

## تاثیر استفاده از بیودیزل در کاهش آلاینده‌گی موتور دیزل

بهمن نجفی<sup>۱</sup>، وهاب پیروز پناه<sup>۲</sup>، برات قبادیان<sup>۳</sup>

دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس  
Najafib@modares.ac.ir

### چکیده

بیودیزل عبارت است از استرهای منو اکلیل اسیدهای چرب با زنجیرهای طولی که از منابع طبیعی تجدید پذیر مانند روغنهای گیاهی یا چربیهای حیوانی تهیه می‌شود و تشابه زیادی با گازوئیل دارد که آنرا به عنوان یک سوخت جایگزین جدی مطرح می‌کند. همچنین، بیودیزل سازگار با سوخت متداول گازوئیل بوده و می‌تواند با هر نسبتی با سوخت گازوئیل مخلوط شود. بیودیزل استفاده شده در این تحقیق متیل استر روغن آفتاب‌گردان، با فرمول شیمیایی  $C_{55}H_{105}O_6$  می‌باشد که ترکیبات مختلفی از آن با گازوئیل بر مبنای حجمی (B00, B10, B20, B30, B40 و B100) در یک موتور دیزل کم دور لیستر (M8/1)، مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها که بر اساس آزمایش کوتاه مدت موتور و بر مبنای استاندارد ECR-49 انجام پذیرفت، نشان داد که با افزایش سهم بیودیزل تا ۲۰٪ حجمی در ترکیب سوخت، بدلیل بهبود کیفیت احتراق، انتشار آلاینده‌های CO و UHC به ترتیب تا ۷۳٪ و ۷۵٪ نسبت به گازوئیل کاهش می‌یابد ولی مقدار آلاینده NOx بدلیل فشار و دمای بالای محفظه احتراق در نتیجه احتراق شدیدتر، تا ۴۰٪ نسبت به گازوئیل افزایش می‌یابد. در ضمن استفاده از ۲۰٪ حجمی بیودیزل در ترکیب سوخت، نه تنها افت توان را به همراه ندارد بلکه مصرف ویژه سوخت ترمزی را نیز کاهش می‌دهد که به لحاظ اقتصادی بسیار مهم است.

**واژه‌های کلیدی:** سوخت‌های جایگزین - بیودیزل - موتور دیزل کم دور - تست کوتاه مدت - انتشار آلاینده‌ها.

### ۱- مقدمه

تاکنون مهمترین و معمول‌ترین سوخت جهت استفاده در موتورهای دیزل، در بسیاری از کشورهای دنیا گازوئیل بوده است. استفاده از گازوئیل در این موتورها موجب انتشار مواد مضر و آلاینده، با ترکیبات شیمیایی پیچیده می‌شود که خسارات جبران ناپذیری به محیط زیست وارد می‌کند. با آنکه تمهیدات مختلفی جهت کاهش آلودگی اعم از برنامه‌های معاینه فنی خودورها یا نصب سیستم‌های کنترل انتشار آلاینده در آگزوز خودورها در کشورهای پیشرفته بکار گرفته شده، لیکن این برنامه‌ها در شهرهای بزرگ مسئله تولید آلاینده‌ها را به حد کافی کاهش نداده است [۱].

در این راستا، سوخت‌های بیولوژیک دارای خواص فیزیکی و شیمیایی ذاتی هستند که آنها را در عمل، پاک تر از سوخت‌های دیگر می‌نماید. بطور کلی این سوخت‌ها حین احتراق، آلاینده کمتری تولید کرده و مواد منتشره حاصل از احتراق آنها دارای فعالیت شیمیایی کمتری برای تشکیل اوزون و مواد سمی دیگر می‌باشد. به این ترتیب، معرفی سوخت‌های جایگزین و

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

مطالعه در خصوص امکان استفاده و بهره برداری از آنها، با توجه به ملاحظات فنی و اقتصادی و گستردگی منابع اولیه تولید برخی از آنها در ایران، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است [۲].

موضوع استفاده از سوخته‌های جایگزین در موتورهای احتراق داخلی منجر به اختراع موتور تراکمی توسط رادولف دیزل گردید. وی برای اولین بار در موتور تراکمی خود، روغن گیاهی را به منزله سوخت جایگزین استفاده کرد و این بحث همچنان با پیشرفت تکنولوژی گسترش یافته است بطوریکه هم اکنون به یکی از مهمترین شاخه‌های تحقیقاتی در جهت کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌های خودروها تبدیل شده است [۳].

تحقیقات نشان می‌دهد که تری گلیسریدهای تشکیل دهنده روغنهای گیاهی می‌تواند به استرهای اسیدهای چرب آلکیل (بیودیزل) تبدیل شود که خواصی مشابه سوخت گازوئیل متداول شماره ۲ دارند. اولین محصول مستند تجاری، متیل استر دانه کلزا می‌باشد که در سال ۱۹۸۸ تولید آن گزارش شده است [۴].

