

# مطالعه تجربی تأثیر فشار پاشش سوخت بر عملکرد یک موتور دیزل با استفاده از مخلوط سوخت‌های بیودیزل و دیزل

برات قبادیان\*  
دانشیار - دانشگاه تربیت مدرس  
ghobadib@modares.ac.ir

رضا ابراهیمی  
دانشیار - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
rebrahimi@kntu.ac.ir

سجاد رستمی  
دانشجوی دکتری - دانشگاه تربیت مدرس  
rostami.sajad@yahoo.com

لطف الله سوادکوهی  
دانشیار - سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران  
dr\_savadkoochi@yahoo.com

\* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۹۰۰۴/۲۷ پذیرش نهایی مقاله: ۹۰۰۶/۳۰

## چکیده

بیودیزل، یک سوخت جایگزین برای استفاده در موتورهای دیزل است. با توجه به تفاوت‌های زیادی که بین سوخت بیودیزل و دیزل وجود دارد، برای عملکرد بهینه یک موتور با هر کدام از این سوخت‌ها یا مخلوط‌های مختلف آن‌ها، حتی الامکان باید بعضی از شرایط کاری موتور را تغییر داد. در این تحقیق، عملکرد یک موتور دیزل پاشش مستقیم با سوخت بیودیزل بررسی شده است. روش انجام تحقیق به این ترتیب است که آزمایش‌های مختلفی بر روی یک موتور دیزل با استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت‌های بیودیزل و دیزل در دوره‌های ۱۲۰۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه انجام شد. در جریان آزمایش‌ها، فشار پاشش سوخت به درون استوانه به میزان ۱۸۵، ۲۰۰ و ۲۱۵ بار تنظیم شد. نتایج گشتاور و مصرف ویژه سوخت ترمزی برای سوخت‌های B۲۰، B۴۰ و B۱۰۰ در شرایط مختلف دور موتور و فشار پاشش یادداشت و مقایسه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش فشار پاشش سوخت برای سوخت‌های B۲۰، B۴۰ و B۱۰۰ به ترتیب باعث افزایش گشتاوری معادل ۴/۹٪، ۶/۵٪ و ۸/۱٪ و کاهش بیشینه مصرف ویژه سوخت ترمزی معادل ۱۲٪، ۱۲/۶٪ و ۹/۲٪ می‌شود. همچنین، با افزایش فشار پاشش دمای گازهای خروجی از مجرای دود و بیشینه فشار درون استوانه موتور افزایش یافت.

کلید واژه‌ها: سوخت بیودیزل، موتور دیزل، فشار پاشش سوخت، عملکرد موتور

## ۱ - مقدمه

در سال‌های اخیر، سوخت‌های مختلفی به عنوان سوخت جایگزین سوخت دیزل در موتورهای دیزلی بررسی شده‌اند که از مهم‌ترین آن‌ها سوخت حاصل از ضایعات روغن‌های گیاهی است که به عنوان سوخت بیودیزل نامگذاری شده است [۱-۶]. تفاوت اساسی در ترکیب سوخت دیزل

و بیودیزل، محتوای اکسیژن آن است. میزان اکسیژن موجود در سوخت دیزل صفر است، در حالی که ۱۰ تا ۱۲ درصد سوخت بیودیزل را اکسیژن تشکیل می‌دهد. تحقیقات نشان می‌دهد که تأخیر اشتعال هیدروکربن‌ها، به محتوای اکسیژن آن‌ها بستگی دارد [۷]. بیودیزل سوخت جایگزین مناسبی برای موتور دیزل بوده و تمام مزایای این نوع موتورها را حفظ می‌کند. برای استفاده از این سوخت در موتورهای دیزل به‌جای سوخت دیزل، تغییر اساسی در موتور لازم نیست و فقط بسته به ارزش حرارتی و سایر مشخصه‌های سوخت، لازم است تنظیماتی بر روی زمان شروع و

فشار پاشش سوخت انجام شود [۲ و ۸-۱۰].

پاشش سوخت به درون استوانه استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش فشار پاشش، توان و گشتاور موتور کاهش می‌یابند [۱۷]. در تحقیق دیگری از روغن جوجوبا بصورت خالص و مخلوط پنجاه درصد با سوخت دیزل به عنوان سوخت در یک موتور دیزل پاشش مستقیم تک استوانه هوا خنک استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد برای همه سوخت‌ها با افزایش فشار پاشش، افزایش قابل ملاحظه‌ای در سرعت موتور بوجود می‌آید [۱۸]. در تحقیق دیگری که گوموس انجام داده است اثرات نسبت تراکم، فشار پاشش و زمان پاشش بر عملکرد یک موتور دیزل در دور ثابت موتور بررسی شد. نتایج نشان داد که جلو کشیدن زمان پاشش، افزایش نسبت تراکم و افزایش فشار پاشش باعث افزایش بازده گرمایی ترمزی می‌شود [۱۹]. تحقیق ناگارهای و ناندکار نیز نشان داد که بهترین فشار پاشش از نظر آلایندگی و عملکرد موتور همان فشار پاشش استاندارد موتور یعنی ۲۰۰ بار است [۲۰].

با بررسی‌های انجام شده در منابع مختلف که خلاصه‌ای از آن‌ها در بالا ارائه شده است، نتیجه‌گیری می‌شود که تاکنون تحقیقی در مورد عملکرد یک موتور دیزل با استفاده از متیل استر حاصل از روغن سویا در فشارهای پاشش سوخت متفاوت و در سرعت‌های مختلف موتور انجام نشده و در هیچ کدام، اثر فشار پاشش بر بیشینه گشتاور بررسی نشده است. در ضمن نتایج تحقیقات قبلی، روند مشابهی را برای اثر فشار پاشش سوخت بر عملکرد موتور نشان نمی‌دهند. در واقع نوع موتور و بیودیزل استفاده شده سهم تعیین‌کننده‌ای در نتایج تحقیقات داشته است. از این‌رو، در این تحقیق مطالعه تجربی در زمینه اثر فشار پاشش سوخت بر گشتاور و مصرف ویژه سوخت ترمزی در دوره‌های مختلف موتور بر روی یک موتور دیزل پاشش مستقیم (OM-314) با استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل انجام شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- بستر آزمون موتور مجهز به لگام ترمز

