



بررسی تجربی تغییرات عملکرد و آلاینده‌های آگروز موتور دیزل پرکینز با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل حاصل از روغن پسماند نخل روغنی

محسن آتشگران^۱، تیمور توکلی هشتجین^{۲*}، برات قبادیان^۳، مسعود دهقانی^۴، محمدرضا سبزی ملکی^۵

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۴- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۵- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

ایمیل مکاتبه کننده: ttavakol@modares.ac.ir

چکیده

در این تحقیق تاثیر استفاده از بیودیزل تولید شده از روغن پسماند نخل روغنی روی عملکرد و آلاینده‌های آگروز موتور دیزل پرکینز بررسی شد. مخلوط‌های سوخت آزمایش شده عبارتند از B₂D₉₈ و B₅D₉₅ و B₁₀D₉₀ و B₁₅D₈₅ و B₂₀D₈₀ و سوخت دیزل خالص. متغیرهای عملکردی شامل توان و مصرف ویژه سوخت و گازهای آگروز شامل CO₂، NO_x، CO، UHC در بارهای ۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ گشتاور بیشینه با استفاده از مخلوط‌های مختلف دیزل و بیودیزل اندازه‌گیری شد. از بین مخلوط‌های سوخت تحت آزمایش B₁₅ به عنوان مخلوط بهینه از نظر عملکرد انتخاب شد. توان و مصرف ویژه سوخت میانگین در بارهای مختلف برای B₁₅ به ترتیب برابر با ۳۴/۶۹ کیلو وات و ۶۶۹/۳۷ گرم بر کیلو وات ساعت بود. استفاده از مخلوط سوخت B₁₀، گازهای CO₂ و NO_x و CO را به ترتیب ۴/۸ و ۱۵/۶ و ۴/۶ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش داد درحالی که آلاینده‌ی UHC را ۲۵/۵ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، عملکرد، آلاینده‌های آگروز، روغن پسماند نخل روغنی، موتور پرکینز.

مقدمه

بیودیزل، متیل استر یا اتیل استر روغن‌های گیاهی است که در اثر واکنش بین روغن با الکل در حضور یک نوع کاتالیزور مناسب حاصل می‌شود (خاتمی فر، ۱۳۸۵؛ عباس زاده مایوان، ۱۳۸۹). این سوخت تشابه زیادی با سوخت دیزل شماره ۲ دارد. سوخت دیزل اغلب ۲۰ تا ۴۰ درصد حجمی ترکیبات آروماتیک دارد که باعث افزایش انتشار آلاینده‌هایی نظیر دوده و ذرات معلق می‌گردد در صورتی که بیودیزل عاری از آروماتیک بوده و سوخت پاک محسوب



می‌شود (با وفا، ۱۳۹۳). بیودیزل را می‌توان از انواع روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تهیه کرد. روغن‌های پسماند پخت و پزی یکی از بهترین منابع برای تولید بیودیزل هستند (Najafi et al., 2007; Meng et al., 2008; Goga et al., 2012). با توجه به اینکه سهولت جمع‌آوری روغن‌های پسماند از اهمیت بالایی برخوردار است، روغن پسماند کارخانه‌های فرآوری چپس سیب زمینی گزینه‌ی مناسبی از این نظر می‌باشد. اوسزن و همکاران^۱ در سال ۲۰۰۹ با بررسی سوخت بیودیزل حاصل از روغن پسماند به این نتیجه رسیدند که نسبت به سوخت دیزل توان ترمزی حرارتی ۱۰-۸ درصد کاهش و مصرف ویژه سوخت ۷/۴۸ درصد افزایش یافت (Ozsezen et al., 2009). میتل باخ و همکاران^۲ در سال ۱۹۸۸ متیل استر حاصل از روغن سرخ کردنی پسماند را بر روی یک موتور ۴ زمانه توربوشارژر شده با پاشش مستقیم آزمایش کردند و دریافتند که در بار کامل، مصرف ویژه سوخت ۴ درصد افزایش یافت ولی در بار معمولی، این شاخص با سوخت دیزل برابر بود (Mittelbach et al., 1998). همسکی و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۱ عملکرد سه نوع بیودیزل با مقادیر مختلف اسید چرب را بررسی کردند و به نتیجه مشابه رسیدند (Hamasaki et al., 2001). الویدایان و همکاران^۴ در سال ۲۰۰۲ با آزمایش اتیل استر روغن نخل پسماند آشپزخانه به این نتیجه رسیدند که مخلوط‌های B₇₅D₂₅ و B₁₀₀D₀ بهترین عملکرد را از نظر مصرف ویژه سوخت، توان ترمزی حرارتی و توان ترمزی خروجی موتور دارا هستند (Al-Widyan et al., 2002). اوتلو و کوچاک^۵ در سال ۲۰۰۸ دریافتند که کاهش نسبی میانگین گشتاور و ارزش توانی متیل استر روغن سرخ کردنی پسماند به ترتیب حدود ۴/۳ و ۴/۵ درصد می‌باشد که این کاهش به خاطر گرانبروی و چگالی بیشتر و ارزش حرارتی کمتر (۸/۸ درصد) بود (Utlu et al., 2008). نجفی و همکاران عملکرد و آلاینده‌های یک موتور دیزل را به کمک شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی کردند و با بررسی مخلوط‌های سوخت B₅₀D₅₀، B₄₀D₆₀، B₃₀D₇₀، B₂₀D₈₀، B₁₀D₉₀ و سوخت دیزل خالص، به این نتیجه رسیدند که با استفاده از مخلوط B₂₀D₈₀، توان و گشتاور خروجی موتور به ترتیب ۲/۷ و ۲/۹ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش یافت و برای سایر مخلوط‌ها مقادیر توان و گشتاور بطور تقریبی برابر با سوخت دیزل خالص بود. همچنین مصرف ویژه سوخت با استفاده از مخلوط‌های B₅₀D₅₀ و B₃₀D₇₀، B₂₀D₈₀، B₁₀D₉₀ به ترتیب ۴، ۰/۸، ۰/۶ و ۱/۴ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش یافت. همچنین مصرف ویژه سوخت با استفاده از B₄₀D₆₀، ۲/۲ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش یافت (Najafi et al., 2007). زنوزی با انجام آزمایش‌هایی روی موتور شش سیلندر پرکینز به این نتیجه رسید که مخلوط B₅D₉₅ (دارای ۵ درصد بیودیزل و ۹۵ درصد سوخت دیزل خالص) دارای بهترین عملکرد و کمترین مصرف ویژه سوخت، بین مخلوط‌ها بود (زنوزی، ۱۳۸۶). نجفی و همکاران مخلوط‌های مختلف متیل استر روغن آفتابگردان با سوخت دیزل را روی یک موتور دیزل لیستر آزمایش کردند و دریافتند که توان ترمزی تا حد ۰/۴ درصد کاهش یافت (نجفی و همکاران، ۱۳۸۶). رحیمی مخلوط‌های مختلف بیودیزل و بیواتانول حاصل از

