



بررسی تجربی عملکرد و آلاینده‌های اگزوز موتور تراکتور MF-399 با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل حاصل از روغن پسماند چپس سیب‌زمینی

محسن آتشگران^۱، تیمور توکلی هاشجین^{۲*}، برات قبادیان^۳، مسعود دهقانی^۴، بهرام حسین‌زاده^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- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

ایمیل مکاتبه کننده: ttavakol@modares.ac.ir

چکیده

در این تحقیق تاثیر استفاده از سوخت بیودیزل تولید شده از روغن پسماند فرآوری چپس سیب زمینی بر روی عملکرد موتور تراکتور MF-399 بررسی شد. متغیرهای عملکردی، از جمله توان، گشتاور و مصرف ویژه سوخت و مقادیر انتشار گازهای اگزوز از جمله CO، NOx، CO₂ در دوره‌های مختلف با استفاده از مخلوط‌های مختلف دیزل و بیودیزل اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آزمون‌های تجربی نشان داد که در استفاده از مخلوط سوخت دیزل و بیودیزل با نسبت‌های مختلف، توان و گشتاور موتور افزایش و مصرف ویژه سوخت کاهش یافت. همچنین مقادیر آلاینده‌های UHC و CO نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش و مقدار گازهای CO₂ و NOx افزایش یافت. مخلوط سوخت B10D90 در مقایسه با سوخت دیزل خالص، توان و گشتاور را به ترتیب ۳/۶ و ۳/۵ درصد افزایش و مصرف ویژه سوخت را ۴/۱ درصد کاهش داد. همچنین در مقایسه با سوخت دیزل خالص، استفاده از این مخلوط سوخت، گازهای CO₂ و NOx، را به ترتیب ۸ و ۵ درصد افزایش و آلاینده‌های UHC و CO را به ترتیب ۲۸/۳ و ۱۲ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، عملکرد، آلاینده‌های اگزوز، روغن پسماند چپس، تراکتور MF-399.

مقدمه

بیودیزل، متیل‌استر یا اتیل‌استر روغن‌های گیاهی است که در اثر واکنش بین روغن با الکل در حضور یک نوع کاتالیزور مناسب حاصل می‌شود (خاتمی فر، ۱۳۸۵؛ عباس‌زاده 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 (باوفا، 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 توربوشارژ 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 and Tritthart, 1988). 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). الودایان و همکاران^۴ در سال ۲۰۰۲ با آزمایش اتیل استر روغن نخل پسماند آشپزخانه به این نتیجه رسیدند که مخلوط‌های B₁₀₀D₀ و B₇₅D₂₅ 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 گرانیروی 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 B₁₀D₉₀، B₂₀D₈₀، B₃₀D₇₀، B₄₀D₆₀، B₅₀D₅₀ 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 B₁₀D₉₀، B₂₀D₈₀، B₃₀D₇₀ و B₅₀D₅₀ به ترتیب 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

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



همکاران مخلوط‌های مختلف متیل‌استر 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 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 متیل‌استر 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 سرعت‌های مختلف ۲/۲ درصد افزایش یافت (رحیمی، ۱۳۸۴). پنوار^۱ و همکاران تاثیر استفاده از روغن کرچک روی عملکرد و آلاینده‌های 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 (Panwar et al., 2010). رحمان و همکاران مخلوط‌های B₂₀D₈₀، B₄₀D₆₀، B₆₀D₄₀ و B₈₀D₂₀ را روی موتور دیزل تک سیلندر با پاشش مستقیم در بارهای مختلف و سرعت ثابت ۳۰۰۰rpm 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 Phadatar, 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 و همکاران).

