

بررسی عملکرد و آلاینده‌های یک موتور اشتعال تراکمی با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل

پگاه نعمتی‌زاده^۱، برات قبادیان^{۲*}، فتح‌اله امی^۳، غلامحسین نجفی^۴

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، تهران، ایران

(* نویسنده مخاطب: ghobadib@modares.ac.ir)

چکیده

در تحقیق حاضر، عملکرد و آلاینده‌های موتور تراکتور MF399 با استفاده از مخلوط‌های ۲۰ تا ۱۰۰ درصد حجمی از سوخت دیزل و بیودیزل مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفته است. نتیجه‌ی آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل، توان و گشتاور موتور تراکتور MF399 به‌طور تقریبی ثابت مانده، در حالی که مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه‌ی آن افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، انتشار آلاینده‌های هیدروکربن‌های نسوخته (UHC) حدود ۱۶٪ کاهش و دی‌اکسید کربن (CO₂) در حدود ۱۸٪ توسط تمام مخلوط‌ها افزایش می‌یابد. در مجموع با در نظر گرفتن هم‌زمان متغیرهای عملکردی و آلاینده‌ی، موتور تراکتور MF399 با استفاده از مخلوط‌های B60 (۶۰٪ حجمی بیودیزل و ۴۰٪ حجمی دیزل) و B80 (۸۰٪ حجمی بیودیزل و ۲۰٪ حجمی دیزل) دارای بهترین راندمان از نظر عملکرد و آلاینده‌ی است.

واژه‌های کلیدی: موتور اشتعال تراکمی - تراکتور MF399 - عملکرد - آلاینده - دیزل - بیودیزل.

۱- مقدمه

مهم‌ترین منابع تولید انرژی در موتورها و ماشین‌های حرارتی، سوخت‌های فسیلی می‌باشند. تولید گازهایی نظیر NO_x، SO₂ و CO₂ ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی یکی از عوامل اصلی آلودگی جو زمین است. جمع شدن دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای در جو باعث تغییراتی در شرایط جوی زمین گردیده است که به نظر می‌رسد نتایج وخیمی برای انسان و سایر موجودات زنده به بار آورد [۱، ۲، ۳]. به همین دلیل تحقیقات بسیار وسیعی برای یافتن سوخت‌های جایگزین مناسب و انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان انجام گرفته یا در حال انجام است. منابعی می‌توانند به‌عنوان انرژی جایگزین مطرح شوند که در درجه‌ی اول، منابعی ارزان قیمت و در دسترس (عدم وابستگی به منطقه‌ی جغرافیایی) بوده و در وهله‌ی دوم، دوست‌دار محیط زیست باشند که از آن جمله می‌توان به سوخت‌های زیستی^۵ اشاره کرد. یکی از انواع زیست توده‌ها که پیشرفت قابل توجهی از لحاظ تولید و کاربرد داشته است، بیودیزل می‌باشد. بیودیزل به‌عنوان استرهای مونوالکیل اسیدهای چرب با زنجیرهای طولانی تعریف می‌شود که از روغن گیاهی به‌دست می‌آید و خواصی بسیار شبیه به سوخت دیزل داشته و در موتورهای دیزلی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴].

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس

۴- استادیار، دانشگاه تربیت مدرس

⁵ Biofuels

با این توصیف، پرداختن به موضوع تولید، توزیع و کاربرد بیودیزل چه به صورت خالص و چه در مخلوط با سوخت‌های فسیلی مایع مانند دیزل، در همه‌ی کشورهای جهان امری حیاتی به نظر می‌رسد. مصرف مخلوط سوخت‌های زیستی مایع با سوخت‌های فسیلی مایع به منظور کاهش سهم مصرف سوخت‌های فسیلی و بهبود شرایط محیط زیست در دستور برنامه‌های خیلی از کشورها قرار دارد که کشور ایران از این قاعده مستثنی نیست.

عمده‌ترین مصرف سوخت‌های فسیلی در موتورهای درونسوز می‌باشد. انواع موتورهای اشتعال تراکمی که با سوخت دیزل و موتورهای اشتعال جرقه‌ای که با بنزین کار می‌کنند، از این سوخت‌ها مصرف می‌کنند. این موتورها که از انواع آن‌ها به عنوان نیروی محرکه برای انجام کارهای مختلف استفاده می‌شود، سهم عمده‌ای در مصرف سوخت‌های یاد شده دارند. بنابراین یافتن منابعی پایدار و تجدیدپذیر به عنوان منابع انرژی جایگزین امری اجتناب ناپذیر است.

