

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

سجاد رستمی ۱، لطف الله سوادکوهی ۲، برات قبادیان ۳* و رضا ابراهیمی ۴

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

چکیده

بیودیزل، یک سوخت جایگزین برای استفاده در موتورهای دیزل است. با توجه به تفاوت‌های مختلفی که بین سوخت بیودیزل و دیزل وجود دارد، برای عملکرد بهینه یک موتور با هر کدام از این سوخت‌ها یا مخلوط‌های مختلف آن‌ها حتی‌الامکان 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 بوده است که آزمایش‌های مختلفی بر روی یک موتور دیزل با استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت‌های بیودیزل و دیزل در دورهای ۱۲۰۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه انجام شد. در جریان آزمایش‌ها، فشار پاشش سوخت به درون سیلندر به میزان ۱۸۵، ۲۰۰ و ۲۱۵ بار تنظیم شد. نتایج گشتاور و مصرف ویژه سوخت ترمزی برای سوخت‌های B20، B40 و B100 در شرایط مختلف دور موتور و فشار پاشش یادداشت گردیده و مقایسه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش فشار پاشش سوخت برای سوخت‌های B20، B40 و B100 به ترتیب باعث افزایش گشتاوری معادل ۹/۴٪، 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 سیلندر موتور افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: 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 روغن‌های گیاهی است که به عنوان سوخت بیودیزل نامگذاری شده است [۱-۶]. مهمترین تفاوت اساسی در ترکیبات سوخت دیزل و بیودیزل، محتوای اکسیژن آن است. میزان اکسیژن موجود در سوخت دیزل صفر است در حالی که بیودیزل حاوی ۱۰ تا ۱۲ درصد وزنی اکسیژن می‌باشد. تحقیقات پیشین 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 بجای 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].

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

۳- دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس

۴- دانشیار، دانشگاه خواجه نصیر طوسی

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 (هرکدام در چهار سطح) بر آلودگی و 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 آلاینده‌های 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 B20، 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 بود. در وضع بار کامل افزایش فشار پاشش به اندازه ۲۰ بار تاثیری 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 می‌باشد [۱۶]. مطالعه‌ای نیز بر روی عملکرد و آلاینده‌های 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، ۳۵۰ بار جهت پاشش سوخت به درون سیلندر 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 سیلندر 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 ناگراهالی و ناندکار نیز نشان داد که بهترین فشار پاشش از نظر آلاینده‌ها و عملکرد موتور همان فشار پاشش استاندارد موتور یعنی ۲۰۰ بار می‌باشد [۲۰].

با بررسی‌های صورت گرفته 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 نگرفته و در هیچ‌کدام، اثر فشار پاشش بر حداکثر گشتاور بررسی نشده است. در ضمن نتایج تحقیقات پیشین روند مشابهی را برای اثر فشار پاشش سوخت بر عملکرد موتور نشان نمی‌دهند. در واقع نوع موتور و بیودیزل استفاده شده سهم تعیین کننده‌ای در نتایج تحقیقات انجام گرفته داشته است. از این‌رو، در این تحقیق مطالعه تجربی در زمینه اثر فشار پاشش سوخت بر گشتاور و مصرف ویژه سوخت ترمزی در دورهای 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 دینامومتر

در این تحقیق آزمایش‌های مختلفی بر روی یک موتور دیزل با استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت‌های بیودیزل و دیزل انجام گرفت. به منظور 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 دینامومتر گشتاور موتور را اندازه‌گیری می‌کرد. در این تحقیق، آزمایش‌ها بر روی موتور در شرایط بار کامل و هر کدام در سه تکرار انجام شد.

