

آنالیز عملکرد و آلاینده های خروجی موتور اشتعال تراکمی با استفاده از متیل استر روغن های خوراکی پسماند و مخلوط های آن با گازوئیل

نسرین ثابت سروستانی¹، عبدالعلی فرزاد²، احسان ابراهیم نیا بجستان³، مسعود میر⁴، محمد حسین آق خانی⁵

1-دانشجو کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد

2- دانشیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- عضو هیئت علمی مرکز بین المللی علوم، تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، ماهان، کرمان

4- عضو هیئت علمی مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی قوچان

5- دانشیار گروه مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

sarvestany88@yahoo.com

چکیده

این مطالعه به ارزیابی آزمایشگاهی عملکرد و انتشار آلاینده ها در یک موتور دیزل اشتعال تراکمی با استفاده از بیودیزل تولیدی و مخلوط های آن با گازوئیل پرداخته است. آزمون های موتوری در بهمن ماه 90 و در گارگاه ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت. در این مطالعه بیودیزل طی دو مرحله فرایند کاتالیز شده با اسید و باز از روغن های خوراکی پسماند تولید شده و در کسر حجمی های مختلف (0٪، 20٪، 35٪، 50٪، 100٪) با سوخت گازوئیل مخلوط گردیده است. برای بررسی تاثیر کسر حجمی های مختلف بیودیزل و گازوئیل بر عملکرد و آلاینده های موتور، داده های ولتاژ و آمپر خروجی ژنراتور، سرعت موتور، مصرف سوخت، دمای گازهای خروجی اگزوز و آلاینده ها برای مخلوط های سوخت در بارهای مختلف اندازه گیری و پارامترهایی مانند توان موتور و مصرف ویژه سوخت با استفاده از داده های آزمایش محاسبه گردید. نتایج آزمون موتوری نشان می دهد استفاده از مخلوط های بیودیزل و گازوئیل باعث بهبود عملکرد موتور می شود، به گونه ای که در بارهای مختلف اعمالی به موتور، مخلوط 20٪ بیودیزل بیشترین مقدار توان و کمترین مصرف ویژه سوخت نسبت به گازوئیل را به خود اختصاص داد که در مقایسه با سایر مخلوط ها، به لحاظ اقتصادی دارای اهمیت است. دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق در نسبت های بالای بیودیزل کاهش می یابد. همچنین نتایج نشان می دهد، انتشار مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و کدوری دود با استفاده از کسر حجمی های مختلف بیودیزل و گازوئیل نسبت به گازوئیل خالص پایین تر است. با توجه به نتایج، استفاده از درصد های پایین بیودیزل در گازوئیل بدون تاثیر منفی بر توان موتور و آلاینده ها حائز اهمیت است.

واژه های کلیدی: آلاینده ها، بیودیزل، روغن پسماند، عملکرد موتور، مخلوط بیودیزل

مقدمه

دنیای صنعتی باعث استفاده هرچه بیشتر انسان از سوخت های فسیلی می شود. موتورهای اشتعال تراکمی به عنوان منبع اصلی توان از اصلی ترین مصرف کننده سوخت های فسیلی و یکی از عوامل مهم ایجاد کننده آلودگی های زیست محیطی به شمار می آیند [Bash and Ananad.,2011]. افزایش نگرانی در ارتباط با آلودگی هوا ناشی از احتراق سوخت های فسیلی و آثار منفی آن بر سلامت انسان و محیط زیست باعث تشویق پژوهشگران برای ایجاد راهکارهایی مناسب در جهت کاهش آلاینده های خروجی از موتورهای احتراق داخلی می شود. در میان تکنیک های مختلف برای کاهش آلاینده های خروجی از موتور، استفاده از سوخت های جایگزین گزینه ای مناسب