1. Osezen et al.
2. Mittelbach et al.
3. Hamasaki
4. Alwidyan et al.
5. Utlu and Kocak



ضایعات سیب زمینی را روی یک موتور دیزل دو سیلندر هواخنک آزمایش کرد و به این نتیجه رسید که با افزایش ۳ درصد اتانول و ۲ درصد متیل استر روغن آفتابگردان به سوخت دیزل، حداکثر توان و گشتاور تولیدی به ترتیب ۲/۳ و ۲/۶ درصد کاهش و مصرف ویژه سوخت بطور میانگین در سرعت های مختلف ۲/۲ درصد افزایش یافت (رحیمی، ۱۳۸۶). پنوار^۱ و همکاران تاثیر استفاده از روغن کرچک روی عملکرد و آلایندگی‌های آگروز موتور تک سیلندر دیزل در سرعت ثابت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه در بارهای مختلف را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مخلوط B₁₀D₉₀ نسبت به سوخت دیزل خالص، مصرف ویژه سوخت را کاهش داد در حالی که موجب افزایش توان و گشتاور خروجی موتور گردید (Rakopoulos et al., 2006). رحمان و همکاران مخلوط‌های B₂₀D₈₀، B₄₀D₆₀، B₆₀D₄₀ و B₈₀D₂₀ را روی موتور دیزل تک سیلندر با پاشش مستقیم در بارهای مختلف و سرعت ثابت ۳۰۰۰ rpm آزمایش کردند و به این نتیجه رسیدند که توان به‌طور میانگین برای مخلوط‌های B₂₀D₈₀ و B₄₀D₆₀، ۶ درصد افزایش و مصرف ویژه سوخت بطور میانگین ۷/۴-۰/۸ درصد کاهش یافت ولی با افزایش بیشتر درصد بیودیزل در مخلوط سوخت این روندها کاهش یافت. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که با افزایش بار، بازده حرارتی افزایش یافت (Raheman and Phadatare, 2004). نعمتی‌زاده مخلوط‌های B₂₀ تا B₁₀₀ را روی موتور شش سیلندر پرکینز آزمایش نمود و به این نتیجه رسید که در دور ۹۰۰ دور بر دقیقه محور PTO، توان و گشتاور برای همه‌ی مخلوط‌ها نسبت به سوخت دیزل خالص، کاهش یافت (نعمتی‌زاده، ۱۳۹۰). راکوپولوس و همکاران نیز با بررسی مخلوط‌های سوخت مختلف دیزل-بیودیزل در بارهای مختلف ولی با سرعت ثابت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه، به این نتیجه رسیدند که B0 کمترین مقدار CO را تولید می‌کند (Rakopoulos et al., 2006). حسین و همکاران نیز با بررسی مخلوط‌های سوخت دیزل-بیودیزل در بارهای ۰ و ۱/۳ و ۲/۳ و بار کامل به همین نتیجه دست یافتند (zayyin et al., 2004). در این تحقیق مخلوط‌های سوخت بیودیزل حاصل از روغن پسماند کارخانه چپس سیب زمینی با سوخت دیزل شماره ۲ معمول در ایران در موتور دیزل شش سیلندر پرکینز در بارهای ۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ گشتاور بیشینه مورد استفاده قرار گرفت و مقادیر توان، گشتاور، مصرف ویژه سوخت و آلایندگی‌های UHC، NOx، CO و گاز گلخانه‌ای CO₂ اندازه‌گیری گردید.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی عملکرد موتور دیزل شش سیلندر پرکینز مخلوط‌های سوخت دارای ۲٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ بیودیزل و سوخت دیزل شماره ۲ مورد آزمایش قرار گرفتند. این مخلوط‌های سوخت در بارهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد بیشینه گشتاور مورد آزمایش قرار گرفتند.