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 شش دور مورد استفاده قرار گرفت مقادیر توان، گشتاور، مصرف ویژه سوخت و آلاینده‌های UHC^۲ (هیدروکربن‌های نسوخته)، CO، NO_x 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٪ حجمی بیودیزل و سوخت دیزل شماره ۲ مورد آزمایش قرار گرفتند. این مخلوط‌های سوخت در دورهای ۱۴۰۰، ۱۵۰۰، ۱۶۰۰، ۱۷۰۰، ۱۸۰۰ و ۱۹۰۰ دور بر دقیقه مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به اینکه در دورهای ۱۴۰۰ تا ۱۹۰۰ دور بر، تغییرات بار (گشتاور) بسیار اندک بود و در دورهای کمتر از ۱۴۰۰ دور بر دقیقه و بیشتر از ۱۹۰۰ دور بر دقیقه تغییرات بار قابل ملاحظه بود، این سطوح دور انتخاب شدند تا تغییرات بار بر نتایج آزمایش تاثیر نگذارند.

1. Panwar et al.
2. Unburned Hydro Carbon



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.

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 ۲۳۰۰ rpm	۱۱۰ اسب بخار (۸۲ کیلووات)
حداکثر گشتاور در ۱۳۰۰ rpm	۳۷۶ نیوتن متر



شکل ۱: تصویر دینامومتر Sigma5 NJ Froment.



جدول ۲: ویژگی‌های فنی دینامومتر NJ Froment Sigma5

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

NOx	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، دور موتور 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. 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، CO₂ و CO تشکیل داده شد سپس معنی داری اثر اصلی نوع سوخت در صفات مذکور بررسی شد.

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

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



جدول ۵ : برخی از ویژگی‌های سوخت دیزل شماره ۲.

ویژگی	روش استاندارد آزمون	مقدار اندازه‌گیری شده	واحد
گرانروی سینما تیکی در °C ۴۰	ASTM D455	۳/۰۸	mm ² /s
°C ۱۵ چگالی در	ASTM D4052	۸۴۱	kg/m ³
°C نقطه ریزش	ASTM D 97	-۱۲	°C
°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%
گرانروی دینامیکی در °C ۴۰	ASTM D455	۳/۰۸	°C

نتایج و بحث

نتایج آزمون عملکرد موتور

داده‌های حاصل از آزمون عملکرد موتور تراکتور نشان داد که با استفاده از تمامی مخلوط‌های سوخت توان و گشتاور موتور نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش و مصرف ویژه سوخت کاهش یافت. جدول ۶ تجزیه واریانس و شکل ۳ نمودار مقایسه میانگین‌های متغیرهای عملکرد را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۶ مشاهده گردید که اثر نوع سوخت و اثر دور برای تیمارهای توان و گشتاور و مصرف ویژه سوخت، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. همچنین برهم‌کنش دور × نوع سوخت، برای تیمارهای توان و گشتاور در سطح ۱ درصد و برای مصرف ویژه سوخت در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. نمودار شکل ۳ نشان می‌دهد که توان بیشینه موتور با استفاده از سوخت‌های B₁₅ و B₂₀ رخ می‌دهد. همچنین بین سوخت‌های B₁₅ و B₂₀، سوخت‌های B₂ و B₅ و نیز بین سوخت‌های B₅ و B₁₀ از نظر تولید توان با قابلیت اطمینان ۹۵٪ تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.