در بخش کشاورزی ایران، از عمده‌ترین مصرف‌کنندگان سوخت، به موتورهای دیزل ماشین‌های کشاورزی می‌توان اشاره کرد. در بین ماشین‌های کشاورزی، تراکتور و کمباین بیشترین مصرف‌کننده‌ی سوخت دیزل می‌باشند و با توجه به تعداد عملیات متنوع و ساعات کاری در طول سال، تراکتورها بیشترین مصرف‌کننده‌ی سوخت در بخش کشاورزی می‌باشند. با توجه به تأثیری که آلودگی در سلامت انسان و محیط زیست دارد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بحث آلودگی موتورهای درونسوز استفاده شده در بخش کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است.

در یک بررسی روی موتور دیزل پاشش مستقیم که کاربردهای سبک در کشاورزی دارد، از سوخت بیودیزل سبوس برنج (B_{20}) و سوخت دیزل رایج استفاده شد. نتایج نشان داد که فشار سیلندر با استفاده از بیودیزل با دیزل قابل مقایسه می‌باشد. دوره‌ی تأخیر اشتعال برای بیودیزل نسبت به دیزل کمتر بود. مصرف سوخت ویژه‌ی ترمزی به طور نامحسوسی با دیزل متفاوت بود و هزینه ساعتی سوخت بیشتر بود. با استفاده از بیودیزل، شدت دود کمتر ولی NO_x بیشتر بود در مقایسه با دیزل، B_{20} نیاز به زاویه میل‌لنگ بیشتری برای آزادسازی گرما دارد [۵]. در مطالعه‌ای بر روی موتور دیزل سه سیلندر Diter model 325-3 پاشش مستقیم با توان ۵۲ hp، از سوخت دیزل و ترکیب ۱۰٪ بیودیزل روغن پسماند (B_{10}) به عنوان سوخت استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که قدرت موتور کاهش و مصرف سوخت کمی افزایش یافت. همچنین میزان دود خروجی از اگزوز در حد طبیعی و استاندارد بود [۶]. در تحقیقی که توسط رحیمی و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد، برخی ویژگی‌های مخلوط سوخت‌های دیزل، بیودیزل و اتانول با درصدهای حجمی مختلف اندازه‌گیری شد و تأثیر آن‌ها بر عملکرد موتور دیزل مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌ی این تحقیق یافتن یک سوخت جدید زیست دوست بود که توسط محققان دیسترول^۱ نامیده شد. دیسترول بر اساس نتیجه عملکرد موتور، به‌عنوان جایگزینی مناسب برای دیزل بدون ایجاد تغییر در موتور تشخیص داده شد [۷]. در یک تحقیق بر روی موتور تراکتور MF399، عملکرد آن با استفاده از مخلوط‌های ۵ تا ۲۵ درصد از سوخت دیزل و بیودیزل مورد بررسی قرار گرفت ولی هیچ آزمایش کمی پیرامون آلاینده‌های خروجی اگزوز موتور این تراکتور انجام نشد. نتیجه‌ی آزمایش‌ها نشان داد که با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل، توان و گشتاور موتور افزایش یافت و مصرف سوخت نیز کمی افزایش یافت [۸].

از آنجا که بر اساس تحقیقات انجام شده استفاده از سوخت‌های زیستی در این موتورها می‌تواند نقش اساسی در جهت کاهش مصرف سوخت فسیلی و در نتیجه کاهش آلاینده‌ی ایفا کند، لذا در تحقیق حاضر در نظر است تا با استفاده از مخلوط سوخت‌های دیزل و بیودیزل عملکرد و آلاینده‌های یک نوع موتور اشتعال تراکمی، مورد بررسی قرار گیرد. با استفاده از مخلوط سوخت دیزل و سوخت بیودیزل تولیدی در آزمایشگاه بیودیزل مرکز تحقیقات بیوانرژی دانشگاه تربیت مدرس، عملکرد و آلاینده‌های اگزوز تراکتور MF399 اندازه‌گیری شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

¹ Diesterol

۲- مواد و روش‌ها

ماده‌ی اولیه برای تولید سوخت بیودیزل مورد استفاده در این تحقیق و کلیه‌ی آزمون‌های مخلوط‌های مختلف سوخت، روغن پسماند آشپزخانه بود. برای تحقیق حاضر، تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون در آزمایشگاه بیودیزل مرکز تحقیقات انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت. واکنش ترانس استریفیکاسیون روغن پسماند به همراه متانول و در حضور کاتالیزور هیدروکسید پتاسیم (KOH) انجام گرفت. از سوخت دیزل متداول در ایران یعنی دیزل شماره ۲، به عنوان سوخت مرجع استفاده شد.