مواد

موتور تحت آزمایش

موتور مورد استفاده در این تحقیق، موتور دیزل مدل A63544 پرکینز، چهار زمانه با تنفس طبیعی و پاشش مستقیم می‌باشد که ویژگی‌های فنی آن در جدول (۱) ارائه شده است.

1. Panwar et al.
2. Unburned Hydro Carbon



دینامومتر

از دینامومتر مدل Sigma 5 ساخت شرکت NJ-FROMENT انگلستان برای اندازه‌گیری گشتاور و توان تراکتور MF-399 استفاده گردید (شکل ۱). دینامومتر بوسیله محور PTO به تراکتور متصل می‌شود و میزان توان گشتاور موتور را در هر دور، نمایش می‌دهد. جدول ۲ نشان می‌دهد که این دینامومتر قابلیت اندازه‌گیری توان تا ۴۵۰ اسب بخار را دارد. بنابراین برای آزمایش تراکتور MF-399 با حداکثر توان ۱۱۰ اسب بخار مناسب می‌باشد.

جدول ۱: ویژگی‌های فنی موتور تراکتور MF399.

مدل	پرکینز A63544
کارخانه سازنده	شرکت تراکتور سازی ایران
تعداد سیلندر	۶
کورس سیلندر	۱۲۷ میلی متر
قطر سیلندر	۹۸/۶ میلی متر
حجم سیلندر	۵/۸ لیتر
ترتیب احتراق	۴،۲،۶،۳،۵،۱
حداکثر توان در ۲۳۰۰rpm	۱۱۰ اسب بخار (۸۲ کیلووات)
حداکثر گشتاور در ۱۳۰۰rpm	۳۷۶ نیوتن متر



شکل ۱: تصویر دینامومتر NJ Froment Sigma5.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



جدول ۲: ویژگی‌های فنی دینامومتر NJ Froment Sigma5

حالت	گشتاور	بیش‌ترین توان
(۱۲۵۰-۲۷۰) دور بر دقیقه) PTO	۳۲۵۰ نیوتن. متر در ۶۰۰ دور بر دقیقه	۴۵۰ اسب بخار در ۹۰۰ دور بر دقیقه
(۲۱۰۰-۴۵۰) دور بر دقیقه) Direct	۱۷۹۰ نیوتن. متر در ۸۵۰ دور بر دقیقه	۴۵۰ اسب بخار در ۱۵۰۰ دور بر دقیقه
(۲۶۰۰-۷۷۰) دور بر دقیقه) Engine	۱۰۵۰ نیوتن. متر در ۱۴۵۰ دور بر دقیقه	۴۵۰ اسب بخار در ۲۶۰۰ دور بر دقیقه

آلاینده سنج

شکل ۲ تصویر آلاینده سنج MGT 5-MB می باشد که برای اندازه‌گیری گازهای آگروز استفاده شد. ویژگی‌های فنی دستگاه در جدول ۳ آورده شده است.



شکل ۲: دستگاه آلاینده سنج MGT 5-MB

جدول ۳: ویژگی‌های فنی دستگاه آلاینده سنج.

NO _x	UHC	CO ₂	CO	گازهای آلاینده قابل اندازه‌گیری
۰-۵۰۰۰ ppm	۰-۴۰۰۰ ppm	٪ ۲۰-۰ (درصد حجمی) گاز های خارج شده)	٪ ۱۵-۰ (درصد حجمی) گاز های خارج شده)	محدوده اندازه‌گیری
۱۲۰ ppm	۱۰ ppm	٪ ۰/۵ (درصد حجمی) گاز های خارج شده)	٪ ۰/۳ (درصد حجمی) گاز های خارج شده)	دقت اندازه‌گیری
الکتروشیمیایی	اشعه مادون قرمز	اشعه مادون قرمز	اشعه مادون قرمز	روش اندازه‌گیری

سوخت

سوخت بیودیزل استفاده شده در این تحقیق متیل استر روغن پسماند پالم می‌باشد که در آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تولید و تجزیه و تحلیل شده است. روغن پالم (نخل روغنی) پسماند نیز از کارخانه فرآوری چیپس سیب زمینی "کیش چیپس (مزمز)" تهیه شده است. ویژگی‌های این



سوخت به همراه استانداردهای آن و حدود مجاز در جدول ۴ آمده است. ویژگی‌های سوخت دیزل شماره ۲ به همراه استانداردهای آن نیز در جدول ۵ ارائه شده است.