بیودیزل، سوخت جایگزین مناسبی برای موتور دیزل بوده و تمام مزایای این نوع موتورها را حفظ می‌کند. جهت استفاده از این سوخت در موتورهای دیزل بجای سوخت گازوئیل، اصولاً هیچ تغییر اساسی در موتور لازم نیست و فقط بسته به ارزش حرارتی و سایر مشخصه‌های سوخت باید تنظیماتی روی زمان شروع پاشش سوخت و مدت زمان پاشش سوخت انجام گیرد. این سوخت در مقایسه با گازوئیلی که جایگزینش می‌شود، سوختی پاک به حساب می‌آید [۵].

## ۲- مواد و روشها

به منظور ارزیابی عملکرد و آلاینده‌های موتور دیزل با استفاده از بیودیزل و مقایسه آن با سوخت دیزل متداول، نسبت‌های مختلفی از بیودیزل با گازوئیل بصورت حجمی ترکیب شدند. این ترکیبات حاوی ۰٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۱۰۰٪ بیودیزل بر مبنای حجمی می‌باشد که بترتیب B00، B10، B20، B30، B40، B100 نامیده می‌شوند. هر یک از سوخته‌ها در بارهای مختلف دینامومتر از ۸،۶٪، ۳۲،۴٪، ۶۶،۷٪، ۸۲،۹٪ و ۱۰۰٪ بار نهایی دینامومتر، مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمون‌ها در قالب آزمایشهای فاکتوریل ۶×۵ به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۳ بار تکرار در آزمایشگاه ماشینهای حرارتی گروه مکانیک دانشگاه تبریز انجام گرفت.

## ۲-۱- سوخت بیودیزل

بیودیزل استفاده شده در این تحقیق متیل استر روغن آفتاب‌گردان با فرمول شیمیایی  $C_{55}H_{105}O_6$  می‌باشد [۶] که در مرکز تحقیقات شرکت مگا موتور تولید شده است و سوخت گازوئیل متداول شماره ۲ نیز به عنوان سوخت مرجع استفاده شده است. خواص ترکیبات مختلف بیودیزل استحصال شده از روغن آفتاب‌گردان در جدول ۱ آورده شده است. در طی فرآیند تولید بیودیزل "ترانس‌استریفیکاسیون" (Transestrification)، در اثر شکسته شدن زنجیرهای مولکولی اسیدهای چرب، وزن مولکولی به اندازه ۳۳٪ کاهش می‌یابد و ویسکوزیته روغن به اندازه ۱۲ درصد افزایش می‌یابد. بیودیزل محتوی ۱۰ تا ۱۲ درصد وزنی اکسیژن دارد و در نتیجه باعث بهبود فرآیند احتراق در موتور می‌شود. به علاوه، ارزش حرارتی بیودیزل خالص حدود ۱۲٪ کمتر از گازوئیل است و عدد ستان و نقطه اشتعال آن به ترتیب ۵۷ و ۱۱۰°C می‌باشد که بالاتر از گازوئیل است. نقطه اشتعال بیودیزل خالص در حدود ۵۰°C و بیشتر از گازوئیل است. چگالی سوخت بیودیزل خالص بدلیل داشتن اکسیژن در ترکیب شیمیایی خود بیشتر از گازوئیل است. ویسکوزیته سینماتیکی آن بدلیل جرم مولکولی زنجیره‌های طولانی، بیشتر می‌شود. مقدار اکسیژن موجود در بیودیزل که در حدود ۱۰٪ وزن کل است، موجب کاهش ارزش حرارتی سوخت می‌شود. درصد گوگرد موجود در بیودیزل بسیار کمتر از سوخت گازوئیل خالص است.

جدول ۱ مشخصات ترکیبات مختلف سوخت بیودیزل با گازوئیل متداول [۷-۸].

