



بررسی خواص سوخت بیودیزل تولیدی از روغن‌های باطله صنایع غذایی و اثرات آن بر پارامترهای عملکرد موتور دیزل چهارزمانه

احمدرضا رئیسی نافچی - گروه مهندسی مکانیک، گروه مکانیک خودرو - دانشگاه آزاد واحد بروجن

E-mail: raisinafchi@alumni.iut.ac.ir

چکیده: در این تحقیق خواصی از سوخت بیودیزل منتج شده از روغن‌های باطله صنایع غذایی که مرتبط با فرایند تزریق و احتراق در موتور بوده (مانند زمان شروع تزریق، مدت زمان تزریق، اوج فشار تزریق، زمان پخش موج فشار، نرخ متوسط تزریق، ویسکوزیته، تراکم پذیری، عدد ستان ...) مورد بررسی و مقایسه با سوخت دیزل با پایه نفت (گازوئیل معمول) قرار گرفت. سپس اثر این عوامل بر پارامترهای عملکرد موتور (مانند گشتاور، توان، تاخیر در اشتعال خودبخود، نمودار تغییرات فشار داخل سیلندر، آزاد سازی گرما، اوج فشار احتراقی، بازده دمایی...) مورد تحلیل واقع شدند. بررسی‌ها نشان دادند که میزان سوخت ارسالی توسط پمپ انژکتور با سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه در حالت بیودیزل در حدود ۴ تا ۵ درصد کاهش می‌یابد. حال آنکه با افزایش سرعت پمپ (۹۰۰ دور بر دقیقه) میزان سوخت ارسالی توسط پمپ انژکتور در حالت بیودیزل افزایش می‌یابد. مدت تزریق از ۱۷/۳ درجه (سوخت دیزل) به ۱۹ درجه در حالت بیودیزل افزایش می‌یابد. به علت نرخ تزریق کمتر و مدت زمان تزریق طولانی‌تر فشارهای احتراقی کاهش یافت. کاهش زمان پخش موج فشار سوخت و تاخیر خودبخودی بیودیزل در موتور موجب شروع سریعتر احتراق و نرخ کمتر آزادسازی گرما شد. کاهش نرخ آزاد سازی گرما و ارسال سوخت در حالت تمام بار موجب کاهش توان و گشتاور موتور شد. در حالی که افزایش حجم اکسیژن و عدد ستان و کاهش زمان تاخیر اشتعال خودبخود منجر به افزایش بازده دمایی موتور شدند.

واژه‌های کلیدی: روغن صنایع غذایی، بیودیزل، سیستم تزریق، موتور دیزل

Characteristics Analysis of Biodiesel from waste oils and its Effects on a 4 stroke Diesel Engine Performance

A. R. Raisi Nafchi, Department of Vehicle Mechanics Engineering, Islamic Azad University of Boroujen

Abstract: In this article, the results of a research concerning the use of a biodiesel type fuel in D.I. Diesel engine; the fuel injection system and the engine were tested. The results indicated that the injection characteristics are affected when a blend containing 50 % methyl ester and 50 % petro diesel is used as fuel (injection duration, pressure wave propagation time, average injection rate, peak injection pressure). As a result, the engine characteristics are also affected, the use of the biodiesel blend leading to lower output power and torque; the lower auto ignition delay and pressure wave propagation time led to changes of the cylinder pressure and heat release traces and to lower peak combustion pressures.

Keywords: Biodiesel, waste oil, injection system, Diesel engine.