روش آزمایش

به منظور بررسی تاثیر استفاده از سوخت بیودیزل روی عملکرد و آلاینده‌های آگروز موتور دیزل پرکینز، بار (درصد گشتاور بیشینه) و نوع سوخت (درصد حجمی سوخت بیودیزل) به عنوان متغیر مستقل و متغیرهای توان، گشتاور، مصرف ویژه سوخت و گازهای CO، CO₂، UHC و NO_x به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. اندازه‌گیری برای هر نمونه سوخت با سه تکرار انجام گرفت.

جدول ۴ : برخی از ویژگی‌های بیودیزل تولیدی از روغن پسماند چپیس سیب زمینی.

خصوصیت	روش استاندارد آزمون	حدود مجاز	مقدار اندازه‌گیری شده	واحد
نقطه اشتعال	ASTM D92	کمترین ۱۳۰	۱۶۹/۲	C°
گرانروی سینماتیک	ASTM D445	۱/۹-۰/۶	۴/۷۶۶۴	mm ² /s
چگالی	ASTM D 1298	۹۵۰-۹۷۴	۸۵۹	kg/m ³
گرانروی دینامیکی	ASTM D 1298	-	۴/۰۹۴۵	MPa.s
عدد اسیدی	ASTM D664	حداکثر ۰/۵	۲/۲۴	mg KOH/g

جدول ۵ : برخی از ویژگی‌های سوخت دیزل شماره ۲.

ویژگی	روش استاندارد آزمون	مقدار اندازه‌گیری شده	واحد
گرانروی سینماتیک در ۴۰°C	ASTM D455	۳/۰۸	mm ² /s
۱۵°C چگالی در	ASTM D4052	۸۴۱	kg/m ³
۱۰°C نقطه ریزش	ASTM D 97	-۱۲	°C
۱۰°C نقطه ابری شدن	ASTM D2500	-۴	°C
نقطه اشتعال روش پیاله بسته	ASTM D93	۵۸	°C
درصد وزنی خاکستر	ASTM D482	۰/۰۰۸	wt%
درصد وزنی سولفور	ASTM D4294	۰/۶۹۶	wt%
عدد ستان	ASTM D976	۵۱/۳	-
ارزش حرارتی	ASTM D4868	L:۴۲۸۷۰ H:۴۳۱۱۲	Kj/Kg
درصد وزنی بقایای کربن	ASTM D524	۰/۰۶	wt%
۴۰°C گرانروی دینامیکی در	ASTM D455	۳/۰۸	°C



داده‌های آزمایش به کمک نرم‌افزار Minitab با مدل خطی عمومی و با استفاده از آزمون توکی تحلیل شدند. نوع طرح آزمایشی، طرح کاملاً تصادفی بود. بنابراین ابتدا جدول تجزیه واریانس صفات توان، گشتاور، مصرف ویژه سوخت و گازهای UHC، NO_x ، CO_2 و CO تشکیل داده شد سپس معنی داری اثر اصلی نوع سوخت در صفات مذکور بررسی شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون عملکرد موتور

تعریف بار، نسبت گشتاور تولید شده به گشتاور بیشینه می‌باشد. بنابراین بررسی تیمار گشتاور به عنوان تابعی از درصد بار بی‌معنی می‌باشد و در بررسی عملکرد فقط به بررسی توان و مصرف ویژه سوخت اکتفا شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های توان و مصرف ویژه سوخت در جدول ۶ ارائه شده‌اند. با توجه به نتایج ذکر شده در این جدول، مشاهده گردید که اثر نوع سوخت و اثر بار و نیز برهم‌کنش بار \times نوع سوخت برای تیمارهای توان و مصرف ویژه سوخت با سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. با افزایش درصد سوخت بیودیزل، توان افزایش می‌یابد (شکل ۳) که علت آن می‌تواند احتراق کامل‌تر نسبت به سوخت دیزل خالص باشد (Najafi et al., 2007; Forson et al., 2004). شکل ۳ نشان می‌دهد که افزودن سوخت بیودیزل موجب اندکی کاهش در مصرف ویژه سوخت می‌شود. بین سوخت‌های B_{10} و B_{20} و نیز بین سوخت‌های B_5 ، B_{15} و B_{20} از نظر مصرف ویژه سوخت تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بیشینه و کمینه مصرف ویژه سوخت مربوط به سوخت‌های B_0 و B_{15} می‌باشد. سوخت‌های بهینه از نظر مصرف ویژه سوخت B_5 و B_{15} می‌باشند. مصرف ویژه سوخت برابر است با مصرف سوخت تقسیم بر توان ترمزی. با توجه به نزدیکی مقادیر مصرف سوخت برای مخلوط‌های مختلف، به نظر می‌رسد مهمترین عامل در ایجاد چنین گروه بندی، توان بدست آمده برای هر مخلوط سوخت باشد. همان‌طور که در نمودار شکل ۳ مشاهده می‌شود، مخلوط‌های B_{15} و B_{20} که توان بالاتری تولید نموده‌اند، مصرف سوخت کمتری داشته و با یکدیگر هم گروه هستند. این موضوع با مقایسه روند نمودارهای مصرف ویژه سوخت و توان نیز قابل مشاهده است به طوری که هر گاه توان روند صعودی دارد مصرف ویژه سوخت روند نزولی داشته و هرگاه توان روند نزولی دارد مصرف ویژه سوخت روند صعودی دارد.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