ترکیب سوخت بیودیزل						واحد	استاندارد اندازه گیری	مشخصات سوخت
B100	B40	B30	B20	B10	B00			
۰.۸۸۵۳	۰.۸۵۴	۰.۸۴۸	۰.۸۴۶	۰.۸۴۳	۰.۸۳۹	(g/cm <sup>3</sup> )	D4052	چگالی
۴.۳۹۱	۳.۹	۳.۶۸	۳.۴۷	۳.۲۸	۳.۰۹	(Cst)	D445	ویسکوزیته سینماتیک در ۴۰ <sup>0</sup> C
۴۰.۶۰	۴۳.۴۱	۴۴.۰۶	۴۴.۷	۴۵.۳۲	۴۵.۹۳	(MJ/Kg)	D240	ارزش حرارتی بالا
۵۷	۵۴	۵۳	۵۲	۵۱	۵۰	-	D976	عدد ستان
۱۱۰	۶۴	۶۳	۶۲	۶۱.۵	۶۱	(°C)	D93	نقطه اشتعال
۲۹۶	۲۴۳.۸	۲۳۰.۳	۲۲۶.۴	۲۰۱۷.۷	۲۰۹	(%)	-	وزن ملکولی
۷۷.۲	۸۱.۹۸	۸۲.۶۳	۸۴.۰۶	۸۵.۲۳	۸۶.۵	(%)	-	درصد وزنی کربن
۱۲	۱۲.۷۷	۱۳.۲۰	۱۳.۱۰	۱۳.۲۹	۱۳.۵	(%)	-	درصد وزنی هیدروژن
۱۰.۸	۵.۲۴	۴.۱۶	۲.۸۲	۱.۴۶	۰	(%)	-	درصد وزنی اکسیژن
۰.۰۷	۰.۴۲	۰.۴۸۵	۰.۵۵	۰.۶۳	۰.۷۱	(%)	-	درصد وزنی گوگرد

## ۲-۲- موتور دیزل کم دور

مشخصات فنی موتور مورد آزمایش در این تحقیق در جدول ۲ داده شده است، این موتور چهار زمانه با تنفس طبیعی، پاشش غیر مستقیم (IDI) و از نوع لیستر مدل M8/1 با توان مجاز ۸ اسب بخار در سرعت ۸۵۰ دور بر دقیقه، ساخت شرکت صنایع دیزل تبریز می باشد.

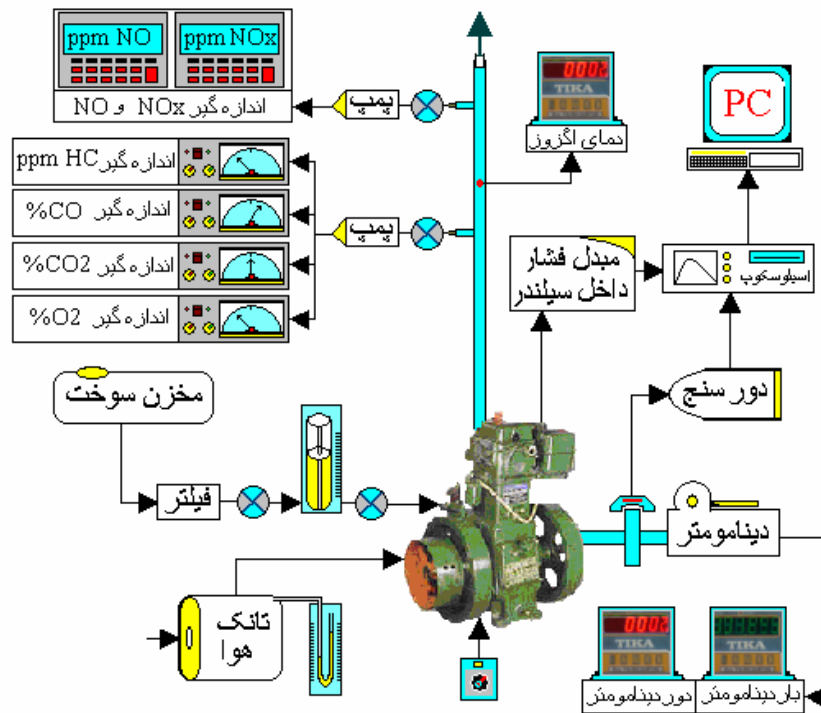
جدول ۲ مشخصات فنی موتور مورد آزمایش

مقدار	واحد	مشخصه
۱	-	تعداد سیلندر
۱۱۴.۳	(mm)	قطر پیستون
۱۳۹.۷	(mm)	کورس پیستون
۳۷۹.۴	(mm)	طول شاتون
۱۷،۵:۱	-	نسبت تراکم
۱۵۰۶،۶	(Cm <sup>3</sup> )	ظرفیت سیلندر
۲۲۷	(gr/hp.hr)	مصرف ویژه در حداکثر توان
۸	اسب بخار	توان مجاز ترمزی در ۸۵۰ rpm
۶.۷۴	kN.m	گشتاور سر میل لنگ ترمزی در ۸۵۰ rpm
۲۱ درجه	(BTDC)	زاویه شروع پاشش
۹ درجه	(ATDC)	زاویه خاتمه پاشش

## ۲-۳- تجهیزات آزمایش

- تجهیزات استفاده شده (شکل ۱) در اندازه گیری پارامترهای عملکرد و آلاینده گی موتور، عبارت است از:
  - ۱- دینامومتر ایستاده الکترومغناطیسی با جریان فوکو مدل Schenk-W400 جهت اندازه گیری توان ترمزی موتور
  - ۲- زاویه سنج از نوع Gaebridge مدل 45HD
  - ۳- مبدل فشار از نوع پیزوالکتریک مدل Kistler-6123 جهت اندازه گیری فشار داخل سیلندر
  - ۴- اسپیلوسکوپ به همراه کامپیوتر PC جهت نمایش و ثبت تغییرات فشار داخل سیلندر.
  - ۵- ترموکوپل دما برای اندازه گیری دمای خروجی اگزوز

