

# بررسی تجربی متغیرهای عملکردی یک موتور دیزل با استفاده از سوخت بیودیزل

محمد رضا سعیدی نیچران  
فارغ التحصیل دوره دکتری، دانشگاه تربیت مدرس  
mrsaedi2000@yahoo.com

برات قبادیان\*  
دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس  
bghobadian2004@yahoo.com

غلامحسین نجفی  
استادیار، دانشگاه تربیت مدرس  
g.najafi@modares.ac.ir

\* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۱۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۸۹/۱/۲۶

## چکیده

در این تحقیق متغیرهای عملکردی یک موتور دیزل با به کارگیری سوخت بیودیزل بررسی شده است. بیشینه فشار استوانه<sup>۱</sup> و دمای گازهای خروجی از B0 تا B40 افزایش یافته و با افزایش بیشتر درصد سوخت بیودیزل (از B40 تا B100)، بیشینه فشار استوانه کاهش می یابد. توان ترمزی موتور در بار معین لگام ترمز<sup>۲</sup> برای تمامی مخلوطهای سوخت ثابت می باشد. علت ثابت بودن توان ترمزی در بار معین، تنظیم دور لگام ترمز با تغییر مقدار سوخت در دور ثابت (۷۳۰ rpm) می باشد. مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت ترمزی از B0 تا B40 روند نزولی داشته و از B40 تا B100 روند صعودی پیدا می کند. بنابراین مخلوط سوخت B40 نسبت به سوخت دیزل و بیودیزل خالص و سایر مخلوطهای سوخت، دارای مصرف سوخت کمینه است و به عنوان مخلوط بهینه از نظر مصرف بهینه سوخت در موتورهای دیزل با دور ثابت توصیه می گردد. همچنین با افزایش بار لگام ترمز، مصرف سوخت افزایش می یابد. مخلوط سوخت B40 در تمامی بارهای لگام ترمز دارای مصرف ویژه سوخت ترمزی کمینه بود. آهنگ وزنی مصرف هوا در بارهای مختلف لگام ترمز برای سوخت دیزل و بیودیزل خالص و تمامی مخلوطهای سوخت ثابت است و تغییرات جزئی آن به دلیل تغییرات دمای آزمایشگاه در زمانهای مختلف آزمایش و تأثیر آن بر جرم مخصوص هوا می باشد. رقت (نسبت هوا به سوخت) از B0 تا B40، روند صعودی و از B40 تا B100، روند نزولی پیدا می کند. بنابراین مخلوط سوخت B40 دارای بیشینه رقت در بین سوختهای دیزل و بیودیزل خالص و سایر مخلوطهای سوخت بوده است.

خودروهای جاده‌ای و غیر جاده‌ای به حساب می آیند. از طرف دیگر، امروزه موتورهای دیزل به عنوان یکی از اصلی ترین مصرف کننده‌های سوخت سنگواره‌ای است و در نتیجه یکی از عوامل مهم ایجاد کننده آلودگی‌های صوتی و زیست محیطی نیز بشمار می آید [۲]. سوخت بیودیزل عبارت است از استرهای منوالکیل<sup>۳</sup> اسیدهای چرب با زنجیره طولی، که از منابع تجدیدپذیر مانند روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تهیه می شود. به منظور بکارگیری مستقیم روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی به عنوان منبع انرژی در موتورهای درونسوز و دارا بودن شرایط احتراق مناسب، لازم است تا ساختار مولکولی این منابع به اجزاء ساده تری شکسته و متعادل گردد. بدین منظور، مولکول‌های ترکیبات روغن یا چربی در واکنش تبدیل موسوم به ترانس استریفیکاسیون<sup>۴</sup> با یک الکل مانند

کلیدواژه‌ها: موتور دیزل، سوخت بیودیزل، مخلوط سوخت بیودیزل و دیزل، متغیرهای عملکردی موتور

## ۱- مقدمه

■ امروزه جهان با بحران منابع انرژی مواجه است و منابع محدود سوخت سنگواره‌ای قادر به پاسخگویی به تقاضای رو به افزایش انرژی نمی باشد. این مسأله با افزایش قیمت سوخت سنگواره‌ای و آلودگی محیط زیستی همزمان است و محققان را به جستجوی منابع جایگزین انرژی که تجدیدپذیر، ایمن و غیر آلوده کننده باشند ترغیب می نماید [۱]. در حال حاضر، موتورهای دیزل به عنوان یک بخش اساسی در تأمین نیروی محرکه

1 - Cylinder  
2 - Dynamometer

3 - Monoalkyl Esters  
4 - Transesterification

## ۲-۱-۱- مواد

### ۲-۱-۱-۱- موتور تحت آزمایش

موتور مورد استفاده در این تحقیق، دیزل چهار زمانه با تنفس طبیعی، پاشش غیر مستقیم (IDI) از نوع لیستر M 1,8 با توان بیشینه ۸ اسب بخار در سرعت ۸۵۰ دور بر دقیقه که مشخصات فنی آن در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱ مشخصات فنی موتور دیزل لیستر M 1,8

مشخصه	مقدار	واحد
تعداد استوانه	۱	-
قطر پیستون	۱۱۴,۳	mm
کورس پیستون	۱۳۹,۷	mm
طول شاتون	۳۷۹,۴	mm
حجم جابجایی	۱,۴۳	Lit
نسبت تراکم	۱۷,۵:۱	-
ظرفیت استوانه	۱,۵:۶۶	Lit
بیشینه توان در rpm	۸۵۰	hp
مصرف ویژه سوخت در توان بیشینه	۲۲۷	gr/hp.hr
سامانه پاشش	-	IDI
نوع افشانه	-	CAV-Bosch
بیشینه بلند شدن سوزن افشانه	-	۰,۰۰۸"
فشار پاشش	۹۱,۷	kg/cm <sup>۲</sup>
زاویه شروع پاشش	-۲۱	درجه میل لنگ
زاویه خاتمه پاشش	+۹	درجه میل لنگ
IVO	-۵	درجه میل لنگ
IVC	+۱۵	درجه میل لنگ
EVO	-۵۵	درجه میل لنگ
EVC	+۲۰	درجه میل لنگ

