



نشریه علمی - پژوهشی سوخت و احتراق
سال چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۰

مطالعه تأثیر اتیل استر روغن آفتابگردان و مخلوط‌های مختلف آن با گازوییل بر عملکرد و انتشار آلاینده‌های یک موتور اشتعال تراکمی مجهز به پر خوران

بهمن نجفی* و محمد خانی**

دانشگاه محقق اردبیلی، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی
(دریافت: ۱۳۸۸/۱۲/۱۵، دریافت آخرین اصلاحات: ۹۰/۱/۲۱، پذیرش: ۹۰/۲/۱۴)

در این تحقیق، بیودیزل (اتیل استر) از روغن آفتابگردان به روش ترنس استریفیکاسیون تولید شد. خواص بیودیزل متفاوت از سوخت گازوییل است. تأثیر افزودن بیودیزل به سوخت گازوییل بر عملکرد و آلاینده‌های یک موتور دیزل پاشش مستقیم مجهز به پر خوران (Turbo charger) در حالت تمام بار مورد آزمون قرار گرفت. مشاهده شد که در دور ۱۴۰۰ rpm با استفاده از بیودیزل و مخلوط‌های مختلف آن با گازوییل مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش و توان ترمزی کاهش می‌یابد. همچنین، انتشار CO ، NO_x و UHC افزایش یافته ولی انتشار دود کاهش می‌یابد. در دور ۲۰۰۰ rpm، نتایج نشان داد که استفاده از بیودیزل و مخلوط‌های مختلف آن با گازوییل مصرف سوخت ویژه ترمزی و توان ترمزی را افزایش می‌دهد. در این دور، آلاینده‌های CO ، CO_2 ، UHC و دود کاهش یافته ولی انتشار آلاینده NO_x افزایش پیدا می‌کند.

کلیدواژه: بیودیزل، اتیل استر، متغیرهای عملکردی و آلاینده‌ها

مقدمه

منابع انرژی نقشی مهم در آینده جهان ایفا می‌کنند. در حال حاضر، منابع سوخت فسیلی بزرگ‌ترین تأمین‌کننده انرژی جهان‌اند، اما با توجه به کاهش ذخایر این منابع و افزایش غلظت آلاینده‌های خطرناکی همچون CO_2 ، SO_2 و NO_x در جو و تأثیر آن‌ها بر گرم‌شدن کره زمین که علت اصلی آن احتراق سوخت‌های فسیلی است، لزوم توجه به سوخت‌های جایگزینی که تجدیدپذیر و دوستدار محیط زیست باشند به شدت احساس می‌شود. استفاده از سوخت‌های پاک و جایگزین مثل بیودیزل در موتورهای دیزل در سال‌های اخیر مورد توجه بوده است. بیودیزل، متیل یا اتیل استر اسیدهای چرب با زنجیره طویل است که از منابع طبیعی تجدیدپذیر مانند روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تهیه می‌شود و برای استفاده از آن به عنوان سوخت جایگزین گازوییل در موتورهای احتراق تراکمی نیازی به تغییرات اساسی در موتور نیست [۱، ۳ و ۴].

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد تأثیر سوخت بیودیزل بر عملکرد و آلاینده‌های موتور دیزل انجام شده است. در یک مطالعه جامع که توسط خو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ میلادی انجام گرفت، نتایج حاصل از مطالعه ۱۶۲ مقاله منتشر شده در مجلات معتبر علمی جهان بررسی شد که نشان می‌داد بیشتر محققان به این نتیجه رسیده‌اند که:

- ۱- استفاده از سوخت بیودیزل موجب کاهش توان و افزایش مصرف سوخت می‌شود.
- ۲- با استفاده از بیودیزل انتشار آلاینده‌های PM ، CO و HC کاهش می‌یابد.
- ۳- استفاده از بیودیزل موجب افزایش انتشار آلاینده NO_x می‌شود.
- ۴- تعداد محققانی که معتقدند انتشار CO_2 افزایش می‌یابد تقریباً برابر آن‌هایی است که کاهش CO_2 را نتیجه گرفته‌اند [۵].

* استادیار - نویسنده مخاطب (ایمیل: bahman_najafi@yahoo.com)

** دانشجوی کارشناسی ارشد (ایمیل: mohammadkhani62@yahoo.com)

با توجه به بررسی انجام شده در ادبیات فن، نتایج تحقیق بیشتر محققان هرچند حاکی از کاهش توان تولید شده و افزایش مصرف سوخت موتور با استفاده از سوخت بیودیزل خالص است، ولی نتایج کاملاً متناقضی نیز توسط برخی از محققان دیگر گرفته شده است که در اینجا به صورت مختصر به دلایل توجیهی هر گروه اشاره می‌شود.

الف) مقالاتی که کاهش توان تولید شده با استفاده از بیودیزل خالص را نشان می‌دهند: در مهم‌ترین آن‌ها، اتولو و کوچاک نشان دادند که گشتاور و قدرت موتور با استفاده از بیودیزل حاصل از متیل استر روغن پسماند به طور متوسط در حدود ۴/۳ درصد و ۵/۴ درصد نسبت به گازوییل خالص کاهش دارد که دلیل آن را گرانی بالایی و ارزش گرمایی پایین بیودیزل (۸/۸ درصد کمتر از گازوییل) می‌دانند [۶]. هانسن و همکارانش تصریح کردند که گشتاور ترمزی در حدود ۹/۱ درصد در بیودیزل خالص نسبت به گازوییل خالص در سرعت ۱۹۰۰ rpm کاهش دارد؛ ارزش گرمایی بیودیزل استفاده شده ۱۳/۳ درصد کمتر از گازوییل بود [۷]. موریللو و همکارانش نشان دادند که کاهش قدرت تولید شده برابر ۷/۱۴ درصد برای سوخت بیودیزل در بار کامل است؛ ارزش گرمایی سوخت بیودیزل استفاده شده ۱۳/۵ درصد کمتر از گازوییل بود [۸]. نتایج مشابهی توسط اوجاسو و جمیل منتشر شده است که نشان‌دهنده کاهش قدرت تولید شده با سوخت بیودیزل و پایین بودن ارزش گرمایی آن است. در این تحقیق نویسندگان بیان کرده‌اند که گشتاور و توان تولید شده در حدود ۳ تا ۶ درصد برای بیودیزل خالص پنبه‌دانه نسبت به گازوییل کاهش می‌یابد و ادعا کردند که ارزش گرمایی بیودیزل ۵ درصد کمتر از گازوییل است [۹].