۲-۲- مشخصات موتور تحت آزمایش

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

جدول ۱- جدول آزمایش‌ها

متغیر	سطوح				ردیف
	۴	۳	۲	۱	
نوع سوخت	B100	B40	B20	B0	۱
فشار پاشش (bar)	-	۲۱۵	۲۰۰	۱۸۵	۲
دور موتور	۲۴۰۰	۲۰۰۰	۱۶۰۰	۱۲۰۰	۳

جدول ۲- مشخصات موتور دیزل تحت آزمایش

کارخانه سازنده	ایدم تیریز- ایران
نوع موتور	چهار استوانه پاشش مستقیم
حجم جابجایی	۳/ ۷۸۰ L
نسبت تراکم	۱۷:۱
قطر استوانه	۹۷ mm
سامانه پاشش سوخت	ردیفی
سامانه خنک‌کاری	آبی
حداکثر توان	۶۳ kw در ۲۸۰۰rpm
حداکثر گشتاور	۲۳۵ N.m در ۲۰۰۰rpm
فشار پاشش موتور پایه	۲۰۰ بار
زمان پاشش موتور پایه	۱۵ درجه قبل از نقطه سکون بالا

چون هدف این پژوهش تغییر فشار پاشش سوخت به درون محفظه احتراق و بررسی اثر آن بر عملکرد موتور می‌باشد، لذا فشار پاشش افشانه‌های سوخت به کمک تعدادی واشر که پشت فنر افشانه سوخت قرار دارد، تغییر داده شد. به این منظور، افشانه‌های سوخت از روی موتور باز شده و به کمک دستگاه اندازه‌گیری فشار پاشش افشانه سوخت، فشار پاشش آن‌ها تنظیم و دوباره بر روی موتور نصب می‌شدند. به منظور اندازه‌گیری فشار درون سیلندر موتور از حسگر اندازه‌گیری فشار مدل

6053C و به منظور اندازه‌گیری زاویه میل‌لنگ، از حسگر مدل 2614A ساخت شرکت کیسلر سوئیس استفاده شد. از یک ترموکوپل نیز به منظور اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی از مجرای دود استفاده شد. دینامومتر استفاده شده در این تحقیق یک دینامومتر جریان گردابی ساخت شرکت شنک آلمان مدل W400 می‌باشد. بستر آزمون موتور به همراه دینامومتر در شکل (۱) نشان داده شده‌اند.

۳-۲- 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) ارائه شده است.

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

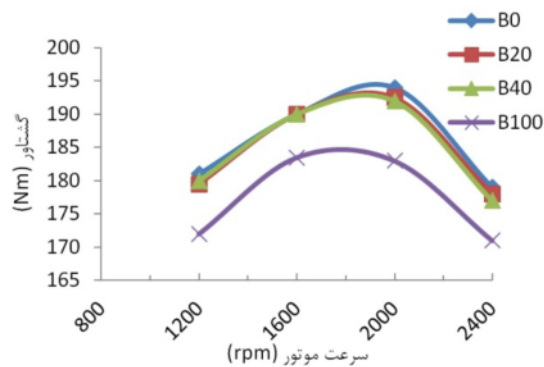
ویژگی	روش استاندارد آزمون	سوخت بیودیزل	سوخت دیزل	واحد
نقطه روشنایی	ASTM D-92	۱۷۶	۶۴	°C
گرانروی سینماتیک	ASTM D-445	۴/۷۳	۲/۸	mm ² /s
نقطه ابری شدن	ASTM D-2500	-۱	۲	°C
نقطه ریزش	ASTM D-97	-۴	۰	°C
ارزش حرارتی پایین	----	۳۸۷۳۰	۴۲۹۳۰	kJ/kg
خوردگی مس	ASTM D-130	la	la	-
گلیسرین آزاد	ASTM D-6584	۰/۰۱۶	۰/۰۱	%mass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



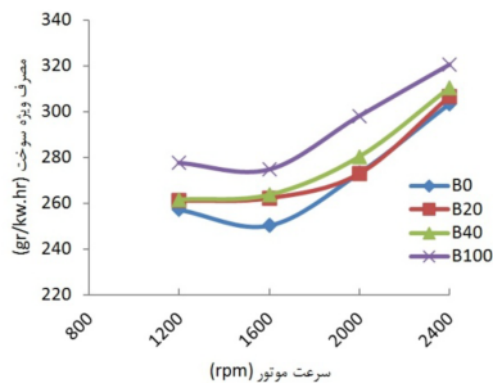
شکل ۱- بستر آزمون موتور مجهز به دینامومتر، (۱) سیم انتقال سیگنال فشار درون سیلندر، (۲) ترموکوپل