برای استفاده از سوخت بیودیزل در موتور تراکتور تحت آزمایش، خواص آن می‌بایست شبیه سوخت دیزل و مطابق با استانداردهای جهانی باشد. به همین منظور، برای اندازه‌گیری خواص سوخت بیودیزل، از استاندارد ASTM D6751-09 استفاده شد. پس از اندازه‌گیری خواص سوخت بیودیزل تهیه شده به روش ترانس استریفیکاسیون و مطابقت دادن آن‌ها با استاندارد بین‌المللی ASTM D6751-09 و اطمینان از استاندارد بودن آن، مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل به صورت درصد حجمی و بر اساس نسبت‌های ارائه شده در جدول (۱) تهیه شدند. همچنین از دیزل خالص (B₀D₁₀₀) و بیودیزل خالص (B₁₀₀D₀) به عنوان دو حد نهایی سوخت، استفاده گردید.

جدول ۱: درصد حجمی سوخت‌های تحت آزمایش.

سطوح						پارامتر
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
B ₁₀₀	B ₈₀	B ₆₀	B ₄₀	B ₂₀	D ₁₀₀	ترکیبات سوخت (% حجمی)

در جدول (۱) حرف B بیانگر سوخت بیودیزل و حرف D بیانگر سوخت دیزل و اعداد کنار هر حرف، درصد حجمی هر سوخت در مخلوط را مشخص می‌نماید.

برای استفاده از مخلوط سوخت‌های دیزل و بیودیزل در موتور MF399، برخی از ویژگی‌های آن‌ها با توجه به اهمیت آن‌ها و نیز با توجه به امکانات موجود در آزمایشگاه بیودیزل مرکز تحقیقات بیوانرژی دانشگاه تربیت مدرس از جمله، چگالی، ویسکوزیته دینامیک، ویسکوزیته سینماتیک، باقی‌مانده آب و رسوبات و نقطه اشتعال اندازه‌گیری شدند (جدول ۲).

جدول ۲: خواص سوخت‌های تحت آزمایش.

نقطه اشتعال (°C)	باقی‌مانده آب و رسوبات (%)	ویسکوزیته سینماتیک (mm ² /s)	ویسکوزیته دینامیک (MPa.s)	چگالی (g/cm ³)	سوخت	
۷۵	۰/۰۶	۳/۱۱۶۷	۲/۵۶۰۵	۰/۸۲۱۶	دیزل	۱
۱۵۸	۰/۱۹	۴/۴۵۹۶	۳/۸۴۴۵	۰/۸۶۲۱	بیودیزل	۲
۷۱	۰/۰۹	۳/۴۹۹۵	۲/۹۰۳۸	۰/۸۲۹۸	B ₂₀	۳
۷۲	۰/۱۱	۳/۸۰۱۰	۳/۱۸۷۳	۰/۸۳۸۶	B ₄₀	۴
۶۵	۰/۱۸	۴/۰۳۸۹	۳/۴۱۵۶	۰/۸۴۵۷	B ₆₀	۵
۶۰	۰/۱۶	۴/۴۰۳۸	۳/۷۶۲۲	۰/۸۵۴۳	B ₈₀	۶

این تحقیق بر روی موتور تراکتور MF399 که در کارگاه موتور و تراکتور دانشگاه تربیت مدرس موجود است، انجام گرفت. مشخصات موتور تحت آزمایش در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳: مشخصات موتور تراکتور MF399.

