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

بررسی تاثیر سوخت بیودیزل روغن گیاهی کلزا غیر خوراکی بر روی آلاینده‌های HC و CO دردور نامی و بارهای مختلف

سید محمد رضا میری[1*]، سید رضا موسوی سیدی[2]، برات قبادیان[3]

۱و۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران.

ایمیل مکاتبه کننده: mohammadrezamiri89@yahoo.com

چکیده

استفاده از بیودیزل در یک موتور گازوئیلی معمولی منجر به کاهش اساسی هیدروکربن‌های نسوخته، منواکسید کربن و ذرات معلق می‌شود. خروج اکسیدهای نیتروژن بسته به سیکل‌کاری و روش‌های آزمایشی، کمی کاهش و یا افزایش می‌یابد. با به‌کاربردن این سوخت، از سهم کربن موجود در ذرات معلق کاسته می‌شود. در این پژوهش تاثیر بیودیزل روغن گیاهی کلزا غیر خوراکی، بر روی آلاینده‌های HC و CO یک موتور دیزل تک سیلندر هوا خنک، بررسی شد. ابتدا سوخت دیزل خالص با مقدارهای مختلف بیودیزل(۰، ۵، ۱۰، ۱۵و ۲۰) مخلوط گردید و سپس تحت بارهای مختلف(۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) و سرعت ثابت ۱۸۰۰ RPM مورد آزمایش قرار گرفت. در پایان، یافته‌ها با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میزان سوخت بر آلاینده‌های HC و CO تاثیر چندانی نداشت ولی اثر درصد بار بر آلاینده‌ها تفاوت معنی داری داشت ($P< 0.01$)، بطوریکه در بار max بیشترین تاثیر و در بار ۲۵ و ۵۰ کمترین تاثیر بر روی آلاینده‌های HC و CO مشاهده شد. همچنین در حالت بدون بار با افزایش سوخت آلاینده CO کاهش و آلاینده HC ابتدا افزایش و سپس به مقدار ثابتی کاهش می‌یابد. در نتیجه سوخت B10D90 بهترین سوخت شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، کلزای‌غیرخوراکی، موتورتک سیلندر، آلاینده.

مقدمه

سوخت‌های فسیلی از دیرباز منبع انرژی در موتورهای احتراق داخلی بوده‌اند. استفاده روز افزون از سوخت‌های فسیلی، افزایش قیمت محصولات نفتی و کاهش ذخایر موجود، محققان را در جهت یافتن منابع جدید انرژی ترغیب نموده است. از طرف دیگر تولید آلاینده‌های زیست محیطی مانند هیدروکربن‌های سوخته نشده(UHC) ، ترکیبات نیتروژن(NOX) ، منواکسید کربن (CO) و دی اکسید کربن (CO2) معایب مهم سوخت فسیلی محسوب میگردند. به منظور حفظ منابع موجود و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، گرایش به سمت انرژی‌های نو و سوخت‌های جایگزین امری بدیهی به نظر می‌رسد(قبادیان و خاتمی فر،۲۰۱۲).

روغن‌های گیاهی برای اولین بار در اوایل قرن بیستم توسط رادولف دیزل به عنوان سوخت مورد بررسی قرار گرفت و تا سال‌های اخیر استفاده از آن به عنوان سوخت موتور تنها در شرایط بحرانی مطرح می شد، ولی امروزه با کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و مسایل زیست محیطی ناشی از احتراق این نوع سوخت‌ها، توجه ویژه‌ای به روغن‌های گیاهی غیرخوراکی می شود(Zhang M et al,2003. Anh N et al,2008. Luis L,2009).

روغن‌های گیاهی یا گلیسیریدها، به دلیل داشتن زنجیره‌های هیدروکربنی طویل، دارای گرانروی و چگالی بالاتری نسبت به گازوییل می‌باشند. لذا استفادهٔ مستقیم از آن در موتور دیزل موجب کاهش کیفیت احتراق شده و تاثیر نامطلوبی بر تولید توان و انتشار آلاینده‌ها می گذارد. لذا برای اصلاح ساختار روغن‌های گیاهی به عنوان سوخت قابل استفاده در موتور دیزل، تری گلیسیریدهای موجود در روغن گیاهی با یک الکل ساده و در کنار یک کاتالیزور بازی یا اسیدی در طی فرایند ترانس استریفیکاسیون تبدیل به سوخت بیودیزل می شود(Fukuda H et al,2001. Antolin G,2002. Asakuma Y et al,2009. Banerjee A et al,2009. Ferella F et al,2010).