ب) مقالاتی که نشان می‌دهند توان تولید شده با استفاده از بیودیزل خالص و گازوییل تفاوت معناداری ندارد: لین و همکارانش نشان دادند که تفاوت توان و گشتاور موتور، در بار کامل (Full load)، بین گازوییل خالص و هشت نوع متیل استر روغن گیاهی (سوخت بیودیزل) در حدود ۱/۴۹ تا ۰/۶۴ درصد و ۱/۳۹ تا ۱/۲۵ درصد است. سوخت بیودیزل گرانی، مصرف سوخت ویژه ترمزی (BSFC)، محتوای اکسیژن و نرخ احتراق بالاتری نسبت به گازوییل دارد [۱۰]. کی و همکارانش گزارش دادند که با توجه به اینکه ارسال سوخت به موتور به صورت حجمی انجام می‌شود و چگالی سوخت بیودیزل بالاتر از گازوییل است، ارزش گرمایی پایین سوخت بیودیزل جبران می‌شود و در نتیجه توان موتور تغییر نمی‌کند [۱۱].

ج) مقالاتی که افزایش توان تولید شده با استفاده از بیودیزل خالص را نشان می‌دهند: بعضی از محققان افزایش توان تولید شده موتور را با سوخت بیودیزل خالص نسبت به گازوییل تایید کردند. سونگ و ژانگ تصریح کرده‌اند که توان ترمزی موتور و گشتاور آن، با افزایش درصد بیودیزل، افزایش می‌یابد. آن‌ها دلیل افزایش توان موتور را محتوای اکسیژن بیشتر سوخت بیودیزل، مصرف بالاتر سوخت بیودیزل، پیش‌رسی (Advance) پاشش سوخت و زمان تاخیر در اشتعال کوتاه سوخت بیودیزل بیان کردند [۱۲]. الویداین و همکارانش نیز در مقاله‌ای ادعا کرده‌اند که توان تولید شده با استفاده از سوخت بیودیزل خالص نسبت به سوخت گازوییل در حدود ۷۰ درصد افزایش می‌یابد که دور از ذهن است. دلایل آن‌ها بالاتر بودن جریان سوخت بیودیزل (به دلیل چگالی بالاتر) و گرانی بالاتر آن بود [۱۳].

دلیل عمده تناقض نتایج محققین در این است که خواص بیودیزل (اتیل استر روغن گیاهی) به شدت وابسته به نوع و مقدار تری‌گلیسیریدهای موجود در روغن گیاهی است. در فرایند ترنس‌استریفیکاسیون (فرایند تولید بیودیزل)، متناسب با تری‌گلیسیریدهای روغن، مونواسترهای متفاوتی تولید می‌شود که عمده‌ترین آن‌ها اِستر اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک، اولئیک، لینولئیک و لینولئیک است. درصد وزنی هر یک از مونواسترها در سوخت بیودیزل بر خواص ترموفیزیکی آن مؤثر است؛ لذا اطلاق کلمه بیودیزل به همه انواع آن‌ها موجب بروز تناقضاتی در نتایج تحقیق می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر مخلوط اتیل استر روغن آفتابگردان (سوخت بیودیزل) با گازوییل بر متغیرهای عملکردی و آلاینده‌ی موتور اشتعال تراکمی مجهز به پرخوران در دور حداکثر توان و حداکثر گشتاور است.

مواد و روش‌ها

بیودیزل استفاده شده در این تحقیق (اتیل استر روغن آفتابگردان) به روش ترانس استریفیکاسیون تولید شد. بیودیزل تولید شده حاوی ۱۲/۳۹ درصد اتیل استارات، ۵۴/۶۹ درصد اتیل لینولات، ۲۵/۸۷ درصد اتیل اولئات و ۵/۱۱ درصد اتیل پالمیتات بود. خواص مخلوط‌های بیودیزل و گازوییل مطابق استاندارد ASTM اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی عملکرد و آلایندگی موتور، نمونه‌های سوخت با مخلوط کردن ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بیودیزل با گازوییل که به طور اختصار با علائم B40، B20، B60، B80 و B100 نشان داده می‌شود بر روی موتور دیزل پاشش مستقیم MT4-244 مجهز به پرخوران مورد آزمون قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات فنی موتور دیزل MT4-244

مشخصات موتور	مقدار	واحد	مشخصات موتور	مقدار	واحد
تعداد سیلندر	۴	-	حداکثر گشتاور در ۱۴۰۰rpm	۳۶۰	N.m
قطر پیستون	۱۰۰	mm	زاویه شروع پاشش در ۲۰۰۰rpm	۱	BTDC
کورس پیستون	۱۲۷	mm	زاویه شروع پاشش در ۱۴۰۰rpm	۱	ATDC
طول شاتون	۲۱۹	mm	فشار پاشش سوخت در ۲۰۰۰rpm	۳۵۰	bar
حجم جابه‌جایی	۳/۹۹	Lit	فشار پاشش سوخت در ۱۴۰۰rpm	۲۵۰	bar
نسبت تراکم	۱ : ۱۷/۵	-	زاویه بسته‌شدن سوپاپ ورودی	-۱۴۵	CAD
حداکثر توان ترمزی در ۲۰۰۰rpm	۶۱	KW	زاویه بازشدن سوپاپ خروجی	+۱۵۰	CAD