همچنین می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درصد سوخت بیودیزل از ۲ تا ۱۵ درصد، توان افزایش یافته است که علت آن می‌تواند احتراق کامل‌تر نسبت به سوخت دیزل خالص باشد. علت آن همچنین می‌تواند افزایش چگالی و گرانی سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص باشد. افزایش چگالی موجب می‌شود جرم سوخت بیشتری وارد محفظه‌ی احتراق شده و در نتیجه توان و گشتاور بیشتری تولید شود. برخی محققان افزایش توان مخلوط‌های سوخت بیودیزل - دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص را گزارش کرده‌اند (Najafi et al., 2007; Forson et al., 2004; Adaileh and Alqdah, 2012). برخی محققان نیز کاهش توان نسبت به سوخت دیزل خالص را با افزایش درصد سوخت بیودیزل گزارش کرده‌اند (Yang et al., 2012; Canakci et al., 2009; Murillo et al., 2007). این محققان علت کاهش توان را ارزش حرارتی پایین‌تر و چگالی و گرانی بالاتر سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل عنوان کرده‌اند. طبق نظر آن‌ها، این عوامل موجب کاهش بازده احتراق و بازده حرارتی موتور و ایجاد اختلال در جریان سوخت می‌گردد. طبق گزارش ارائه شده توسط اوستا و همکاران، با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط سوخت، توان ابتدا افزایش می‌یابد که علت آن را وجود اکسیژن بالاتر در بیودیزل و در نتیجه احتراق کامل‌تر ذکر نموده‌اند. طبق یافته‌های آن‌ها با افزایش بیشتر درصد بیودیزل در مخلوط سوخت، توان کاهش می‌یابد که علت آن ارزش حرارتی پایین‌تر سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص و اتمیزه شدن ناقص بیودیزل عنوان شده است (Usta, 2005). همچنین نمودار شکل ۳ نشان می‌دهد که از نظر تولید گشتاور بین سوخت‌های B_5 و B_{10} سوخت‌های B_5 و B_{10} و همچنین بین سوخت‌های B_{15} و B_{20} تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بیشینه گشتاور مربوط به سوخت B_{15} و کمینه گشتاور مربوط به سوخت B_0 می‌باشد. بنابراین از نظر تولید گشتاور سوخت‌های بهینه B_{15} و B_{20} می‌باشند. نتایج بدست آمده راجع به سوخت بهینه از نظر تولید توان و گشتاور با یکدیگر متفاوت می‌باشد. زنوزی سوخت بهینه از نظر تولید توان را B_5 ولی باوفا و همچنین نجفی و همکاران سوخت بهینه را B_{20} گزارش کرده‌اند (باوفا، ۱۳۹۳؛ زنوزی، ۱۳۸۶) (Najafi et al.,). نمودار شکل ۳ نشان می‌دهد که بین سوخت‌های B_5 و B_{15} و نیز بین سوخت‌های B_{10} و B_{20} از نظر مصرف ویژه سوخت تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بیشینه و کمینه مصرف ویژه سوخت به ترتیب مربوط به سوخت‌های B_0 و B_5 می‌باشد. بنابراین سوخت بهینه از نظر مصرف ویژه سوخت B_5 می‌باشد. با توجه به اینکه مصرف ویژه سوخت عبارتست از مصرف سوخت تقسیم بر توان، علت کاهش اندک مصرف ویژه سوخت مخلوط‌های سوخت دیزل - بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص می‌تواند افزایش توان مخلوط‌های دارای بیودیزل باشد. در بین پژوهش‌های انجام شده برخی از محققان کاهش مصرف ویژه سوخت برای مخلوط‌های سوخت دیزل - بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص را گزارش کرده‌اند (Muralidharan et al., 2011; Jindal and Salvi, 2012; Sahoo et al., 2007; Sureshkumar et al., 2007; Raheman and Phadatare, 2004). برخی از محققان نیز یکسان بودن مصرف ویژه سوخت مخلوط‌های سوخت دیزل - بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص را گزارش نموده‌اند و علت آن را مشابه بودن ارزش حرارتی و گرانی سوخت بیودیزل حاصل از روغن دانه‌ی کتان و سوخت دیزل عنوان کرده‌اند (Rakopoulos et al., 2008). اما برخی از محققان نیز افزایش مصرف

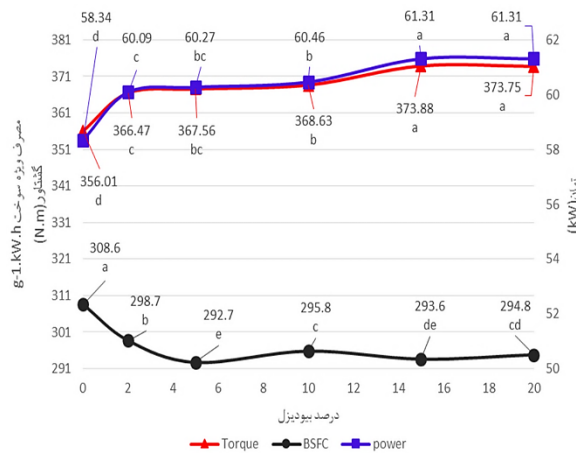


ویژه‌ی سوخت بیودیزل را به علت چگالی و گرانروی بالاتر و ارزش حرارتی پایین‌تر نسبت به سوخت دیزل خالص، گزارش کرده‌اند (Najafi et al., (زنوری، ۱۳۸۶).