۱- مقدمه

باگرمایش ساده و تصفیه کردن ذرات جامد، می‌توان روغن مناسب برای فرایند ترانس استریفیکیشن تولید نمود [4,5]. معایب عملکردی مهم بیودیزل در مقایسه با دیزل نفت (شبه مسئله استارت سرد، حجم انرژی کمتر، پمپ کردن سخت تر سوخت به واسطه و سکوزیته بالاتر) باعث شد که از مخلوط‌های بیودیزل و دیزل به منظور سوخت‌رسانی در موتورهای اشتعال تراکمی، استفاده شود [3]. محققان دریافته‌اند که یک قسمت ۲ تا ۵ درصد متیل استر در سوخت دیزل در عملکرد موتور و بازده آن اثری نداشته هیچ تغییری در ساختمان سیستم‌های سوخت-رسانی موتور را شامل نمی‌شود [6]. اگرچه خصوصیات تزریق سوخت، اثر معناداری بر عملکرد موتور و آلایندگی دارند [7,8]، با این حال تحقیقات کمتری به معرفی و بررسی پارامترهای اصلی تزریق، و ارتباط آنها با مشخصات موتور دیزل، (وقتی که از مخلوط روغن‌های آشپزی باطله بیودیزل و دیزل نفتی به عنوان سوخت استفاده می‌شود) پرداخته‌اند. بوتلو و همکاران، عملکرد یک موتور دیزل تزریق مستقیم که با روغن سرخ‌کردنی باطله سوخت رسانی شده بود را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها متوجه کاهش گشتاور موتور، کاهش توان خروجی و افزایش مصرف سوخت ویژه شدند و فقط یک نظریه حاشیه‌ای در باره اتمیزه کردن پاشش سوخت، ارائه دادند [9]. لین و همکاران روغن بیودیزل ۲۰٪، ۵۰٪ و ۸۰٪ با دیزل نفت را در یک موتور دیزل ۴ سیلندر با محفظه پیش احتراقی، به منظور ارزیابی پارامترهای احتراق، مورد آزمایش قرار دادند و نشان دادند که مخلوط‌های B100 و B80 مقادیر بزرگتری HC، PM، و Nox تولید می‌کنند. آنها نتیجه گرفتند که مخلوط‌های B20 و B50، بهینه می‌باشند [10]. الویدیان عنوان کرد در موتورهایی که از استرهای روغن‌های گیاهی باطله به منظور سوخت رسانی موتور استفاده می‌شوند. دبی جرمی سوخت بزرگتر و نشت داخلی کمتر پمپ انژکتور مشاهده می‌شود [5]. ازسزن و همکاران عملکرد سیستم تزریق سوخت را وقتی که با

منابع سوخت‌های فسیلی دنیا، محدود بوده و توقع می‌رود که به زودی پایان یابد به این دلیل سوخت‌های جدید شبیه اتانول، هیدروژن و بیودیزل به عنوان یک سوخت جایگزین مناسب برای سوخت‌های مشتق شده از نفت، در نظر گرفته می‌شوند [1]. روغن‌های گیاهی و چربیهای حیوانی منابع بی‌پایان و تجدید پذیر انرژی می‌باشند و میزان انرژی ذخیره شده در این سوخت‌ها نزدیک به سوخت دیزل می‌باشد. به واسطه خصوصیات فیزیکی نامرغوبشان (مانند ویسکوزیته بالا) این سوخت‌ها بصورت خام برای استفاده در موتورهای دیزل، مناسب نمی‌باشند. بوسیله فرآیند ترانس استریفیکیشن خواص اینگونه از سوخت‌ها بهبود یافته و در نهایت، این فرآیند منجر به تولید متیل الکلها و متیل استرها می‌شود. بواسطه بیانیه EC (۲۰۰۳/۳۰) انجمن و پارلمان اروپا لغت بیودیزل برای متیل استر تولید شده از هر روغن حیوانی یا گیاهی، استفاده می‌شود [2]. انجمن آزمایشات و مواد امریکا (ASTM) بیودیزل را تحت عنوان مونوالکیل استرهای اسیدهای چرب دراز که از فیداستوک لیپید تجدید پذیر مشتق میشوند، تعریف می‌کنند (شبه روغنهای گیاهی یا چربی حیوانات) [3]. روغنهای آشپزی که برای سرخ کردن غذا استفاده می‌شوند، عمر کوتاهی در تولید غذا بواسطه آلودگی شان با مواد غذایی و تشکیل اسیدهای چرب دارند. روغن‌های آشپزی باطله می‌توانند به عنوان فرآورده فرعی صنایع غذایی در نظر گرفته شوند و در نتیجه استفاده از روغن آشپزی باطله بجای روغن دست نخورده به منظور تولید بیودیزل، یک روش موثر برای کاهش هزینه مواد خام (مواد اولیه) و کمک به حل مشکل دفع روغن‌های باطله صنایع غذایی نمود این روغن‌های گیاهی محتوی مقداری مواد خارجی و زاید می‌باشند با این حال تحلیل‌های انجام شده بر روی روغن‌های گیاهی مستعمل مشخص نمود که تفاوت‌های میان چربیهای مستعمل و دست نخورده زیاد نیستند و در اغلب حالات

باطله به کمک روش بکارگیری کاتالیزور، استفاده شد. بعضی از خواص فیزیکی مورد نیاز متیل استرها در جدول (۱) نشان داده شده است.