آزمون‌های موتور بر مبنای استاندارد ۸ مد ECE R-96 انجام گرفت، اما تنها ۲ مد از ۸ مد این استاندارد اجرا شد. بدین صورت که آزمون‌ها در در دورهای حداکثر توان (۲۰۰۰rpm) و حداکثر گشتاور (۱۴۰۰rpm) و در بار کامل انجام گرفت. اندازه‌گیری برای هر نمونه سوخت در سه تکرار انجام گرفت و میانگین آن‌ها به‌عنوان داده نهایی ثبت شد. تحلیل خطای به‌دست‌آمده در این بررسی و دقت اندازه‌گیری دستگاه‌ها در جدول (۲) آورده شده است. در هر یک از آزمون‌ها، متغیرهای عملکرد موتور، توان ترمزی و مصرف سوخت ویژه ترمزی، و انتشار آلاینده‌های CO، CO₂، NO_x و UHC اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری فشار داخل سیلندر از مبدل فشار پیزوالکتریک مدل Indimodul 621 ساخت شرکت AVL استفاده شد. از دستگاه آلاینده‌سنج ساخت شرکت AVL Dicom4000 مدل A-8020 برای اندازه‌گیری آلاینده‌های CO، CO₂، UHC، NO_x و گاز O₂ و برای اندازه‌گیری آلاینده دود نیز از AVL مدل 415S استفاده شد. دینامومتر مغناطیسی مدل E400 ساخت شرکت PMID CO بوده و زاویه‌سنج (Angle Encoder) نیز ساخت AVL مدل 333 بود.

جدول ۲- مشخصات تجهیزات استفاده شده و دقت اندازه‌گیری و خطای تخمینی داده‌ها

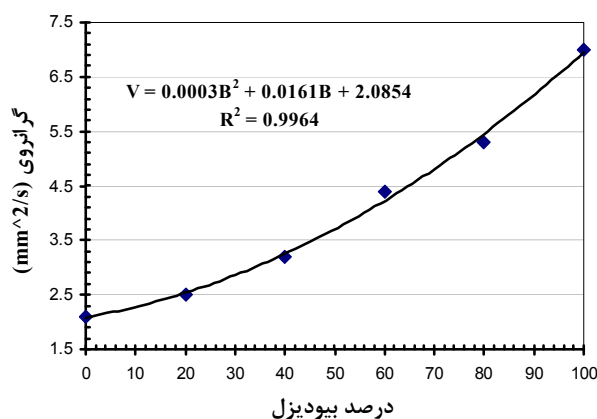
کمیت اندازه‌گیری شده	محدوده اندازه‌گیری	دقت اندازه‌گیری	کمیت اندازه‌گیری شده	عدم قطعیت
Opacity	۱ تا ۱۰۰	۰/۱ درصد حجمی	توان ترمزی	۲/۴ درصد
CO	۱ تا ۱۰ درصد حجمی	۰/۰۱ درصد حجمی	مصرف سوخت ویژه ترمزی	۲/۲ درصد
CO ₂	۱ تا ۲۰ درصد حجمی	۰/۱ درصد حجمی	دور موتور	۲ درصد
UHC	۱ تا ۲۰۰۰ ppm حجمی	۱ ppm		
NO _x	۱ تا ۵۰۰۰ ppm حجمی	۱ ppm		
O ₂	۰ تا ۲۵ درصد حجمی	۰/۰۱ درصد حجمی		
حسگر اندازه‌گیر زاویه میل‌لنگ	-	۰/۱ درجه میل‌لنگ		

نتایج و بحث

نتایج این تحقیق تنها برای اتیل استر روغن آفتابگردان معتبر بوده و نمی‌توان آن را به سایر انواع بیودیزل تعمیم داد چرا که، بسته به نوع و مقدار اسیدهای چرب موجود در روغن استفاده‌شده در فرایند استریفیکاسیون، مونواسترهای موجود در بیودیزل متفاوت است [۱-۲]. ضمن آنکه نوع الکل استفاده‌شده در این فرایند نیز بر خواص فیزیکی و شیمیایی مونواسترها تأثیرگذار است. نتایج آزمون سوخت برای خواص فیزیکی نمونه‌های سوخت (B00-B100)، متغیرهای عملکردی و همچنین مشخصات آلایندگی موتور ارائه می‌شود.

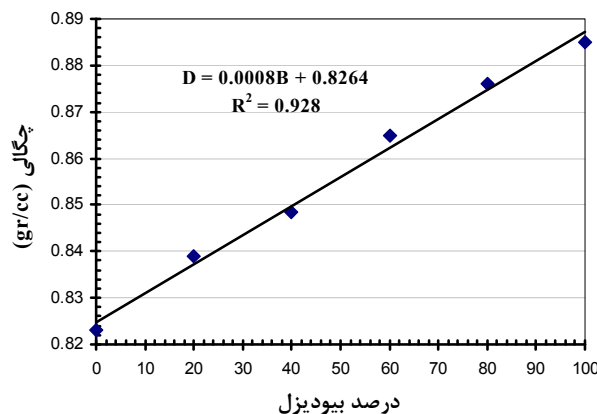
خواص فیزیکی اتیل استر و مخلوط‌های آن با گازوییل

در شکل (۱)، نتایج حاصل از اندازه‌گیری گرانروی شش مخلوط مختلف گازوییل و اتیل استر روغن آفتابگردان نشان داده شده است. با افزایش میزان اتیل استر در ترکیب سوخت گرانروی آن افزایش یافته که موجب صرف توان بیشتر برای پاشش سوخت می‌شود. ضمن آنکه، به دلیل تأثیر منفی این خاصیت بر پودرشدن (Atomization)، باعث احتراق ناقص سوخت می‌شود.