در یک مطالعه انجام شده توسط ان و همکاران به این نتیجه رسیدند که سوخت بیودیزل افزودنی به طور قابل توجهی آلاینده CO را افزایش داده و منجر به تولید گاز های گلخانه ای CO_2،HC و NOx کمتر در بارهای کم موتور میشود. با این حال، روند متضادی در سرعت‌های کم موتور و بارهای بالاتر موتور مشاهده شد(An H et al,2013).

در یک مطالعه که توسط ابوجرای و همکاران، با استفاده از پسماند روغن آشپزخانه با مخلوط سوخت دیزل معمولی شماره ۲ با ۵۰ درصد حجمی بیودیزل تحت بارهای مختلف انجام شده، کاهش قابل توجهی بر روی آلاینده‌های CO و HC و افزایشی در CO_2 و NOx مشاهده شد(Abu-Jrai A et al,2011).

این آزمایش در نظر دارد تا تاثیر میزان بیودیزل روغن کلزای غیر خوراکی را بر روی آلاینده‌های HC و CO خروجی از موتور دیزل در دور نامی ۱۸۰۰RPM تحت بارهای مختلف بررسی کرده و بهترین مخلوط را از نظر آلایندگی مشخص نماید.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی آلایندگی موتور دیزل با استفاده از سوخت بیودیزل نسبت‌های حجمی مختلفی از سوخت بیودیزل با گازوئیل شمارهٔ ۲ معمول در ایران تهیه شد. این مخلوطها حاوی ۰٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪و۲۰٪ سوخت بیودیزل بر مبنای حجمی که با ترکیب گازوئیل به ترتیب B0D100، B5D95، B10D90، B15D85 و B20D80 نامیده می‌شوند. مخلوطهای سوخت دیزل و بیودیزل تحت بارهای ۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ در موتور دیزل تک سیلندر هوا خنک با سرعت ثابت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه، به منظور اخذ آلایندگی HC و CO و استفاده از آن برای ارزیابی آلاینده‌های مورد نظر، در آزمایشگاه انرژی های تجدید پذیر دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت.

۱- سوخت

بیودیزل استفاده شده در این تحقیق متیل استر روغن گیاهی کلزای غیر خوراکی بوده که در آزمایشگاه تولید بیودیزل دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به روش ترانس استریفیکاسیون تولید شده و سوخت گازوئیل مورد استفاده، گازوئیل متداول در ایران (گازوئیل شمارهٔ ۲) می‌باشد.

شکل ۱- سوخت بیودیزل

۲- تجهیزات آزمایش

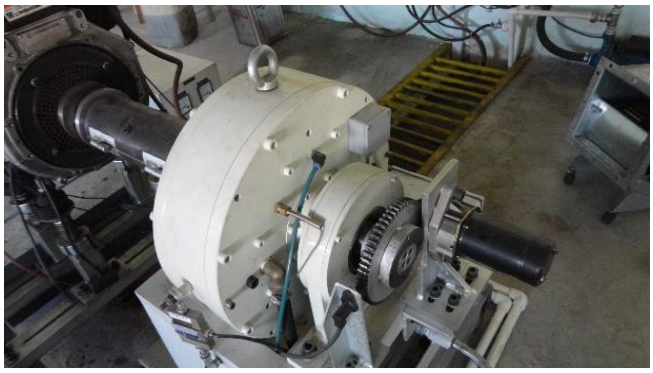
تجهیزات استفاده شده در اندازه گیری آلایندگی موتور دیزل، عبارتند از:

۱- دستگاه آلاینده سنج MAHA MGT5 ساخت کشور اتریش برای اندازه گیری آلاینده‌های HC و CO.

۲- حسگر حرارتی برای اندازه گیری دمای خروجی دود.