۲- آزمایشات

مطالعات در دو مرحله انجام شدند مرحله اول شامل آزمایش تجهیزات تزریق، و مرحله دوم مربوط به آزمایشهای عملکردی موتور می‌باشد.

۲-۱- آزمایش تجهیزات تزریق

تجهیزات تزریق آزمایش شده بر روی موتور دیزل تزریق مستقیم D-110 استفاده شدند. عبارتند از تجهیزات تزریق بر روی تست ریگ MIRHOT مجارستان با استفاده از یک سنسور نرخ تزریق بوش و اسیلوسکوپ مدل IN101 آزمایش شدند (شکل ۱). آزمایشات در سرعت‌های مختلف پمپ ۹۰۰،۷۰۰،۵۰۰ دوربر دقیقه و جابجاییهای میل- کنترل پمپ تزریق (۷ تا ۱ میلی‌متر از موقعیت stop) انجام شدند. خصوصیات تزریق سوخت از قبیل میزان ارسال سوخت در هر چرخه، مدت تزریق، زمان پخش موج فشار، نرخ متوسط تزریق (به عنوان نسبتی میان ارسال سوخت چرخه‌ای و مدت تزریق) ارزیابی شدند.

۲-۲- آزمایشهای موتور

آزمایشات در حالت تمام بار بر روی یک موتور دیزل ۴ سلیندر، تزریق مستقیم، آب‌خنک مدل D11 با پمپ انژکتور ردیفی مدل (PES4A90D410RS2240-RO)، انژکتورهای مدل (KBL103S15-RO) و نازل‌های مدل (DLLA-RO-150S720) که در فشار ۷/۱۷ مگاپاسکال شروع به تزریق می‌کنند، انجام شدند. نسبت تراکم موتور ۱۷ و تزریق سوخت در ۸ درجه قبل از نقطه مرگ بالا انجام می‌شود. موتور بر روی یک میز آزمایش مجهز به ترمز آبی با وسایل کمکی مورد لزوم نصب

استرهای روغن‌های باطله سوخت‌رسانی شود، بر اساس زمانبندی شروع تزریق (SOI) مورد ارزیابی قرار دادند و متوجه شدند که متیل استرها موجب آوانس در تزریق، بواسطه ویسکوزیته و تراکم‌پذیری بزرگترشان می‌شوند. محققان این پدیده را با شروع زودتر احتراق که در حین آزمایشهای موتور ثبت شده بود، مربوط کردند. آنها همچنین متوجه کاهش اندک تاخیر اشتعال شده و آن را به عدد ستان بزرگتر سوخت‌های بیودیزل، ارتباط دادند [11]. یامان و همکاران خصوصیات فیزیکی سوخت بیودیزل را در تزریق، (فشار تزریق، نرخ تزریق) و مشخصات پاشش مورد تحقیق قرار دادند. آنها از یک مدل کامپیوتری برای شبیه‌سازی سیستم تزریق استفاده کرده و متوجه یک شروع زودتر تزریق، (درحالی که از بیودیزل استفاده می‌کردند) شدند و نفوذ پاشش کوچکتر که برای بیودیزل ثبت شده بود آلاینده‌های موتور را تحت تاثیر قرار داد [13]. این تحلیل آشکارا مشخص می‌سازد که بیشتر تحقیقات علمی بر روی شاخص‌ها و توان موتور، متمرکز می‌شود. در حالی که تعداد کمی از مشخصات تزریق مورد تحقیق واقع شده و با نتایج تجربی آزمایشهای موتور مرتبط شده‌اند بنابراین تصمیم گرفتیم که یک مطالعه‌ای را به منظور جمع‌آوری داده‌های آزمایشی مرتبط با فرایندهای تزریق سوخت و فرایندهای کارکردی موتور آغاز کرده و از نتایج این آزمایش برای ایجاد وابستگی بین مشخصات تزریق و عملکرد موتور استفاده کنیم. در این مطالعه، مخلوط‌ها شامل مقادیر بزرگی از بیودیزل (۵۰٪) می‌باشند که به منظور سوخت‌رسانی یک موتور دیزل تزریق مستقیم استفاده شدند. از روغن گیاهی باطله به منظور تولید متیل استرها استفاده شد سرانجام تصمیم گرفتیم که سوخت بیودیزل حاصل را بر روی یک موتور دیزل مورد بررسی قرار دهیم. خصوصیات تزریق سیستم سوخت‌رسانی و تاثیرات آن بر عملکرد موتور، مورد تحقیق واقع شدند. برای تولید متیل استر از روغن آشپزی