می باشد [Selvan et al.,2009]. بیودیزل که به عنوان متیل استر یا اتیل استر روغن گیاهی یا چربی حیوانی تعریف می شود، سوختی غیرسمی، تجدیدپذیر و عاری از گوگرد، نیتروژن و ترکیبات پلی سایکلیک است و به علت شباهت با سوخت گازوئیل جایگزینی مناسب برای آن به شمار می آید [Xue et al.,2011]. بیودیزل این قابلیت را دارد که در موتورهای اشتعال تراکمی بدون تغییر در ساختار موتور استفاده شود [Meher et al.,2006]. در راستای تحقیقات انجام شده در این زمینه، نتیجه مطالعات انجام شده بر روی عملکرد و آلایندگی های موتور دیزل پاشش مستقیم آب خنک و توربوشارژ در سرعت 1500 دور بر دقیقه و در بارهای مختلف با استفاده از کسر حجمی های مختلف بیودیزل Mahua نشان می دهد، با افزایش درصد بیودیزل مخلوط، آلایندگی های هیدروکربن و مونوکسیدکربن به میزان قابل توجه کاهش و مصرف سوخت و میزان اکسیدهای نیتروژن نسبت به گازوئیل به میزان اندکی افزایش می یابد. همچنین بازده حرارتی موتور با استفاده از مخلوط 20 درصد بیودیزل نسبت به گازوئیل به میزان ناچیز افزایش می یابد [Godiganur et al.,2009]. تاثیر استفاده از مخلوط های با کسر حجمی 5، 20، 50 و 75 درصد بیودیزل (متیل استر روغن پنبه دانه) بر روی موتور تک سیلندر پاشش مستقیم دیزل نشان می دهد، با افزایش متیل استر روغن پنبه دانه در مخلوط، گشتاور موتور به دلیل ویسکوزیته بالا و ارزش حرارتی پایین کاهش می یابد. همچنین با افزایش محتوای بیودیزل در مخلوط، اکسیدهای نیتروژن کاهش و آلایندگی ذرات ریز به دلیل دانسیته و ویسکوزیته بالای سوخت افزایش یافت [Aydin et al.,2010]. [انجفی و خانی،1390] با بررسی تاثیر افزودن اتیل استر روغن آفتابگردان به سوخت گازوئیل بر عملکرد موتور دیزل پاشش مستقیم توربوشارژ در حالت تمام بار نتیجه گرفتند، در دور 1400 دور بر دقیقه با استفاده از بیودیزل و مخلوط های مختلف آن با گازوئیل مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش و توان ترمزی کاهش و در دور 2000 دور بر دقیقه با استفاده از بیودیزل و مخلوط های مختلف آن با گازوئیل مصرف سوخت ویژه ترمزی و توان ترمزی افزایش می یابد. [Ghobadian et al.,2009] با تست مخلوط های بیودیزل روغن پسماند و گازوئیل در بار کامل بر روی یک موتور دیزل دو سیلندر اختلاف ناچیزی در توان و گشتاور مشاهده کردند. همچنین در تحقیقی دیگر با بررسی تجربی متغیرهای عملکرد موتور دیزل پاشش غیر مستقیم با استفاده از بیودیزل تولیدی از روغن پسماند نتیجه گرفتند در تمام بارهای اعمالی به موتور مخلوط 40 درصد بیودیزل به دلیل کمترین مصرف ویژه سوخت ترمزی به عنوان مخلوط بهینه قابل توجه است [قبادیان و همکاران،1388]. بنابراین نگاهی کلی به تحقیقات انجام شده تا کنون بر روی بیودیزل نشان می دهد بسته به شرایط تست، نتایج متفاوتی از این سوخت ذکر شده است. اما به طور کلی می توان بیان کرد استفاده از این سوخت در موتور به دلیل کاهش ارزش حرارتی و افزایش ویسکوزیته باعث افت توان موتور و افزایش مصرف سوخت می شود. در ارتباط با آلایندگی های خروجی از موتور، کاهش هیدروکربن های نسوخته، اکسیدهای گوگرد، دی اکسیدکربن، مونوکسیدکربن، ذرات جامد و تا حدی افزایش اکسیدهای نیتروژن از آگروز مشاهده شده است [Xue et al.,2011]. همچنین با توجه به اینکه بیش از 75٪ هزینه تولید سوخت بیودیزل مربوط به ماده خام اولیه است امروزه افزایش قیمت روغن های گیاهی خوراکی و امنیت غذایی باعث کاهش رقابت این سوخت با سوخت های نفتی شده است [Dorado et al.,2006]. در حال حاضر با رشد سریع فست فودها و رستوران ها مقادیر قابل توجهی روغن های پسماند تولید می شود که استفاده از این روغن های پسماند گزینه ای مناسب برای حل مشکل هزینه بالای تولید بیودیزل می باشد. بنابراین برای کمک به کنترل آلودگی هوا و کاهش تمرکز بر استفاده از سوخت های فسیلی بدون تاثیر بر اقتصاد و توان موتور می توان مخلوط های بیودیزل و گازوئیل را جایگزین دیزل نمود. در این مطالعه متیل استر روغن پسماند به عنوان سوخت جایگزین با استفاده از روش ترانس استریفیکاسیون تولید گردید. سپس به منظور ارزیابی عملکرد موتور دیزل، بیودیزل تولیدی در کسر

