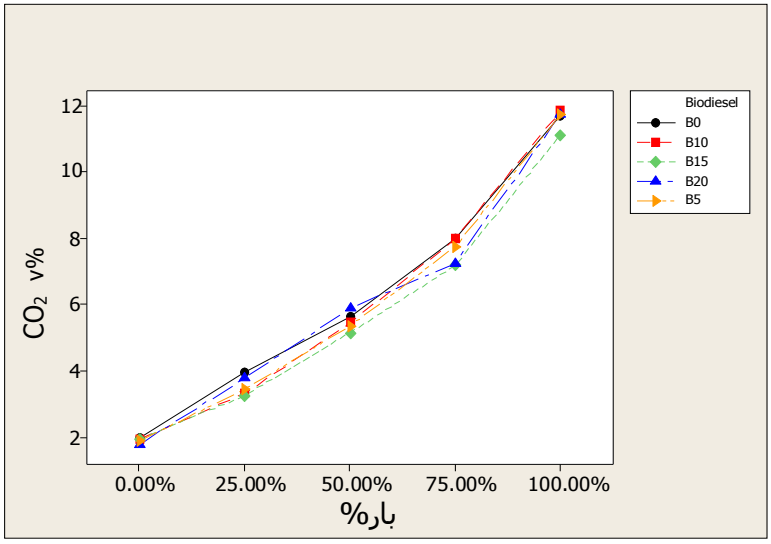
شکل **Error! No text of specified style in document.-٦**: تغییرات درصد گاز CO مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به بار موتور.

دلیل اصلی وجود CO در میان محصولات احتراق موتور نسبت فقیر هوا-سوخت است(Abdel-Rahman, 1998). میزان انتشار CO برای مخلوط‌های بیودیزل از سوخت دیزل خالص کمتر بود. اکسیژن دار بودن سوخت بیودیزل فرآیند احتراق موتور را بهبود بخشیده و میزان CO خروجی از موتور را کاهش می‌دهد (Behcet, 2011). برای تمام مخلوط‌های سوخت میزان CO خروجی از بار صفر تا ۷۵ درصد روند نزولی داشته و سپس در بار ۱۰۰ درصد

افزایش شدیدی می‌یابد. علت افزایش زیاد میزان CO در بار۱۰۰ درصد نسبت غنی سوخت-هوا در این بار می‌باشد، زمانی که اکسیژن کافی برای تبدیل همه کربن‌ها به CO2 وجود ندارد و مقداری از سوخت به‌طور کامل نمی‌سوزد، میزان انتشار CO خروجی اگزوز افزایش می‌یابد. در بارهای پایین نیز دمای موضعی سیلندر کمتر و مناطق اختلاط سوخت- هوا غنی می‌تواند منجر به افزایش تشکیل CO گردد (Tan *et al.*, 2008). در بارهای متوسط میزان انتشار CO برای موتور تحت آزمایش کمترین مقدار بود.

میزان انتشار آلاینده CO_2

شکل ٤-۱۲ تغییرات گاز CO2 خروجی مخلوط‌های مختلف دیزل- بیودیزل را در بارهای مختلف موتور نشان می‌دهد. با افزایش بار موتور میزان CO2 برای تمام مخلوط‌های سوخت افزایش می‌یابد تا به مقدار بیشینه خود در بار ۱۰۰ درصد برسد. مصرف سوخت بیشتر و حضور اکسیژن کافی برای سوختن تمام سوخت، منجر به افزایش تشکیل CO2 با افزایش در بار موتور می‌گردد.