شد. و در شرایط تمام بار مورد استفاده قرار گرفت. به منظور ترسیم فشار سیلندر، از یک حسگر فشار (kiestler) آب خنک و یک حسگر برای تعیین زاویه چرخش میل لنگ استفاده شد. با استفاده از نمودار فشار سیلندر (شکل ۲)، ماکزیمم فشار احتراق، نرخ رها سازی گرما مطابق با مدل ارائه شده در [15] و تاخیر خودبخودی اشتعال محاسبه شدند. تاخیر خودبخودی اشتعال به عنوان فاصله زمانی بین شروع تزریق و شروع احتراق تعریف می شود. فشار موثر میانگین ترمزی (bmeP) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [7,8].

$$p_e = \frac{30,000 \cdot \tau \cdot P_e}{V_h \cdot n \cdot i} \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

که در این رابطه (τ) تعداد کورس های یک سیکل موتور، (P_e) توان ترمزی موتور (kW)، (n) حجم جابجایی موتور (cm^3)، (n) دور موتور (rev/min)، (i) تعداد سیلندرهای موتور می باشد. مقادیر مصرف سوخت ویژه بر طبق مقادیر تعیین شده مصرف سوخت در یک ساعت در هر آزمایش محاسبه شدند.

۲-۳- تحلیل خطاها

خطا در آزمایشات می تواند از انتخاب وسیله، شرایط کالیبراسیون، محیط و مشاهدات ایجاد شوند. تحلیل خطا برای محاسبه دقت آزمایشات مورد نیاز می باشد. این تحلیل با استفاده از روش هولمن [17] انجام شد. درصد عدم قطعیت کل آزمایشات شامل عدم قطعیت تجهیزات تست تزریق و تجهیزات تست موتور می باشند که با استفاده از جدول ۲ عبارتند از:

$$\text{عدم قطعیت تجهیزات تست تزریق} \quad (2)$$

$$\sqrt{0.1^2 + 2 \cdot 0.2^2 + 1.5^2 + 1^2 + 0.5^2 + 1} = \pm 1.9\%$$

$$\text{تجهیزات تست موتور} \quad (3)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تجهیزات تزریق

نتایج مربوط به میزان ارسال سوخت در شکل (۳a,b) ارائه شده است. در سرعت های پایین پمپ (۵۰۰ دور بر دقیقه، شکل ۳a) میزان ارسال سوخت در هر سیکل برای دیزل ۴ تا ۵ درصد بزرگتر از بیودیزل می باشد. با افزایش سرعت پمپ (۹۰۰ دور بر دقیقه) ارسال سوخت دیزل در هر سیکل نسبت به بیودیزل افت می کند (شکل ۳b). نتایج مربوط به مدت تزریق در شکل (۴a,b) بیان می شود. واضح است که استفاده از بیودیزل منجر به طولانی شدن زمان تزریق می شود و با معنی ترین نتایج برای پمپ با سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه ثبت شدند (شکل ۴). زمانی را که موج فشار نیاز دارد تا از پمپ به نازل برسد (زمان توزیع موج فشار) با استفاده از بیودیزل کاهش یافت. این یافته بوسیله دیگر نویسندگان نیز بیان شده است [13,17,18]. بنظر می رسد این امر بخاطر ویسکوزیته بالاتر و مدول حجمی ایزنتروپیک سوخت بیودیزل می باشد. زمان توزیع موج فشار بصورت زیر محاسبه می شود [18].