- ۶- مخزن و دبی سنج سوخت مایع از نوع پیپت  
۷- مخزن و دبی سنج هوا از نوع روزنه سنج (که افت فشار را در روزنه نسبت به اتمسفر اندازه گیری می کند)  
۸- دستگاه آلاینده سنج نوع Cussons مدل P8333 که در آن: درصد حجمی گاز CO و CO<sub>2</sub> به روش NDIR، در صد حجمی گاز O<sub>2</sub> به روش پارامگنتیک و غلظت UHC به روش FID برحسب ppm اندازه گیری می شود.  
۹- دستگاه آلاینده سنج نوع سیگنال مدل VM 4000 که غلظت اکسیدهای ازت (NO و NO<sub>2</sub>) را به روش CLD برحسب ppm اندازه گیری می کند.



شکل ۱ مجموعه تجهیزات استفاده شده در آزمایش کوتاه مدت موتور

آزمایشها با شرایط غالب گازوئیل صورت پذیرفت که تجهیزات نیز برای گازوئیل خالص کالیبره شده بود. در شرایط ۱۰۰ درصد بیودیزل بدلیل اینکه عوامل موثر محیطی مانند دما ثابت بود لذا ویژه گیهای بیودیزل نزدیک به دیزل بوده است.

### ۳- روش و مراحل انجام آزمایش

آزمونها در قالب یک تست کوتاه مدت موتور بر مبنای استاندارد ECR-49 و با هدف بررسی تاثیر سهم بیودیزل بر پارامترهای عملکرد موتور و آلاینده های خروجی انجام گرفت. پارامترهای تحت کنترل بار اعمالی از طرف دینامومتر به موتور و نوع سوخت (ترکیبات مختلف بیودیزل و گازوئیل) بوده است. بار دینامومتر از طریق سویچ کنترل دستی به موتور اعمال می شد و از طریق نمایشگر دیجیتالی تنظیم می گردید. با اندازه گیری زمان مصرف ۲۵ cc مصرف، آهنگ مصرف سوخت محاسبه شد. آهنگ مصرف هوا به روش اندازه گیری اختلاف فشار در داخل روزنه مخزن هوا و اتمسفر انجام گرفت به نحوی که با اندازه گیری اختلاف فشار ستون آب (بر حسب mm) در دو طرف روزنه ورودی هوا و محاسبات مربوط به آن، آهنگ مصرف هوا بدست می آید. دمای خروجی اگزوز با استفاده از یک ترموکوپل اندازه گیری شد. فشار داخل سیلندر از طریق یک حسگر پیزوالکتریک در گامهای زمانی یکسان دریافت شده و پس از تنظیم با اسیلوسکوپ در یک کامپیوتر نمایش و ذخیره گردید. برای اندازه گیری

آلاینده‌ها، ابتدا شیر مجرای ورودی هر یک از دستگاه‌ها بطور مجزا باز شده و پس از نمونه‌گیری، مقادیر آلاینده‌ها نشان داده شده در نمایشگر دستگاه‌ها، بصورت دستی یادداشت شد.

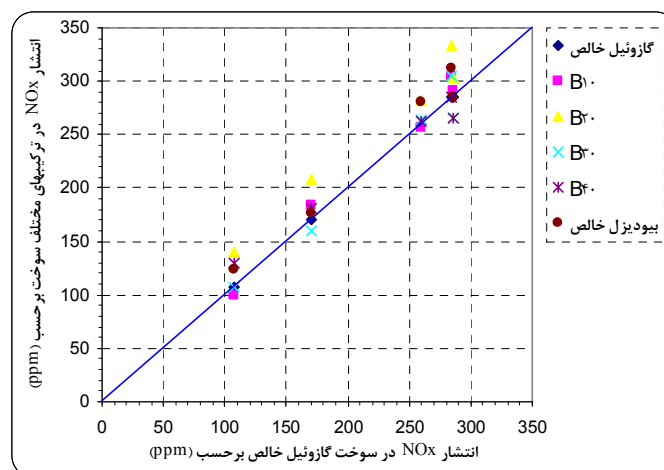
در هر مرحله آزمون، بار اعمال شده برحسب درصد بار نهایی تنظیم و در حالت کار قرار می‌گرفت تا دور موتور به حالت پایدار برسد و سپس تمام داده‌ها بصورت دستی یادداشت می‌شد. مرحله گرم کردن موتور، شامل ۱۰ دقیقه کارکردن موتور با هر یک از سوخت‌های مورد آزمایش بود. مشخصه‌هایی نظیر تغییرات فشار داخل محفظه احتراق، دمای خروجی آگزوز، توان ترمزی، زمان تاخیر در اشتعال، تغییرات دور موتور، مصرف ویژه سوخت ترمزی، بازده ترمزی و همچنین آلاینده‌های مهم (مانند: UHC، CO و NOx) در رابطه با هر نوع ترکیب سوخت و در بارهای مختلف دینامومتر، بعنوان پارامتر مورد مقایسه قرار گرفت. در تمام حالتها آزمایش شانه سوخت در حالت کاملا باز قرار داشت و در طول مدت آزمایش تغییری در موتور اعمال نگردید و هیچ مشکلی از قبیل اختلال در جریان سوخت و گرفتگی انژکتور مشاهده نشد.