در این تحقیق آزمایش‌های مختلفی بر روی یک موتور دیزل با استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت‌های بیودیزل و دیزل انجام شد. برای تعیین اثرات فشار پاشش بر عملکرد موتور، در هنگام استفاده از نسبت‌های مختلف سوخت‌های بیودیزل و دیزل، فشار پاشش نسبت به حالت استاندارد موتور تغییر داده شد (جدول ۱). در حالت‌های مختلف یک دستگاه لگام ترمز گشتاور موتور را اندازه‌گیری می‌کرد. در این تحقیق، آزمایش‌ها بر روی موتور در شرایط بار کامل و هر کدام در سه تکرار

در یک مطالعه آزمایشگاهی اثر فشار پاشش سوخت بر عملکرد و انتشار آلودگی در یک موتور دیزل پاشش غیر مستقیم با سوخت دیزل بررسی شد. در این تحقیق، دور موتور در محدوده ۱۵۰۰-۴۵۰۰ دور بر دقیقه با فواصل ۵۰۰ و فشار پاشش در چهار سطح ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ بار مطالعه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد موتور در فشار ۱۵۰ بار بهینه است [۱۱]. در تحقیق آزمایشگاهی دیگری اثرات اعداد مختلف ستان سوخت و فشارهای پاشش (هر کدام در چهار سطح) بر آلودگی عملکرد موتور دیزل با سوخت دیزل بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با کاهش فشار به ۱۰۰ بار میزان دوده بطور چشمگیری افزایش یافت. انتشار  $SO_2$  و  $NO_x$  در فشار ۲۰۰ بار بهبود پیدا کرد [۱۲]. در یک مطالعه تجربی اثر فشار پاشش بر عملکرد و آلایندگی موتور دیزل با استفاده از سوخت بیودیزل بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش فشار پاشش مصرف ویژه سوخت افزایش و بازده حرارتی و میزان انتشار  $NO_x$  کاهش می‌یابند. با توجه به نتایج آزمایش‌ها فشار پاشش بهینه برای سوخت  $B_{20}$ ، ۱۵۷ بار به دست آمده است [۱۳]. اثر فشار پاشش سوخت بر نرخ آزادسازی حرارت و آلودگی در یک موتور دیزل با استفاده از محلول دیزل و پودر پوست پرتقال بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش فشاری در حدود ۲۰ بار باعث افزایش بازده گرمایی ترمزی در حدود ۱/۱ درصد می‌شود [۱۴]. در مطالعه آزمایشگاهی دیگری اثر فشار پاشش بر عملکرد، آلودگی و ویژگی‌های احتراق متیل استر روغن کتان با اسید چرب بالا در یک موتور دیزل مطالعه شد. نتایج نشان داد که در همه بارها و فشارهای پاشش، مصرف ویژه سوخت بیودیزل روغن کتان بالاتر از دیزل است. در وضع بار کامل افزایش فشار پاشش به اندازه ۲۰ بار تأثیری بر مصرف ویژه سوخت نداشت، ولی با افزایش فشار پاشش به اندازه ۴۰ بار مصرف ویژه سوخت کاهش و بازده حرارتی موتور افزایش یافت [۱۵]. در تحقیق دیگری بیودیزل حاصل از روغن جاتروفا به عنوان سوخت جایگزین در یک موتور دیزل با نسبت تراکم متغیر استفاده شد. در این تحقیق از نسبت تراکم‌های ۱۶، ۱۷، ۱۷/۵ و ۱۸ و فشار پاشش‌های ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۱۰ و ۲۵۰ بار استفاده شد. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد موتور از نظر بازده گرمایی ترمزی و مصرف ویژه سوخت در فشار پاشش زیادتر و نسبت تراکم بالاتر یعنی فشار پاشش ۲۵۰ بار و نسبت تراکم ۱۸ است [۱۶]. مطالعه‌ای نیز بر روی عملکرد و آلایندگی سوخت دیزل و بیودیزل حاصل از سویا و شلغم روغنی در فشارهای پاشش مختلف انجام شد. در طول آزمایش از سه فشار پاشش متفاوت ۲۵۰ (فشار استاندارد موتور)، ۳۰۰ و ۳۵۰ بار جهت

انجام شد.

ردیفی	سامانه پاشش سوخت
آبی	سامانه خنک کاری
2800rpm در 63kw	بیشینه توان
2000rpm در 235N.m	بیشینه گشتاور
۲۰۰ بار	فشار پاشش استاندارد
۱۵ درجه قبل از نقطه سکون بالا	زمان پاشش استاندارد

## ۲-۲- مشخصات موتور تحت آزمایش

موتور تحت آزمایش یک موتور چهاراستوانه دیزلی پاشش مستقیم (OM-314) است. مشخصات موتور در جدول (۲) ذکر شده است. این موتور مجهز به یک تلمبه ردیفی ساخت کارخانه بوش آلمان است. افزایش‌های سوخت استفاده شده در این موتور ساخت کشور برزیل می‌باشند. کارخانه سازنده فشار پاشش این افزایش‌های سوخت را در حالت استاندارد در حدود ۲۰۰ بار تنظیم کرده است.

جدول ۱ جدول آزمایش‌ها

ردیف	متغیر	سطوح			
		۱	۲	۳	۴
۱	نوع سوخت	B۰	B۲۰	B۴۰	B۱۰۰
۲	فشار پاشش (bar)	۱۸۵	۲۰۰	۲۱۵	-
۳	دور موتور	۱۲۰۰	۱۶۰۰	۲۰۰۰	۲۴۰۰

چون هدف این پژوهش تغییر فشار پاشش سوخت به درون محفظه احتراق و بررسی اثر آن بر عملکرد موتور است، لذا فشار پاشش افزایش‌های سوخت به کمک تعدادی واشر که پشت فنر افزایش سوخت قرار دارد، تغییر داده شد. برای این کار، افزایش‌های سوخت از روی موتور باز شده و به کمک دستگاه اندازه‌گیری فشار پاشش افزایش سوخت، فشار پاشش آن‌ها تنظیم و دوباره بر روی موتور نصب شدند. برای اندازه‌گیری فشار درون استوانه موتور از حسگر اندازه‌گیری فشار نمونه  $605^{\circ}\text{C}$  و برای اندازه‌گیری زاویه میل‌لنگ، از حسگر نمونه  $2614^{\circ}\text{A}$  ساخت شرکت کیسلر سوئیس استفاده شد. از یک ترموکوپل نیز برای اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی از مجرای دود استفاده شد.