$$\theta = \frac{\Delta p \cdot V_c}{k_c \cdot v_{\theta} \cdot A_p} \quad (4)$$

در این رابطه v_{θ} سرعت پلانجر، A_p سطح پلانجر، V_c حجم مایع متراکم شده، k_c مدول حجمی ایزنتروپیک، Δp فشار تزریق، θ زاویه لنگ، می باشد. مدول حجمی برای بیودیزل ۱۶۹۰ مگاپاسکال، و ۱۳۸۹ مگاپاسکال برای دیزل بدست آمد. نتایج بیان شده در مرجع [18] (۱۳۹۸ مگاپاسکال برای دیزل و ۱۵۶۷ مگاپاسکال برای بیودیزل) و مرجع [13] (۲۴۰۰-۲۵۰۰ مگاپاسکال برای بیودیزل) با یافته های ما هماهنگ می باشد. زمان پخش موج فشار دیزل بیشتر از بیودیزل می باشد. بنابراین تزریق

$$\sqrt{0.5^2 + 0.1^2 + 1.5^2 + 1^2 + 0.5^2 + 0.2^2 + 1} = \pm 2.19\%$$

موتور با سوخت بیودیزل بین ۱/۵-۲/۳ درصد کاهش یافت (شکل ۷b). یوتلو و همکاران کاهش ۵/۴ درصدی توان موتور را در نتیجه استفاده از متیل استرهای روغن‌های آشپزی باطله گزارش کردند [9]. فشار موثر میانگین ترمزی (BMEP) کمتری برای سوخت بیودیزل (۵-۴۵/۲ درصد) مشاهده می‌شود (شکل ۸). مصرف سوخت ویژه ترمزی (BSFC) برای بیودیزل نسبت به دیزل افزایش نشان می‌دهد (شکل ۹). که بخاطر ارزش گرمایی کمتر بیودیزل می‌باشد. شکل ۱۰ افزایش بازده دمایی ترمزی بیودیزل را در مقایسه دیزل نشان می‌دهد. که این به دلیل حجم بیشتر اکسیژن متیل استرها، عدد ستان بالاتر و تاخیر اشتعال کمتر می‌باشد [5]. کاناکی و همکاران نتیجه گرفتند که استفاده از متیل استر سویا بازده دمایی را ۴۵/۰ درصد و متیل استر چربی حیوانی آن را ۴۹/۰ درصد افزایش می‌دهد [21]. نتایج نشان داده شده در شکل ۱۱ فرضیات مربوط به تاخیر اشتعال خودبخودی کوچکتر در مخلوط بیودیزل در مقایسه با سوخت دیزل را تایید می‌کند و منطبق با نتایج دیگر محققان می‌باشد [12,17,23]. تاخیر خودبخودی ثبت شده برای مخلوط B50 بین ۱/۰ تا ۲/۰ میلی ثانیه (۲ تا ۴ درجه CA) کمتر از مقدار ثبت شده برای سوخت دیزل می‌باشد. تات اشتعال خودبخودی را ۲۲/۴-۴۴/۴ درجه CA (وابسته به نوع پمپ تزریق) برای سوخت دیزل، ۸۷/۲-۳ درجه CA برای بیودیزل چربی حیوانی، ۸۳/۲-۳ درجه CA برای بیودیزل سویا بدست آورد [23]. مونیم و همکاران از متیل استر سویا استفاده کردند و شروع زودتر احتراق در مقایسه با سوخت دیزل (۹۳/۲ درجه CA برای بیودیزل و ۳/۳ درجه CA برای دیزل) را گزارش نمودند که منجر به تاخیر کوچکتر احتراق و زمان کوتا‌هتر پخش موج فشار شد. بنابراین نرخ تزریق کمتر و مدت تزریق طولانی‌تر منجر به