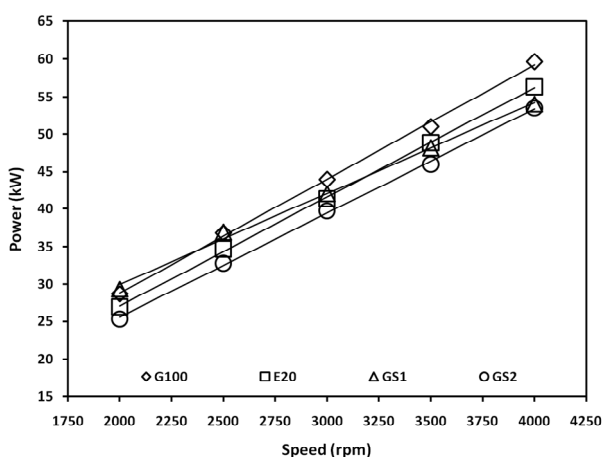
مدل	Perkinz A63544
کارخانه سازنده	تراکتورسازی تبریز
تعداد سیلندر	۶
قطر × کورس سیلندر	۹۸/۶ × ۱۲۷ mm
حجم موتور	۵۸۰۰ cm ³
تعداد سوپاپ	۱۲
بیشینه توان در ۶۰۰۰ rpm	۱۱۰ hp
بیشینه گشتاور در ۳۵۰۰ rpm	۳۷۶ N.m

برای اندازه‌گیری توان و گشتاور موتور با استفاده از سوخت دیزل و مخلوط سوخت‌های دیزل و بیودیزل از دینامومتر مدل NJ-FROMENT Σ5 استفاده شد. برای سنجش میزان مصرف سوخت از دستگاه جریان‌سنج مدل FTO با دقت ۰/۰۰۱ ml/min استفاده شد که برای اندازه‌گیری جریان روغن و سوخت دیزل در موتورهای ۴، ۶ و ۸ سیلندر مناسب است. برای سنجش آلاینده‌های خروجی از موتور تراکتور تحت آزمایش با استفاده از سوخت دیزل و مخلوط سوخت‌های دیزل و بیودیزل از دستگاه آلاینده‌سنج AVL DIGAS 4000 L استفاده شد.

برای هر یک از مخلوط‌های سوخت، دور محور تواندهی در چهار حالت مختلف ۱۰۰۰، ۹۰۰، ۸۰۰ و ۷۰۰ rpm، به صورت دستی و به وسیله‌ی کنترل از راه دور دینامومتر به موتور اعمال می‌شد. بار اعمال شده به مدت ۵ دقیقه در حالت کار قرار می‌گرفت تا دور موتور به حالت پایدار برسد.

۳- نتایج و بحث

با استفاده از داده‌های آزمایش توان، گشتاور، مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه، نمودارهای مربوطه به کمک نرم‌افزار Excel رسم شده‌اند. شکل (۱) تغییرات توان، گشتاور، مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه موتور تحت آزمایش نسبت به دور آن با مخلوط‌های سوخت دیزل-بیودیزل را نشان می‌دهد.

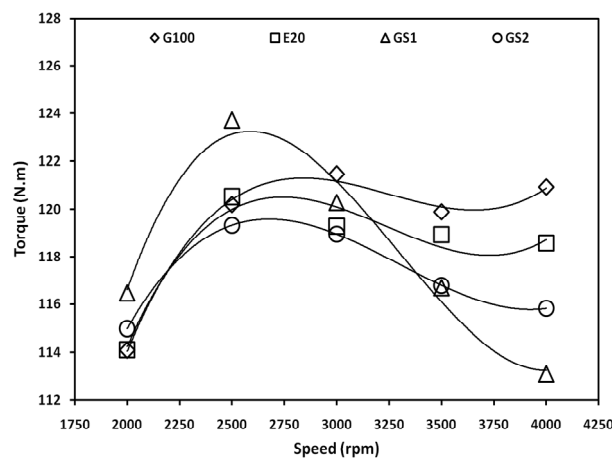


شکل ۱: تغییرات توان مخلوط‌های سوخت نسبت به دور موتور.

از نمودارهای مربوط به تغییرات توان نسبت به دور موتور مشاهده می‌شود که تمام مخلوط‌های سوخت در دور ۹۰۰ rpm دارای توان بیشینه هستند. در میان این مخلوط‌ها، B80 و D100 نسبت به سایر مخلوط‌ها دارای توان بیشینه بزرگتری هستند و B40 دارای کمترین توان بیشینه است. اما در حالت کلی توان بیشینه‌ی همه‌ی مخلوط‌ها نزدیک به سوخت دیزل خالص است. این روند توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است [۹، ۱۰، ۱۱].

این امر ممکن است به این دلیل باشد که سوخت دیزل استفاده شده دارای کیفیت پایینی بوده است. از طرف دیگر چون بیودیزل یک سوخت اکسیژن‌دار است، فرآیند احتراق کامل اتفاق می‌افتد و در نتیجه توان به خصوص در مخلوط‌های غنی‌تر افزایش می‌یابد.