### ۲-۱-۲- تجهیزات آزمایش

تجهیزات استفاده شده (شکل ۱) در اندازه‌گیری متغیرهای عملکردی موتور دیزل، عبارتند از:

۱- لگام ترمز برقی TE-9 برای اندازه‌گیری توان ترمزی موتور

۲- زاویه‌سنج Gaebridge نوع 45HD

۳- مبدل فشار پیزو الکتریک با بلورهای کواتز نوع Kistler-6123 برای اندازه‌گیری فشار

۴- حسگر حرارتی برای اندازه‌گیری دمای خروجی دود از نوع دماسنج

۵- مخزن و دبی‌سنج سوخت مایع از نوع استوانه‌اندازه‌گیری

۶- مخزن و دبی‌سنج هوا با روزنه لبه تیز

۷- سامانه جمع‌آوری اطلاعات به همراه یک دستگاه PC برای نمایش و ثبت همزمان تمام متغیرهای اندازه‌گیری شده.

1 - Smog

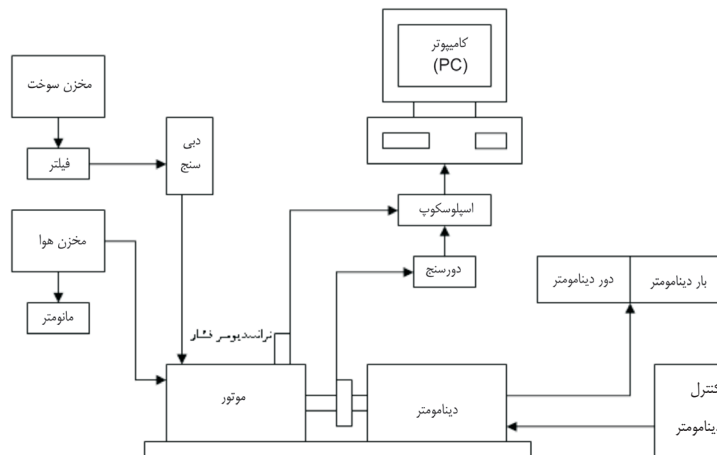
2 - Rudolf Diesel

3 - Compression Ignition

متانول یا اتانول، در حضور واکنشگر اسیدی یا قلیایی شرکت می‌کند و OH الکل مورد استفاده، جایگزین زنجیره هیدروکربنی موجود در روغن می‌شود. در نتیجه، استرهای با ساختمان مولکولی جدید، به نام استرهای متیل اسید چرب موجود می‌آید که تشابه زیادی با گازوئیل شماره ۲ دارد. برای استفاده از این سوخت در موتور دیزل به جای سوخت گازوئیل، اصولاً هیچ تغییر اساسی در موتور لازم نیست و فقط بسته به ارزش حرارتی، چگالی، ویسکوزیته و عدد ستان آن باید تنظیماتی بر روی میزان سوخت پاشیده شده، فشار پاشش در افشانه، مدت زمان پاشش سوخت و شروع پاشش انجام گیرد. تحقیقات نشان می‌دهد که مخلوط‌هایی تا ۲۰٪ بیودیزل و ۸۰٪ گازوئیل شماره ۲ در تمامی موتورهای دیزل قابل استفاده است و مخلوط‌هایی با نسبت‌های بزرگتر بیودیزل تا ۱۰۰٪ (بیودیزل خالص) در موتورهای ساخته شده از سال ۱۹۹۴ به بعد، به اندک تغییراتی در تنظیمات موتور قابل استفاده است. مهم‌ترین تفاوت اساسی بیودیزل و گازوئیل، محتوای اکسیژن آن می‌باشد. میزان اکسیژن موجود در گازوئیل صفر است در حالیکه بیودیزل حاوی ۱۰ تا ۱۲ درصد وزنی اکسیژن می‌باشد که باعث کاهش چگالی انرژی و انتشار ذرات معلق می‌گردد. به علاوه، بیودیزل عاری از گوگرد می‌باشد در حالیکه در گازوئیل گوگرد وجود دارد که در اثر احتراق به اکسیدهای گوگرد تبدیل می‌گردد. گازوئیل اغلب ۲۰ تا ۴۰ درصد حجمی آروماتیک دارد که باعث افزایش انتشار آلاینده‌هایی نظیر دوده<sup>۱</sup> و ذرات معلق می‌گردد در صورتیکه بیودیزل اساساً عاری از آروماتیک می‌باشد. به طور کلی بیودیزل در مقایسه با گازوئیل که جایگزینش می‌شود، سوختی پاک به حساب می‌آید [۳]. مطالعه در خصوص امکان استفاده و بهره‌برداری از سوخت بیودیزل با توجه به ملاحظات فنی و اقتصادی و گستردگی منابع اولیه تولید آن در ایران، از اهمیت خاص برخوردار است [۴]. رادولف دیزل<sup>۲</sup>، استفاده از سوخت‌های جایگزین در موتورهای احتراق داخلی اشتعال تراکمی<sup>۳</sup> را انجام داد. وی برای اولین بار در موتور اشتعال تراکمی خود، روغن گیاهی را به منزله سوخت جایگزین استفاده کرد و این بحث همچنان با پیشرفت فناوری گسترش یافته است به طوری که هم اکنون به یکی از مهم‌ترین شاخه‌های تحقیقاتی برای کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌های خودروهای جاده‌ای و غیرجاده‌ای تبدیل شده است [۵]. تحقیقات نشان می‌دهد که تری‌گلیسیریدهای تشکیل‌دهنده روغن‌های گیاهی می‌تواند به استرهای اسیدهای چرب الکیل (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 [۶]. در این تحقیق، سوخت بیودیزل حاصل از روغن پسماند خوراکی و مخلوط‌های مختلف آن با گازوئیل شماره ۲ معمول در ایران در موتور دیزل لیستر نوع M 1,8، در چهار بار مختلف لگام ترمز و سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه، مورد استفاده قرار گرفت و داده‌های لازم برای محاسبه و بررسی متغیرهای عملکردی موتور ثبت گردید و عملکرد موتور دیزل با استفاده از سوخت بیودیزل ارزیابی شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی عملکرد موتور دیزل با استفاده از سوخت بیودیزل نسبت‌های حجمی مختلفی از سوخت بیودیزل با گازوئیل شماره ۲ معمول در ایران تهیه شد. این مخلوط‌ها حاوی ۰٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪، ۷۰٪، ۸۰٪، ۹۰٪ و ۱۰۰٪ سوخت بیودیزل بر مبنای حجمی بوده است که به ترتیب B30، B20، B10، B100 و B90، B80، B70، B60، B50، B40 و بیودیزل در بارهای، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ (بار کامل) لگام ترمز در موتور دیزل لیستر M 1,8 با سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه، به منظور اخذ داده‌های عملکردی موتور و استفاده از آن برای ارزیابی عملکرد موتور با استفاده از سوخت بیودیزل، در آزمایشگاه ماشین‌های حرارتی دانشکده فنی و مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، آزمایش شدند.