حجمی های 0، 20، 35، 50 و 100 درصد با سوخت گازوئیل مخلوط و در یک موتور اشتعال تراکمی تست شدند.

مواد و روشها

در این تحقیق بیودیزل طی دو مرحله فرایند کاتالیز شده با اسید و باز از روغن های خوراکی پسماند غذا خوری پردیس دانشگاه فردوسی مشهد تولید و در کسر حجمی های مختلف با سوخت گازوئیل مخلوط گردید. تست های موتوری با هدف بررسی تاثیر سهم بیودیزل تولیدی بر پارامترهای عملکرد موتور و آلاینده ها بر روی یک موتور دیزل تک سیلندر پاشش مستقیم انجام گرفت. مشخصات موتور تست در جدول 2 آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات فنی موتور تست

4	1
125 mm	2
120 mm	3
17/6 : 1	4
1/473 L	5
$\leq 244/8 \text{ g.Kw}^{-1}.\text{h}^{-1}$	6
	7
20/09 +0/49 MPa	8

به منظور انجام آزمون های موتوری از سیستم بارگذاری الکتریکی برای اعمال بار به موتور، استوانه مدرج و کرنومتر برای اندازه گیری مصرف سوخت، ترموکوپل برای اندازه گیری دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق، دور سنج مغناطیسی برای اندازه گیری دور موتور، دستگاه کدوری سنج دود خروجی موتورهای دیزل همراه با برنامه و نرم افزار کامپیوتری EUROSYSTEM با ضریب جذب $k (\text{m}^{-1})$ برای تعیین کدوری دود اگزوز و دستگاه آنالیز دود مدل Testo 350 XL analyzer برای اندازه گیری آلاینده ها استفاده شد (شکل 1).



شکل 1- تجهیزات استفاده شده در آزمون موتور

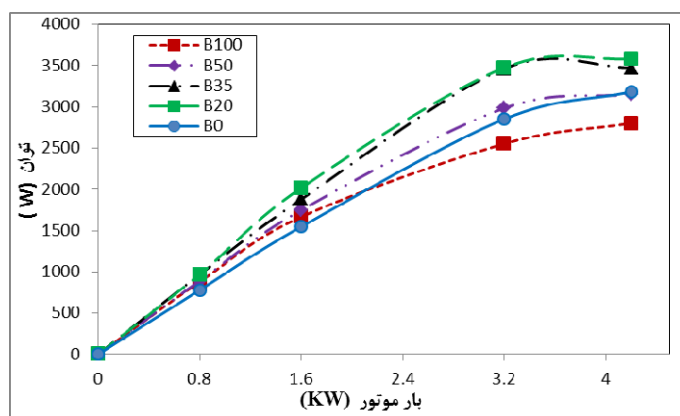
برای انجام هر تست موتور به مدت 15 دقیقه برای رسیدن به شرایط پایدار با سوخت مورد نظر کار کرد. ابتدا موتور با گازوئیل خالص مورد تست قرار گرفت و داده های مربوط به سرعت موتور، ولت متر و آمپر متر و دمای