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده بر روی موتور تحت آزمایش در شکل‌های (۲ تا ۱۵) نشان داده شده 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 می‌باشد. در واقع با افزایش دور موتور و در نتیجه افزایش اصطکاک برای ایجاد گشتاور ثابت باید سوخت بیشتری مصرف کرد. نکته قابل توجه دیگری که در این شکل وجود دارد، افزایش مصرف ویژه سوخت و ویژه ترمزی با افزایش نسبت بیودیزل موجود در مخلوط سوخت می‌باشد.



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



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

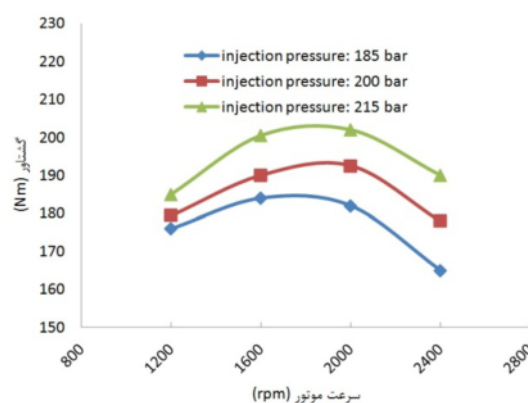
علت این امر اولاً پایین‌تر بودن ارزش حرارتی سوخت بیودیزل نسبت به دیزل و در نتیجه ایجاد گشتاور ترمزی کمتر به ازای مقدار مصرف سوخت مساوی است و ثانیاً به علت بالاتر بودن چگالی سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل در هر بار پاشش سوخت به درون محفظه احتراق به لحاظ جرمی، مقدار پاشش سوخت بیودیزل و مخلوط‌های آن با 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

بالتر از سوخت دیزل می‌باشد [۲۱]. همین امر باعث می‌شود تا سوخت دیزل نسبت به بیودیزل سریع‌تر محترق شده و در زمان معینی توان بیشتری تولید کند.

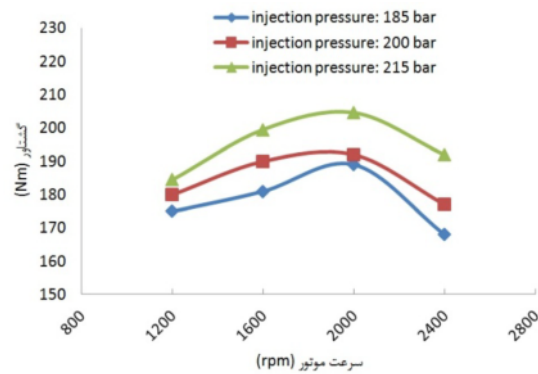
۳-۱- تاثیر فشار پاشش بر گشتاور موتور

به منظور تعیین اثر فشار پاشش بر عملکرد موتور هنگام استفاده از سوخت‌های B20، B40 و B100، 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 بیانگر گشتاور موتور و هر یک از نمودارها نیز نشان دهنده گشتاور موتور در مقابل دور موتور در یک فشار پاشش سوخت مشخص می‌باشند.