جدول ۶: تجزیه واریانس متغیرهای عملکرد موتور تحت آزمون.

ویژه‌ی	میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع
	مصرف سوخت	توان گشتاور		
نوع سوخت	۷۶۹/۶۴*	۲۱/۴۵**	۵	نوع سوخت
دور	۴۴۶/۸۵*	۶۸۷/۵۱*	۵	دور
نوع سوخت × دور	۸/۵۵**	۰/۴۵**	۲۵	نوع سوخت × دور
خطا	۴/۰۶	۰/۱۳	۷۲	خطا

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪



شکل ۳: نمودار مقایسه میانگین‌های متغیرهای عملکرد موتور.

نتایج آزمون آنالیز گازهای خروجی

جدول ۷ تجزیه واریانس مقادیر گازهای آگروز را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج ذکر شده در این جدول مشاهده گردید که اثر نوع سوخت، اثر دور موتور و نیز اثر متقابل دور موتور × نوع سوخت برای تیمارهای UHC، NOx، CO و CO₂ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.



جدول ۷: تجزیه واریانس گازهای آگروز موتور تحت آزمون.

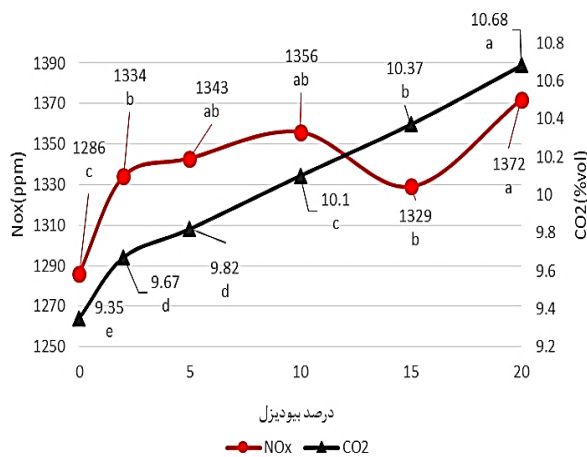
منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		NO _x	CO ₂	CO	UHC
نوع سوخت	۵	۱۵۲۳۵**	۴/۲۴**	۰/۴۱۵**	۸۷/۵۳**
دور	۵	۷۴۴۱۱۳**	۰/۷۹**	۲/۴۲۵**	۳۹۵/۱۳*
نوع سوخت × دور	۲۵	۳۶۴۰**	۰/۰۸**	۰/۰۴۲**	۹/۲۱**
خطا	۷۲	۱۰۰۴	۰/۰۴	۰/۰۰۰۹۲	۱