شکل ۱ مجموعه تجهیزات استفاده شده در آزمایش کوتاه مدت موتور دیزل لیستر M ۱۸

جدول ۲ برخی از ویژگی‌های مهم سوخت بیودیزل مورد استفاده به همراه استانداردهای ASTM و حدود مجاز

ویژگی	روش استاندارد آزمون	حدود مجاز	بیودیزل	واحد
نقطه اشتعال	ASTM D-۹۲	کمترین ۱۳۰	۱۷۶	° C
گرانروی سینماتیک	ASTM D-۴۴۵	۱٫۹-۶٫۰	۴٫۷۳	mm <sup>2</sup> /s
نقطه انجم شدن	ASTM D-۲۵۰۰	-	-۱	° C
نقطه ریزش	ASTM D-۹۷	-	-۴	° C
رنگ	ASTM D-۱۵۰۰	-	L ۱٫۵	-
خوردگی مس	ASTM D-۱۳۰	بیشترین شماره ۳	a ۱	-
گلیسیرین آزاد	ASTM D-۶۵۸۴	بیشترین شماره ۰٫۰۲	۰٫۰۱۶	% mass
آب و رسوبات	ASTM D-۲۷۰۹	بیشترین شماره ۰٫۰۵	۰٫۰۵	% vol.
چگالی	-	-	۰٫۸۸۰	g/cm <sup>۳</sup>

جدول ۳ برخی از ویژگی‌های سوخت دیزل مورد استفاده به همراه استانداردهای ASTM

ویژگی	روش استاندارد آزمون	سوخت دیزل	واحد
نقطه اشتعال	ASTM D-۹۳	۶۱	° C
گرانروی سینماتیک	ASTM D-۴۴۵	۴٫۱	mm <sup>2</sup> /s
چگالی	ASTM D-۴۰۵۲	۰٫۸۳۹	g/cm <sup>۳</sup>
ارزش حرارتی پایین	ASTM D-۲۴۰	۴۲٫۵۷	MJ/kg
جرم مولکولی	-	۲۰۹	kg/mol
درصد جرمی کربن	-	۸۶٫۵	%
درصد جرمی هیدروکربن	-	۱۳٫۵	%
درصد جرمی گوگرد	-	۰٫۷۱	%

1 - Control  
2 - Signal  
3 - Piezoelectric

## ۲-۱-۳- سوخت

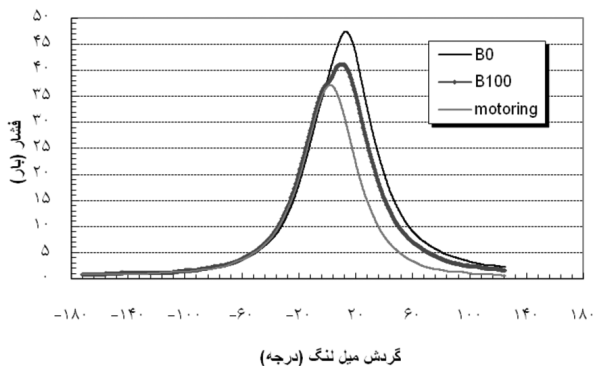
بیودیزل استفاده شده در این تحقیق متیل استر روغن گیاهی پسماند است که در آزمایشگاه تولید بیودیزل دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تولید شده و سوخت گازوئیل مورد استفاده، گازوئیل متداول در ایران (گازوئیل شماره ۲) می‌باشد. برخی از ویژگی‌های مهم سوخت بیودیزل مورد استفاده به همراه استانداردهای آن و حدود مجاز در جدول ۲ ارائه شده است. ویژگی‌های سوخت دیزل مورد استفاده به همراه استانداردهای ASTM نیز در جدول ۳ ذکر شده است.