لگام‌ترمز استفاده شده در این تحقیق یک لگام‌ترمز جریان گردابی ساخت شرکت شنک آلمان نمونه W۴۰۰ است. بستر آزمون موتور به همراه لگام‌ترمز در شکل (۱) نشان داده شده‌اند.

جدول ۲ مشخصات موتور دیزل تحت آزمایش

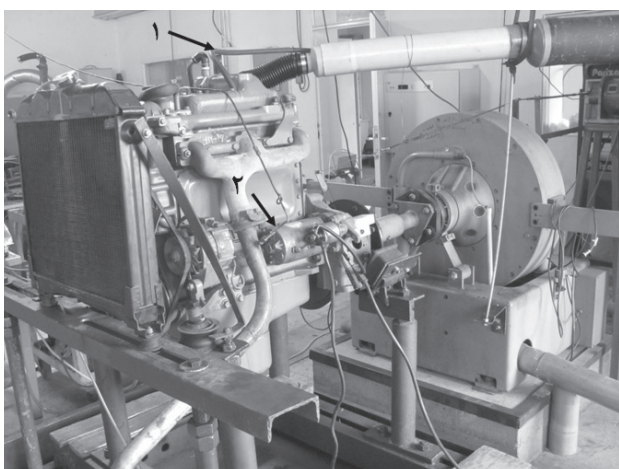
کارخانه سازنده	ایدم تبریز- ایران
نوع موتور	چهار استوانه پاشش مستقیم
حجم جابجایی	۳/۷۸۰ L
نسبت تراکم	۱۷:۱
قطر استوانه	۹۷mm

## ۲-۳- مشخصات اصلی سوخت بیودیزل

بیودیزل استفاده شده در این تحقیق متیل استر روغن گیاهی سویا است که در آزمایشگاه تولید بیودیزل دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تولید شد و سوخت دیزل استفاده شده، سوخت متداول در ایران (دیزل شماره ۲) می‌باشد. برخی از خواص مهم سوخت‌های دیزل و بیودیزل استفاده شده به همراه استانداردهای این سوخت‌ها و حدود مجاز در جدول (۳) آمده است.

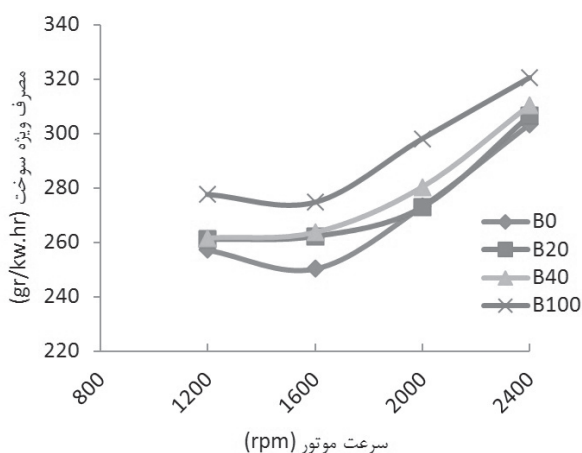
جدول ۳ برخی از خواص مهم سوخت‌های دیزل و بیودیزل استفاده شده در تحقیق

ویژگی	روش استاندارد آزمون	سوخت بیودیزل	سوخت دیزل	واحد
نقطه روشنایی	ASTM D-92	۱۷۶	۶۴	$^{\circ}\text{C}$
گرانروی جنبشی	ASTM D-445	۴/۷۳	۲/۸	$\text{mm}^2/\text{s}$
نقطه ابری شدن	ASTM D-2500	-۱	۲	$^{\circ}\text{C}$
نقطه ریزش	ASTM D-97	-۴	.	$^{\circ}\text{C}$
ارزش حرارتی پایین	-----	۳۸۷۳۰	۴۲۹۳۰	$\text{kJ/kg}$
خوردگی مس	ASTM D-130	la	la	-
گلیسیرین آزاد	ASTM D-6584	۰/۰۱۶	۰/۰۱	mass%
چگالی	----	۰/۸۸۰	۰/۸۴۵	$\text{g/cm}^3$



شکل ۱ بستر آزمون موتور مجهز به لگام‌ترمز جریان گردابی، (۱) سیم انتقال علامت فشار درون استوانه، (۲) ترموکوپل

## ۳- نتایج و بحث



شکل ۳ مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور برحسب سرعت موتور در فشار پاشش استاندارد به ازای مخلوط‌های مختلف دیزل و بیودیزل

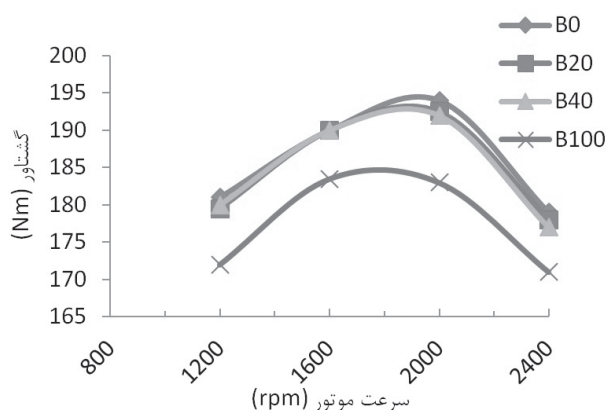
دلایل این مسئله، پایین‌تر بودن ارزش حرارتی سوخت بیودیزل نسبت به دیزل و در نتیجه ایجاد گشتاور ترمزی کمتر به ازای مقدار مصرف سوخت مساوی و بالاتر بودن چگالی سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل در هر بار پاشش سوخت به درون محفظه احتراق به لحاظ جرمی است. مقدار پاشش سوخت بیودیزل و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل نسبت به دیزل خالص بیشتر است. در ضمن پیوند مولکولی در بیودیزل نسبت به دیزل به مراتب قوی‌تر و نقطه روشنایی آن به مراتب بالاتر از سوخت دیزل است [۲۱]. همین امر باعث می‌شود تا سوخت دیزل نسبت به بیودیزل سریع‌تر محترق شده و در زمان معینی توان بیشتری تولید کند.