شکل ۱- تأثیر افزایش بیودیزل بر گرانروی سوخت

در شکل (۲)، تأثیر افزایش درصد حجمی بیودیزل در ترکیب سوخت بر دانسیته سوخت نشان داده شده است. با افزایش سهم بیودیزل در سوخت دانسیته آن افزایش یافته است.

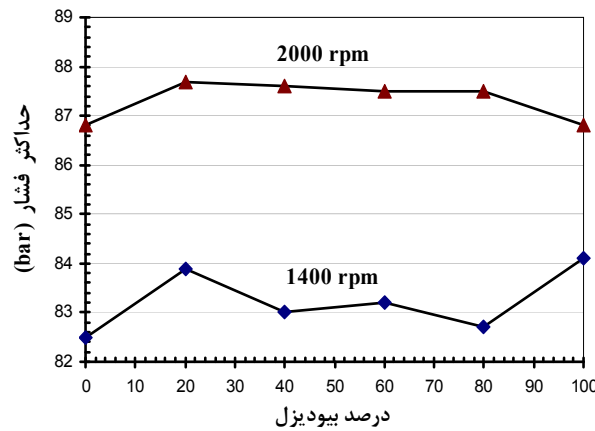


شکل ۲- تأثیر افزایش بیودیزل بر دانسیته سوخت

متغیرهای عملکردی موتور

حداکثر فشار داخل سیلندر

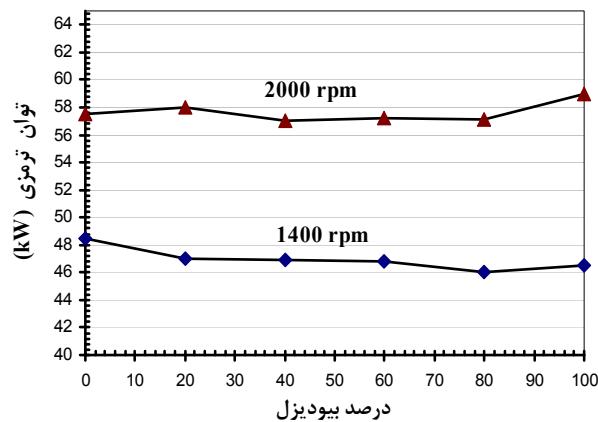
شکل (۳) تاثیر استفاده از اتیل استر روغن آفتابگردان بر حداکثر فشار داخل سیلندر در دور حداکثر توان (۲۰۰۰ rpm) و حداکثر گشتاور (۱۴۰۰ rpm) را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، در هر دو دور، تغییر حداکثر فشار در مخلوط B20 نسبت به گازوییل خالص در مقایسه با سایر مخلوط‌های سوخت قابل ملاحظه است. با توجه به اینکه در دور حداکثر توان حداکثر فشار داخل سیلندر در تمامی مخلوط‌های سوختی در شرایط موتورینگ (Motoring) و قبل از شروع احتراق رخ داده است، به نظر می‌رسد سوخت اتیل استر روغن آفتابگردان بر فشار و دمای گازهای خروجی از سیلندر و در نتیجه عملکرد پرخوران و میزان هوای ورودی در هر چرخه تأثیرگذار بوده است.



شکل ۳- تأثیر افزایش سهم بیودیزل بر حداکثر فشار داخل سیلندر

توان ترمزی موتور

در شکل (۴)، تاثیر افزایش مقدار اتیل استر موجود در مخلوط سوخت بر روی توان ترمزی و اندیکاتوری موتور در بار کامل نشان داده شده است. نتایج نشان داد با توجه به گرانبوی و چگالی بالای بیودیزل و تأمین نشدن فشار پاشش مناسب، جهت پودرشدن سوخت در دور حداکثر گشتاور (۱۴۰۰ rpm)، عمل احتراق به صورت ناقص صورت گرفته و توان ترمزی در تمام مخلوط‌های حاوی اتیل استر افت کرده است که مطابق با نظر بیشتر محققان دنیاست [۶-۹].



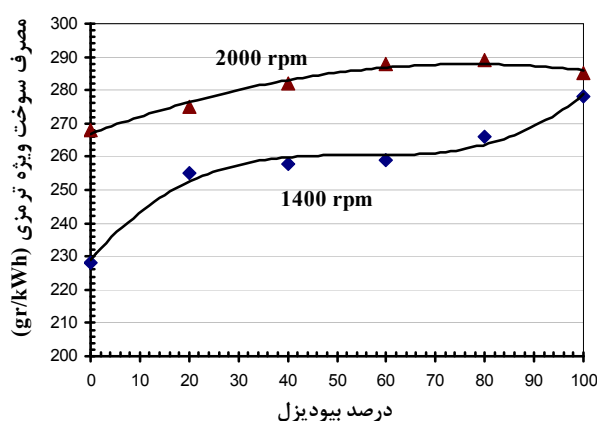
شکل ۴- تأثیر افزایش سهم بیودیزل بر توان ترمزی موتور

در دور حداکثر توان (2000 rpm)، با افزایش دور در مقایسه با دور حداکثر گشتاور (1400 rpm)، فشار پاشش سوخت افزایش یافت و فشار لازم جهت پودر کردن مناسب اتیل استر تقریباً تأمین شد. پودر شدن مناسب اتیل استر و محتوای اکسیژن آن باعث بهبود کیفیت احتراق و در نتیجه افزایش توان ترمزی می‌شود. با افزایش اتیل استر در مخلوط سوخت، توان ترمزی موتور افزایش می‌یابد به طوری که با استفاده از سوخت بیودیزل خالص (اتیل استر روغن آفتابگردان خالص)، در مقایسه با گازوییل خالص، توان ترمزی به میزان 2/5 درصد افزایش می‌یابد که با نظر بعضی از محققان مطابقت دارد [12-13].