۳- سامانهٔ جمع آوری اطلاعات به همراه یک دستگاه PC برای نمایش و ثبت همزمان تمام آلاینده های اندازه گیری شده.

٤- دستگاه دینامومتر D400 با سیستم کنترل با ماکزیمم دور ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه و به ترتیب ماکزیمم گشتاور و توان ۸۰Nm و ۸۰Kw برای اندازه گیری گشتاور و اعمال بار های مختلف.



شکل۲- دستگاه دینامومتر D400 برای اعمال بارهای مختلف

۳- موتور آزمایش

موتور مورد استفاده در این تحقیق، دیزل چهار زمانه تک سیلنر هوا خنک با پاشش مستقیم از نوع LOMBARDINI ساخت کشور اتریش با گشتاور ۳/۳۵ نیوتن متر در سرعت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه که مشخصات فنی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات موتور LOMBARDINI

مشخصات موتور	مقدار	واحد
تعداد سیلندر	۱	-
قطر پیستون	۸۵	mm
کورس پیستون	۹۰	mm
جابجایی	۵۱۰	Cm^3
نسبت تراکم	۱ : ۱۷/۵	-
حداکثر توان در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه	۹	Kw
حداکثرگشتاور در ۱۸۰۰ دور بر دقیقه	۳/۳۵	Nm

شکل۳- موتور مورد آزمایش

٤- روش و مراحل آزمایش

برای شروع آزمایش موتور دیزل تک سیلندر را به مدت ۱۵ دقیقه در شرایط تمام بار قرار داده تا دمای روغن موتور به ٦۰ درجه سانتی گراد برسد و موتور گرم شود. متغیرهای تحت پایش بار اعمالی از طرف دینامومتر به موتور و نوع سوخت(مخلوط سوخت دیزل و بیودیزل) انجام شد. بار اعمالی از طریق سامانه کنترل از راه دور دینامومتر به موتور اعمال شد و از طریق نمایشگر سامانه جمع آوری اطلاعات(شکل ٤)، مقادیری تنظیم گردید. در هر مرحله از آزمون، بار اعمال شده بر حسب درصد بار کامل تنظیم و در حالت کار قرار میگرفت تا دور موتور به حالت پایدار برسد. در مرحله اول آزمایش، مخلوط سوخت دیزل و بیودیزل تحت بار ۱۰۰٪ قرار گرفته و با توجه به دریافت گشتاور کل بارهای بعدی نسبت به آن بدست آمد. در هر مرحله از آزمایش سنسور دستگاه آلاینده سنج (شکل ٤) را در اگزوز موتور قرار داده و با استفاده از نمایشگر دستگاه PC مقادیر آلاینده HC و CO را ثبت کردیم. لازم به ذکر است که که مقادیر آلاینده‌ها در دور نامی ۱۸۰۰ دور بر دقیقه در ۵ تیمار و ۵ بار مختلف تحت ۳ تکرار ثبت گردید.

شکل٤- نمای کلی سامانه جمع آوری اطلاعات و دستگاه آلاینده سنج

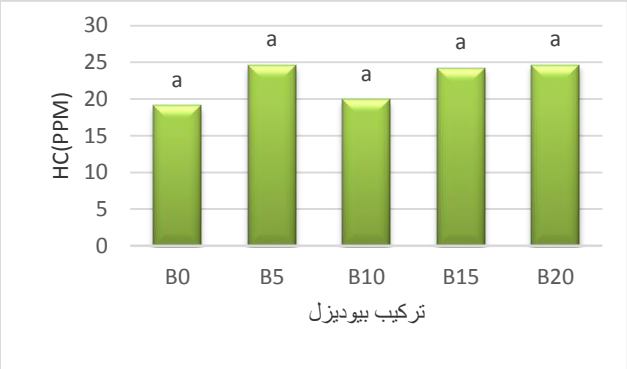
نتایج و بحث

نتایج این تحقیق تنها برای متیل استر روغن کلزای غیر خوراکی معتبر بوده و نمیتوان آنها را به سایر انواع بیودیزل تعمیم داد. چراکه بسته به نوع و مقدار اسیدهای چرب موجود در روغن در فرایند استریفیکاسیون، مونواسترهای موجود در بیودیزل متفاوت می‌باشد. نتایج آزمون برای تاثیر سوخت بر روی آلایندهای HC و CO، تاثیر بار بر روی آلایندهای HC و CO و در نتیجه اثر متقابل تاثیر سوخت و بار بر روی آلایندهای HC و CO موجود در خروجی اگزوز بیان خواهند شد:

۱- تاثیر سوخت بر روی آلاینده HC

تولید آلاینده هیدروکربن بدلیل احتراق ناقص است. به طور کلی این آلاینده به طراحی موتور، ساختار سوخت، دمای احتراق و اکسیژن موجود در سوخت بستگی دارد(Cenk Sayin,2010).

تاثیر میانگین میزان بیودیزل در سوخت بر روی آلاینده HC در دور نامی ۱۸۰۰ دور بر دقیقه در شکل ۵ نشان داده شده است. با افزایش میزان بیودیزل در ترکیب سوخت نسبت به دیزل خالص، مقدار آلاینده HC افزایش یافت.



شکل ۵- تاثیر میانگین میزان بیودیزل بر روی آلاینده HC

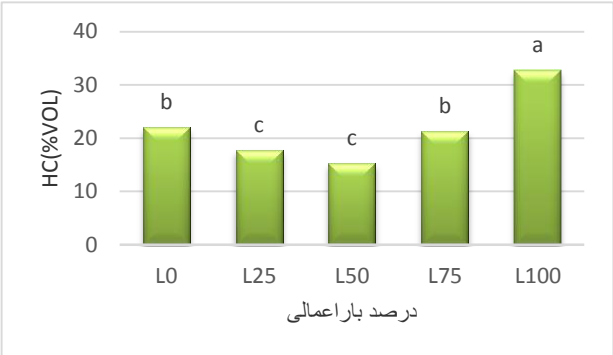
۲- تاثیر سوخت بر روی آلاینده CO

پایین بودن دمای احتراق سبب تشکیل مونوکسید کربن میشود. تاثیر میانگین میزان بیودیزل در سوخت بر روی آلاینده CO در دور نامی ۱۸۰۰ دور بر دقیقه در شکل ٦ نشان داده شده است. افزایش میزان بیودیزل در ترکیب سوخت تاثیر چندانی بر روی مقدار آلاینده CO ندارد که این میتواند به ثابت بودن درصد اکسیژن در مرحله احتراق باشد چرا که هرچه هر چه میزان اکسیژن در مرحله ی احتراق بیشتر باشد، درصد تولید CO نیز پایین خواهدآمد که این نتیجه با تحقیقاتی که توسط نجفی و همکاران در سال۱۳۸۵ صورت گرفت و همچنین با نتایج منتشر شده توسط اداره حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) که در سال ۲۰۰۲ میلادی در رابطه با کاهش انتشار منوکسیدکربن با افزایش درصد بیودیزل در سوخت، انجام گرفت، مخالفت دارد.

شکل ٦- تاثیر میانگین میزان بیودیزل بر روی آلاینده CO

۳- *تاثیر بار بر روی آلاینده HC*

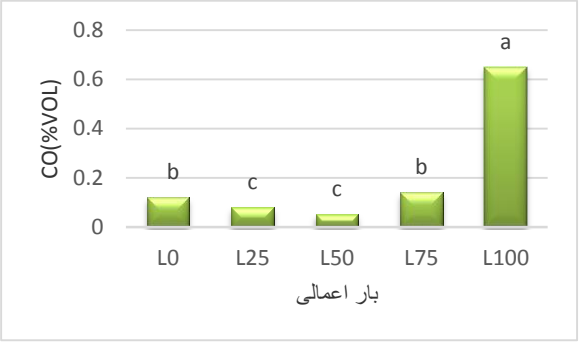
تاثیر میانگین میزان بار در موتور بر روی آلاینده HC در دور نامی ۱۸۰۰ دور بر دقیقه در شکل ۷ نشان داده شده است. افزایش میزان بار در موتور بصورت اختلاف معنی داری می‌باشد، بطوریکه بار ۱۰۰ درصد بیشترین تاثیر و بار ۲۵ و ۵۰ درصد کمترین تاثیر را روی آلاینده HC داشته که به دلیل احتراق ناقص سوخت آزمون و ترکیب آن با مواد افزودنی با توجه به حضور اکسیژن افزایش یافته است. با توجه به شکل نیز میتوان گفت که بدون بار تا بار میانی مقادیر آلاینده کاهش و از بار میانی به بار max مقادیر آلاینده افزایش می‌یابد.