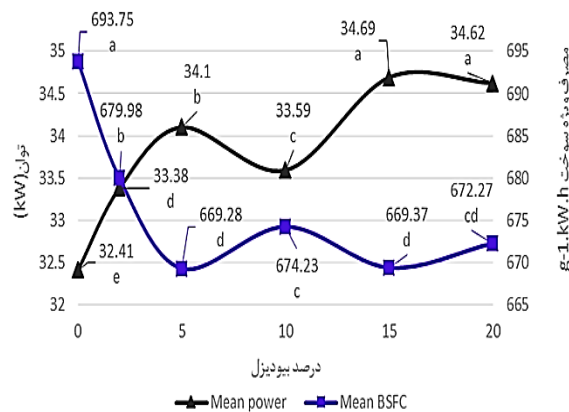
جدول ۶: تجزیه واریانس متغیرهای عملکرد موتور تحت آزمون.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	توان	مصرف ویژه سوخت
نوع سوخت	۵	۱۱/۱**	۱۳۰۷**	
بار	۴	۹۴۶۸/۱**	۸۹۱۷۶۷۲**	
مخلوط سوخت × بار	۲۰	۳/۴**	۳۰۲**	
خطا	۶۰	۰/۲۱	۱۹	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

نتایج آزمون آنالیز گازهای خروجی

جدول ۷ تجزیه واریانس گازهای خروجی آگروز و شکل‌های ۴ و ۵ نمودار مقایسه میانگین‌های مقادیر گازهای آگروز را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج ذکر شده در این جدول مشاهده گردید که اثر نوع سوخت، اثر بار و نیز برهم‌کنش بار × نوع سوخت برای تیمارهای UHC، NOx، CO و CO₂ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.



شکل ۳: نمودار اثر نوع سوخت روی توان و مصرف ویژه سوخت.



جدول ۷: تجزیه واریانس گازهای آگروز موتور تحت آزمون.

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع
NO _x	CO ₂	CO	UHC		
۱۴۶۴۲**	۱/۲۹۴**	۰/۱۴۱۲**	۷۰/۲۶**	۵	نوع سوخت
۱۰۰۵۰۵۶۷**	۱۴۸/۱۳۹**	۱۲/۷۶۴۶**	۵۷۱/۲۵**	۴	بار
۸۱۴۴**	۰/۱۴۱**	۰/۱۳۵۳**	۲۱/۴۱**	۲۰	نوع سوخت × بار
۱۴۱۰	۰/۰۴۳	۰/۰۰۸	۱/۵۰	۶۰	خطا