گازهای خروجی از محفظه احتراق در بارهای مختلف اعمال شده به موتور به صورت دستی در سه تکرار مختلف برداشت شد. بعد از رسیدن موتور به شرایط کاری پایدار، آلاینده‌ها و کدروی دود به ترتیب، با دستگاه آنالیز دود آگروز و کدروی سنج اندازه‌گیری شد. در ادامه با قطع جریان سوخت از مخزن موتور و اتصال مخازن سوخت بیودیزل به موتور، مخلوطی از بیودیزل و گازوئیل در کسر حجمی‌های مختلف تست شدند. در پایان متغیرهایی مانند توان موتور، مصرف ویژه سوخت، آلاینده‌ها و دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق برای مخلوط‌های سوخت در بارهای مختلف مقایسه شدند.

نتایج و بحث

1- تغییرات توان موتور

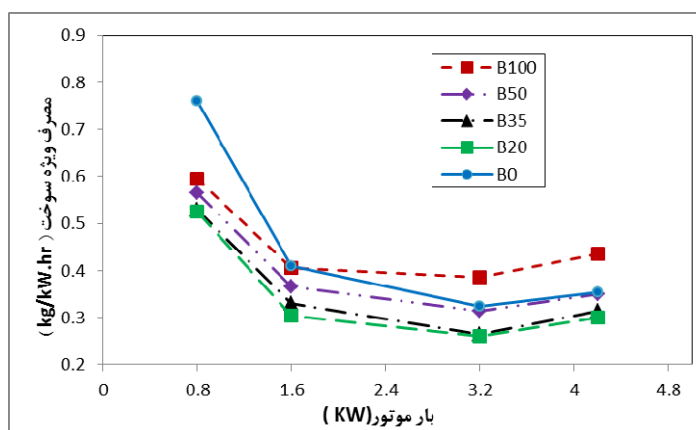
شکل 2 بیان‌گر تغییرات توان نسبت به بار موتور برای کسر حجمی‌های مختلف بیودیزل و گازوئیل می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای تمام مخلوط‌ها با افزایش بار موتور، توان نیز افزایش می‌یابد. همچنین به طور کلی، در یک بار ثابت، افزایش درصد بیودیزل مخلوط باعث افزایش توان می‌شود. هرچند افزودن بیودیزل به گازوئیل کاهش ارزش حرارتی مخلوط نسبت به گازوئیل را به همراه دارد، اما منحنی‌ها نشان می‌دهند در تمام بارهای اعمالی به موتور، توان حاصل از مخلوط‌های بیودیزل و گازوئیل بالاتر از گازوئیل خالص است که این افزایش توان را می‌توان به افزایش چگالی و اکسیژن مخلوط بیودیزل و گازوئیل نسبت به گازوئیل خالص که باعث احتراق کامل سوخت و افزایش بازده احتراق می‌شود نسبت داد. از طرف دیگر، شکل 2 نشان می‌دهد که بیشترین افزایش توان در یک بار اعمالی ثابت، مربوط به مخلوط 20 درصد بیودیزل است، اما با افزایش بیشتر درصد بیودیزل و در نتیجه تقویت اثرات منفی افزایش ویسکوزیته و کاهش ارزش حرارتی سوخت، توان رو به کاهش می‌گذارد. ارزش حرارتی پایین و ویسکوزیته بالای بیودیزل خالص نسبت به گازوئیل را می‌توان دلیل کاهش توان این ترکیب در بارهای بالاتر موتور دانست. در بارهای بالاتر موتور، به دلیل کاهش سرعت موتور فشار پاشش سوخت کاهش می‌یابد که در نتیجه، کاهش فشار پاشش سوخت همراه با ویسکوزیته بالاتر آن منجر به ذره‌سازی ضعیف سوخت و کاهش توان می‌شود.