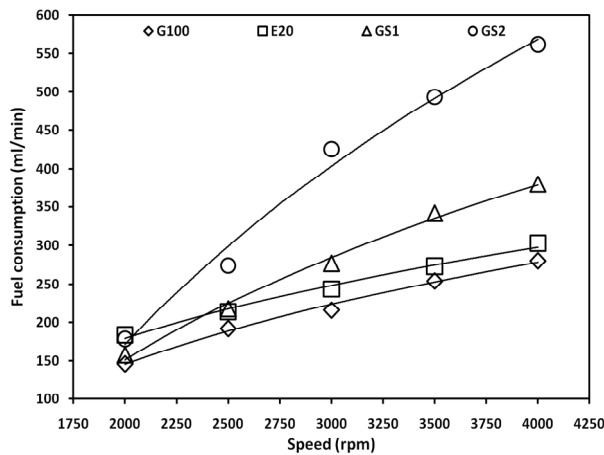
تغییرات گشتاور برای مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به دور موتور در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: تغییرات گشتاور مخلوط‌های سوخت نسبت به دور موتور.

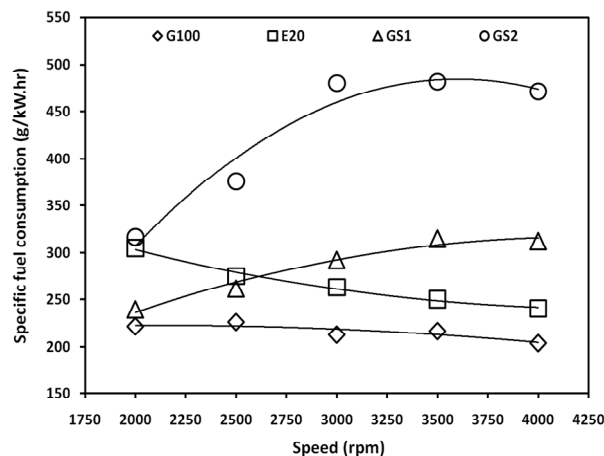
همان‌طور که از شکل (۲) قابل مشاهده است، D100 و مخلوط‌های B60 و B80 دارای گشتاور بزرگتر و نزدیک به هم هستند. مخلوط‌های B100، B20 و B40 نیز به ترتیب دارای گشتاور کمتری هستند. اما در نهایت تمام مخلوط‌ها در محدوده‌ی کوچکی از گستره‌ی سرعت تغییر می‌کنند. برای تمام مخلوط‌ها، با افزایش دور (کاهش بار)، اندازه‌ی گشتاور به‌طور تقریبی ثابت مانده است (به جز B40). علت تغییرات گشتاور موتور به‌طور عمده در اثر خوب پر شدن سیلندر در مرحله‌ی تنفس است [۸]. در سرعت‌های خیلی بالا زمان تنفس کمتر بوده و در نتیجه سیلندر به‌خوبی پر نمی‌شود. متعاقب آن، فشار تراکم و فشار احتراق کمتر شده و نیروهای اینرسی بخش‌های متحرک موتور افزایش یافته و در نهایت گشتاور واقعی موتور کاهش می‌یابد.

همان‌طور که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود، در دور ۹۰۰ rpm که توان بیشینه رخ داده است، سوخت D100 دارای کمترین مصرف سوخت بوده و مخلوط B40 بیشترین مقدار سوخت را مصرف نموده است. اما به‌طور کلی مصرف سوخت تمام مخلوط‌ها در یک محدوده تغییر می‌کند.



شکل ۳: تغییرات مصرف سوخت مخلوط‌های سوخت نسبت به دور موتور.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین برای مصرف سوخت، میزان کاهش مصرف سوخت با استفاده از مخلوط‌های دیزل و بیودیزل، به کم بوده و قابل چشم‌پوشی است. در تحقیقی در سال ۲۰۱۰ نیز نتیجه‌ای مشابه گزارش شده است [۱۰]. منحنی تغییرات مصرف سوخت ویژه مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به دور موتور در شکل (۴) نشان داده شده است. میزان مصرف سوخت ویژه بستگی به نوع سوخت (چگالی سوخت)، نرخ مصرف سوخت و توان تولیدی در سر چرخ لنگر دارد. مصرف سوخت ویژه با نرخ مصرف سوخت نسبت مستقیم و با توان نسبت عکس دارد.