## ۳-۱- تأثیر فشار پاشش بر گشتاور موتور

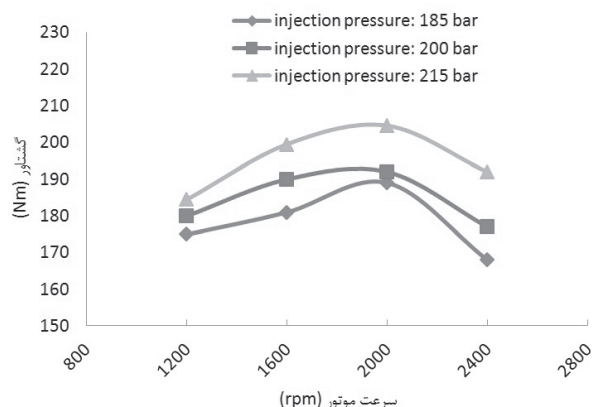
برای تعیین اثر فشار پاشش بر عملکرد موتور هنگام استفاده از سوخت‌های B۲۰، B۴۰ و B۱۰۰، گشتاور موتور در دورهای مختلف موتور و فشارهای پاشش سوخت مختلف برای هر کدام از سوخت‌ها به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایش‌ها در شکل‌های (۴ تا ۶) نشان داده شده است. در این شکل‌ها محور افقی نشان دهنده دور موتور، محور عمودی نشان‌دهنده گشتاور موتور و هر یک از نمودارها نیز نشان دهنده گشتاور موتور در مقابل دور موتور در یک فشار پاشش سوخت مشخص می‌باشند.

شکل ۴ گشتاور موتور در حالت استفاده از B۲۰ در فشارهای پاشش سوخت مختلف را نشان می‌دهد. گشتاور بیشینه در فشار پاشش ۲۰۰ بار در حالت استفاده از B۲۰ برابر با ۱۹۲/۵ نیوتن‌متر و در سرعت موتور ۲۰۰۰ rpm است. با افزایش فشار پاشش تا حد ۲۱۵ بار گشتاور بیشینه

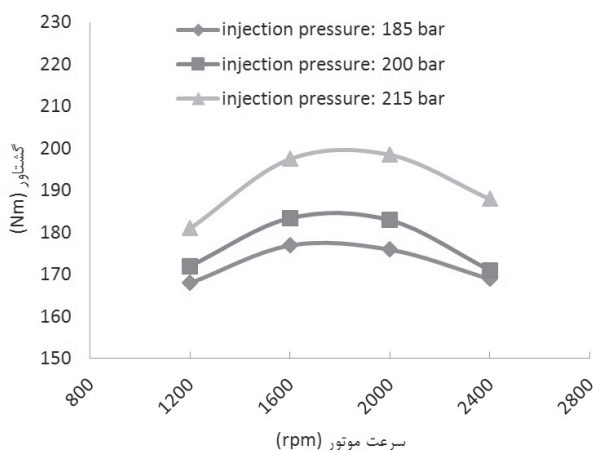
نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده بر روی موتور مورد نظر در شکل‌های (۲ تا ۱۵) آمده است. در شکل (۲) نتایج حاصل از گشتاور موتور در حالت تمام بار برای مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل و در چهار دور مختلف موتور نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، روند تغییر گشتاور نسبت به دور موتور برای همه مخلوط‌ها یکسان است. ارزش حرارتی بیودیزل نسبت به سوخت دیزل پایین‌تر است. به علت ارزش حرارتی پایین‌تر بیودیزل، با افزایش نسبت بیودیزل موجود در مخلوط سوخت ارزش حرارتی مخلوط کاهش می‌یابد. این امر باعث می‌شود تا گشتاور موتور در حالت استفاده از بیودیزل و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل کاهش یابد. شکل ۳ مصرف ویژه سوخت ترمزی برای سوخت‌های دیزل و بیودیزل و مخلوط آن‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، صرف‌نظر از نوع سوخت، با افزایش سرعت موتور مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور افزایش پیدا می‌کند. دلیل این امر افزایش تلفات اصطکاکی موتور در دورهای بالا است. پس با افزایش دور موتور و اصطکاک، برای ایجاد گشتاور ثابت باید سوخت بیشتری مصرف کرد. نکته قابل توجه دیگری که در این شکل وجود دارد، افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی با افزایش نسبت بیودیزل موجود در مخلوط سوخت است.



شکل ۲ گشتاور برحسب سرعت موتور برای مخلوط‌های مختلف سوخت‌های دیزل و بیودیزل



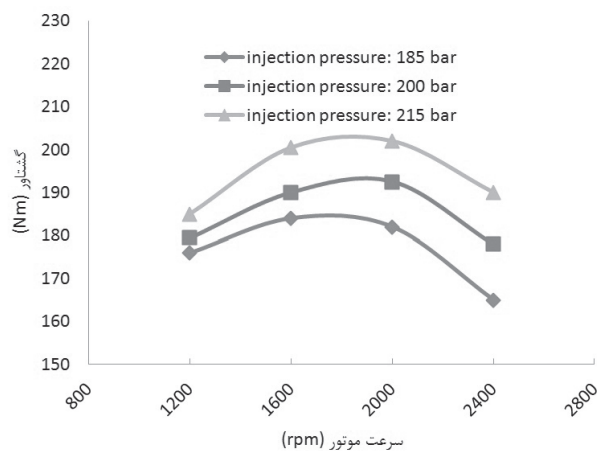
شکل ۵ گشتاور برحسب سرعت موتور برای سوخت B40 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش



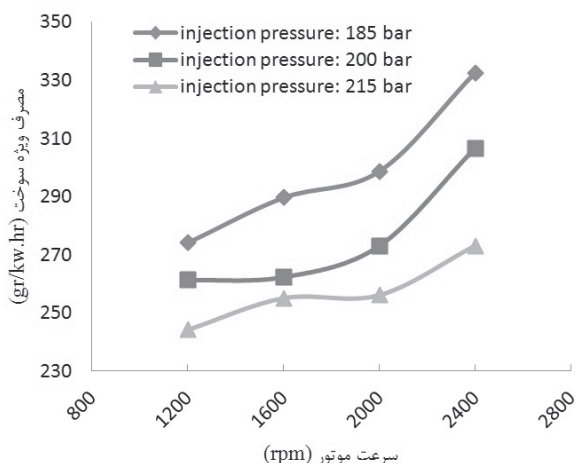
شکل ۶ گشتاور برحسب سرعت موتور برای سوخت B100 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش

می‌شود، هنگام استفاده از سوخت بیودیزل یا مخلوط‌های آن با سوخت دیزل، افزایش فشار پاشش منجر به افزایش گشتاور موتور می‌شود. چون در فشار پاشش استاندارد موتور یعنی فشار پاشش ۲۰۰ بار سوخت بیودیزل و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل به خوبی پودر نمی‌شوند، افزایش فشار پاشش سوخت به درون محفظه احتراق نسبت به حالت استاندارد، باعث بهبود پودر شدن مخلوط سوخت می‌شود. این امر باعث می‌شود که سوخت سریع‌تر تبخیر و با هوای درون محفظه احتراق مخلوط شده و احتراق بهتری در محفظه احتراق انجام شود. در فشار پاشش کمتر از فشار استاندارد، کیفیت پودر شدن سوخت پایین آمده و قطر ذرات سوخت بیشتر می‌شوند. این امر اختلاط سوخت با هوای درون محفظه احتراق را با مشکل مواجه کرده و میزان انرژی آزاد شده در اثر احتراق کمتر می‌شود. کاهش انرژی آزاد شده نیز باعث کاهش گشتاور موتور می‌شود. همان‌طور که در بالا ذکر شده است، در نسبت‌های بالاتر

به مقدار ۴/۹٪ افزایش و برابر با ۲۰۲ نیوتن‌متر شده است. گشتاور بیشینه در فشار پاشش ۱۸۵ بار کاهش در حدود ۴/۴٪ داشته و برابر با ۱۸۴ نیوتن‌متر است. گشتاور بیشینه در حالت استفاده از سوخت B40 در فشار پاشش ۲۰۰ بار که فشار پاشش استاندارد موتور است، برابر با ۱۹۲ نیوتن‌متر و در دور ۲۰۰۰ rpm است. در فشار پاشش زیادتر یعنی ۲۱۵ بار گشتاور بیشینه برابر با ۲۰۴/۵ نیوتن‌متر است. گشتاور بیشینه به میزان ۶/۵٪ افزایش یافته است. در فشار پاشش کمتر از فشار پاشش استاندارد موتور یعنی ۱۸۵ بار، گشتاور بیشینه کاهش در حدود ۱/۶٪ داشته و برابر با ۱۸۹ نیوتن‌متر در دور ۲۰۰۰ rpm است (شکل ۵). هنگام استفاده از بیودیزل خالص و در فشار پاشش استاندارد ۲۰۰ بار گشتاور بیشینه برابر ۱۸۳/۵ نیوتن‌متر و در دور ۱۶۰۰ rpm است. در فشار پاشش زیادتر یعنی ۲۱۵ بار، گشتاور بیشینه افزایشی معادل ۸/۱٪ داشته و برابر ۱۹۸/۵ نیوتن‌متر در دور شده است. با کاهش فشار پاشش تا حد ۱۸۵ بار گشتاور بیشینه کاهش در حدود ۳/۵٪ داشته و برابر با ۱۷۷ نیوتن‌متر و در دور ۱۶۰۰ rpm است (شکل ۶). همان‌طور که در شکل‌های (۴ تا ۶) مشاهده

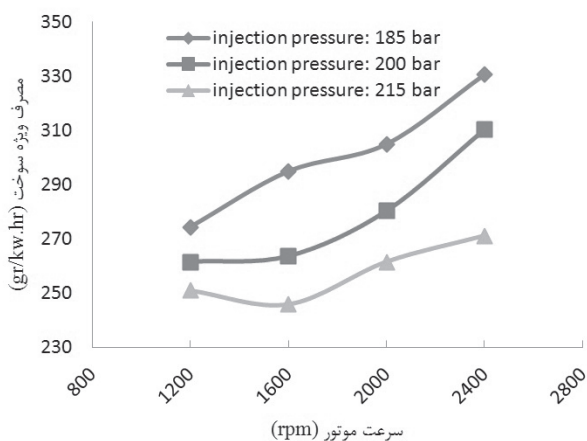


شکل ۷ گشتاور برحسب سرعت موتور برای سوخت B20 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش



شکل ۷ مصرف ویژه سوخت برحسب سرعت موتور برای سوخت B20 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش

در این حالت در فشار پاشش استاندارد، بیشینه مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور برابر با  $306/6$  گرم بر کیلووات ساعت است. با افزایش فشار پاشش سوخت به درون محفظه احتراق این میزان به  $273$  گرم بر کیلووات ساعت کاهش پیدا کرد (۱۲٪ کاهش). مصرف ویژه سوخت ترمزی در حالت استفاده از B40 در شکل (۸) نشان داده شده است. در این حالت در فشار پاشش استاندارد، بیشینه مصرف ویژه سوخت ترمزی معادل  $310/2$  گرم بر کیلووات ساعت اندازه‌گیری شد، که در فشار پاشش  $215$  بار با کاهشی معادل  $12/6$ ٪ به حدود  $271/1$  گرم بر کیلووات ساعت رسید.



شکل ۸ مصرف ویژه سوخت برحسب سرعت موتور برای سوخت B40 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش

در شکل (۹) مصرف ویژه سوخت ترمزی در دورهای مختلف موتور و فشار پاشش‌های مختلف در حالت استفاده از B100 نشان داده شده است. در این حالت در فشار پاشش  $200$  بار، بیشینه مصرف ویژه سوخت

بیودیزل یعنی B40 و B100 افزایش فشار نسبت به حالت استاندارد به میزان  $15$  بار گشتاور را افزایش داده است و مقدار آن بیشتر از میزان افزایش گشتاور در اثر افزایش فشار در حالت استفاده از B20 است. با افزایش نسبت بیودیزل موجود در مخلوط سوخت، گرانی سوخت هم افزایش می‌یابد و کیفیت پودرشدن سوخت کم‌تر می‌شود. بنابراین با افزایش میزان بیودیزل موجود در سوخت، میزان افزایش فشار پاشش سوخت به درون محفظه احتراق نسبت به حالت استاندارد هم باید بیشتر شود. در فشار پاشش کمتر از فشار استاندارد پودرشدن سوخت کاهش یافته و در نتیجه برای هر سه مخلوط سوخت، گشتاور کم‌تر می‌شود.