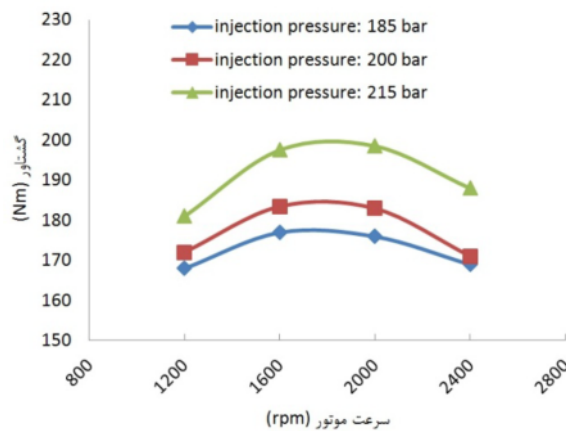
شکل ۴ گشتاور موتور در حالت استفاده از B20 در فشارهای پاشش سوخت مختلف را نشان می‌دهد. گشتاور بیشینه در فشار پاشش ۲۰۰ بار در حالت استفاده از B20 برابر با ۱۹۲/۵ نیوتن‌متر و در سرعت موتور ۲۰۰۰ rpm می‌باشد. با افزایش فشار پاشش تا حد ۲۱۵ بار گشتاور بیشینه به مقدار ۴/۹٪ افزایش و برابر با ۲۰۲ نیوتن‌متر شده است. گشتاور بیشینه در فشار پاشش ۱۸۵ بار کاهشی در حدود ۴/۴٪ داشته و برابر با ۱۸۴ نیوتن‌متر می‌باشد. گشتاور بیشینه در حالت استفاده از سوخت B40 در فشار پاشش ۲۰۰ بار که فشار پاشش استاندارد موتور می‌باشد، برابر با ۱۹۲ نیوتن‌متر و در دور ۲۰۰۰ rpm می‌باشد. در فشار پاشش زیادتر یعنی ۲۱۵ بار گشتاور بیشینه برابر با ۲۰۴/۵ نیوتن‌متر می‌باشد. گشتاور بیشینه به میزان ۶/۵٪ افزایش یافته است. در فشار پاشش کمتر از فشار پاشش استاندارد موتور یعنی ۱۸۵ بار، گشتاور بیشینه کاهشی در حدود ۱/۶٪ داشته و برابر با ۱۸۹ نیوتن‌متر در دور ۲۰۰۰ rpm می‌باشد (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 کاهشی در حدود ۳/۵٪ داشته و برابر با ۱۷۷ نیوتن‌متر و در دور ۱۶۰۰ rpm می‌باشد (شکل ۶). همانطور که در شکل‌های (۴ تا ۶) مشاهده می‌شود، هنگام استفاده از سوخت بیودیزل یا مخلوط‌های آن با سوخت دیزل، افزایش فشار پاشش به افزایش گشتاور موتور می‌انجامد. دلیل این امر این است که 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 شده و با هوای درون محفظه احتراق مخلوط شده و احتراق بهتری در محفظه احتراق انجام شود.



شکل ۴- گشتاور بر حسب سرعت موتور برای سوخت B20 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش



شکل ۵- گشتاور بر حسب سرعت موتور برای سوخت B40 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش



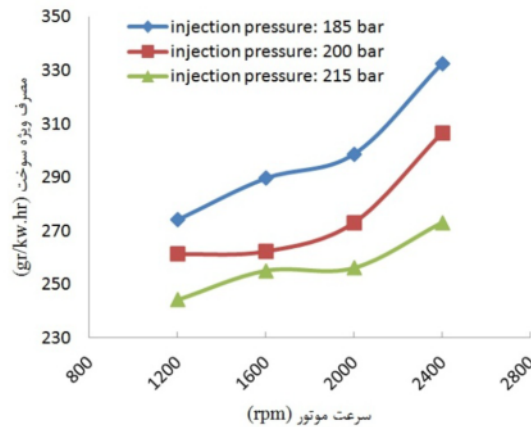
شکل ۶: گشتاور بر حسب سرعت موتور برای سوخت B100 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش

در فشار پاشش کمتر از فشار استاندارد، کیفیت پودر شدن سوخت پایین آمده و قطر ذرات سوخت افزایش می‌یابند. این امر اختلاط سوخت با هوای درون محفظه احتراق را با مشکل مواجه کرده و میزان انرژی آزاد شده در اثر احتراق کاهش می‌یابد. کاهش انرژی آزاد شده نیز باعث کاهش گشتاور موتور می‌شود. همان‌طور که در بالا ذکر شده است، در نسبت‌های بالاتر بیودیزل یعنی B40 و B100 افزایش فشار نسبت به حالت استاندارد به میزان ۱۵ 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 پودر شدن سوخت کاهش پیدا می‌کند. لذا به نظر می‌رسد 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 پودر شدن سوخت کاهش یافته و در نتیجه برای هر سه مخلوط سوخت گشتاور کاهش می‌یابد.