** : معنی دار در سطح احتمال ۱٪

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۸ بین بارهای ۰ و ۲۵ و ۵۰ درصد از نظر تولید CO اختلاف معنی داری وجود ندارد ولی مقدار این آلاینده در بار ۱۰۰ درصد تفاوت قابل ملاحظه‌ای با بقیه‌ی سطوح بار دارد. بنابراین در تعیین اثر سوخت بر میانگین CO، این بار بیشترین تاثیر و تاثیر سایر بارها قابل چشم‌پوشی است. همان‌طور که پیش از این بیان شد، انتشار آلاینده‌ی CO از موتور دیزل ناشی از احتراق در یک منطقه‌ی غنی یا ناشی از اکسیداسیون آرام در مدت تاخیر در اشتعال می‌باشد. لذا با افزایش بار به دلیل کمبود موضعی اکسیژن و کاهش هوای اضافی، مقدار این آلاینده افزایش می‌یابد. سایر محققان نیز این موضوع را تایید کرده‌اند (Zhihao et al., 2011; Can, 2014). بین سوخت‌های B₂ و B₁₀ از نظر تولید CO حاصل از احتراق تفاوت معنی دار وجود ندارد. در هر حال افزایش مقدار CO مخلوط‌های سوخت دیزل - بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص می‌تواند در اثر افزایش گرانیروی و چگالی این مخلوط‌ها و در نتیجه کاهش اتمیزه شدن سوخت و احتراق ناقص باشد و اثر آن بیشتر از اثر وجود اکسیژن در این مخلوط‌ها (و کاهش CO در اثر احتراق کامل) می‌باشد. شکل ۴ نشان می‌دهد که بیشینه و کمینه مقدار این آلاینده مربوط به سوخت‌های B₀ و B₁₅ می‌باشد. بنابراین سوخت بهینه در این بخش B₀ می‌باشد. نمودار شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزودن بیودیزل به سوخت دیزل خالص، مقدار NO_x افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند اکسیژن دار بودن سوخت بیودیزل باشد (Godiganur et al., 2010; Nabi et al., 2006; Raheman and Ghadge, 2007). وجود اکسیژن بیشتر تولید NO را تسریع می‌نماید. نمودار شکل ۵ نشان می‌دهد که بین B₁₀ و B₁₅ و B₂₀ از نظر تولید NO_x تفاوت معنی دار وجود ندارد. با توجه به این شکل سوخت بهینه در این بخش B₀ می‌باشد. با توجه به شکل ۴ بیشینه مقدار UHC مربوط به سوخت دیزل خالص و کمینه آن مربوط به B₁₅ می‌باشد. همچنین می‌توان مشاهده کرد که همه مخلوط‌های سوخت دیزل - بیودیزل UHC کمتری نسبت به سوخت دیزل خالص تولید می‌کنند که علت آن می‌تواند احتراق کامل‌تر سوخت بیودیزل و وجود اکسیژن در این مخلوط‌ها باشد (Habibullah et al., 2014; Sanjidd et al., 2014). نمودار شکل ۴ نشان می‌دهد که بین سوخت‌های B₂ و B₅ و همچنین بین سوخت‌های B₁₀ و B₁₅ از نظر تولید UHC تفاوت معنی دار وجود ندارد ولی سوخت‌های B₀ و B₂₀ با یکدیگر و همچنین با دیگر سوخت‌ها تفاوت معنی دار دارند. بیشینه و کمینه



مقدار UHC در این بخش مربوط به B_0 و B_{15} می‌باشند. بنابراین سوخت‌های بهینه در این بخش B_{15} و B_{10} (دو مخلوط سوخت هم‌گروه) می‌باشند. شکل ۵ نشان با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط سوخت مقدار CO_2 افزایش می‌یابد. اکسیژن دار بودن سوخت بیودیزل و عدد ستان بزرگتر نسبت به سوخت دیزل خالص موجب می‌شود که احتراق کامل‌تری صورت گرفته و در نتیجه مقدار بیشتری از CO که حاصل از احتراق ناقص است به CO_2 تبدیل شود-EL (Kassaby and Nemit-allah, 2013; Yoon and Lee, 2011). بیشینه و کمینه مقدار CO_2 توسط سوخت‌های B_0 و B_{20} تشکیل می‌شوند. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۵، بین سوخت‌های B_0 و B_2 و B_5 و همچنین بین سوخت‌های B_5 و B_{10} و نیز بین سوخت‌های B_{10} و B_{15} تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. بیشترین مقدار این آلاینده مربوط به B_{20} و کمترین مقدار آن مربوط به B_0 می‌باشد. هر چند از نظر عملکرد موتور مقدار CO_2 بیشتر مطلوب بوده و نشان‌دهنده احتراق کامل است ولی از جنبه زیست محیطی، سوخت بهینه در این بخش B_0 می‌باشد.

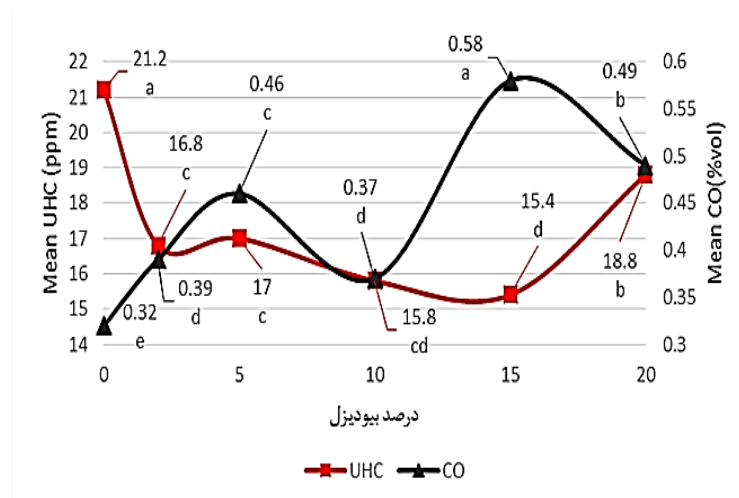
جدول ۸: مقایسه میانگین اثر بار بر مقدار آلاینده‌ی CO.