شکل 2: تغییرات توان نسبت به بار موتور

2- تغییرات مصرف ویژه سوخت

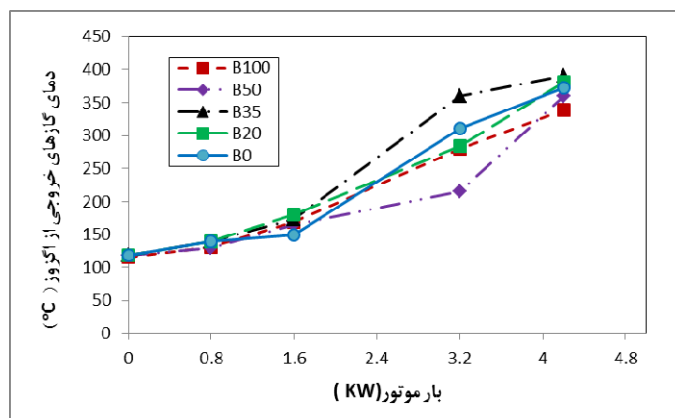
روند تغییرات مصرف ویژه سوخت نسبت به بارهای مختلف اعمالی به موتور برای مخلوطهای مختلف بیودیزل و گازوئیل در شکل 3 نشان داده شده است. با توجه به شکل برای تمام مخلوطها با افزایش بار، مصرف ویژه سوخت ابتدا کاهش و بعد از رسیدن به حداقل مقدار با افزایش بیشتر بار افزایش می یابد. در تمام بارهای اعمالی به موتور، پایین ترین مصرف ویژه سوخت به مخلوط 20 درصد بیودیزل اختصاص دارد که کاهش 25 درصدی در مصرف ویژه سوخت نسبت به گازوئیل را نتیجه می دهد. بنابراین با توجه به شکل های 2 و 3 در مقایسه با سایر مخلوطها، کسر حجمی 20 درصد بیودیزل با اختصاص بیشترین توان و کمترین مصرف ویژه سوخت به لحاظ اقتصادی دارای اهمیت است.



شکل 3: تغییرات مصرف ویژه سوخت نسبت به بار موتور

3- تغییرات دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق

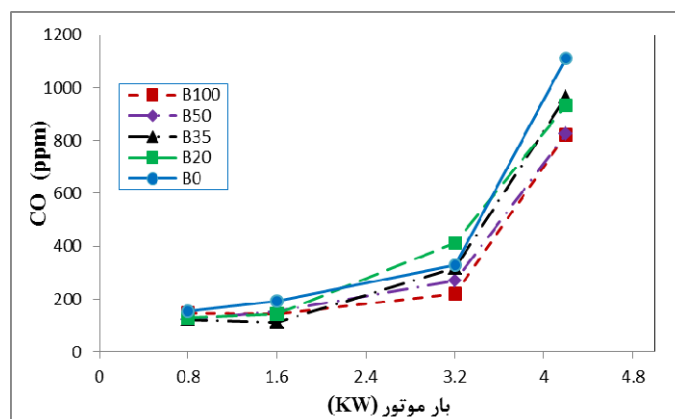
شکل 4 تغییرات دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق برای کسر حجمی های مختلف بیودیزل و گازوئیل در بارهای مختلف موتور را نشان می دهد. برای تمام مخلوطها با افزایش بار موتور و در نتیجه افزایش پاشش سوخت، نسبت هوا به سوخت پایین می آید. در این حالت با رسیدن موتور به حد دود و احتراق ناقص سوخت، دمای محفظه و در نتیجه گازهای خروجی از محفظه احتراق افزایش می یابد. با توجه به شکل، به طور کلی در یک بار ثابت، ابتدا با افزایش درصد بیودیزل دما افزایش و با افزایش بیشتر بیودیزل در مخلوط دما کاهش می یابد. کاهش دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق با افزایش کسر حجمی بیودیزل را می توان به تاخیر در اشتعال کوتاه تر بیودیزل که باعث کاهش فشار درون سیلندر می شود نسبت داد.