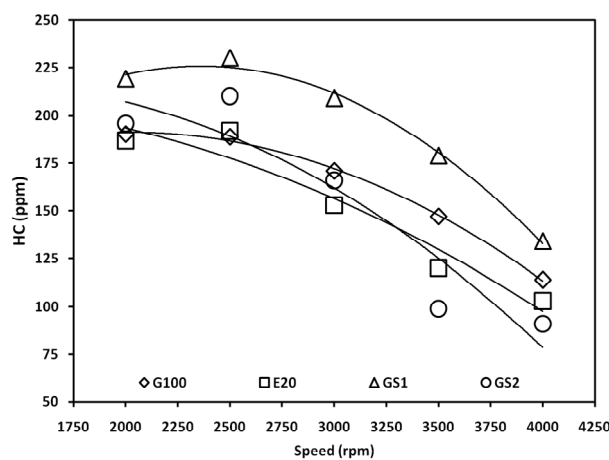
شکل ۴: تغییرات مصرف سوخت ویژه مخلوط‌های سوخت نسبت به دور موتور.

با توجه به شکل (۴)، سوخت D100 در دور ۹۰۰ rpm که توان بیشینه است، دارای کمترین مصرف سوخت ویژه است و مخلوط B40 در همان دور دارای بیشترین میزان مصرف سوخت ویژه و همچنین کمترین توان است. در مجموع، مصرف سوخت ویژه کلی برای تمام مخلوط‌ها در محدوده‌ی یکسانی قرار دارد و افزایش آن نسبت به سوخت دیزل خالص چندان چشم‌گیر نیست.

با استفاده از داده‌های آزمایش آلاینده‌ها (HC و CO₂)، نمودارهای مربوطه به کمک نرم‌افزار Excel رسم شده‌اند. تمام آلاینده‌های خروجی اگزوز به‌وسیله‌ی دستگاه آلاینده‌سنج اندازه‌گیری گردیدند.

تغییرات هیدروکربن‌های خروجی از گزوز بر اساس ppm نسبت به دور موتور در شکل (۵) نشان داده شده است. تولید آلاینده‌ی هیدروکربن به دلیل احتراق ناقص است. از آنجا که بیودیزل سوختی اکسیژن‌دار است در نتیجه به تکمیل فرآیند احتراق کمک می‌کند. همچنین عدد ستان بزرگتر بیودیزل نسبت به دیزل باعث کوتاهتر شدن زمان تأخیر در اشتعال شده و موجب می‌شود که احتراق کامل‌تری صورت بگیرد [۱۲]. بنابراین با استفاده از سوخت بیودیزل و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل، میزان هیدروکربن خروجی از گزوز نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش یافته است.

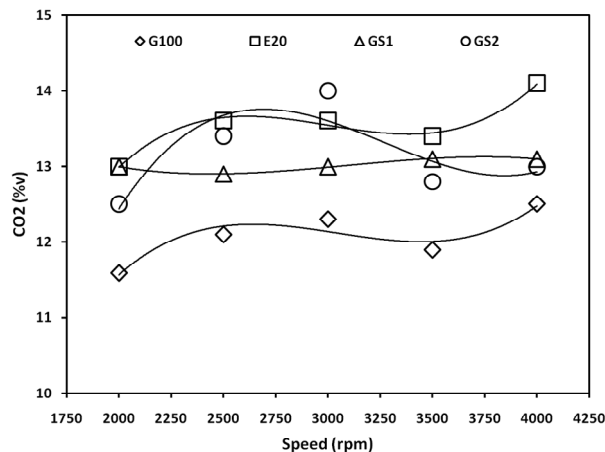
همان‌گونه که از شکل (۵) ملاحظه می‌گردد، میزان هیدروکربن تمام مخلوط‌های سوخت در تمام دورها نسبت به سوخت دیزل خالص کاهش یافته است. همچنین برای هر مخلوط سوخت با افزایش دور و کاهش بار، مقدار هیدروکربن کاهش می‌یابد زیرا در دورهای بالاتر، مخلوط سوخت ورودی به محفظه‌ی احتراق رقیق‌تر بوده (نسبت سوخت- هوا کمتر از نسبت استوکیومتری)، در نتیجه به دلیل حضور اکسیژن احتراق کامل‌تری صورت می‌گیرد.



شکل ۵: تغییرات هیدروکربن مخلوط‌های سوخت نسبت به دور موتور.