یادآوری این نکته لازم است که در این تحقیق سوخت بیودیزل اتیل استر روغن گیاهی است، ولی سوخت بیودیزل مورد آزمون محققان در سطح دنیا معمولاً متیل استر است زیرا متانول میل ترکیبی بسیار شدیدی با تری گلیسیریدهای روغن دارد و تولید متیل استر بسیار راحت‌تر از اتیل استر است. در این تحقیق، از الکل اتانول به دلیل اینکه کاملاً از منبع تجدیدپذیر گیاهی تولید می‌شود و سمی نیست استفاده شده است.

مصرف سوخت ویژه ترمزی (BSFC)

شکل (5) روند مصرف سوخت ویژه ترمزی را در مقابل درصد حجمی اتیل استر موجود در سوخت در بار کامل نشان می‌دهد. در دوره‌های حداکثر گشتاور (1400 rpm) و حداکثر توان (2000 rpm)، با افزایش سهم اتیل استر در مخلوط سوخت، چگالی سوخت افزایش و ارزش گرمایی آن کاهش می‌یابد. ارزش گرمایی اتیل استر روغن آفتابگردان حدود 41/5 MJ/Kg و برای گازوییل تقریباً 43 MJ/Kg است [1]. در نتیجه مقدار مصرف سوخت افزایش می‌یابد که مطابق با نتیجه‌گیری بیشتر محققان است [5]. افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی در دور حداکثر گشتاور، به دلیل عدم پودر شدن مناسب سوخت، بیشتر از دور حداکثر توان است.



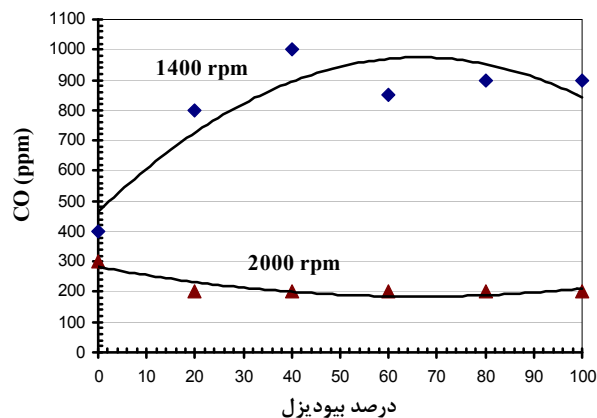
شکل 5- تأثیر افزایش سهم بیودیزل بر مصرف سوخت ویژه ترمزی

انتشار آلاینده‌ها

انتشار مونوکسید کربن (CO)

در شکل (6)، تأثیر افزایش سهم اتیل استر در مخلوط سوخت بر میزان انتشار آلاینده خطرناک مونوکسید کربن در بار کامل نشان داده شده است. در دور حداکثر گشتاور (1400 rpm)، میزان انتشار این آلاینده با افزایش سهم اتیل استر در ترکیب سوخت در مقایسه با گازوییل خالص به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. علت آن می‌تواند گرانبوی و چگالی سوخت باشد که با افزایش سهم اتیل استر افزایش یافته است. به همین دلیل پمپ انژکتور قادر به پودر کردن مناسب سوخت نشده و مخلوطی غیرهمگن در محفظه احتراق تشکیل می‌شود. در نتیجه اکسیژن کافی برای احتراق کامل سوخت مهیا نشده و تولید

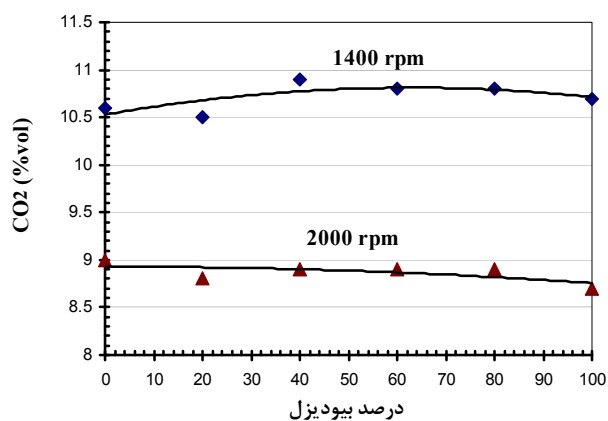
مونوکسید کربن افزایش می‌یابد. در دور حداکثر توان (۲۰۰۰ rpm)، با افزایش میزان اتیل استر در سوخت از میزان انتشار این آلاینده کاسته شده است [۴]. در این دور، به دلیل افزایش فشار پاشش، اتیل استر بهتر پودر شده و در نتیجه با ایجاد مخلوط سوخت نسبتاً همگن درون سیلندر و در اختیار قرار گرفتن اکسیژن بیشتر جهت احتراق تولید این آلاینده کاهش یافته است.



شکل ۶- تأثیر افزایش سهم بیودیزل بر انتشار مونوکسید کربن

انتشار دی اکسید کربن (CO_2)

در شکل (۷)، تأثیر اتیل استر بر مقدار انتشار CO_2 در دو دور حداکثر توان و حداکثر گشتاور در بار کامل به نمایش گذاشته شده است. افزایش میزان اتیل استر در مخلوط سوخت در هر دو دور تأثیر چندانی بر مقدار انتشار CO_2 ندارد که مطابق با نظر اغلب محققان است [۵]. میزان انتشار این آلاینده در دور حداکثر گشتاور (۱۴۰۰ rpm) نسبت به دور حداکثر توان (۲۰۰۰ rpm) بیشتر است، ولی در هر صورت گاز CO_2 حاصل از بیودیزل، به دلیل استخراج از زیست توده، جزء آلاینده‌های کلی محسوب نمی‌شود.