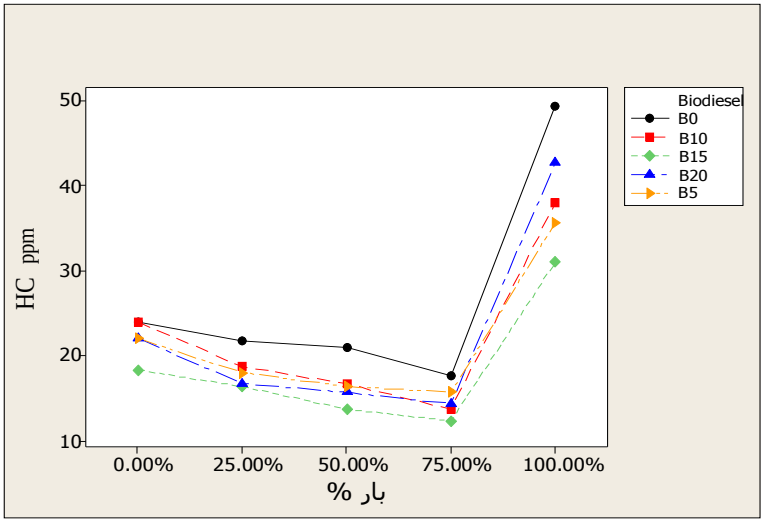


شکل **Error! No text of specified style in document.**-۷: تغییرات درصد گاز CO_2 مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به بار موتور.

به طور کلی میزان انتشار CO2 برای مخلوط‌های بیودیزل کمتر از سوخت دیزل خالص بود. افزایش غلظت مخلوط با استفاده از سوخت بیودیزل می‌تواند باعث کاهش زاویه پاشش انژکتور و کم شدن هوای در دسترس در منطقه پاشش سوخت گردد. این عامل نسبت سوخت- هوا موضعی را افزایش داده و کمبود هوای کافی مانع اتمام احتراق کامل سوخت و باعث کاهش میزان CO2 در اگزوز موتور می‌گردد(Gumus and Kasifoglu, 2010). این روند توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Peterson and Hustrulid,1998 ; Ozsezen et al., 2008).

میزان انتشار آلاینده HC

شکل ٤-٦ درصد گاز HC خروجی مخلوط‌های مختلف دیزل و بیودیزل را در بارهای مختلف موتور نشان می‌دهد. برای تمام مخلوط‌های سوخت با افزایش در بار موتور و رسیدن به بار ۷۵ درصد، میزان HC خروجی کاهش می‌یابد و پس از آن روند صعودی دارد. دلیل وجود HC در میان محصولات احتراق عدم توانایی اکسیده شدن کامل سوخت به دلیل کمبود اکسیژن می‌باشد (Behcet, 2011). میزان هیدروکربن برای تمام مخلوط‌های بیودیزل در تمام بارها از سوخت دیزل خالص پایین‌تر است. این کاهش می‌تواند با محتوای اکسیژن اضافی موجود در سوخت بیودیزل که باعث بهبود کیفیت احتراق سوخت می‌گردد توضیح داده شود.



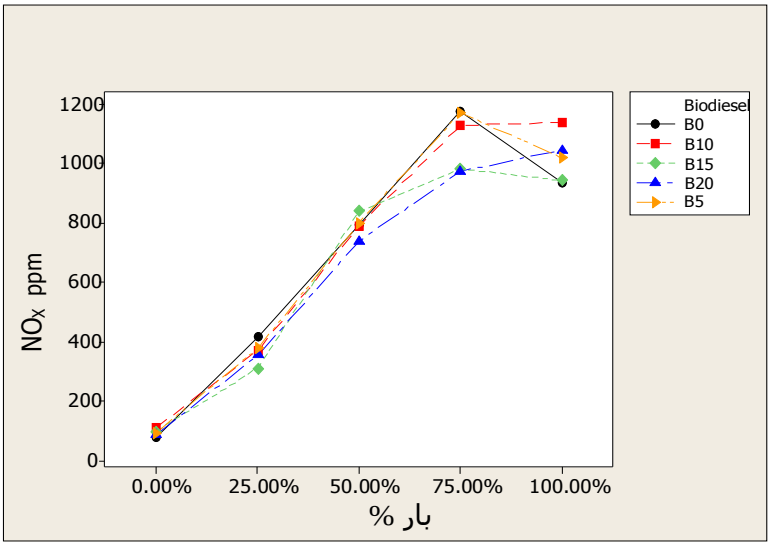
شکل **Error! No text of specified style in document.**-۸: تغییرات درصد گاز HC مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به بار موتور.