محققان مختلف نتایج متفاوتی را در این رابطه گزارش کرده‌اند. در موارد زیادی کاهش میزان هیدروکربن‌ها با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل ذکر شده است [۹، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶]. در برخی منابع نیز افزایش میزان هیدروکربن با استفاده از مخلوط سوخت دیزل و بیودیزل گزارش شده است [۱۲، ۱۷].

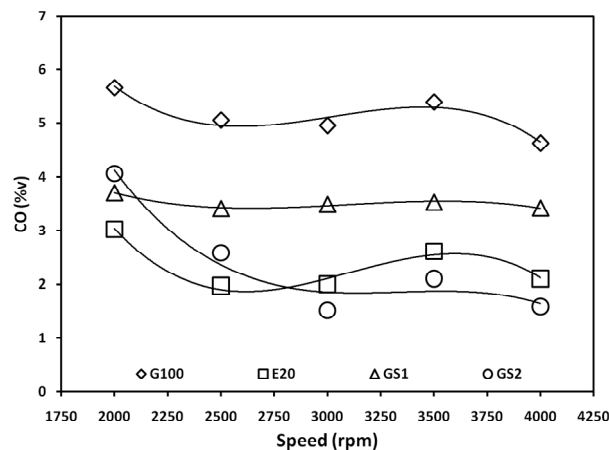
منحنی تغییرات دی‌اکسید کربن مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به دور موتور در شکل (۶) نشان داده شده است. میزان CO_2 بر اساس درصد حجمی (۷٪) و به‌وسیله‌ی دستگاه سنجش آلاینده‌ها اندازه‌گیری گردید. آلاینده‌ی CO_2 یکی از فرآورده‌های احتراق موتورهای درونسوز است



شکل ۶: تغییرات دی‌اکسید کربن مخلوط‌های سوخت نسبت به دور موتور.

همان‌گونه که از شکل (۶) قابل مشاهده است، میزان CO_2 با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نسبت به سوخت دیزل خالص افزایش یافته است. البته برخی از منابع عکس این مطلب را گزارش کرده‌اند و علت آن را احتراق ناقص عنوان کرده‌اند [۱۱].

اکسیژن‌دار بودن سوخت بیودیزل و همچنین عدد ستان بزرگتر آن نسبت به سوخت دیزل، موجب می‌شود که احتراق کامل‌تری صورت گرفته و در نتیجه مقدار بیشتری از مونوکسید کربن که حاصل احتراق ناقص موتور است به دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷: تغییرات مونوکسید کربن مخلوط‌های سوخت نسبت به دور موتور.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با مقایسه‌ی متغیرهای عملکردی موتور و نشر آلاینده‌ها در مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل، می‌توان نتیجه گرفت که:

- ۱- با استفاده از مخلوط‌های B60 و B80 توان موتور به ترتیب ۰.۰۷٪ و ۰.۳۳٪ افزایش می‌یابد. البته این مقادیر بسیار ناچیزند و در عمل می‌توان گفت که توان موتور با استفاده از مخلوط‌ها ثابت می‌ماند. اما برای سایر مخلوط‌ها توان موتور کاهش می‌یابد.
- ۲- گشتاور موتور با استفاده از مخلوط‌های B60 و B80 به ترتیب با افزایش ۰.۳٪ و ۰.۴۹٪ به طور تقریبی ثابت می‌ماند. اما گشتاور بیشینه‌ی خروجی از موتور که در دور ۹۰۰ rpm رخ می‌دهد، با استفاده از تمام مخلوط‌ها کاهش می‌یابد.
- ۳- مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه با استفاده از تمام مخلوط‌ها، به جز مخلوط B40، در یک محدوده افزایش می‌یابد. مخلوط B40 به ترتیب با ۱۹/۳۲٪ و ۲۶/۴۶٪ افزایش، بیشترین مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه را دارا می‌باشد.
- ۴- انتشار آلاینده UHC نسبت به دیزل کمتر است. احتراق بیودیزل خالص با ۲۹/۸۶٪ کاهش، کمترین مقدار آلاینده UHC را تولید می‌کند.
- ۵- با افزایش غلظت بیودیزل در مخلوط سوخت، انتشار CO₂ افزایش می‌یابد. البته در مورد مخلوط B40 میزان CO₂، ۱/۸۲٪ کاهش یافته است.
- ۶- مخلوط B40 دارای بدترین عملکرد در بین سایر مخلوط‌ها بود.
- ۷- نتایج آزمایش‌های موتور تراکتور MF399 حاکی از این واقعیت است که با افزودن ۶۰ تا ۸۰ درصد بیودیزل به دیزل خالص، توان موتور حفظ شده و انتشار آلاینده‌ها کاهش می‌یابد. لذا استفاده از سوخت بیودیزل در حد ۶۰ تا ۸۰ درصد حجمی، مزیت کاهش آلاینده‌گی را به همراه دارد.