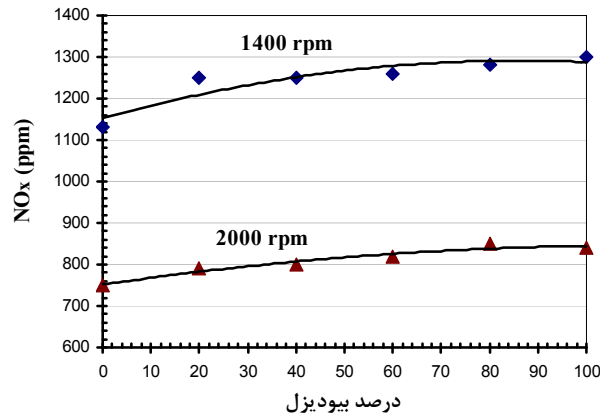


شکل ۷- تأثیر افزایش سهم سوخت بیودیزل بر انتشار دی اکسید کربن

انتشار اکسیدهای نیتروژن (NO_x)

نتایج انتشار آلاینده NO_x برای دورهای حداکثر توان و حداکثر گشتاور، در بار کامل، در شکل (۸) نشان داده شده است. در هر دو دور، با افزایش درصد اتیل استر در سوخت میزان آلاینده NO_x در گازهای خروجی افزایش می‌یابد. عدد ستان بالاتر سوخت بیودیزل، بالابودن حداکثر فشار و دمای داخل محفظه احتراق با استفاده از بیودیزل، عدم حضور آروماتیک‌ها، پایین بودن ارزش

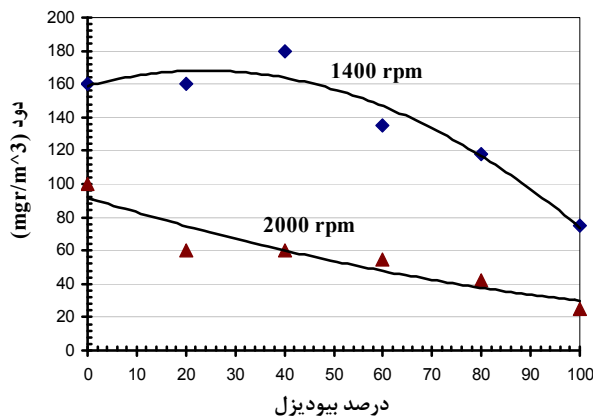
گرمایی و وجود اکسیژن در ساختار شیمیایی سوخت بیودیزل از جمله دلایلی هستند که باعث تولید NO_x بیشتر توسط مخلوط‌های سوخت حاوی بیودیزل می‌شوند. افزایش NO_x با استفاده از سوخت بیودیزل موضوعی است که تقریباً تمام محققان بر آن اتفاق نظر دارند [۵].



شکل ۸- تأثیر افزایش سهم سوخت بیودیزل بر انتشار اکسیدهای نیتروژن

انتشار دود

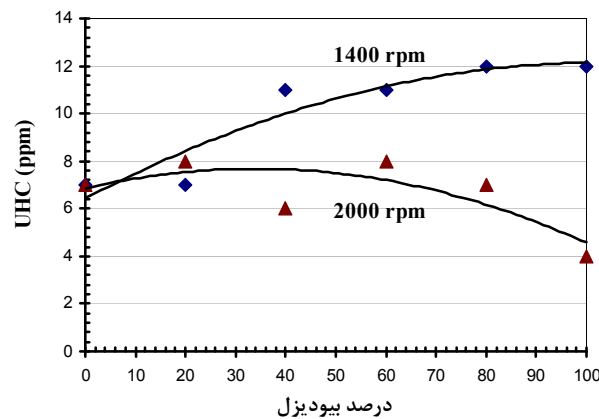
تأثیر افزایش سهم اتیل‌استر در ترکیب سوخت بر انتشار دود، در بار کامل، در شکل (۹) نشان داده شده است. در دور حداکثر گشتاور (1400 rpm) مقدار انتشار دود با افزایش میزان اتیل‌استر در مخلوط سوخت ابتدا تا سوخت B20 افزایش یافته که می‌تواند به علت احتراق ناقص سوخت باشد و سپس از انتشار این آلاینده به میزان قابل توجهی نسبت به حالت مصرف گازوییل خالص کاسته شده است (۵۲ درصد)، زیرا انتشار دود به میزان زیادی به محتوای اکسیژن سوخت وابسته بوده و با ازدیاد آن کاهش می‌یابد (با کاهش نسبت کربن به هیدروژن در سوخت، از انتشار دود کاسته می‌شود). در دور حداکثر توان (2000 rpm) نیز، میزان انتشار دود با افزایش درصد اتیل‌استر در ترکیب سوخت به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد به طوری که در سوخت B20 از انتشار این آلاینده به میزان ۳۹ درصد و در سوخت اتیل‌استر خالص (B100) به میزان ۷۰ درصد در مقایسه با سوخت گازوییل خالص کاسته شده است. در این دور نیز، با افزایش سهم اتیل‌استر و در نتیجه افزایش محتوای اکسیژن و کاهش نسبت کربن به هیدروژن در سوخت، از انتشار این آلاینده کاسته شده است.



شکل ۹- تأثیر افزایش سهم سوخت بیودیزل بر انتشار دود

انتشار هیدروکربن‌های نسوخته (UHC)

شکل (۱۰) میزان تغییرات انتشار هیدروکربن‌های نسوخته را تحت تأثیر افزایش سهم اتیل‌استر در مخلوط سوخت در دور حداکثر توان و دور حداکثر گشتاور در بار کامل به نمایش می‌گذارد. در دور حداکثر توان (۲۰۰۰rpm)، انتشار UHC با مصرف اتیل‌استر خالص در مقایسه با گازوییل خالص به میزان ۴۳ درصد کاهش پیدا کرد در حالی که این نسبت در دور حداکثر گشتاور (۱۴۰۰rpm) به مقدار ۷۱ درصد افزایش یافته است. علت این افزایش در دور حداکثر گشتاور کاهش پودرشدن سوخت با افزایش سهم اتیل‌استر و در نتیجه احتراق ناقص سوخت است. در حالی که در دور حداکثر توان با افزایش فشار پاشش اتیل‌استر به خوبی پودر شده و به دلیل محتوای اکسیژن آن احتراق بهتری نسبت به حالت مصرف گازوییل خالص صورت پذیرفته است.