#### ۴- نتایج آزمون

خصوصیات بیودیزل حاصل از روغنهای گیاهی، بطور قابل ملاحظه‌ای به زنجیره‌های اسیدهای چرب موجود در خوراک مورد استفاده بستگی دارد لذا باید در نظر داشت که نتایج حاصل از این تحقیق منحصر به بیودیزل با پایه روغن آفتابگردان بوده و نتایج آن قابل تعمیم به تمام سوخت‌های بیودیزل نمی‌باشد. بدیهی است بدلیل ساختار مولکولی متفاوت سوخت بیودیزل، مکانیزم احتراق آن متفاوت با سوخت گازوئیل بوده و در نتیجه رفتار موتور در عملکرد و آلاینده‌گی نیز متفاوت می‌باشد.

#### ۴-۱- تاثیر سوخت بیودیزل بر انتشار NOx

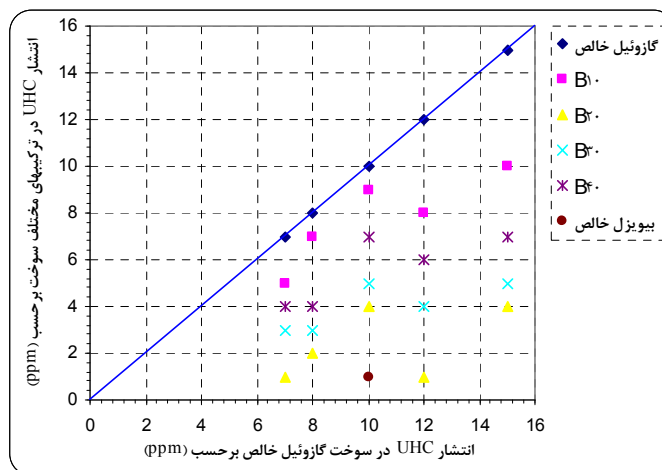
تاثیر افزایش سهم بیودیزل در ترکیب سوخت، بر انتشار آلاینده NOx در شکل ۲ نشان داده شده است. در تمام بارهای دینامومتر آلاینده NOx در سوخت B20% بیشترین مقدار را دارا می‌باشد. باتوجه به اینکه تشکیل NOx در احتراق شدیدتر و در دماهای بالا اتفاق می‌افتد لذا افزایش NOx در سوخت B20% نشانگر دمای بالای احتراق می‌باشد. میزان آلاینده NOx در سوخت بیودیزل خالص کمترین مقدار را دارد که دلیل آن پایین بودن دمای محفظه احتراق، در اثر کاهش ارزش حرارتی و افزایش زمان تاخیر در اشتعال می‌باشد. بیشترین افزایش مربوط به سوخت B20% و ۸،۶٪ بار نهایی دینامومتر است و کمترین انتشار آلاینده NOx مربوط به سوخت B100% می‌باشد که حتی تا حد ۸،۴٪ کمتر از آلاینده‌گی گازوئیل خالص است.