مراجع

- 1- Schneider, U., McCarl, B., and Schmid, E., "Agricultural Sector Analysis on Greenhouse Gas Mitigation in US Agriculture and Forestry". Agricultural Systems, vol. 94, pp. 128-140, 2006.
- 2- McGowan, F., "Controlling the Greenhouse Effect: the Role of Renewables", Energy Policy, vol. March, pp. 111-118, 1991.
- 3- Demirbas, A.H., and Demirbas, I., "Importance of Rural Bioenergy for Developing Countries", Energy Conversion and Management, vol. 48, pp. 2386-2398, 2007.
- 4- Ghobadian, B., Rahimi, H., and Khatamifar, M., (2006). "Evaluation of Engine Performance Using Net Diesel Fuel and Biofuel Blends". The First Combustion Conference of Iran (CCT1), Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 2006.
- 5- Saravanan, N., Nagarajan, G., Lakshmi Narayan Rao, G., and Sampath, S., "Combustion characteristics of a stationary diesel engine fuelled with a blend of crude rice bran oil methyl ester and diesel", Energy, vol. 35, pp. 94-100, 2010.
- ۶- خالصی، س و علی‌پور، ع.ا، "اثر ترکیب روغن گیاهی ضایعاتی با سوخت دیزل روی عملکرد موتور"، چهارمین همایش ملی بررسی ضایعات محصولات کشاورزی، ۲۰ آبان ماه ۱۳۸۸، دانشگاه تربیت مدرس. تهران، ایران.
- 7- Rahimi, H, Ghobadian, B., Yusaf, T., Najafi, G., and Khatamifar, M., "Diesterol: An environment-friendly IC engine fuel", Renewable Energy, vol. 34, pp. 335-342, 2009.

۸- زنوزی، ع.، "ارزیابی عملکرد تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل"، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.

- 9- Godiganur, Sh., Murthy, Ch.S., and Reddy, R.P., "Performance and emission characteristics of a Kirloskar HA394 diesel engine operated on fish oil methyl esters", Renewable Energy, vol. 35, pp. 355-359, 2010.
- 10- Panwar, N.L., Shrirame, H.Y., Rathore, N.S., Jindal, S., and Kurchania, A.K., "Performance evaluation of a diesel engine fueled with methyl ester of castor seed oil", Applied Thermal Engineering, vol. 30, pp. 245-249, 2010.
- 11- Behcet, R., "Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine". Fuel Processing Technology, vol. 92, pp. 1187-1194, 2011.
- 12- Ilkilic, C., Aydin, S., Behcet, R., and Aydin, H., "Biodiesel from sunflower oil and its application in a diesel engine", Fuel Processing Technology, vol. 92, pp. 356-362, 2011.
- 13- Saravanan, N., Nagarajan, G., and Puhan, S., "Experimental investigation on a DI diesel engine fuelled with Madhuca Indica ester and diesel blend". Biomass and Bioenergy, vol. 34, pp. 838-843, 2010.
- 14- Gumus, M., and Kasifoglu, S., "Performance and emission evaluation of a compression ignition engine using a biodiesel (apricot seed kernel oil methyl ester) and its blends with diesel fuel", Biomass and Bioenergy, vol. 34, pp. 134-139, 2010.
- 15- Xue, J., Grift, T.E., and Hansen, A.C., "Effect of biodiesel on engine performance and emissions", Renewable and Sustainable energy Reviews, vol. 15, pp. 1098-1116, 2011.
- 16- Lin, Y.C., Hsu, K.H., and Chen, C.B., "Experimental investigation of the performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel/ultra-low sulfur diesel blends", Energy, vol. 36, pp. 241-248, 2011.
- 17- Rakopoulos, C.D., Rakopoulos, D.C., Hountalas, D.T., Giakoumis, E.G., and Andritsakis, E.C., "Performance and Emissions of Bus Engine Using Blends of Diesel Fuel with Biodiesel of Sunflower or Cottonseed Oils Derived from Greek Feedstock". Fuel, vol. 87, pp. 147-157, 2008.