شکل 4- تغییرات دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق نسبت به بار موتور

4- تغییرات مونوکسید کربن

شکل 5 تغییرات مونوکسید کربن نسبت به بار موتور در استفاده از سوخت گازوئیل، بیودیزل و مخلوطهای بیودیزل و گازوئیل را نشان می‌دهد. با افزایش بار موتور به دلیل کاهش نسبت هوا به سوخت، آلاینده مونوکسید کربن برای تمام مخلوطها افزایش می‌یابد. همان طور که نمودار نشان می‌دهد در تمام بارهای اعمال شده به موتور، میزان مونوکسید کربن با استفاده از بیودیزل خالص و مخلوطهای آن با گازوئیل نسبت به گازوئیل خالص کاهش می‌یابد. کاهش سطح مونوکسید کربن با افزایش درصد بیودیزل مخلوط را می‌توان به محتوای اکسیژن سوخت بیودیزل و احتراق کامل سوخت نسبت داد.

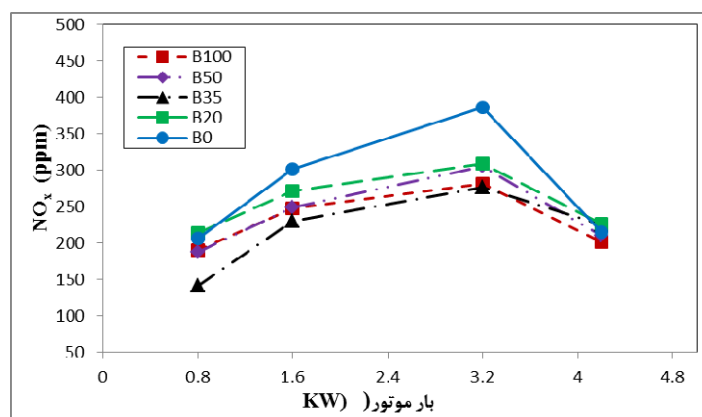


شکل 5- تغییرات مونوکسید کربن نسبت به بار موتور

5- تغییرات اکسیدهای نیتروژن

شکل 6 تاثیر درصد بیودیزل مخلوط بر میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن در بارهای مختلف اعمال شده به موتور را نشان می‌دهد. هرچند انتظار می‌رفت با توجه به محتوای اکسیژن بیودیزل میزان اکسیدهای نیتروژن افزایش یابد، اما نتایج نشان می‌دهد استفاده از بیودیزل باعث کاهش اکسیدهای نیتروژن نسبت به گازوئیل می‌شود البته در

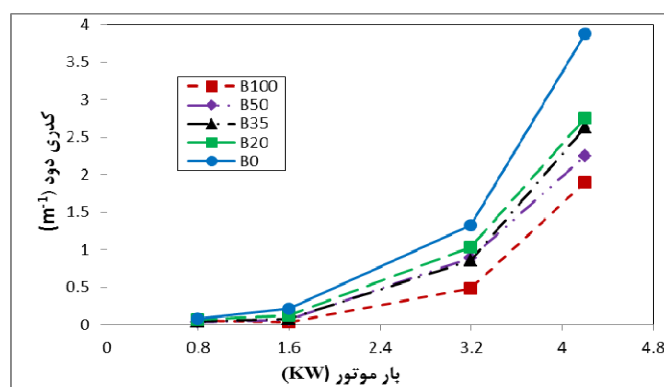
بیشترین بار اعمالی به موتور دو کسر حجمی 25 و 35 درصد بیودیزل باعث افزایش اکسیدهای نیتروژن نسبت به گازوئیل می‌شوند. می‌توان دلیل کاهش NO_x را به عدد ستان بالای بیودیزل نسبت داد که با کاهش تاخیر در اشتعال و شدت احتراق پیش آمیخته باعث کاهش تغییرات فشار و دما در محفظه احتراق می‌شود و در نهایت مقدار NO_x کاهش می‌یابد. افزایش میزان NO_x در مخلوطهای بیودیزل بالاتر از 35٪ را می‌توان به افزایش محتوای اکسیژن در مخلوط و غلبه اثر آن بر میزان اثر عدد ستان دانست.