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

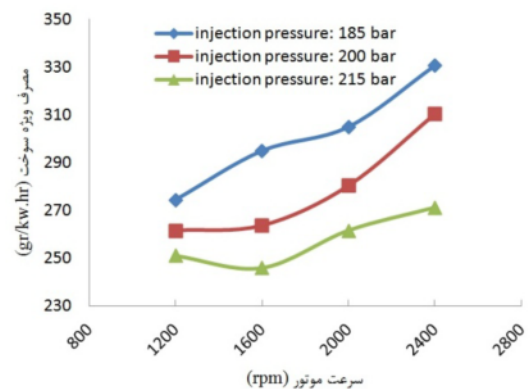
مصرف ویژه سوخت ترمزی بیانگر میزان سوخت مورد نیاز برای تولید یک کیلو وات توان در مدت یک ساعت کارکرد موتور می‌باشد. به منظور تعیین اثر فشار پاشش بر مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور هنگام استفاده از سوخت‌های B20، B40 و B100، مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور در دوره‌های مختلف موتور و فشارهای پاشش سوخت مختلف برای هر 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 بیانگر مصرف ویژه مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور و هر یک از نمودارها نیز نشان دهنده مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور در مقابل دور موتور در یک فشار پاشش سوخت مشخص می‌باشند. بطور کلی 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.



شکل ۷- مصرف ویژه سوخت بر حسب سرعت موتور برای سوخت B20 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش

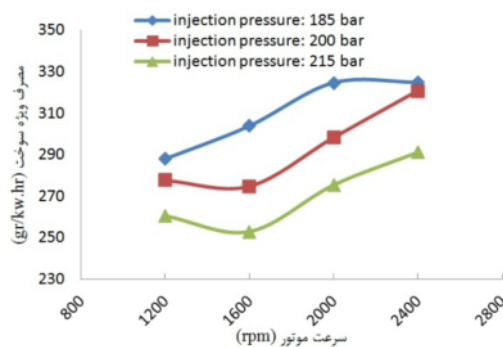
در این حالت در فشار پاشش استاندارد، بیشینه مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور برابر با $306/6$ گرم بر کیلووات ساعت بود. با افزایش فشار پاشش سوخت به درون محفظه احتراق این میزان به 273 گرم بر کیلووات ساعت کاهش پیدا کرد (۱۲٪ کاهش). مصرف ویژه سوخت ترمزی در حالت استفاده از B40 در شکل (۸) نشان داده شده است. در این 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 بر حسب 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 ترمزی موتور برابر با $320/5$ گرم بر کیلووات ساعت بود. با افزایش فشار پاشش سوخت به اندازه 15 بار این میزان با $9/2$ ٪ کاهش به 291 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 185 بار بیشینه مصرف ویژه سوخت ترمزی