تحت بارهای پایین‌تر موتور، کیفیت تزریق سوخت کم است. بنابراین در نواحی که اختلاط سوخت-هوا رقیق است، مقدار هوای در دسترس زیاد و دمای پایین سیلندر ممکن است باعث شود تا مقداری از سوخت به سمت اگزوز فرار کند که این عامل باعث افزایش مقدار هیدروکربن‌های نسوخته در بارهای پایین موتور می‌گردد. در بارهای بالاتر کیفیت پاشش سوخت بهبود می‌یابد و با وجود اینکه گازها به اندازه کافی داغ هستند مقداری هیدروکربن نسوخته تولید می‌شود، زیرا در بارهای بالا، نسبت سوخت-هوا خیلی غنی است (بیشتر از نسبت استوکیومتری) و زمان بیشتری را برای سوختن نیاز دارد. در نتیجه در زمان خودسوزی که سیلندر به سمت پایین می‌رود، این سوخت نمی‌تواند به‌طور کامل بسوزد و مقداری هیدروکربن تولید می‌شود (Tan *et al.*, 2008).

میزان انتشار آلاینده NO_x

شکل ٤-۷ درصد گاز NOx خروجی مخلوط‌های مختلف دیزل و بیودیزل را در بارهای مختلف موتور نشان می‌دهد. با افزایش در بار به دلیل افزایش دمای موتور مقدار NOx برای تمام مخلوط‌های سوخت افزایش می‌یابد. عوامل مؤثر در تشکیل NOx غلظت اکسیژن مخلوط، فشار بیشینه سیلندر، دمای احتراق و زمان پاشش می‌باشد (Behcet, 2011;

(Dorado *et al.*, 2003) همانطور که در شکل (٤-۷) مشاهده می‌گردد میزان NOx خروجی موتور با استفاده از مخلوط‌های بیودیزل کمتر از سوخت دیزل خالص می‌باشد. کوتاه بودن زمان احتراق فاز پیش اختلاط به واسطه عدد ستان بالاتر سوخت‌های بیودیزل و همچنین کمتر بودن دمای محفظه احتراق در هنگام سوختن مخلوط بیودیزل می‌تواند علت پایین بودن مقدار NOx در بارهای مختلف موتور باشد (Tan *et al.*, 2008). کاهش در مقدار NOx موتور با استفاده از مخلوط‌های بیودیزل توسط محققین دیگری گزارش شده است (Aydin and Bayindir, 2010).



شکل **-Error! No text of specified style in document.**۹: تغییرات درصد گاز NOx مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به بار موتور.

نتیجه‌گیری

۱- میزان مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت موتور تحت آزمایش با استفاده از مخلوط‌های بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص تغییر چندانی نداشته و ثابت مانده است.

۲- با افزایش غلظت بیودیزل از ۵ به ۲۰ درصد در مخلوط‌های سوخت، میانگین اختلاف توان با سوخت دیزل خالص افزایش یافته و میانگین این افزایش ۱/۵ درصد می‌باشد.

۳- میزان انتشار CO_2 برای تمام مخلوط‌های سوخت نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش داشته است. بیشترین کاهش مربوط به مخلوط B15 با ۸ درصد و کمترین آن مربوط به مخلوط B10 با ۲ درصد کاهش بود.

٤- میزان انتشار NO_x به طور میانگین برای مخلوط‌های سوخت بیودیزل در مقایسه با سوخت دیزل خالص به مقدار ۲/٤ درصد کاهش داشته است.

۵- میزان انتشار آلاینده CO برای تمام مخلوط‌های سوخت کاهش یافته و مخلوط B10 با ۱۲/۲ درصد، بیشترین میزان کاهش را در مقایسه با سوخت دیزل خالص داشت.

٦- میزان انتشار HC موتور تحت آزمایش برای تمام مخلوط‌های بیودیزل در مقایسه با سوخت دیزل خالص کاهش یافته و احتراق مخلوط B15 با ۳۲ درصد، بیشترین مقدار کاهش را داشته است.