بار (درصد)	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	۰
CO (% vol)	۱/۹۴ ^a	۰/۱۰ ^b	۰/۰۴ ^c	۰/۰۴ ^c	۰/۰۵ ^c

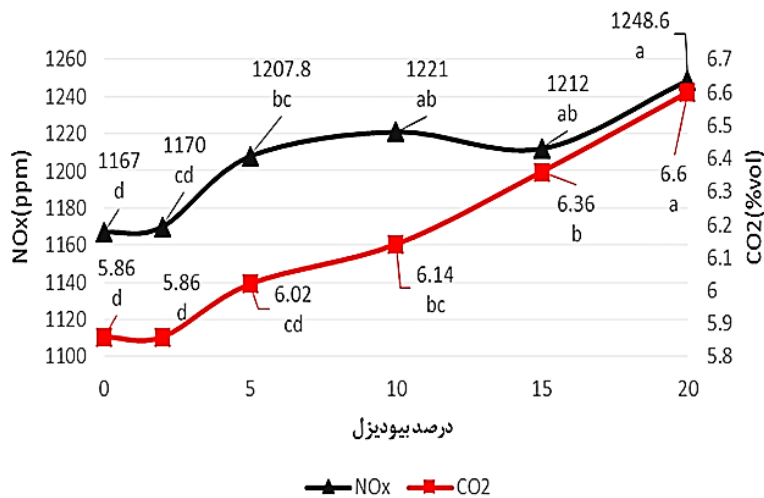
نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر به طور خلاصه عبارتند از:

- با استفاده از سوخت بیودیزل توان و گشتاور نسبت به سوخت دیزل افزایش یافت. از بین مخلوط‌های سوخت تحت آزمایش B_{15} به عنوان مخلوط بهینه از نظر عملکرد انتخاب شد. توان و مصرف ویژه سوخت میانگین در بارهای مختلف برای B_{15} به ترتیب برابر با ۳۴/۶۹ کیلو وات و ۶۶۹/۳۷ گرم بر کیلو وات ساعت بود.



شکل ۴: نمودار مقایسه میانگین‌های گازهای CO و UHC.



شکل ۵: نمودار مقایسه میانگین‌های گازهای NO_x و CO_2 .

- ۲- با استفاده از سوخت بیودیزل مصرف ویژه سوخت نسبت به سوخت دیزل کاهش یافت. کمترین مصرف ویژه سوخت مربوط به B5 با مقدار $669/28$ گرم بر کیلو وات ساعت می‌باشد.
- ۳- با استفاده از سوخت بیودیزل گازهای CO_2 و NO_x و CO نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش یافت. به عنوان مثال با استفاده از مخلوط B10، گازهای CO_2 و NO_x و CO به ترتیب $4/8$ و $4/6$ و $15/6$ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش یافت.
- ۴- با استفاده از سوخت بیودیزل آلاینده‌ی UHC کاهش یافت. به عنوان مثال استفاده از مخلوط سوخت B10 آلاینده‌ی UHC را $25/5$ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش داد.

مراجع

- ۱- باوفا، م. ۱۳۹۳. تولید بیودیزل از روغن چربی طیور و ارزیابی اثر مخلوط‌های سوخت دیزل- بیودیزل بر متغیرهای عملکردی و آلاینده‌های آگزوز یک موتور دیزل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی. مشهد. ایران.
- ۲- 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.
- ۳- رحیمی، ه. ۱۳۸۴. عملکرد موتور با استفاده از بیواتانول حاصل از ضایعات سیب زمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.
- ۴- زنوزی، ع. ۱۳۸۶. ارزیابی عملکرد تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.