شکل ۱۰- تأثیر افزایش سهم سوخت بیودیزل بر انتشار هیدروکربن‌های نسوخته

ترکیب بهینه گازوییل و اتیل‌استر روغن آفتابگردان

به دلیل گرانبه‌ی و چگالی بالای اتیل‌استر روغن آفتابگردان، در دور حداکثر گشتاور (۱۴۰۰rpm) پمپ انژکتور قادر نبوده عمل پودرکردن سوخت را به خوبی انجام دهد، لذا مخلوطی ناهمگن درون محفظه احتراق تشکیل می‌شود. بنابراین، با وجود محتوای اکسیژن بیودیزل، اکسیژن لازم برای احتراق در دسترس نبوده و احتراق به صورت ناقص انجام می‌گیرد. جدول (۳) درصد تغییرات متغیرهای عملکرد و آلاینده‌ی موتور با استفاده از بیودیزل نسبت به گازوییل خالص را در دور حداکثر گشتاور نمایش می‌دهد.

جدول ۳- درصد تغییرات عملکرد و آلاینده‌ی با استفاده از بیودیزل نسبت به گازوییل خالص در دور حداکثر گشتاور (۱۴۰۰rpm)

مخلوط‌های مختلف گازوییل و بیودیزل (اتیل‌استر)					
B20	B40	B60	B80	B100	
-۳/۳۳	-۳/۶۴	-۳/۹۴	-۵/۱۵	-۴/۲۴	توان ترمزی
۱/۸۹	۰/۶۱	۱/۰۲	۰/۳	۲/۱۴	حداکثر فشار داخل سیلندر
۱۱/۶۴	۱۳/۳	۱۳/۶۸	۱۶/۳۹	۲۱/۷۵	مصرف سوخت ویژه ترمزی
۱۰۰	۱۵۰	۱۱۲/۵	۱۲۵	۱۲۵	آلاینده CO
۰	۰/۹۳	۰	۰	-۰/۹۳	آلاینده CO ₂
۱۱/۸۵	۱۲/۳	۱۳/۶۴	۱۴/۹۷	۱۶/۲۲	آلاینده NO _x
۲/۸۷	۱۶/۰۶	-۱۵/۳۱	-۲۶/۶	-۵۱/۸۵	آلاینده دود
۰	۵۷/۱۴	۵۷/۱۴	۷۱/۴۳	۰	آلاینده UHC

در دور حداکثر توان (۲۰۰۰rpm) با افزایش دور فشار پاشش سوخت بیشتر شده و در نتیجه عمل پودر کردن اتیل استر به خوبی صورت گرفته است. بنابراین، با توجه به محتوای اکسیژن اتیل استر، اکسیژن اضافی در دسترس سوخت قرار گرفته و احتراق به صورت کامل تر نسبت به گازوییل خالص انجام می پذیرد. جدول (۴) درصد تغییرات متغیرهای عملکردی و آلاینده‌گی موتور را در اثر استفاده از مخلوط‌های حاوی اتیل استر نسبت به گازوییل خالص در دور حداکثر توان (۲۰۰۰rpm) نشان می دهد.

جدول ۴- درصد تغییرات متغیرهای عملکردی و آلاینده‌گی نسبت به گازوییل خالص در دور حداکثر توان (۲۰۰۰ rpm)

مخلوط‌های مختلف گازوییل و بیودیزل (اتیل استر)					
B20	B40	B60	B80	B100	
۱/۰۹	۰	۰/۳۶	۰/۷۳	۲/۵۵	توان ترمزی
۱/۲۵	۰/۹۲	۰/۶۹	۰/۵۳	-۰/۰۸	حداکثر فشار داخل سیلندر
۲/۹۷	۵/۱۵	۷/۶	۷/۴	۶/۵۹	مصرف سوخت ویژه ترمزی
-۳۳/۳۳	-۳۳/۳۳	-۳۳/۳۳	-۳۳/۳۳	-۳۳/۳۳	آلاینده CO
-۲/۲۲	-۱۱/۱۱	-۱۱/۱۱	-۱۱/۱۱	-۱۱/۱۱	آلاینده CO ₂
۶/۹	۹/۰۷	۱۱/۶۴	۱۵/۷	۱۳/۵۳	آلاینده NO _x
-۳۹/۲۳	-۳۸/۷۲	-۴۴/۵	-۵۴/۴۲	-۷۰/۱۶	آلاینده دود
۱۴/۲۹	-۱۴/۲۹	۱۴/۲۹	۰	-۴۲/۸۶	آلاینده UHC

از اطلاعات موجود در جدول (۴) مشخص است که مخلوط حاوی ۲۰ درصد اتیل استر (B20) در دور حداکثر توان (۲۰۰۰rpm) ضمن افزایش توان و کاهش آلاینده‌هایی نظیر CO، CO₂ و دود کمترین افزایش را در مصرف سوخت ویژه ترمزی و آلاینده NO_x داشته است؛ بنابراین می تواند به عنوان یک نسبت بهینه برای مخلوط گازوییل و بیودیزل (اتیل استر) مطرح شود. همچنین، با مشاهده جدول (۳) می توان اظهار کرد در دور حداکثر گشتاور (۱۴۰۰rpm) و در صورت اصلاح سیستم پاشش سوخت (فشار پاشش) مخلوط B20 شرایطی تقریباً مشابه دور حداکثر توان (۲۰۰۰rpm) را ارائه خواهد کرد.