شکل ۲ تاثیر سهم بیودیزل بر انتشار آلاینده NOx

### ۲-۴- تاثیر سوخت بیودیزل بر انتشار آلاینده UHC

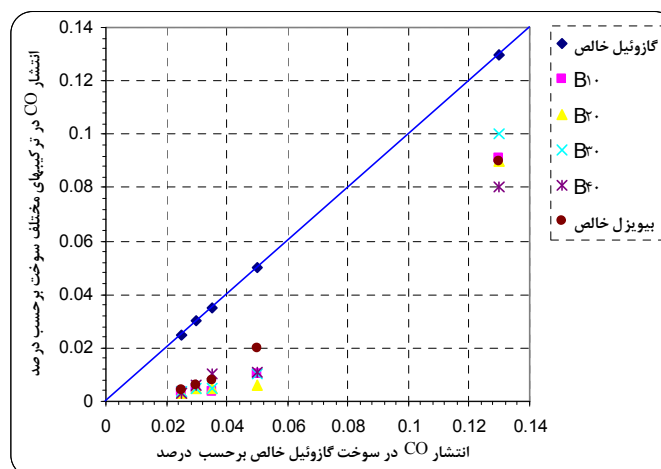
افزایش هیدروکربن‌های نسوخته UHC علاوه بر پایین آوردن بازده موتور به عنوان آلاینده نیز محسوب می‌شوند. تاثیر نوع سوخت بر انتشار آلاینده UHC در شکل ۳ نشان داده شده است. در تمام بارهای دینامومتر، مقدار آلاینده UHC نسبت به گازوئیل کمتر است. کمترین مقدار UHC مربوط به سوخت B20% می‌باشد. نتایج حاکی از این واقعیت است که با افزودن بیودیزل به گازوئیل خالص شرایط احتراق بهبود یافته و در نتیجه هیدروکربن نسوخته کمتری تولید می‌شود. وجود ۱۰ تا ۱۲ درصد وزنی اکسیژن در ترکیب آن موجب احتراق بهتر سوخت می‌شود زیرا وجود اکسیژن در پیوند اتمی مولکولهای بیودیزل، اکسیداسیون سوخت را با شدت بیشتری انجام می‌دهد.



شکل ۳ تاثیر بیودیزل بر انتشار آلاینده UHC

### ۳-۴- تاثیر سوخت بیودیزل بر انتشار CO

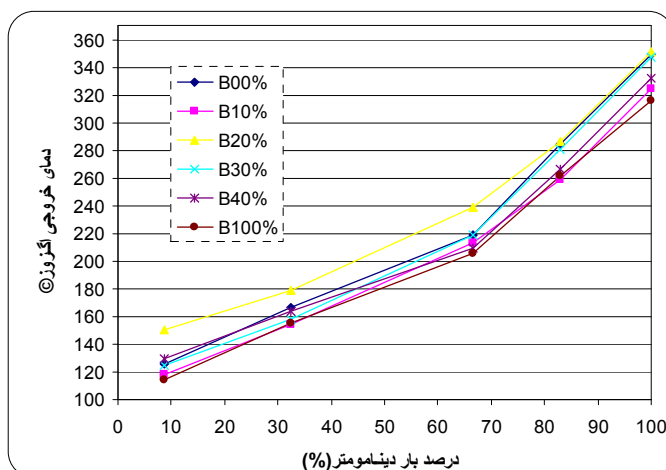
نتایج انتشار آلاینده CO در بارهای مختلف دینامومتر و سوخته‌های متفاوت در شکل ۴ آورده شده است. انتشار آلاینده CO در سوخته‌های دارای بیودیزل، در تمام بارهای دینامومتر بطور معنی‌داری نسبت به گازوئیل خالص کمتر است. با افزایش بیودیزل در ترکیب سوخت، آلاینده CO نسبت به گازوئیل کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش مربوط به سوختی با حدود ۲۰٪ بیودیزل می‌باشد که بطور متوسط تا ۷۳٪ آلاینده CO را نسبت به گازوئیل کاهش می‌دهد و کمترین کاهش مربوط به بیودیزل خالص با ۷۰٪ کاهش می‌باشد.



شکل ۴ تاثیر بیودیزل بر انتشار آلاینده CO

#### ۴-۴- تاثیر بیودیزل بردمای خروجی آگزوز

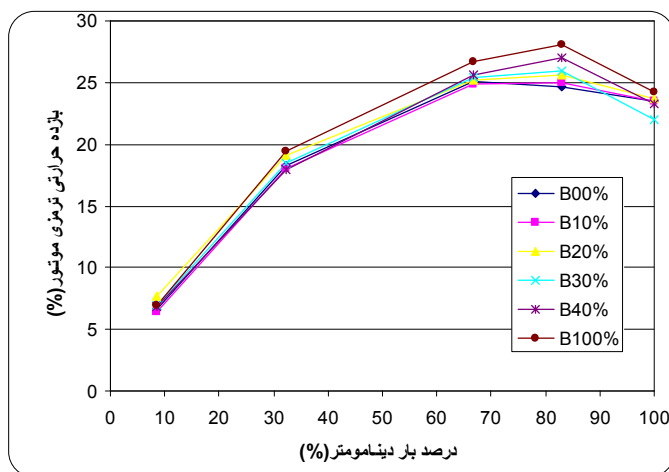
از مقایسه دمای خروجی آگزوز در بارهای ثابت دینامومتر و سوخته‌های متفاوت (شکل ۵) مشخص می‌شود که با افزایش سهم بیودیزل در ترکیب سوخت، دمای خروجی آگزوز تا سوخت B20% افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که زمان تاخیر در اشتعال عامل تعیین کننده در نحوه احتراق سوخت می‌باشد. زمان تاخیر در اشتعال موجب شدت اشتعال پیش آمیخته شده و در نتیجه دمای داخل سیلندر با شدت بیشتری افزایش می‌یابد.