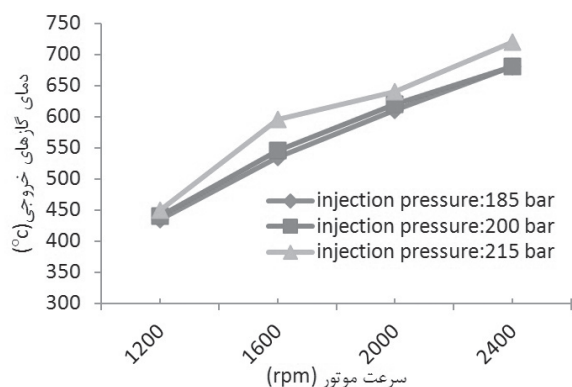
### ۳-۲- اثر فشار پاشش بر مصرف ویژه سوخت ترمزی

مصرف ویژه سوخت ترمزی نشان‌دهنده میزان سوخت مورد نیاز برای تولید یک کیلو وات توان در مدت یک ساعت کارکرد موتور است. برای تعیین اثر فشار پاشش بر مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور هنگام استفاده از سوخت‌های B20، B40 و B100، مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور در دورهای مختلف موتور و فشارهای پاشش سوخت مختلف برای هر کدام از سوخت‌ها به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایش‌ها در شکل‌های (۷ تا ۹) نشان داده شده است. در این شکل‌ها محور افقی نشان دهنده دور موتور، محور عمودی نشان‌دهنده مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور و هر یک از نمودارها نیز نشان‌دهنده مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور در مقابل دور موتور در یک فشار پاشش سوخت مشخص هستند.

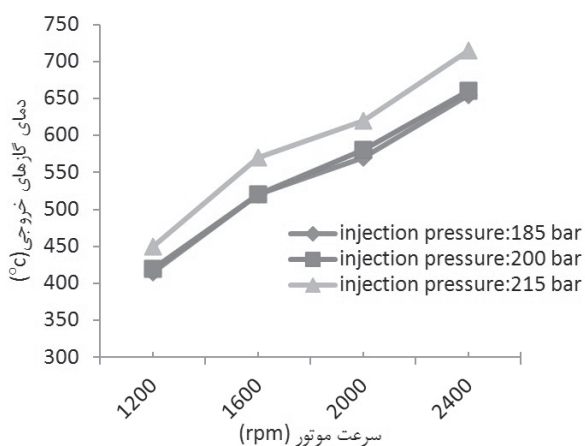
همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده شد، مصرف ویژه سوخت ترمزی در حالت استفاده از بیودیزل و مخلوط‌های آن به علت ارزش حرارتی کمتر و چگالی بیشتر و پیوند مولکولی قوی‌تر، نسبت به حالت استفاده از سوخت دیزل بالاتر است. در شکل (۷) اثر فشار پاشش بر میزان مصرف ویژه سوخت ترمزی در حالت استفاده از B20 نشان داده شده است.

### ۳-۳- اثر فشار پاشش بر دمای گازهای خروجی

دمای گازهای خروجی از مجرای دود در دورهای مختلف و در حالت استفاده از مخلوطهای مختلف سوخت‌های دیزل و بیودیزل در شکل‌های (۱۰ تا ۱۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش فشار پاشش، دمای گازهای خروجی مجرای دود افزایش می‌یابد. چون بهبود احتراق در اثر افزایش فشار پاشش سوخت است. با افزایش فشار پاشش، سوخت بهتر پودر شده و با هوای درون محفظه احتراق مخلوط می‌شود. در نتیجه احتراق کامل‌تری صورت گرفته و انرژی بیشتری آزاد می‌شود.

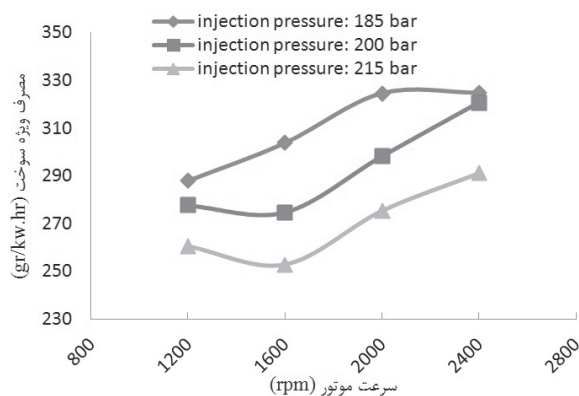


شکل ۱۰ دمای گازهای خروجی از مجرای دود برحسب سرعت موتور برای سوخت B۲۰ به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش

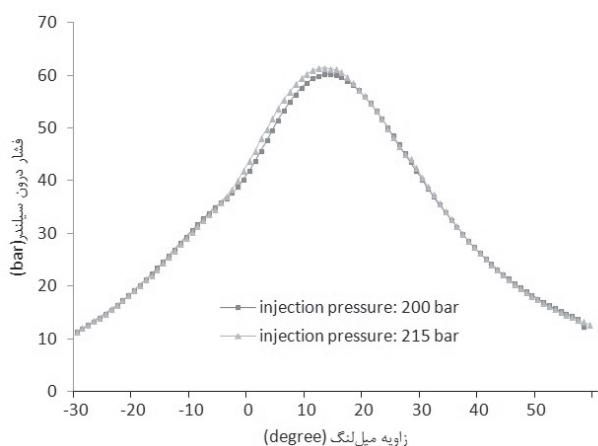


شکل ۱۱ دمای گازهای خروجی از مجرای دود برحسب سرعت موتور برای سوخت B۴۰ به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش

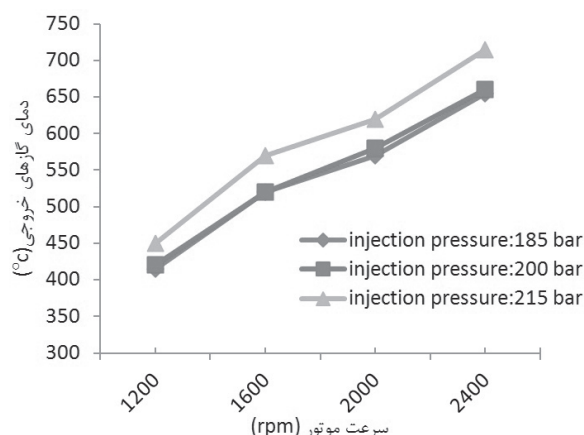
ترمزی موتور برابر با ۳۲۰/۵ گرم بر کیلووات ساعت است. با افزایش فشار پاشش سوخت به اندازه ۱۵ بار این میزان با ۹/۲٪ کاهش به ۲۹۱ گرم بر کیلووات ساعت کاهش پیدا کرد. با کاهش فشار پاشش سوخت، مصرف ویژه سوخت ترمزی نسبت به حالت فشار پاشش استاندارد برای بیودیزل و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل کمی افزایش می‌یابد. در فشار پاشش ۱۸۵ بار بیشینه مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور در حالت استفاده از B۲۰، B۴۰ و B۱۰۰ با کمی افزایش به ترتیب برابر با ۳۳۴، ۳۳۰/۶ و ۳۲۷/۱ گرم بر کیلووات ساعت است. همان‌طور که در شکل‌های (۷ تا ۹) مشاهده می‌شود، افزایش فشار پاشش باعث کاهش مصرف ویژه سوخت شده است. کاهش مصرف ویژه سوخت هنگام افزایش فشار به علت افزایش پودر شدگی سوخت و کاهش قطر متوسط قطره‌های سوخت و در نتیجه تبخیر سریع‌تر و اختلاط بهتر سوخت با هوای درون محفظه احتراق است. در این شرایط سوخت بهتر محترق شده و انرژی بیشتری طی فرآیند احتراق آزاد می‌شود و در نتیجه گشتاور ترمزی موتور افزایش می‌یابد. شایان ذکر است با افزایش فشار پاشش سوخت، نرخ سوخت پاشیده شده به درون استوانه به علت افزایش نشت سوخت از فضای بین بارل و پلانجر تلمبه سوخت در بعضی موارد تا حدودی کاهش می‌یابد. از نظر مصرف ویژه سوخت نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق پوهان و همکاران که در یک دور ثابت موتور انجام شد، متفاوت است. دلیل این امر می‌تواند نوع موتور و بیودیزل استفاده شده در تحقیق باشد [۱۵].