شکل 6- تغییرات اکسیدهای نیتروژن نسبت به بار موتور

6- تغییرات کدری دود

با توجه به شکل 7 که تغییرات کدری دود نسبت به بار موتور برای کسر حجمی‌های مختلف بیودیزل و گازوئیل را نشان می‌دهد، کاهش قابل توجه کدری دود با افزایش درصد بیودیزل مخلوط مشاهده می‌شود. همچنین نمودار نشان می‌دهد برای تمام مخلوطها، با افزایش بار موتور به دلیل احتراق ناقص سوخت و رسیدن موتور به حد دود، کدری افزایش می‌یابد. به طور کلی تشکیل دوده در مناطق غنی از سوخت و دمای بالا ایجاد می‌شود. بنابراین می‌توان محتوای اکسیژن موجود در بیودیزل را که از ایجاد مناطق غنی سوخت جلوگیری می‌کند دلیل کاهش چشمگیر کدری دود در مخلوطهای شامل بیودیزل دانست.



شکل 7- تغییرات کدری دود نسبت به بار موتور

4- نتیجه گیری نهایی

- 1-توان تولیدی موتور در سوخت حاصل از ترکیب های بیودیزل و گازوئیل نسبت به گازوئیل خالص بیشتر است و تنها در بیشترین بارهای اعمالی به موتور توان بیودیزل خالص نسبت به گازوئیل کاهش نشان می دهد.
- 2-در بین مخلوطها، مخلوط با کسر حجمی 20٪ بیودیزل دارای بالاترین توان و کمترین مصرف ویژه سوخت می باشد و اقتصادی تر است.
- 3-دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق با افزایش بیودیزل تا مخلوط 35٪ افزایش و سپس با افزایش بیشتر کسر حجمی بیودیزل، کاهش می یابد.
- 4-استفاده از مخلوط های بیودیزل و گازوئیل نسبت به گازوئیل خالص باعث کاهش کدری دود و گازهای سمی مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن می شوند.
- 5-درصدهای پایین بیودیزل به دلیل بهبود توان و کاهش مصرف ویژه سوخت در کنار کاهش آلاینده های خروجی از اگزوز موتور، برای استفاده در موتورهای اشتعال تراکمی بدون هیچ تغییری در ساختار موتور مناسب می باشد.

منابع

نجفی، ب.، خانی، م. (1390). مطالعه تأثیر اتیل استر روغن آفتابگردان و مخلوط های مختلف آن با گازوئیل بر عملکرد و انتشار آلاینده های یک موتور اشتعال تراکمی مجهز به پرخوران. نشریه علمی - پژوهشی سوخت و احتراق، سال چهارم، شماره اول. 46-54.

(1388).

29 35 .

Aydin, H., Bayindir, H., (2010). "Performance and Emission Analysis of Cottonseed Oil Methyl Ester In a Diesel Engine" *Journal of Renewable Energy*, 35(3), March, PP. 588-592

Basha, J. S., and Ananda, R. B. (2011). Role of nanoadditive blended biodiesel emulsion fuel on the working characteristics of diesel engine. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 3, 023106

Dorado, M.P., Cruz, F., and Palomer, J.M., and Lopez, F.J. (2006). "An approach to the economics of two vegetable oil-based biofuels in Spain". *Journal of Renewable Energy*, 31(8), July, pp. 1231-1237.

Godiganur, S, Murthy, C.H.S., Reddy, R.P.(2009). 6BTA 5.9 G2-1 Cummins engine performance and emission tests using methyl ester mahua (*Madhuca indica*) oil/diesel blends. *Journal of Renewable Energy*, 34:2172-2177.

Ghobadian, B., Rahimi, H., Nikbakht, A.M., Najafi, G., Yusaf, T.F. (2009). Diesel engine performance and exhaust emission analysis with waste cooking biodiesel fuel using an artificial neural network *Journal of Renewable Energy*, 34:976-82

Meher, L.C., Vidyasagar, D., and Naik, S.N., (2006). "Technical aspects of biodiesel production by transesterification- a review" *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), June, PP. 248-268.

Selvan, V. A. M. Anand, R. B., and Udayakumar, M.(2009). Effect of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel-ethanol blends on the performance and

emission characteristics of a CI engin. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences,4:1-6

Xue, J., Grift, TE., and Hansen, AC.(2011). “Effect of biodiesel on engine performance and emissions” Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, November, PP. 1098-1116