شکل ۵ دمای خروجی آگزوز

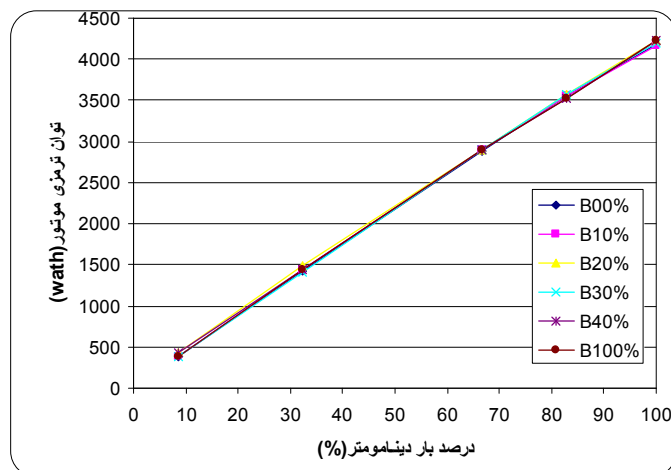
#### ۴-۵- بازده و توان ترمزی موتور

بازده ترمزی موتور، بیانگر تبدیل انرژی سوخت به توان مفید می‌باشد. شکل ۶ بازده حرارتی ترمزی موتور را در بارهای مختلف دینامومتر نشان می‌دهد. در بارهای مختلف دینامومتر، بازده حرارتی ترمزی با افزایش سهم بیودیزل در ترکیب سوخت، افزایش می‌یابد که نشان دهنده بهبود احتراق و تبدیل موثر انرژی سوخت به کار مفید است.



شکل ۶ بازده حرارتی ترمزی موتور

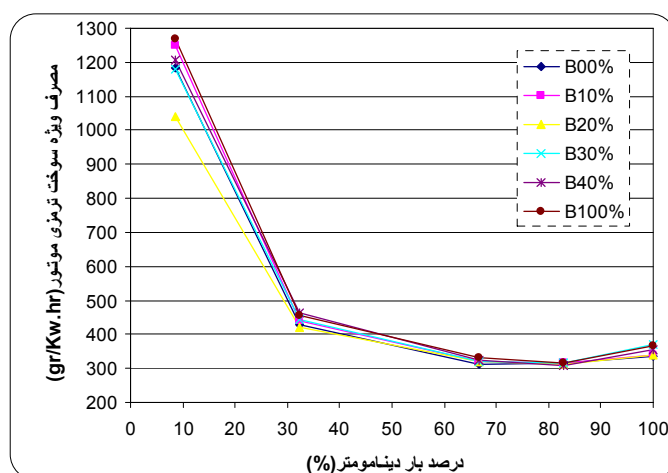
شکل ۷ توان ترمزی موتور را در بارهای مختلف دینامومتر نشان می‌دهد. توان ترمزی موتور مستقل از نوع سوخت می‌باشد زیرا نوع سوخت هیچ تاثیری بر فشار متوسط ترمزی در بارهای یکسان دینامومتر ندارد.



شکل ۷ توان ترمزی موتور

#### ۶-۴- مصرف ویژه سوخت ترمزی

افزایش سهم بیودیزل، از طرفی باعث افزایش چگالی سوخت می‌شود و از طرف دیگر موجب کاهش ارزش حرارتی آن می‌شود. افزایش چگالی سوخت موجب افزایش وزن مصرفی سوخت می‌شود و افزایش ارزش حرارتی سوخت باعث افزایش انرژی آزاد شده و در نتیجه تولید توان بالاتر می‌شود. واضح است که در مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور، چگالی سوخت اثر مسقیم و ارزش حرارتی سوخت اثر معکوس دارد، لذا در بارهای یکسان، ترکیب سوختی کمترین مصرف ویژه را خواهد داشت که هر دو شرط پایین بودن چگالی سوخت و بالا بودن ارزش حرارتی را داشته باشد (یعنی یک حالت مطلوب بین گازوئیل خالص و بیودیزل خالص). مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور در شکل ۸ نشان داده شده است. با افزایش سهم بیودیزل در ترکیب سوخت، مصرف سوخت برای تولید توان یکسان ابتدا تا B20% کاهش و سپس افزایش می‌یابد. بنابراین سوخت B20% یک حالت بهینه در مصرف سوخت را دارد.



شکل ۸ مصرف ویژه سوخت ترمزی

#### ۵- نتیجه‌گیری کلی

با افزایش سهم بیودیزل تا ۲۰٪ حجمی، پارامترهایی نظیر حد اکثر فشار داخل محفظه احتراق، دمای خروجی اگزوز، زمان تاخیر در اشتعال، سرعت دورانی موتور، بازده حرارتی اندیکاتوری و ترمزی در جهت کارایی مناسب موتور افزایش یافت.