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

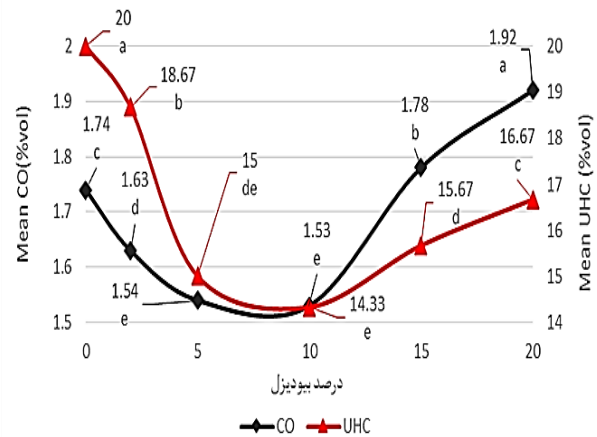
شکل‌های ۴ و ۵ مقادیر میانگین گازهای آگروز برای مخلوط‌های سوخت را نشان می‌دهد. شکل ۴ نشان می‌دهد که استفاده از سوخت‌های B₂ و B₅ و B₁₀، آلایندگی CO را بطور میانگین ۶/۳۲، ۱۱/۴۹ و ۱۲/۰۶ درصد نسبت به سوخت دیزل کاهش می‌دهد. استفاده از سوخت‌های B₁₅ و B₂₀ آلایندگی CO را به‌طور میانگین ۲/۲۹ و ۱۰/۳۴ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش می‌دهد که به نظر می‌رسد علت آن می‌تواند غالب شدن اثر گرانشی و چگالی بالای این مخلوط‌ها باشد که کاهش اتمیزه شدن سوخت، احتراق ناقص و افزایش این آلایندگی را در پی دارد. برخی محققان کاهش این آلایندگی را با افزایش درصد سوخت بیودیزل گزارش کرده‌اند و علت آن را اکسیژن موجود در سوخت بیودیزل و عدد ستان بالای آن نسبت به سوخت دیزل خالص عنوان کرده‌اند (Habibullah et al., 2014; Godiganur et al., 2010). البته برخی محققان نیز افزایش این آلایندگی با افزایش درصد سوخت بیودیزل را گزارش کرده‌اند (Altin et al., 2001; Huzayyin et al., 2004; Rakopoulos et al., 2006). شکل ۵ نشان می‌دهد که بین B₀ و بقیه سوخت‌ها از نظر تولید NO_x تفاوت معنی‌دار وجود دارد. بین B₂ و B₂₀ و همچنین بین B₁₅ و B₂₀ نیز تفاوت معنی‌دار وجود دارد ولی بین B₂، B₅، B₁₀ و B₁₅ تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. با توجه به این شکل 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 اکسیژن‌دار بودن سوخت بیودیزل است. وجود اکسیژن بیشتر تولید NO را تسریع می‌نماید. بیشتر محققان افزایش NO_x را با افزودن بیودیزل به سوخت دیزل خالص گزارش نموده‌اند (Godiganur et al., 2010; Nabi et al., 2006; Raheman and Ghadge, 2007). برخی محققان نیز کاهش آن با افزودن سوخت بیودیزل به سوخت دیزل را گزارش نموده‌اند (Sharma and Singh, 2009). با توجه به شکل ۴ بیشینه مقدار UHC مربوط به سوخت دیزل خالص و کمینه آن مربوط به B₁₀ می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که همه مخلوط‌های سوخت دیزل - بیودیزل به علت احتراق کامل‌تر سوخت، UHC کمتری نسبت به سوخت دیزل خالص تولید می‌کنند. نمودار شکل ۴ نشان می‌دهد که بین سوخت‌های B₁₅ و B₅ و همچنین بین سوخت‌های B₁₀ و B₅ از نظر تولید UHC تفاوت