- ۵- عباس زاده مایوان، ا. ۱۳۸۹. طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه خالص سازی بیودیزل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.
- ۶- نجفی، ب. پیروزی‌پناه، و. قبادیان، ب. ۱۳۸۶. بررسی تجربی عملکرد و آلایندگی موتور دیزل دوگانه سوز با استفاده از سوخت‌های جایگزین CNG و بیودیزل. مجموعه مقالات پنجمین همایش موتورهای درون سوز.
- ۷- نعمتی زاده، پ. ۱۳۹۰. بررسی عملکرد و آلاینده‌های دو نوع موتور درون‌سوز با استفاده از مخلوط سوخت‌های فسیلی و بیوفیول. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.
- 8- Al-Widyan, M.I., Tashtoush, G., and Abu-Qudais, M. 2002. Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engines. *Fuel Processing Technology*, 76: 91– 103.
- 9- Can, O. 2014. Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture. *Energy Conversion and Management*, 87: 676-686.
- 10- EL-Kassaby, M., and Nemit-allah, M.A. 2013. Studying the effect of compression ratio on an engine fueled with waste oil produced biodiesel/diesel fuel. *Alexandria Engineering Journal*, 52: 1–11.
- 11- Forson, F.K., Oduro, E.K., and Hammond-Donkoh, E. 2004. Performance of jatropha oil blends in a diesel engine. *Renewable Energy*; 29:1135–45.
- 12- Godiganur, S., Murthy, C.S., and Reddy, R.P. 2010. Performance and emission characteristics of a Kirloskar HA394 diesel engine operated on fish oil methyl esters. *Renewable Energy*, 35: 355–359.
- 13- Goga, G., Singh, L., and Singh, R. 2012. Performance Evaluation of Biodiesel from Waste Cooking Oil. *International Conference on Mechanical, Automobile and Biodiesel Engineering (ICMABE)*. Dubai (UAE).
- 14- Habibullah, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Rizwanul-Fattah, I.M., Ashraful, A.M., and Mobarak, H.M. 2014. Biodiesel production and performance evaluation of coconut, palm and their combined blend with diesel in a single-cylinder diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 87: 250-257.
- 15- Hamasaki, K. KE. Tajima, S. Takasaki, K. and Morita, D. 2001. Combustion characteristics of diesel engines with waste vegetable oil methyl ester. *The fifth international symposium on diagnostics and modeling of combustion internal combustion engines*, 55: 3-9.
- 16- Meng, X., Chen, G., and Wang, Y. 2008. Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test. *Fuel Processing Technology*, 89: 851-857.
- 17- Mittelbach, M. and Tritthart, P. 1988. Diesel fuel derived from vegetable oils, III. Emission tests using methyl esters of used frying oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 65: 1185–7.
- 18- Nabi, M.N., Akhter, M.S., and Zaglul-Shahadat, M.M. 2006. Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel–biodiesel blends. *Bioresour Technol*, 97: 372–8.
- 19- Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T.F., and Rahimi, H. 2007. Combustion Analysis of a CI Engine Performance Using Waste Cooking Biodiesel Fuel with an Artificial Neural Network Aid. *American Journal of Applied Sciences* 4: 756-764.
- 20- Ozsezen, A.N., Canakci M., Turkcan, A., and Sayin, C. 2009. Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters. *Fuel*, 88: 629–636.



- 21- Raheman, H., and Ghadge, S.V. 2007. Performance of compression ignition engine with mahua (*Madhuca indica*) biodiesel. *Fuel*, 86: 2568-2573.
- 22- Raheman, H., and Phadatar, A. 2004. Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel. *Biomass Bioenergy*, 27: 393-7.
- 23- Rakopoulos, C., Antonopoulos, K., Rakopoulos, D., Hountalas, D., and Giakoumis, E. 2006. Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins. *Energy Convers Manage*, 47: 3272-87.
- 24- Sanjid, A., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Ashrafur Rahman, S.M., Abedin, M.J., and Palash, S.M. 2014. Production of palm and jatropha based biodiesel and investigation of palm-jatropha combined blend properties, performance, exhaust emission and noise in an unmodified diesel engine. *Journal of Cleaner Production*, 65: 295-303.
- 25- Utlu, Z., and Kocak, M.S. 2008. The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. *Renewable Energy*, 33: 1936-1941.
- 26- Yoon, S.H., and Lee, C.S. 2011. Experimental investigation on the combustion and exhaust emission characteristics of biogas-biodiesel dual-fuel combustion in a CI engine. *Fuel Processing Technology*, 92: 992-1000.
- 27- Zayyin, A., Bawady, A., Rady M., and Dawood A. 2004. Experimental evaluation of diesel engine performance and emission using blends of jojoba oil and diesel fuel. *Energy Convers Manage*, 45: 2093-112.
- 28- Zhihao M., Xiaoyu Z., Junfa D., Xin W., Bin, X., and Jian, W. 2011. Study on Emissions of a DI Diesel Engine Fuelled with Pistacia Chinensis Bunge Seed Biodiesel-Diesel Blends. *Procedia Environmental Sciences*, 11: 1078 - 1083.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Experimental Investigation of Perkins Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions Using Blends of Diesel and Waste Palm Oil Based Biodiesel

Abstract

In this study effect of using biodiesel produced from waste palm oil on performance and exhaust emissions of Perkins diesel engine was investigated. Performance parameters like power, SFC and exhaust emissions including UHC, CO, NO_x and CO₂ in different engine loads were measured while using different blends of diesel and biodiesel. The B15 was selected as optimum fuel considering performance parameters. For the fuel B15, power and SFC values were 34.69kW and 669.37 gr/kW.hr in different engine loads respectively. Using the B10 blend lead to 4.8%, 4.6% and 15.6% decrease in CO₂, NO_x and CO emissions compared to pure diesel fuel respectively, while decreased 25.5% of the UHC emission.

Keywords: Biodiesel, performance, exhaust emissions, palm waste oil, Perkins engine.