۷- استفاده از سوخت بیودیزل تولیدی از روغن کرچک تا نسبت ۲۰ درصد حجمی بیودیزل در موتور تحت آزمایش علاوه بر حفظ و حتی بهبود جزئی شرایط عملکردی، میزان انتشار آلاینده‌ها را نیز به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

منابع و مآخذ

۱. خاتمی فر، م. ۱۳۸۵. طراحی، ساخت، آزمایش و ارزیابی دستگاه فرآوری بیودیزل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.

۲. وکیلی، ع، ایرانمنش، س . ح، امیری، م، حوری جعفری، ح، مرادی، م. ع، عمیدپور، ع، معظمی، ع، فرمهینی فراهانی، ا، حسینی عراقی، ع، مهرآزما، ا ۱۳۹۱. طرح جامع انرژی کشور. چاپ اول. انتشارات هزاره سوم اندیشه، ۱۹۷ص.

3. Abdel-Rahman, A.A. 1998. On the emissions from internal combustion engines: A Review, International Journal of Energy Research. 22. 483–513.

4. Anonymous. Energy report. Available on http://www.window.State.tx.us

5. A.N. Ozsezen, M. Canakci, C. Sayin, 2008. Effects of biodiesel from used frying palm oil on the exhaust emissions of an indirect injection (IDI) diesel engine, Energy Fuels. 22. 2796–2804.

6. Aydin, H. and Bayindir, H. 2010. Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine. Renewable Energy. 35: 588-592.

7. Behcet, R. 2011. Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine. Fuel Processing Technology. 92: 1187-1194.

8. Caruana, C.M. 2000. Pollution control drives new interest in biodiesel. Chemical Engineering Process. 84:14–18.

9. Demirbas, A. 2006. Progress and Recent Trentds in Biofuels. Progress in Energy and Combustion Science, 33, pp. 1-18.

10. Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M. and Lopez, F.J. 2003. Exhaust emissions from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. Fuel. 82: 1311-1315.

11. Ghobadian, B. and Rahimi, H. 2004. Biofuels-Past, Peresent and Future Perspective. The 4th International Iran and Russia Conference. September 8- 10, 2004. Shahre kord, Iran.

12. Gumus, M. and Kasifoglu, S. 2010. Performance and emission evaluation of a compression ignition engine using a biodiesel (apricot seed kernel oil methyl ester) and its blends with diesel fuel. Biomass and Bioenergy. 34: 134-139.

13. Prakash,R ,. Singh, R.K., Murugan, S. 2013. Experimental investigation on a diesel engine fueled with bio-oil derived from waste woodebiodiesel emulsions. Energy. 55: 610-618.

14. Tan, P.-Q., Zhi-Yuan Hu, Di-Ming Lou 2009. Regulated and unregulated emissions from a light-duty diesel engine with different sulfur content fuels. Fuel 88(6): 1086-1091.

15. Peterson, C. L. and Hustrulid, T. 1998. Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels. *Biomass and Bioenergy*. 14: 91-101.

Experimental Investigation of Performance and Emissions in an Air-Cooled Single-Cylinder Diesel Engine using Diesel-Biodiesel Fuel blends

Abstract

In this research, the performance characteristics and exhaust emissions of an air-cooled single-cylinder diesel engine were investigated using different blends of biodiesel fuel derived from castor oil. The evaluations were carried out at different engine loads and engine constant speed of 1950 rpm. For all of the investigated loads, the generated power by the engine using the different biofuel blends increased, thanks to slight reduction of fuel consumption compared with the pure diesel fuel. Consequently, the specific fuel consumption of the engine decreased. The lowest emissions of CO pollutant for all of the evaluated blends were observed at middle engine loads and the emissions for biodiesel blends were lower than those of pure diesel fuel. Emissions of CO_2 for all of the evaluated blends were lower than those of pure diesel and the highest decrease (8.5%) was observed for B15 mixture. Compared with pure diesel fuel, the emission of NOx for B5 and B10 blends increased insignificantly, whilst the emission decreased for B15 and B20 mixtures. The emissions of unburned hydrocarbons by the engine decreased by 21% compared to pure diesel engine.

Keywords: Biodiesel Fuel, Engine Performance, Emission, Air-Cooled Diesel Engine.