شکل ۷- تاثیر میانگین میزان بار بر روی آلاینده HC

٤- *تاثیر بار بر روی آلاینده CO*

تاثیر میانگین میزان بار در موتور بر روی آلاینده CO در دور نامی ۱۸۰۰ دور بر دقیقه در شکل ۸ نشان داده شده است. افزایش میزان بار در موتور بصورت اختلاف معنی داری می‌باشد، بطوریکه بار ۱۰۰ درصد بیشترین تاثیر و بار ۲۵ و ۵۰ درصد کمترین تاثیر را روی آلاینده CO دارد. با توجه به شکل نیز مشابه آلاینده HC میتوان گفت که بدون بار تا بار میانی مقادیر آلاینده کاهش و از بار میانی به بار max مقادیر آلاینده افزایش می‌یابد.

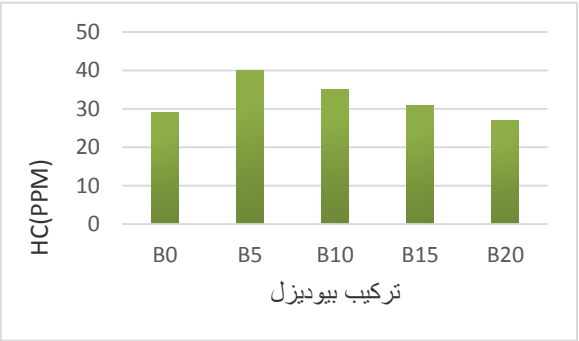


شکل ۸- تاثیر میانگین میزان بار بر روی آلاینده CO

۵- تاثیر سوخت و بار بر روی آلاینده‌های HC و CO

در این بخش، نتایج آزمایشگاهی حاصل از تأثیر مخلوط‌های بیودیزل - دیزل بر آلاینده‌های HC و CO در سرعت ثابت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه در بارهای مختلف تحلیل شد.اثر متقابل مخلوط سوخت و بار بر روی آلاینده‌های HC و CO در جدول ۲ موجود در پیوست نشان داده شده است، بطوریکه ترکیب سوخت ۵ درصد در بار ۱۰۰ درصد بیشترین تاثیر و سوخت ۱۰ درصد در بار ۷۵ کمترین تاثیر را بر روی آلاینده HC گذاشته است. همچنین برای آلاینده CO سوخت ۱۵ درصد در بار ۱۰۰ درصد بیشترین تاثیر و سوخت ۱۰ درصد در بار ۵۰ درصد کمترین تاثیر را دارا می باشد.

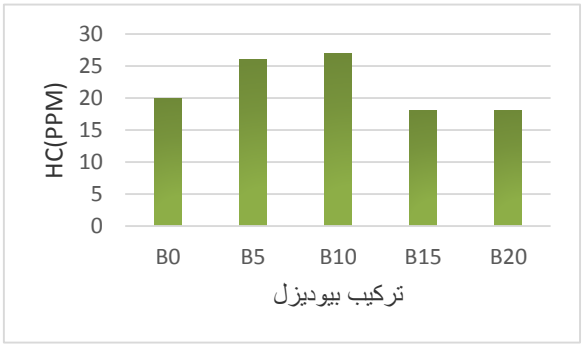
شکل ۹ و ۱۰ تاثیر افزایش سوخت بر روی آلاینده HC و CO را در بار کامل نشان می‌دهد. بطوریکه در بار کامل با افزایش سوخت مقدار آلاینده HC ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد در صورتی که برای آلاینده CO بصورت پله ای افزایش و کاهش می‌یابد.