معنی‌دار وجود ندارد ولی سوخت‌های B_0 و B_{20} با یکدیگر و همچنین با دیگر سوخت‌ها تفاوت معنی‌دار دارند. بیشینه و کمینه مقدار UHC در این بخش مربوط به B_0 و B_{10} می‌باشند. بنابراین سوخت‌های بهینه در این بخش B_5 و B_{10} می‌باشند. با افزایش درصد سوخت بیودیزل تا ۱۰ درصد UHC ابتدا کاهش می‌یابد و با افزایش درصد سوخت بیودیزل تا ۲۰ درصد مقدار آن افزایش می‌یابد. با این حال همان‌طور که ذکر شد تمام مخلوط‌ها UHC کمتری نسبت به دیزل خالص تولید می‌کنند. به نظر می‌رسد روند افزایشی تولید UHC برای مخلوط‌های سوخت دارای بیش از ۱۰ درصد بیودیزل، به دلیل گرانش بالاتر این مخلوط‌ها و کاهش اتمیزه شدن سوخت هنگام پاشش و در نتیجه احتراق ناقص باشد هر چند اثر آن کمتر از اثر اکسیژن‌دار بودن سوخت بیودیزل می‌باشد. به همین دلیل حتی سوخت B_{20} مقدار UHC کمتری نسبت به دیزل خالص تولید می‌کند. بیشتر محققان کاهش مقدار UHC مخلوط‌های سوخت دارای بیودیزل را نسبت به سوخت دیزل خالص گزارش کرده‌اند (Habibullah et al., 2014; Sanjid et al., 2014). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، مقدار گاز گلخانه‌ای CO_2 با افزایش درصد بیودیزل در سوخت افزایش می‌یابد. اکسیژن‌دار 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. بیشینه و کمینه مقدار CO_2 توسط سوخت‌های B_0 و B_{20} تشکیل می‌شوند. بنابراین سوخت‌های بهینه از جنبه آلاینده‌گی در این بخش B_0 می‌باشد. البته محققان دیگر نیز افزایش CO_2 حاصل از سوختن مخلوط‌های سوخت دیزل-بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص را گزارش کرده‌اند (EL-Kassaby and Nemitallah, 2013; Yoon and Lee, 2011).



شکل ۵: نمودار مقایسه میانگین‌های گازهای CO_2 و NO_x



شکل ۶: نمودار مقایسه میانگین‌های CO و UHC

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر به طور خلاصه عبارتند از:



- ۱- با استفاده از سوخت بیودیزل توان و گشتاور نسبت به سوخت دیزل افزایش یافت. از بین مخلوط‌های سوخت تحت آزمایش B15 و B20 بیشترین توان و گشتاور را تولید کردند. بیشینه توان و گشتاور برای B15 به ترتیب برابر با ۶۱/۳ کیلو وات و ۳۷۳/۸ نیوتن متر بود.
- ۲- با استفاده از سوخت بیودیزل مصرف ویژه سوخت نسبت به سوخت دیزل کاهش یافت. کمترین مصرف ویژه سوخت مربوط به B5 با مقدار ۲۹۲/۷ گرم بر کیلو وات ساعت می‌باشد.
- ۳- با استفاده از سوخت بیودیزل آلاینده‌های CO_۲ و NO_x نسبت به سوخت دیزل افزایش یافت. کمینه آلاینده‌های CO_۲ و NO_x به ترتیب برابر با ۹/۳۵ درصد حجمی و ۱۲۸۶ ppm و مربوط به سوخت دیزل خالص می‌باشد.
- ۴- با استفاده از سوخت بیودیزل آلاینده‌های CO و UHC نسبت به سوخت دیزل کاهش یافت. کمینه مقدار CO و UHC به ترتیب برابر با ۱/۵۳ درصد حجمی و ۱۴/۳۳ ppm و مربوط به B10 می‌باشد.

مراجع

- ۱- باوفا، م. ۱۳۹۳. تولید بیودیزل از روغن چربی طیور و ارزیابی اثر مخلوط‌های سوخت دیزل- بیودیزل بر متغیرهای عملکردی و آلاینده‌های آگروز 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. پیروزیانه، و. قبادیان، ب. ۱۳۸۶. بررسی تجربی عملکرد و آلاینده‌گی 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- Adaileh, W.M., and Alqdah, K.S. 2012. Performance of Diesel Engine Fuelled by a Biodiesel Extracted From Waste Coking Oil. Energy Procedia, 18: 1317–1334.
- 9- Altin, R., Cetinkaya, S., and Yücesu, H. 2001. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. Energy Convers Manage, 42: 529–38.
- 10- 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.