نتیجه گیری

معمولاً، فشار پاشش سوخت در موتورهای احتراق تراکمی برای سوخت گازوییل متعارف تنظیم می شود. استفاده از مخلوط گازوییل و بیودیزل به عنوان سوخت در موتور و به ویژه در دورهای پایین که فشار پاشش کمتر است، بدون ایجاد هیچ گونه تغییری در سیستم پاشش، به دلیل گرانی و دانسیته بالای بیودیزل، باعث پودر شدن ناقص سوخت شده و تاثیر نامطلوبی بر عملکرد و آلاینده‌گی موتور دارد. گاورنر برای ثابت نگاه داشتن دور موتور که به دلیل احتراق ناقص و ارزش گرمایی کمتر بیودیزل تمایل به کاهش دارد شانه سوخت را در جهت افزایش میزان پاشش جابه جا می کند و در نتیجه مصرف سوخت افزایش می یابد. در دورهای بالا، با افزایش سهم بیودیزل (اتیل استر) تا ۲۰ درصد حجمی، متغیرهای حداکثر فشار داخل سیلندر و توان ترمزی در جهت کارایی مناسب افزایش می باید در حالی که مصرف سوخت ویژه ترمزی اندکی افزایش پیدا می کند. همچنین، در این مخلوط به دلیل بالابودن محتوای اکسیژن سوخت کیفیت احتراق بهبود یافته و آلاینده‌هایی نظیر مونوکسید و دی اکسید کربن و همچنین دود کاهش پیدا می کنند، ولی آلاینده‌هایی مثل اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربن‌های نسوخته اندکی افزایش می یابند. توان ترمزی با استفاده از بیودیزل خالص در مقایسه با مخلوط B20 افزایش یافته و انتشار آلاینده‌ها را کاهش می دهد، ولی با این حال مصرف سوخت ویژه ترمزی را افزایش می دهد. لذا سوخت B20 حالتی بهینه بین مخلوط‌های مختلف گازوییل و اتیل استر روغن آفتابگردان است.

منابع

1. B. Najafi, V. Piroozpanah and B. Ghobadian, "Experimental Investigation of Diesel Engine Performance Parameters and Pollution Using Biodiesel," *Modares Thechnical And Engineering, Special Issue on Mechanical Engineering*, 28, pp. 78-101, 2007, (In Farsi).
2. M. Saidi, B. Ghobadian, T. Tavakoli, and R. Khoshbakht Saray, "An Experimental Investigation of a Diesel Engine Ignition Delay using Biodiesel and Diesel Fuels," *Fuel and Combustion*, 2, No. 1, pp. 55-68, 2009, (In Farsi).
3. D. K. Birur, T. W. Hertel and W. E. Tyner, "The Biofuels Boom: Implications for World Food Markets," Food economy Conference, Netherlands, The Hague, October, 2007.
4. A. S. Ramadhas, S. Jayaraj and C. Muraleedharan, "Theoretical Modeling and Experimental Studies on Biodiesel-Fueled Engine," *Renewable Energy*, 31, pp. 1813-1826, 2006.
5. J. Xue, T. E. Grift and A. C. Hansen, "Effect of Biodiesel on Engine Performances and Emissions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 1098-1116, 2011.
6. Z. Utlu and M. S. Kocak, "The Effect of Biodiesel Fuel Obtained from Waste Frying Oil on Direct Injection Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions," *Renew. Energ.*, 33, pp. 1936-1941, 2008.
7. A. C. Hansen, M. R. Grattan and W. Yuan, "Diesel Engine Performance and NO_x Emissions from Oxygenated Biofuels and Blends with Diesel Fuel," *Trans ASABE*, 49, pp. 589-595, 2006.
8. S. Murillo, J. L. Miguez, J. Porteiro, E. Granada and J. C. Moran, "Performance and Exhaust Emissions in the Use of Biodiesel in Outboard Diesel Engines," *Fuel*, 86, pp. 1765-1771, 2007.
9. H. S. Yucesu and I. Cumali, "Effect of Cotton Seed Oil Methyl Ester on the Performance and Exhaust Emission of a Diesel Engine," *Energ. Source Part A*, 28, pp. 389-398, 2006.
10. B. F. Lin, J. H. Huang and D. Y. Huang, "Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions," *Fuel*, 88, pp. 1779-1785, 2009.
11. D. H. Qi, L. M. Geng, H. Chen, Y. Z. H. Bian, J. Liu and X. C. H. Ren, "Combustion and Performance Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Biodiesel Produced from Soybean Crude Oil," *Renew. Energ.*, 34, pp. 2706-2713, 2009.
12. J. T. Song and C. H. Zhang, "An Experimental Study on the Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Soybean Oil Methyl Ester," *Mech. Eng. Aut.*, 222, pp. 2487-2496, 2008.
13. M. I. Al-Widyan, G. Tashtoush and M. Abu-Qudais, "Utilization of Ethyl Ester of Waste Vegetable Oils as Fuel in Diesel Engines," *Fuel Process Technol.*, 76, pp. 91-103, 2002

English Abstract

Study of the Effect of Ethyl Ester of Sunflower Oil and Its Different Mixtures with Diesel on Performance and Emission Parameters of a Turbocharged Direct Injection Diesel Engine

B. Najafi and M. Khani

Department of Mechanical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

(Received: 2010/3/5, Received in revised form: 2011/4/10, Accepted: 2011/5/4)

In this study, the biodiesel (ethyl ester) from sunflower oil was prepared by a transesterification method. Biodiesel has properties different from those of diesel fuel. The effects of biodiesel addition to diesel fuel were examined on the performance and emissions of a DI diesel engine equipped with turbocharger at full engine load. Increase in brake specific fuel consumption (BSFC) and decrease in brake power for biodiesel and its blends were observed compared with diesel fuel at 1400 rpm. Also, CO, NO_x and UHC were increased while smoke was decreased. At 2000 rpm, the results indicated that engine fueled with biodiesel and its blends increased the brake power and BSFC. Also, CO, CO₂, UHC and smoke emission were reduced, while NO_x emission was increased.

Keywords: Biodiesel, Ethyl ester, Performance and emission variables