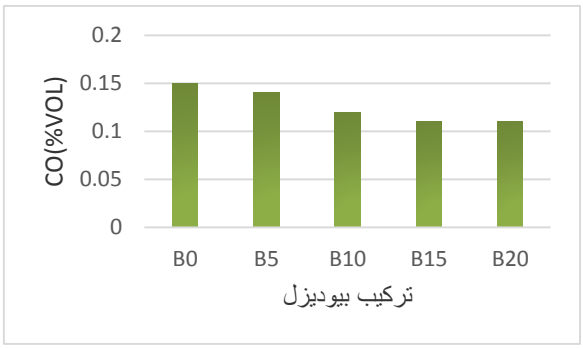
شکل۹- تاثیر افزایش مخلوط سوخت بر روی آلاینده HC در بار کامل

شکل ۱۰- تاثیر افزایش مخلوط سوخت بر روی آلاینده CO در بار کامل

همچنین شکل ۱۱ و ۱۲ تاثیر افزایش سوخت بر روی آلاینده HC و CO را در بدون بار را نشان می‌دهد. بطوریکه با افزایش سوخت مقدار آلاینده HC ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته و بصورت خطی ادامه می‌یابد و برای آلاینده CO کاهش یافته و بصورت خطی ادامه می‌یابد.



شکل ۱۱- تاثیر افزایش مخلوط سوخت بر روی آلاینده HC در بدون بار



شکل ۱۲- تاثیر افزایش مخلوط سوخت بر روی آلاینده CO در بدون بار

در نتیجه با توجه به اطلاعات جدول ۲ موجود در پیوست، میتوان نتیجه گرفت که سوخت B10D90 در بار ۵۰ درصد بهترین سوخت از نظر کاهش آلایندگی می‌باشد.

قدردانی

از مرکز انرژی‌های تجدید پذیر دانشگاه تربیت مدرس که امکانات لازم جهت انجام این تحقیقات را فراهم نمودند، سپاسگزاری می‌شود..

منابع و مآخذ

۱. قبادیان،ب و خاتمی فر،م. ۲۰۱۲، تولید بیودیزل از روغن‌های پسماند خوراکی، مقاله پژوهشی.

2. Asakuma Y., Maeda K., Kuramochi H., Fukui K., "Theoretical Study of the Transesterification of Triglycerides to Biodiesel Fuel", *Fuel*, Vol. 88,2009,pp.786-79.

3. Anh N., Phan Tan M., "Biodiesel Production from Waste Cooking Oils", *Fuel*, Vol. 87, 2008, pp. 17- 18.

4. Antolin, G., Tinaut, F. V., Briceno, Y., Castano, V., Perez, C., Ramirez A. I., "Optimisation of Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification", *Bioresource Technology*, Vol. 83, 2002, pp. 111-114.

5. Abu-Jrai A, Yamin JA, Al-Muhtaseb AH, Hararah MA. Combustion characteristics and engine emissions of a diesel engine fueled with diesel and treated waste cooking oil blends. Chem Eng J 2011;172:129–36.

6. An H, Yang WM, Maghbouli A, Li J, Chou SK, Chua KJ. Performance, combustion and emission characteristics of biodiesel derived from waste cooking oils. Appl Energy 2013;112:493–9.

7. Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.s. Environmental Protection Agency., 2002., A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts Exhaust Emissions. EPA420-P-02-001.

8. Banerjee A., Chakraborty R., "Parametric Sensitivity in Transesterification of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production-A Review", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 53, 2009, pp. 490-497.

9. Cenk Sayin. (2010) "Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol-diesel blends". Fuel 89:3410-3415.

10. Fukuda H., Kondo A., Noda H., "Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils", *Bioscience and Bioengineering*, Vol. 92, 2001, pp. 405-416.

11. Ferella F., Mazziotti G., Michelis I., Stanisci V.,Vegliò F., "Optimization of the Transesterification Reaction in Biodiesel Production", *Fuel*, Vol. 89, 2010, pp. 36-42.

12. Luis L. F., Vicente G., Rodriguez R., Pacheco M., "Optimisation of FAME Production from Waste Cooking Oil for Biodiesel Use", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 33, 2009, pp. 862-872.

13. Zhang M. A., Dube D., McLean D., Kates M., "Biodiesel Production from Waste Cooking Oil, Process design and technological assessment", *Bioresource Technology*, Vol. 89, 2003, pp. 1-16.