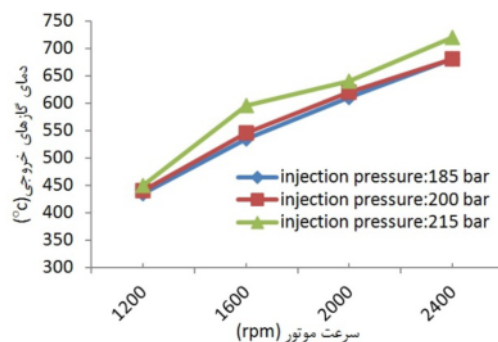
موتور در حالت استفاده از B20، B40، و B100 با کمی افزایش به ترتیب برابر با ۳۳۴، ۳۳۰/۶ و ۳۲۷/۱ گرم بر کیلووات ساعت می‌باشد. همانطور که در شکل‌های (۷ تا ۹) مشاهده می‌شود، افزایش فشار پاشش باعث کاهش مصرف ویژه سوخت شده است. کاهش مصرف ویژه سوخت هنگام افزایش فشار به علت افزایش پودر شدگی سوخت و کاهش قطر متوسط قطره‌های سوخت و در نتیجه تبخیر سریع‌تر و اختلاط بهتر سوخت با هوای درون محفظه احتراق می‌باشد. در این شرایط سوخت بهتر محترق شده و انرژی بیشتری طی فرآیند احتراق آزاد می‌شود و در نتیجه گشتاور ترمزی موتور افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که با افزایش فشار پاشش سوخت، نرخ سوخت پاشیده شده به درون سیلندر به علت افزایش نشت سوخت از فضای بین بارل و پلانجر پمپ افشانه 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 گرفت، متفاوت است. دلیل این امر می‌تواند نوع موتور و بیودیزل استفاده شده در تحقیق باشد [۱۵].



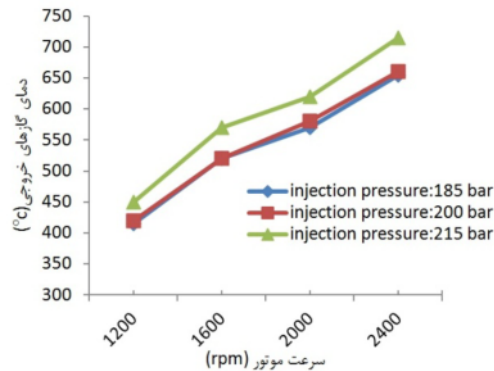
شکل ۹- مصرف ویژه سوخت بر حسب سرعت موتور برای سوخت B100 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش

۳-۳- اثر فشار پاشش بر دمای گازهای خروجی

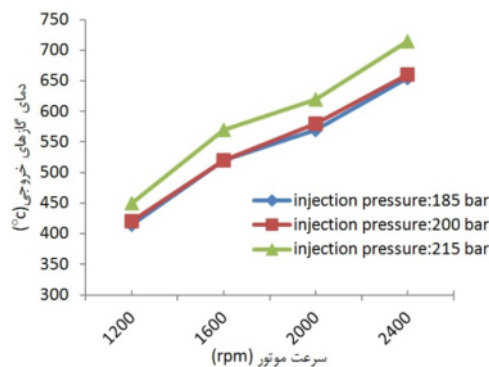
دمای گازهای خروجی از مجرای دود در دورهای مختلف و در حالت استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت‌های دیزل و بیودیزل در شکل‌های (۱۰ تا ۱۲) نشان داده شده است. همان‌طور که از نمودارهای موجود در این شکل‌ها قابل مشاهده است، با افزایش فشار پاشش، دمای گازهای خروجی مجرای دود افزایش یافته است. دلیل این امر بهبود احتراق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



شکل ۱۰- دمای گازهای خروجی از مجرای دود بر حسب سرعت موتور برای سوخت B20 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش



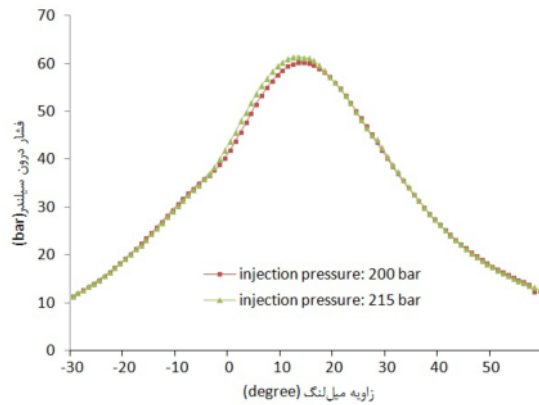
شکل ۱۱- دمای گازهای خروجی از مجرای دود بر حسب سرعت موتور برای سوخت B40 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش



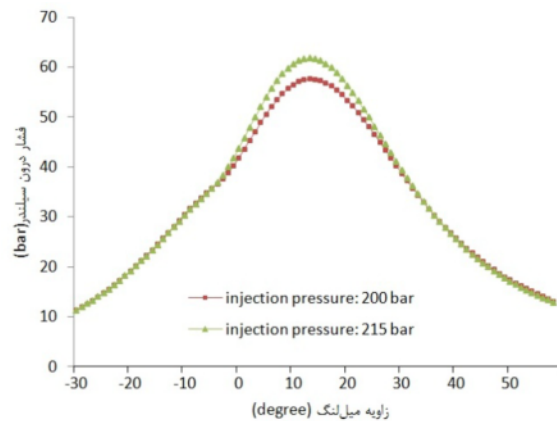
شکل ۱۲- دمای گازهای خروجی از مجرای دود بر حسب سرعت موتور برای سوخت B100 به ازای مقادیر مختلف فشار پاشش

۳-۴- اثر افزایش فشار پاشش بر فشار درون سیلندر

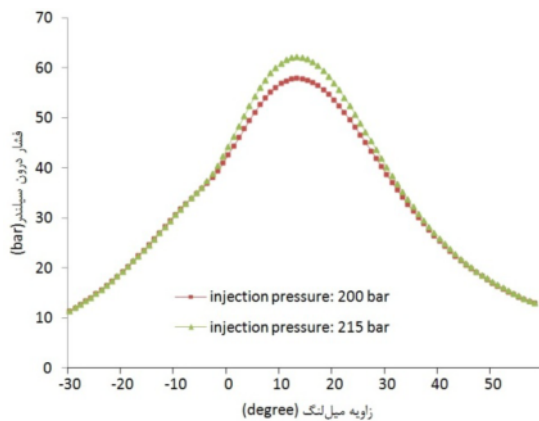
شکل‌های (۱۳ تا ۱۵) فشار درون سیلندر برای مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل با سوخت دیزل در دور ۱۶۰۰ rpm را نشان می‌دهند. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که با افزایش فشار پاشش سوخت به درون سیلندر بیشینه فشار درون سیلندر افزایش می‌یابد. در فشار پاشش استاندارد موتور یعنی ۲۰۰ بار، بیشینه فشار درون سیلندر برای سوخت‌های B20، B40 و B100 به ترتیب برابر ۶۰/۱۷، ۵۸/۱ و ۵۷/۸۵ بار اندازه‌گیری شد. با افزایش فشار پاشش سوخت به اندازه ۱۵ بار، بیشینه فشار درون سیلندر برای سوخت‌های B20، B40 و B100 به ترتیب برابر با ۶۱/۳۲، ۶۱/۷ و ۶۱/۷ بار اندازه‌گیری شد. دلیل افزایش فشار درون سیلندر این است که با افزایش فشار پاشش سوخت به درون سیلندر، سوخت بهتر پودر می‌شود. سوختی که به خوبی پودر شده سریع‌تر با هوای درون سیلندر 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 سیلندر 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 سیلندر 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 سیلندر شد [۱۵].



شکل ۱۳- فشار درون سیلندر برحسب زاویه میل لنگ برای سوخت B20 به ازای دو مقدار مختلف فشار پاشش



شکل ۱۴- فشار درون سیلندر برحسب زاویه میل لنگ برای سوخت B40 به ازای دو مقدار مختلف فشار پاشش



شکل ۱۵- فشار درون سیلندر برحسب زاویه میل لنگ برای سوخت B100 به ازای دو مقدار مختلف فشار پاشش

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 (B20، B40، و B100) 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 می‌باشد. برای سوخت‌های آزمایش شده افزایش فشار پاشش گشتاور بیشینه، دمای گازهای خروجی از مجرای دود و بیشینه فشار درون سیلندر را افزایش و مصرف ویژه سوخت ترمزی را کاهش می‌دهد.

مراجع

1. Abdul M. and Van Gerpen J. "The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions." *Biomass 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., Balasubramanian 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.