## ۲-۲- روش و مراحل آزمایش

آزمایش‌ها در قالب آزمایش کوتاه مدت موتور بر مبنای استاندارد ECR R-49 و با هدف بررسی تأثیر سهم بیودیزل بر متغیرهای عملکردی موتور انجام گرفت. متغیرهای تحت پایش<sup>۱</sup> بار اعمالی از طرف لگام ترمز به موتور و نوع سوخت (مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل) بوده است. بار لگام ترمز از طریق کلید پایش دستی به موتور اعمال شد و از طریق نمایشگر رومقی تنظیم گردید. با اندازه‌گیری زمان مصرف ۲۵ CC سوخت، آهنگ مصرف سوخت محاسبه شد. آهنگ مصرف هوا به روش اندازه‌گیری اختلاف فشار در داخل روزنه مخزن هوا و جو انجام گرفت به نحوی که با اندازه‌گیری اختلاف فشار ستون آب در دو طرف روزنه ورودی هوا و معادلات مربوط به آن، آهنگ مصرف هوا محاسبه شد. دمای گازهای خروجی با استفاده از یک دماسنج اندازه‌گیری شد. علامت<sup>۲</sup> فشار داخل استوانه از طریق یک حسگر فشاربرقی<sup>۳</sup> دریافت شد و پس از تنظیم در اسیلوسکوپ در رایانه نمایش و ذخیره شد. در هر مرحله از آزمون، بار اعمال شده بر حسب درصد بار کامل تنظیم و در حالت کار قرار می‌گرفت تا دور موتور به حالت پایدار برسد. دور لگام ترمز با یک دورسنج، اندازه‌گیری گردید و در نمایشگر رومقی نشان داده شد. در هر مرحله از آزمایش دور لگام ترمز پس از اعمال بار، در چهار حالت مختلف لگام ترمز، به‌طور دستی با تغییر گنج مصرف سوخت، پایش شده و در حد ثابت اولیه نگه داشته شده و سپس تمام داده‌ها بصورت دستی یادداشت گردید. مرحله گرم کردن موتور، شامل ۱۰ دقیقه کار کردن موتور با هر یک از سوخت‌های مورد آزمایش بود. مشخصه‌هایی نظیر تغییرات فشار داخل سیلندر، دمای گازهای خروجی، توان ترمزی، مهلت اشتعال و مصرف ویژه سوخت برای هر نوع مخلوط سوخت در بارهای مختلف لگام ترمز، به‌عنوان متغیر مقایسه شد. همان‌گونه که از جداول ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، گرانروی گازوئیل شماره ۲، ۱٫۴ و ویسکوزیته بیودیزل مورد استفاده ۴٫۷۳ است. بخش عمده بیودیزل نیز با گازوئیل

### ۳-۲- تأثیر سوخت بیودیزل بر فشار استوانه

شکل ۳ منحنی‌های فشار درجه‌گردش میل‌لنگ (P-θ) را به‌طور نمونه در ۱۰٪ بار نهایی لگام ترمز برای سوخت دیزل خالص (B0) و بیودیزل خالص (B100) در سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه نشان می‌دهد. افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط سوخت، باعث انتقال منحنی به طرف کاهش درجه میل‌لنگ می‌شود (شیفت نیمه دوم منحنی‌ها به سمت چپ). این پدیده نشان می‌دهد که سوخت بیودیزل به‌دلیل داشتن عدد ستان بزرگ دارای مهلت اشتعال کمتری می‌باشد. مقدار دقت در اندازه‌گیری فشار درون محفظه احتراق حداکثر ۲/۵٪ مقدار بیشینه فشار در یک چرخه موتور منظور شد. به عبارت دیگر چرخه انتخاب شده برای محاسبات و تحلیل، از میان سه تکرار به گونه‌ای انتخاب شد که مقدار بیشینه فشار درون سیلندر از ۲٫۵ درصد تجاوز ننماید. دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار هم به گونه‌ای تنظیم گردیدند که این میزان دقت را پوشش دهد.



شکل ۳ منحنی‌های فشار درجه‌گردش میل‌لنگ (درجه)

شکل ۳ منحنی‌های تغییرات فشار داخل استوانه بر حسب زاویه‌گردش میل‌لنگ در درصد‌های بیودیزل مختلف در سرعت ۷۳۰rpm به ازای بارهای کامل

### ۳-۳- تأثیر سوخت بیودیزل بر دمای دود خروجی

شکل ۴ تغییرات دمای خروجی آگروز، برای سوخت دیزل خالص (B0)، مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل و سوخت بیودیزل خالص (B100)، در بارهای مختلف و سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه را نشان می‌دهد.

با افزایش درصد بیودیزل در مخلوط‌های سوخت، دمای گاز خروجی تا مخلوط سوخت B40 افزایش و سپس با افزایش بیشتر درصد بیودیزل، در مخلوط‌های سوخت بیودیزل خالص (B100)، کاهش می‌یابد. افزایش دمای گاز خروجی تا مخلوط سوخت B40 به‌دلیل افزایش فشار استوانه با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت تا ۴۰٪ می‌باشد و با افزایش بیشتر درصد بیودیزل فشار استوانه کاهش می‌یابد و در نتیجه موجب کاهش دمای گاز خروجی می‌شود.