همچنین بدلیل بهبود کیفیت احتراق، انتشار آلاینده‌های CO و UHC کاهش یافته ولی مقدار آلاینده NOx (بدلیل احتراق شدیدتر و در نتیجه فشار و دمای بالاتر محفظه احتراق) افزایش پیدا کرد. مصرف ویژه سوخت ترمزی، در این ترکیب کمترین مقدار را دارا می‌باشد که به لحاظ اقتصادی بسیار مهم است. بهترین فرآیند احتراق مربوط به سوختی با ۲۰ درصد بیودیزل بود.

## ۶- پیشنهادات

تحقیقات بیشتری در خصوص بهبود ساختار بیودیزل در جهت کاهش انتشار آلاینده NOx و استحصال آن از منابع ارزان قیمت باید انجام پذیرد، تا بیودیزل به یک سوخت قابل قبول از لحاظ زیست محیطی و تجاری تبدیل شود. گرچه استفاده از بیودیزل می‌تواند بازار جدیدی برای کشاورزان ایجاد نماید ولی هزینه‌های تولید بالا و وجود سایر بازارهای مصرف برای منابع مورد استفاده (روغنهای گیاهی و حیوانی) مانع از تولید آن در مقیاس انبوه می‌گردد.

## تقدیر و تشکر

در پایان جا دارد از زحمات آقای دکتر پیروز پناه و مهندس صادق پور بخاطر همکاری در انجام آزمایشها تقدیر و تشکر نمایم و همچنین از آقای دکتر قبادیان، مهندس خاتمی فر و مهندس رحیمی که سوخت بیودیزل مورد نیاز را در اختیار این طرح قرار دادند سپاسگذاری کنم.

## مراجع

- 1- [www.ieeo.com](http://www.ieeo.com)
- 2- [www.biodiesel.org](http://www.biodiesel.org)
- 3- Korbitz, W, "Biodiesel Production in Europe and North America, an Encouraging Prospect"; Renewable Energy. Vol. 16, pp. 1078-1083, 1999.
- 4- Srivastava, A., Prasad, R., "Triglycerides Based Diesel Fuels", Renewable and Sustainable Energy, Reviews Vol. 4, pp.111-133, 2000.
- 5- Monyem, A., Van Gerpen, J.H., "The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions", Biomass and Bioenergy, Vol. 20, pp. 317-325, 2001.
- 6- Altin, R., Çetinkaya, S., Yücesu, H.S., "The Potential of Using Vegetable Oil Fuels as Fuel for Diesel Engines", Energy Conversion and Management, Vol. 42, pp. 529-538, 2001.
- 7- Antolin, G., "Optimization of Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification", Bioresource Technology, Vol.83, pp. 111-114, 2002.
- 8- Siler-Marinkovic, S., "Transesterification of Sunflower Oil in Situ", Fuel, Vol. 77, No. 12, pp. 1389-1391, 1998.
- 9- Ramadhas, A.S., Muraleedharan, C., Jayaraj, S., "Performance and Emission Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Methyl Esters of Rubber Seed Oil", Renewable Energy, pp.1-12, 2005.
- 10- Usta, N., Öztürk, E., Can, Ö., Conkur, E.S., Nas, S.C., Çon, A.H., Can, AÇ., Topcu, M., "Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste Sunflower Oil Mixture in a Diesel Engine", Energy Conversion and Management, Vol. 46, pp. 741-755, 2005.
- 11- Raheman, H; Phadataré, A.G; "Diesel Engine Emissions and Performance from Blends of Karanja Methyl Ester and Diesel"; Biomass and Bioenergy; Vol.27; 2004; pp. 393- 397.
- 12- Silva, F., Prata, A., Teixeira, J., "Technical Feasibility Assessment of Oleic Sunflower Methyl Ester Utilization in Diesel Bus Engines", Energy Conversion and Management, Vol. 44, pp. 2857-2878, 2003.
- 13- Kalligeros, S., Zannikos, F., Stournas, S., Lois, E., Anastopoulos, G., Teas, Ch., Sakellariopoulos, F., "An Investigation of Using Biodiesel/marine Diesel Blends on the Performance of a Stationary Diesel Engine", Biomass and Bioenergy, Vol. 24, pp. 141-149, 2003.
- 14- Kallivroussis, L., Natsis, A., Papadakis, G., "The Energy Balance of Sunflower Production for Biodiesel in Greece", Biosystems Engineering, Vol. 81(3) , pp.347-354, 2002.
- 15- Tsolakis, A., " Exhaust gas assisted reforming of rapeseed methyl ester for reduced exhaust emissions of CI engines", Biomass and Bioenergy, Article in press, accepted 21 April 2004.