Effect of non-edible canola oil biodiesel on emissions of HC and CO in round nominal and different loads

S.M.miri[1*], S.R.mousavi seyedi[2], B.ghobadian[3]

Abstract

The use of biodiesel in a normal diesel engine results in substantial reduction of unburned hydrocarbons, carbon monoxide and particulate matter. Exiting of nitrogen oxides according to duty cycle and test methods, may slightly decrease or increase. With the use of the fuel, the proportion of carbon in suspended particles decreases. In this study, effect of non-edible canola oil biodiesel on emissions of HC and CO of an air-cooled single-cylinder diesel engine has been investigated. Initially pure diesel fuel was mixed with different amounts of biodiesel(0%, 5%, 10%, 15% and 20%) and then was tested under different loads(0%, 25%, 50%, 75% and 100%) and 1800 rpm constant speed. In conclusion, the findings were analyzed using SAS software. The amount of fuel has no effect on emissions of HC and CO but effect of load were significantly different on the emissions ($P < 0.01$), in such a way that in max load the greatest impact, and in 25 and 50 load the least impact on emissions of HC and CO were observed. Also in no load condition by increasing of fuel emission of CO reduces and emission of HC first increases and then reduces to a constant value. In conclusion known the fuel B10D90 has been considered as the best fuel.

Keyword: Biodiesel, non-edible canola, Single cylinder engine, emission.

پیوست

جدول۲- مقایسه اثر متقابل سوخت و بار بر آلاینده‌های HC و CO

اعداد دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

تیمار	هیدروکربن(HC)	مونو اکسید کربن(CO)
سوخت ۵ درصد × بار ۱۰۰ درصد	40.33^{a}	0.64^{b}
سوخت ۱۰ درصد × بار ۱۰۰ درصد	35^{b}	0.63^{bc}
سوخت ۱۵ درصد × بار ۱۰۰ درصد	31^{c}	0.82^{a}
شاهد × بار ۱۰۰ درصد	29.67^{cd}	0.58^{d}
سوخت ۱۵ درصد × بار ۷۵ درصد	29.67^{cde}	0.10^{hij}
سوخت ۱۰ درصد × بار ۰ درصد	27.33^{df}	0.12^{fgh}
سوخت ۲۰ درصد × بار ۱۰۰ درصد	27.33^{def}	0.61^{cd}
سوخت ۵ درصد × بار ۰ درصد	26^{fg}	0.14^{fg}
سوخت ۲۰ درصد × بار ۷۵ درصد	24.67^{g}	0.27^{e}
سوخت ۵ درصد × بار ۷۵ درصد	24^{g}	0.15^{f}
سوخت ۱۵ درصد × بار ۵۰ درصد	21.33^{h}	0.04^{l}
سوخت ۱۵ درصد × بار ۲۵ درصد	20.67^{hi}	0.06^{kl}
شاهد × بار ۰ درصد	20^{hij}	0.15^{f}
سوخت ۱۵ درصد × بار ۰ درصد	18.67^{ijk}	0.11^{gh}
سوخت ۲۰ درصد × بار ۲۵ درصد	18.67^{ijk}	0.07^{jkl}
سوخت ۵ درصد × بار ۲۵ درصد	18^{ikl}	0.10^{hij}
سوخت ۲۰ درصد × بار ۰ درصد	18^{jkl}	0.11^{gh}
شاهد × بار ۷۵ درصد	17.33^{klm}	0.06^{kl}
شاهد × بار ۲۵ درصد	16^{lm}	0.07^{ijkl}
سوخت ۲۰ درصد × بار ۵۰ درصد	16^{lm}	0.05^{l}
سوخت ۵ درصد × بار ۵۰ درصد	15^{mn}	0.07^{jkl}
سوخت ۱۰ درصد × بار ۲۵ درصد	15^{mno}	0.09^{hijk}
شاهد × بار ۵۰ درصد	12.67^{np}	0.05^{l}
سوخت ۱۰ درصد × بار ۵۰ درصد	11.33^{p}	0.04^{l}
سوخت ۱۰ درصد × بار ۷۵ درصد	11^{p}	0.10^{hi}