اختلاف نسبتاً زیاد بین مقادیر دمای گاز خروجی در ۱۰۰٪ بار کامل و ۷۵٪ بار کامل نسبت به اختلاف بین این مقادیر در ۲۵٪ بار نهایی و ۵۰٪ بار نهایی و همچنین در ۵۰٪ بار نهایی و ۷۵٪ بار نهایی، به‌دلیل شرایط کاری موتور در حالت ۱۰۰٪ بار نهایی لگام ترمز می‌باشد. در این حالت، به‌دلیل رسیدن موتور به حد دود و در نتیجه احتراق ناقص، افزایش دمای خروجی آگروز نسبت به حالت ۲۵٪ به ۵۰٪ و ۷۵٪ بار نهایی لگام ترمز به‌طور چشمگیری بیشتر است [۱۰].

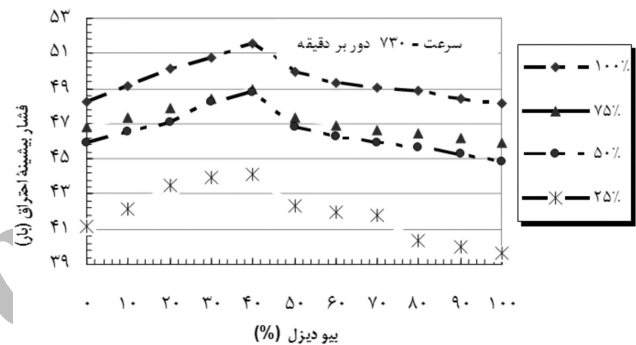
مخلوط گردیده و بنابراین گرانی‌تری مخلوط کاهش یافته و به گازوئیل نزدیکتر می‌گردد. از این رو اندک اضافه گرانی بیودیزل که در مخلوط با گازوئیل به گرانی‌تری نزدیک است هیچ توان اضافی را طلب نمی‌کند.

### ۳- نتایج آزمایش‌ها

ویژگی‌های بیودیزل حاصل از روغن‌های گیاهی، به‌طور چشمگیری به زنجیره‌های اسیدهای چرب موجود در خوراک مورد استفاده بستگی دارد [۷]. لذا باید در نظر داشت که نتایج حاصل از این تحقیق منحصر به بیودیزل با پایه روغن پسماند خوراکی است و نتایج آن قابل تعمیم به تمام سوخت‌های بیودیزل نیست.

### ۳-۱- تأثیر سوخت بیودیزل بر فشار بیشینه استوانه

تأثیر سوخت بیودیزل بر بیشینه فشار استوانه در بارهای مختلف موتور و در سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه در شکل (۲) نشان داده است.



شکل ۲ تغییرات بیشینه فشار داخل استوانه بر حسب درصد بیودیزل در سرعت ۷۳۰rpm به ازای بارهای مختلف

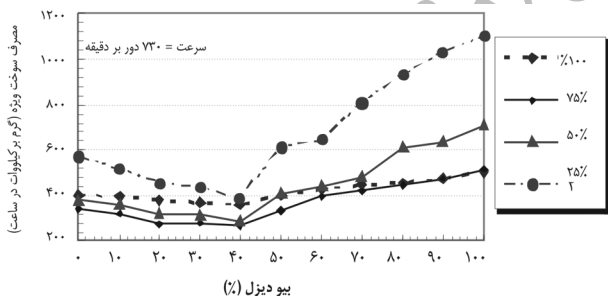
با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت تا ۴۰٪، بیشینه فشار استوانه افزایش یافته و در مخلوط سوخت B40 به مقدار بیشینه خود می‌رسد. با افزایش بیشتر درصد سوخت بیودیزل، بیشینه فشار استوانه روند نزولی پیدا کرده و نهایتاً با سوخت بیودیزل خالص (B100) به مقدار کمینه خود می‌رسد. روند افزایش بیشینه فشار استوانه با افزایش درصد سوخت بیودیزل، تا مخلوط سوخت B40 و کاهش آن با افزایش بیشتر درصد سوخت بیودیزل تا سوخت بیودیزل خالص (B100)، مشابه هم می‌باشد.

در تمام مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با افزایش بار لگام، ترمز بیشینه فشار داخل استوانه نیز افزایش می‌یابد. اختلاف زیادی (در حدود ۵ بار) بین مقادیر بیشینه فشار استوانه در ۲۵٪ با مقادیر مربوط به ۵۰٪ و ۷۵٪ بار کامل وجود دارد ولی این اختلاف بین مقادیر بیشینه فشار استوانه در ۵۰٪ و ۷۵٪ بار کامل قابل توجه نیست. اختلاف بین مقادیر بیشینه فشار استوانه در ۱۰۰٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ بار کامل نسبتاً زیاد است (حدود ۲ بار) ولی این مقدار نسبت به اختلاف بین مقادیر بیشینه فشار استوانه در ۲۵٪ با ۵۰٪ و ۷۵٪ بار کامل کمتر می‌باشد. علت آن رسیدن موتور به حد دود و در نتیجه احتراق ناقص در حالت بار کامل می‌باشد که باعث افت فشار استوانه می‌گردد و اختلاف نسبتاً زیاد بین مقادیر بیشینه فشار استوانه در ۲۵٪ کامل با مقادیر ۵۰٪ و ۷۵٪ بار کامل، به‌دلیل شرایط کار موتور در بار جزئی (۲۵٪ بار کامل) می‌باشد، چون در شرایط بار جزئی بیشینه فشار استوانه نسبت به سایر شرایط کاری موتور به مراتب ضعیف‌تر می‌باشد [۷].

### ۳-۵- تأثیر سوخت بیودیزل بر مصرف ویژه سوخت ترمزی

شکل ۴ تأثیر سوخت بیودیزل بر مصرف ویژه سوخت ترمزی در بارهای مختلف و سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه را نشان می‌دهد.