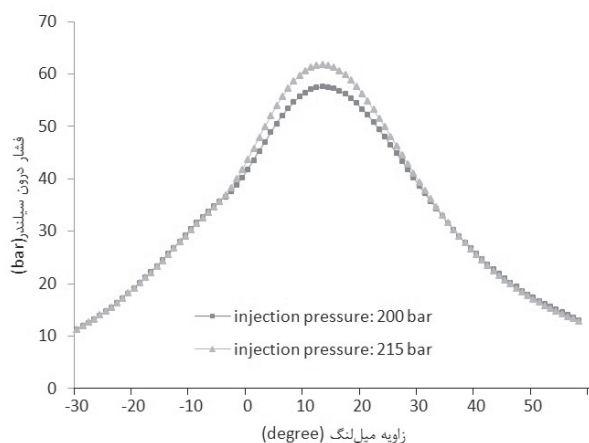
شکل ۹ مصرف ویژه سوخت برحسب سرعت موتور برای سوخت B۱۰۰ به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش



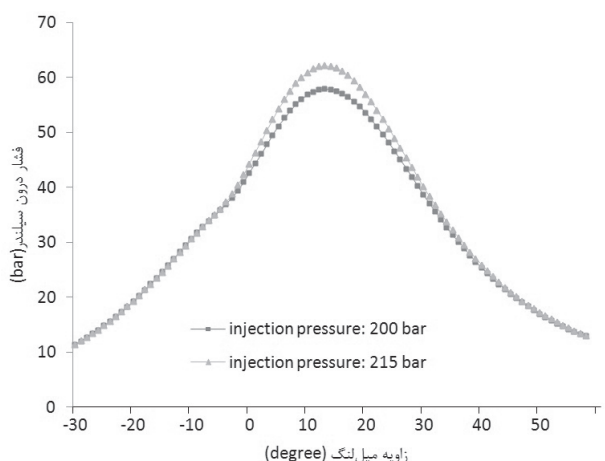
شکل ۱۳ فشار درون استوانه برحسب زاویه میل‌لنگ برای سوخت B۲۰ به ازای دو مقدار مختلف فشار پاشش



شکل ۱۲ دمای گازهای خروجی از مجرای دود برحسب سرعت موتور برای سوخت B۱۰۰ به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش



شکل ۱۴ فشار درون استوانه برحسب زاویه میل‌لنگ برای سوخت B۴۰ به ازای دو مقدار مختلف فشار پاشش



شکل ۱۵ فشار درون استوانه برحسب زاویه میل‌لنگ برای سوخت B۱۰۰ به ازای دو مقدار مختلف فشار پاشش

### ۳-۴- اثر افزایش فشار پاشش بر فشار درون استوانه

شکل‌های (۱۳ تا ۱۵) فشار درون استوانه برای مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل با سوخت دیزل در دور ۱۶۰۰ rpm را نشان می‌دهند. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که با افزایش فشار پاشش سوخت به درون استوانه، بیشینه فشار درون استوانه افزایش می‌یابد. در فشار پاشش استاندارد موتور یعنی ۲۰۰ بار، بیشینه فشار درون استوانه برای سوخت‌های B۲۰، B۴۰ و B۱۰۰ به ترتیب برابر ۱۷/۶۰، ۱۸/۵۸ و ۱۵/۵۷ بار اندازه‌گیری شد. با افزایش فشار پاشش سوخت به اندازه ۱۵ بار، بیشینه فشار درون استوانه برای سوخت‌های B۲۰، B۴۰ و B۱۰۰ به ترتیب برابر با ۱۷/۶۱، ۱۷/۶۱ و ۱۷/۶۱ بار اندازه‌گیری شد. دلیل افزایش فشار درون استوانه این است که با افزایش فشار پاشش سوخت به درون استوانه، سوخت بهتر پودر می‌شود. سوختی که به خوبی پودر شده سریع‌تر با هوای درون استوانه مخلوط شده و مخلوط مناسبی برای اشتعال فراهم می‌شود. در این حالت با شروع اشتعال انرژی بیشتری در جریان فرآیند احتراق آزاد می‌شود. این امر فشار درون استوانه را افزایش داده و در نتیجه عملکرد موتور را بهبود می‌دهد. نتایج این قسمت از تحقیق روند مشابهی با نتایج تحقیق گوموس دارد [۱۹]. از نظر تغییر بیشینه فشار درون استوانه در اثر فشار پاشش، در تحقیقی که پوهان و همکاران در دور ۱۵۰۰ rpm انجام داده‌اند، افزایش فشار پاشش به اندازه ۲۰ بار باعث کاهش بیشینه فشار درون استوانه شد [۱۵].

#### ۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر اثر فشار پاشش سوخت بر عملکرد یک موتور دیزل پاشش مستقیم در حالت استفاده از بیودیزل حاصل از روغن سویا (B۲۰، B۴۰ و B۱۰۰) بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که گشتاور موتور در حالت استفاده از سوخت بیودیزل و مخلوط‌های آن با سوخت دیزل نسبت به هنگامی که از دیزل خالص استفاده می‌شود کمتر و مصرف ویژه سوخت آن بیشتر است. برای سوخت‌های آزمایش شده، افزایش فشار پاشش گشتاور بیشینه، دمای گازهای خروجی از مجرای دود و بیشینه فشار درون استوانه را افزایش و مصرف ویژه سوخت ترمزی را کاهش می‌دهد.

#### ۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به خاطر در اختیار قرار دادن آزمایشگاه موتور، از مرکز تحقیقات بیوانرژی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به جهت تأمین بیودیزل و سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت به خاطر حمایت مالی تشکر می‌شود.

## References:

1. Abdul M. and Van Gerpen J. "The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions." *Bio-mass and Bioenergy* 20 (2001): 317–325.
2. Sapuan S.M., Masjuki H.H. and Azlan A. "The use of palm oil as diesel fuel substitute." *Proc Inst Mech Engrs Part A J Power Energy* 210 (1996): 47–53.
3. Dunn P.D. and Perera EDIH. "The effect of viscosity and other properties of vegetable oil fuels on spray characteristics." *Proceedings of the Second International Conference on Small Engines and their Fuels in Developing Countries, UK.* (1987).
4. Goettler H.L., Ziejewski M. and Knudson A.M. "Performance of a diesel engine operating on blends of diesel fuel and crude sunflower oil at normal and elevated fuel temperatures." Paper 852087, SAE (1985).
5. Borgelt S.C. and Harris P.D. "Endurance tests using soybean oil-diesel fuel mixture to fuel small precombustion chamber engines." *ASAE* (1982):364-373.
6. Demirbas A. "Progress and recent trends in biofuels." *Progress in Energy and Combustion Science* 33 (2006): 1-18.
7. Kadota, T., Hiroyasu H. and Oya H.; "Spontaneous Ignition delay of a Fuel Droplet in High Pressure High Temperature Gaseous Environments." *Bulletin of the JSME* 130, Paper 536.46, (1976):437-445.
8. Murillo S., Miguez J., Porteiro L. J., Granada E. and Moran, J.C. "Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines." *Fuel* 86 (2007): 1765–1771.
9. Ghobadian B., Rahimi H., Nikbakht A.M., Najafi G. and Yusaf T.F. "Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network." *Renewable Energy* 34 (2009): 976–982.
10. Graboski M. and McCormick R. "Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines." *Progress in Energy and Combustion Science* 24 (1999): 125–64.
11. Celikten I. "An experimental investigation of the effect of the injection pressure on engine performance and exhaust emission in indirect injection diesel engines." *Applied Thermal Engineering* 23 (2003): 2051–2060.
12. Icingur Y. and Altiparmak D. "Effect of fuel cetane number and injection pressure on a DI Diesel engine performance and emissions." *Energy Conversion and Management* 44 (2003): 389–397.
13. Sharma D., Soni S. L., Pathak S. C. and Gupta R. "Performance and Emission Characteristics of Direct Injection Diesel Engine using Neem-Diesel Blends." *IE (I) Journal. MC* 86 (2005):77-83.
14. Purushothaman K. and Nagarajan G. "Effect of injection pressure on heat release rate and emissions in CI engine using orange skin powder diesel solution." *Energy Conversion and Management* 50 (2009): 962–969.
15. Puhan S., Jegan R., Balasubbramanian K. and Nagarajan G. "Effect of injection pressure on performance, emission and combustion characteristics of high linolenic linseed oil methyl ester in a DI diesel engine." *Renewable Energy* 34 (2009): 1227–1233.
16. Leung D. Y. C., Luo Y. and Chan T. L. "Optimization of Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Biodiesel." *Energy & Fuels* 20 (2006): 1015-1023.
17. Celikten I., Koca A. and Arslan M. "An experimental investigation of the effect of the injection pressure on engine performance and exhaust emission in indirect injection diesel engines." *Renewable Energy* 35 (2010): 814-820.
18. Al-Widyan M. and Al-Muhtaseb M. "Experimental investigation of jojoba as a renewable energy source." *Energy Conversion and Management* 51 (2010): 1702-1707.
19. Gumus, M. "Evaluation of hazelnut kernel oil of turkish origin as alternative fuel in diesel engines." *Renewable Energy* 33 (2008): 2448-2457.
20. Nagarhalli M.V. and Nandedkar V.M., "Effect of injection pressure on emission and performance characteristics of Karanja biodiesel and its blends in C.I. Engine." *International Journal of Applied Engineering Research* 1(4) (2011): 786-792.
21. Canakci M., Ozsezen A., Arcaklioglu E., and Erdil A. "Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil." *Expert Systems with Applications* 36 (2009): 9268–9280.



# Experimental Investigation of Effect of Injection Pressure on Performance of a Diesel Engine Using Blends of Biodiesel and Diesel

**S. Rostami**  
PhD student  
Tarbiat Modares University  
rostami.sajad@yahoo.com

**B. Ghobadian\***  
Associate Professor  
Tarbiat Modares University  
ghobadib@modares.ac.ir

**L. Savadkouhi**  
Associate Professor  
Iranian Research Organization for  
Science & Technology (Irost) Tehran - Iran  
dr-savadkoochi@yahoo.com

**R. Ebrahimi**  
Associate Professor  
K. N. Toosi University of Technology  
rebrahimi@kntu.ac.ir

---

\*Corresponding Authors

Received: Jul. 18, 2011

Accepted in Revised Form: Sep. 21, 2011

## Abstract

Biodiesel is an alternative fuel for diesel engine. Considering the differences between diesel and biodiesel fuels, engine condition should be modified based on the fuel or fuel blends to achieve optimum performance. In this study, performance of a diesel engine using biodiesel was investigated. Different experiments were carried out on a diesel engine using different blends of diesel and biodiesel fuels choosing speeds of 1200, 1600, 2000, and 2400 rpm. During experiments, the fuel injection pressure into cylinder was regulated on 185, 200 and 215 bar. The results of torque and brake specific fuel consumption for fuel blends of B20, B40, and B100 in different engine speeds and injection pressures were recorded and compared. The results of this research work showed that increasing fuel injection pressure for fuel blends of B20, B40, and B100 increased torque about 4.9%, 6.5% and 8.1% respectively and decreased maximum brake specific fuel consumption about 12%, 12.6% and 9.2% respectively. Also, the exhaust gas temperature and peak pressure of cylinder were increased by increasing the injection pressure.

**Keywords:** Biodiesel Fuel, Diesel Engine, Injection Pressure, Engine Performance