- 11- Canakci, M., Turkcan, A., Ozsezen, A.N. 2009. Combustion analysis of preheated crude sunflower oil in an IDI diesel engine. *Biomass and Bioenergy*, 33(5): 760–7.
- 12- 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.
- 13- 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.
- 14- 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.
- 15- 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).
- 16- 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.
- 17- Hamasaki, K. K.E. 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.
- 18- Huzayyin, 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.
- 19- Jindal, S., and Salvi, B. 2012. Sustainability aspects and optimization of linseed biodiesel blends for compression ignition engine. *J Renew Sustain Energy*, 4 : 043111.
- 20- 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.
- 21- 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.
- 22- Muralidharan, K., Vasudevan, D., and Sheeba, K.N. 2011. Performance, emission and combustion characteristics of biodiesel fuelled variable compression ratio engine. *Energy*, 36: 5385–93.
- 23- Murillo, S., Miguez, J.L., Porteiro, J., Granada, E., Moran, J.C. 2007. Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines. *Fuel*, 86: 1765–69.
- 24- 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.
- 25- 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.
- 26- 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.
- 27- Panwar, N.L., Shirame, H.Y., Rathore, N.S., Jindal, S., and Kurchania, A.K. 2010. Performance evaluation of a diesel engine fueled with methyl ester of castor seed oil. *Applied Thermal Engineering*, 30: 245–9.



- 28- Ragit, S., Mohapatra, S., and Kundu, K. 2010. Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl ester of neem oil and filtered neem oil. *J Sci Ind Res*, 69: 62-66.
- 29- Raheman, H., and Ghadge, S.V. 2007. Performance of compression ignition engine with mahua (*Madhuca indica*) biodiesel. *Fuel*, 86: 2568-2573.
- 30- Raheman, H., and Phadatar, A. 2004. Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel. *Biomass Bioenergy*, 27: 393-7.
- 31- Raheman, H., and Phadatar, A. 2004. Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel. *Biomass Bioenergy*, 27: 393-7.
- 32- 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.
- 33- Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., Hountalas, D.T., Giakoumis, E.G., and Andritsakis, E.C. 2008. Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with biodiesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feed stock. *Fuel*, 87: 147
- 34- Sahoo, P., Das, L., Babu, M., and Naik, S. 2007. Biodiesel development from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine. *Fuel*, 86: 448-54.
- 35- 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.
- 36- Sharma, Y.C., and Singh, B. 2009. Development of biodiesel: current scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 1646-51.
- 37- Sureshkumar, K., Velraj, R., and Ganesan, R. 2008. Performance and exhaust emission characteristics of a CI engine fuelled with *Pongamia pinnata* methyl ester (PPME) and its blends with diesel. *Renewable Energy*, 33: 2294-302.
- 38- Usta, N. 2005. An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester. *Energy Conversion and Management*, 46: 2373-2386.
- 39- 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.
- 40- Yang, W.M., An, H., Chou, S.K., Vedharaji, S., Vallinagam, R., and Balaji, M. 2012. Emulsion fuel with novel nano-organic additives for diesel engine application. *Fuel*.
- 41- 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.



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 MF-399 Tractor Engine Performance and Exhaust Emissions Using Blends of Diesel and Biodiesel Produced from Waste Potato Chips Oil

Abstract

In this study effect of biodiesel produced from waste potato chips processing oil on performance of Perkins diesel engine was investigated. Performance parameters include engine power, torque and specific fuel consumption (SFC) and exhaust emissions were UHC, CO, NO_x and CO₂ which were measured in different engine speeds and diesel-biodiesel blends. Experimental results indicated that engine power and torque increased and SFC decreased using diesel-biodiesel blends. Also by using diesel-biodiesel blend, UHC and CO emissions decreased and NO_x and CO₂ increased compared to pure diesel fuel. The fuel blend which had 10% (Vol.) biodiesel and 90% diesel, power and torque increased 3.6% and 3.5% respectively and SFC decreased 4.1% compared to pure diesel fuel. By using this fuel blend CO₂ and NO_x emissions increased 8% and 5% and UHC and CO emissions decreased 28.3% and 12% compared to pure diesel fuel respectively.

Keywords: Biodiesel, performance, exhaust emissions, chips waste oil, tractor MF399.