افزایش درصد سوخت بیودیزل، به دلیل چگالی بزرگتر و ارزش حرارتی کوچکتر آن نسبت به سوخت دیزل، از طرفی باعث افزایش چگالی مخلوط سوخت می‌شود و از طرف دیگر کاهش انرژی حرارتی آن می‌گردد. افزایش چگالی مخلوط سوخت موجب افزایش جرم مصرفی مخلوط سوخت می‌شود و افزایش ارزش حرارتی سوخت باعث افزایش انرژی آزاد شده و در نتیجه تولید توان بیشتر می‌شود [۱۱]. در مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور، چگالی سوخت اثر مستقیم و ارزش حرارتی سوخت اثر معکوس دارد. لذا در بارهای یکسان، مخلوط سوختی کمترین مصرف ویژه را خواهد داشت که هر دو شرایط کوچک بودن چگالی و بزرگ بودن ارزش حرارتی را داشته باشد (یعنی، یک حالت مطلوب بین سوخت دیزل و بیودیزل). بررسی نتایج محاسبات مصرف ویژه سوخت نشان می‌دهد که با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل، تا ۴۰٪ حجمی، مصرف ویژه سوخت کاهش و با افزایش بیشتر درصد بیودیزل در مخلوط، مصرف ویژه سوخت ترمزی افزایش می‌یابد. علت کاهش مصرف ویژه سوخت ترمزی با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت تا ۴۰٪ حجمی، کاهش مصرف سوخت در این محدوده می‌باشد. افزایش مصرف ویژه سوخت با افزایش بیشتر درصد بیودیزل در مخلوط سوخت (بالتر از ۴۰٪ حجمی) به دلیل افزایش مصرف سوخت (در توان ثابت) در محدوده فوق می‌باشد. مقایسه شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد، آهنگ مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت با افزایش بار، افزایش می‌یابد. روند تغییرات هر دو متغیر یاد شده مشابه هم می‌باشد. هر دو متغیر آهنگ مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت در مخلوط سوخت B40 مقدار کمینه را دارند، بنابراین مخلوط سوخت B40 هم از نظر آهنگ مصرف سوخت و هم از نظر مصرف ویژه سوخت مخلوط، سوخت بهینه می‌باشد و از نظر مصرف بهینه سوخت، استفاده از آن نسبت به سایر مخلوط‌های سوخت ارجحیت داشته و توصیه می‌گردد.



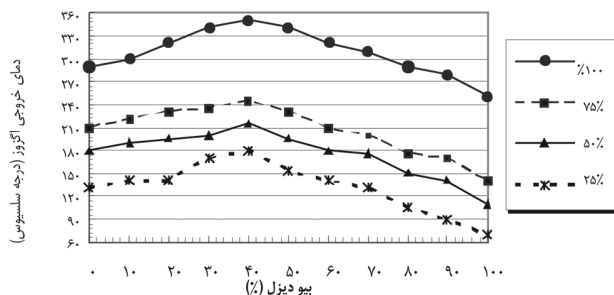
شکل ۵ تأثیر سوخت بیودیزل بر مصرف ویژه سوخت ترمزی در بارهای مختلف موتور و سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه

### ۳-۶- تأثیر سوخت بیودیزل بر آهنگ وزنی مصرف هوا

شکل ۷ مصرف هوای موتور، برای مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل در بارهای مختلف و سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه را نشان می‌دهد.

بررسی مقادیر آهنگ وزنی مصرف هوای موتور نشان می‌دهد که برای تمام مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل در بارهای مختلف لگام ترمز، آهنگ وزنی مصرف هوا ثابت می‌باشد. نوسانات جزئی در مصرف هوای موتور به دلیل تغییرات دمای آزمایشگاه در زمان‌های مختلف آزمایش و تأثیر آن بر جرم مخصوص هوا می‌باشد.

به‌طور کلی در تمامی موتورهای اشتعالی تراکمی، آهنگ مصرف هوا ثابت و آهنگ مصرف سوخت متغیر می‌باشد. چون در موتورهای دیزل در ابتدای چرخه موتور مقدار

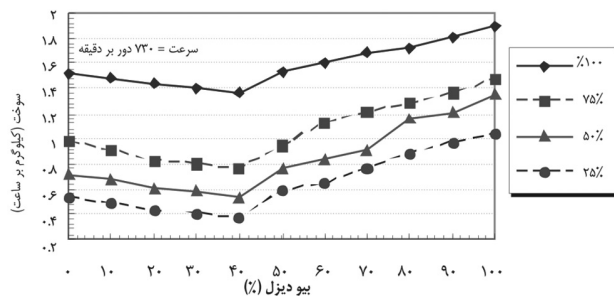


شکل ۴ تأثیر سوخت بیودیزل بر دمای خروجی گاز آگزوز در بارهای مختلف و سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه

### ۳-۴- تأثیر سوخت بیودیزل بر آهنگ مصرف سوخت

شکل ۵ تأثیر سوخت بیودیزل را بر آهنگ مصرف سوخت در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل نشان می‌دهد. بررسی نتایج محاسبه آهنگ مصرف سوخت در حالت‌های مختلف آزمایش نشان می‌دهد که برای تولید توان یکسان با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل، تا ۴۰٪، آهنگ مصرف سوخت کاهش می‌یابد، ولی با افزایش بیشتر درصد بیودیزل (بالتر از ۴۰٪) آهنگ مصرف سوخت افزایش می‌یابد. افزایش آهنگ مصرف سوخت در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل با درصد بیودیزل بیش از ۴۰٪، به دلیل ارزش حرارتی پائین و چگالی بزرگتر سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل می‌باشد.

علت کاهش آهنگ مصرف سوخت با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل، تا ۴۰٪، وجود حالت مطلوب از نظر گرانبوی و چگالی مخلوط سوخت بین سوخت دیزل و بیودیزل و بهبود شرایط احتراق می‌باشد [۱۱]. با افزایش بار، آهنگ مصرف سوخت موتور در همه مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل افزایش می‌یابد. روند نزولی مصرف سوخت از مخلوط سوخت B0 تا B40 و روند صعودی آن از مخلوط سوخت B40 تا B100 در تمام بارها مشابه هم می‌باشد. بنابراین مخلوط سوخت B40 در میان مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل مصرف سوخت کمینه را دارد و این مخلوط سوخت به عنوان مخلوط سوخت بهینه از نظر مصرف بهینه سوخت معرفی می‌شود. اختلاف بین مقادیر مصرف سوخت در ۱۰۰٪ بار نهایی با مقادیر آن در ۷۵٪ بار نهایی (حدود ۰.۵ kg/hr) می‌باشد. این مقدار در مقایسه با اختلاف بین مقادیر مصرف سوخت بین ۲۵ و ۵۰٪ بار نهایی (در حدود ۰.۲ kg/hr) و بین ۵۰ و ۷۵٪ بار نهایی (در حدود ۰.۳ kg/hr)، اختلاف نسبتاً زیادی می‌باشد. اختلاف زیاد بین مقادیر مصرف سوخت بین ۷۵ و ۱۰۰٪ بار نهایی به دلیل رسیدن موتور به حد دود و در نتیجه احتراق ناقص در حالت ۱۰۰٪ بار نهایی و افزایش بیشتر مصرف سوخت می‌باشد [۱۰].



شکل ۷ تأثیر بیودیزل بر مصرف سوخت موتور در بارهای مختلف و سرعت ثابت ۷۳۰ دور بر دقیقه

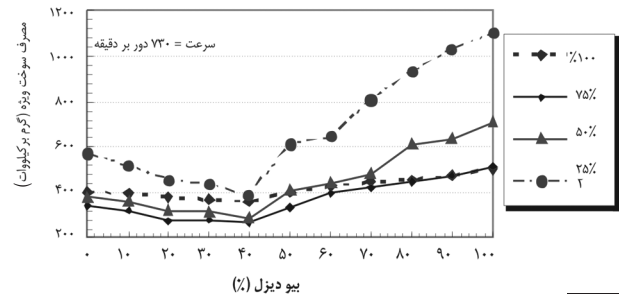


کاهش می‌یابد. روند تغییرات دمای گاز خروجی در بارهای مختلف مشابه هم می‌باشد. با افزایش بار، دمای گاز خروجی افزایش می‌یابد. توان ترمزی موتور در بار ثابت برای تمامی مخلوط‌های سوخت ثابت می‌باشد. علت ثابت بودن توان ترمزی در بار ثابت، تنظیم دور لگام ترمز با تغییر مقدار سوخت در دور ثابت (1750 rpm) می‌باشد. در صورتی که مقدار سوخت ثابت نگه داشته شود به دلیل اختلاف محتوای انرژی سوخت دیزل و بیودیزل و در نتیجه آن اختلاف محتوای انرژی تمامی مخلوط‌های مختلف سوخت توان ترمزی موتور برای مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل متفاوت خواهد بود. با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت تا 40٪ حجمی، مصرف سوخت روند نزولی داشته و با افزایش بیشتر درصد سوخت بیودیزل (بیش از 40٪) مصرف سوخت روند صعودی پیدا می‌کند. روند نزولی مصرف سوخت از مخلوط سوخت B0 تا B40 و روند صعودی آن از مخلوط سوخت B40 تا B100 در تمام بارها مشابه هم می‌باشد. بنابراین مخلوط سوخت B40 نسبت به سوخت دیزل و بیودیزل خالص و سایر مخلوط‌های سوخت دارای مصرف سوخت کمینه است و به عنوان مخلوط بهینه از نظر اقتصادی و مصرف بهینه سوخت توصیه می‌گردد. همچنین با افزایش بار لگام ترمز مصرف سوخت افزایش می‌یابد. با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت تا 40٪ حجمی، مصرف ویژه سوخت ترمزی روند نزولی دارد و با افزایش بیشتر درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت (40 تا 100٪ حجمی) مصرف ویژه سوخت ترمزی روند صعودی دارد. روند تغییرات مصرف ویژه سوخت ترمزی با درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت در تمام بارهای لگام ترمز مشابه هم می‌باشد. مخلوط سوخت B40 در تمامی بارهای لگام ترمز دارای مصرف ویژه سوخت ترمزی است، بنابراین از نظر اقتصادی و کاهش مصرف سوخت نسبت به سوخت دیزل و بیودیزل خالص و سایر مخلوط‌های سوخت ارجحیت داشته و استفاده از آن توصیه می‌شود. آهنگ وزنی مصرف هوا در بارهای مختلف لگام ترمز برای سوخت دیزل و بیودیزل خالص و تمامی مخلوط‌های سوخت ثابت می‌باشد و تغییرات جزئی آن به دلیل تغییرات دمای آزمایشگاه در زمان‌های مختلف انجام آزمایش‌ها و تأثیر آن بر جرم مخصوص هوا می‌باشد. با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت تا 40٪ حجمی، رقت مخلوط روند صعودی داشته و با افزایش بیشتر درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت (40 تا 100٪ حجمی) رقت مخلوط روند نزولی پیدا می‌کند. روند تغییرات رقت در تمام بارهای لگام ترمز مشابه هم می‌باشد. بنابراین مخلوط سوخت B40 دارای بیشینه رقت در بین سوخت دیزل و بیودیزل خالص و سایر مخلوط‌های سوخت می‌باشد.

#### ۵- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از کمک‌ها و مساعدت‌های مادی و معنوی شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت در پیشبرد این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

معنی هوا وارد استوانه شده و در زمان تزریق سوخت، هوای وارد شده در داخل استوانه محبوس است و هیچ‌گونه ارتباطی بین محفظه استوانه و خارج آن وجود ندارد، بنابراین مقدار مصرف هوا ثابت خواهد بود.

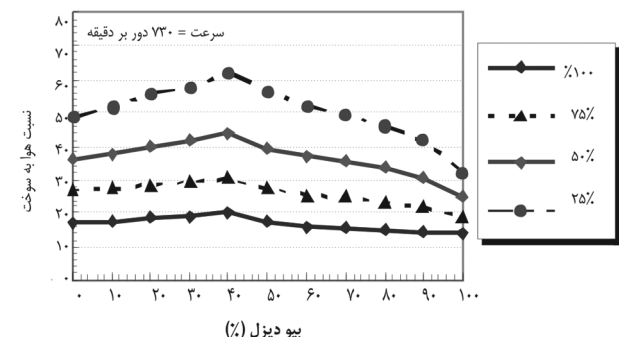


شکل ۷ مصرف هوای موتور برای مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل در بارهای مختلف و سرعت ثابت 730 دور بر دقیقه

#### ۳-۷- تأثیر سوخت بیودیزل بر رقت مخلوط (نسبت هوا به سوخت)

شکل (۸) تغییرات رقت در مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل، نسبت به درصد سوخت بیودیزل، در بارهای مختلف و سرعت ثابت 730 دور بر دقیقه نشان می‌دهد.

بررسی مقادیر محاسبه شده رقت برای مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل در بارهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت، تا 40٪، رقت مخلوط افزایش می‌یابد (مصرف سوخت کاهش می‌یابد) ولی با افزایش بیشتر درصد بیودیزل (بیش از 40٪) رقت کاهش می‌یابد (مصرف سوخت افزایش می‌یابد). همچنین با افزایش بار، رقت کاهش می‌یابد.



شکل ۸ تأثیر بیودیزل بر رقت مخلوط در بارهای مختلف موتور و سرعت ثابت 730 دور بر دقیقه

#### ۴- نتیجه گیری کلی

با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل تا 40٪، بیشینه فشار استوانه افزایش و با افزایش بیشتر درصد سوخت بیودیزل، 40 تا 100٪، بیشینه فشار استوانه کاهش می‌یابد. افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط سوخت، باعث انتقال منحنی تغییرات فشار به طرف کاهش درجه میل‌لنگ می‌شود (شیفت نیمه دوم منحنی‌ها به سمت چپ). این پدیده نشان می‌دهد که سوخت بیودیزل به دلیل داشتن عدد ستان بزرگتر دارای مهلت (تأخیر اشتعال) کمتری می‌باشد. با افزایش درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت، تا 40٪، دمای خروجی اگزوز افزایش یافته و با افزایش بیشتر درصد سوخت بیودیزل در مخلوط‌های سوخت، 40 تا 100٪، دمای خروجی اگزوز

### Reference:

- [1]. A. Demirbas, "Progress and Recent Trends in Biofuels," *Progress in Energy and Combustion Science*. 33, pp.1-18, 2006.
- [2]. B. Ghobadian, "A Parametric Study on Diesel Engine Noise," ph.D. Thesis. I.I.T. Roorkee. Roorkee. India, 1994.
- [3]. J.H. Van Gerpen, "Biodiesel Processing and Production," *Fuel Processing Technology*, 86, pp.1097-1107, 2005.
- [4]. www.biodiesel.org
- [5]. W.Korbitz, "Biodiesel Production in Europe and North America, an Encouraging Prospect," *Renewable Energy*. 16, pp. 1078-1083, 1999.
- [6]. A. Srivastava and R. Prasad, "Triglycerides Based Diesel Fuels," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 4, pp. 111-133, 2000.
- [7]. Y.Wang, S.Ou , P. Lin and Z. Zhang, "Preparation of Biodiesel From Waste Cooking Oil via Two-Step Eatalyzed Process," *Energy Conversion and Management*. 48, pp.184-188, 2002.
- [8]. W.Scholl Kyle and C.Sorenson Spencer, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," *Energy Conversion and Management*. 44, Issue 7, pp.1013-1025, 2002.
- [9]. V.Nagaraju, N. Henein, A. Quader, M. Wu and W. Bryzik, "Effect of Biodiesel (B-20) on Performance and Emissions in a Single Cylinder HSDI Diesel Engine," *SAE Paper 2008-01-1401*, 2008.
- [10]. M. Gumus and M. Atmaca, "Use of Hazelunt Kernel Oil Methyl Ester and Its Blends as Alternative Fuels in Diesel Engines," *Turkish J. Eng.Env. Sci.* 32, pp.133-141, 2008.
- [11]. S. Sundarapandian and G. Devaradjane, "Performance and Emission Analysis of Bio Diesel Operated CI Engine," *Engineering, Computing and Architecture*. 1, Issue 2, pp. 1-22, 2007.
- [12]. V. Edwin, G. Nagarajan, J. Kamala Kannan and B. Nalalingam, "Experimental Investigation To Study the Characteristics of Rubber- Seed-Oil- Fueled Diesel Engine Supplemented With Diethyl Ether," *Energy & Fuels*. 23, pp. 533, 2009.

Archive of SID