بیودیزل با اوانس بیشتری نسبت به دیزل انجام می‌شود که هماهنگ با نتایج تات می‌باشد [18]. ازسزن دریافت که تزریق CA ۷۵/۰ درجه زودتر برای متیل استرهای خرما و CA ۲۵/۱ درجه برای متیل استرهای روغن کانولا در مقایسه با سوخت دیزل اتفاق می‌افتد [11]. زمان توزیع موج فشار کمتر با یک شروع زودتر زمان تزریق معادل بوده و ممکن است سبب ایجاد سطوح بالاتری از (Nox) شود [8,18,20]. سبزیست نتیجه می‌گیرد که دلیل عمده‌ای که سبب افزایش Nox می‌شود آوانس غیر عمدی تزریق سوخت (که بوسیله مدول حجمی و زمان توزیع موج فشار کمتر بیودیزل ایجاد می‌شود) می‌باشد [17]. در ضمن تحقیقاتی تاخیرهای اشتعال کوچکتری را برای بیودیزل در مقایسه با دیزل گزارش نموده‌اند [21,22]. که منطبق با نتایج ما بوده و می‌توان نتیجه‌گیری نمود، شروع زودتر احتراق در نتیجه یک اثر تجمعی کاهش زمان پخش موج فشار و تاخیر اشتعال کوتا‌هتر می‌باشد که منجر به افزایش بازده دمایی موتور می‌شود [5]. استفاده از سوخت بیودیزل منجر به نرخ تزریق متوسط کمتر در مقایسه با سوخت دیزل می‌شود (شکل ۷a,b). بیشترین کاهش‌ها (۳ تا ۸/۰ درصد در مقایسه با سوخت دیزل) در سرعت پمپ (۵۰۰ دور بر دقیقه) ثبت شدند. نرخ متوسط تزریق کمتر و مدت زمان تزریق بزرگتر بیودیزل بر فرایند احتراق تاثیر خواهد گذاشت و منجر به کاهش فشار احتراق می‌شود [7,8]. کاهش نرخ تزریق متوسط بر خصوصیات پاشش موثر می‌باشد.

۳-۲- عملکرد موتور

سوخت B50، گشتاور و توان ترمزی کمتری نسبت به سوخت دیزل، تولید می‌نماید (۷a,b) که در نتیجه ارزش گرمایی کمتر سوخت B50 و ارسال سوخت کمتر می‌باشد. توان ماکزیمم موتور در سرعت ۲۱۸۵ دور بر دقیقه ۳/۳۹ کیلووات برای سوخت دیزل و ۹/۳۶ کیلووات برای B50 ثبت شد (شکل ۷a). گشتاور

خودبخودی کوتاهتر منجر به بازده دمایی بالاتر شدند. مطالعات بیشتر به منظور خنثی کردن اثرات منفی مخلوط‌های بیودیزل بر روی توان و گشتاور خروجی موتور و مصرف سوخت مورد نیاز می‌باشد.

۵- مراجع

- [1] Sayin C, Canakci M .Effects of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a dual-fuel engine . Energy Convers Manage 2009;50:203–13.
- [2] Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council .Off J Eur Union L123; 2003 .p .42–6.
- [3] Demirbas A .Progress and recent trends in biodiesel fuels .Energy ConversManage 2009;50:15–34.
- [4] Rice B, Frohlich A, Leonard R .Bio-diesel production based on waste cooking oil : promotion of the establishment of an industry in Ireland .ALTENER contract no . XVII/4.1030/AL/77/95/IRL .Ireland : Agriculture and Food Development Authority; 1997.
- [5] Al-Widyan M, Tashtoush G, Abu-Qudais M .Utilization of ester of vegetable oils as fuel in diesel engines .Fuel Process Technol 2002;76:91–103.
- [6] Prankl H, Wörgetter M .The introduction of biodiesel as blending component to diesel fuel in Austria .Final report of NTB-nett phase IV .Report of the Federal Institute of Agricultural Engineering, Wieselburg, Austria; 2000.
- [7] Grünwald B .Theory design and construction of internal combustion engines for ground vehicles)in Romanian .(Bucharest, Romania :Didactical and

فشارهای احتراق پایین‌تر می‌شود(شکل ۱۲)[7,8] . نرخ تزریق پایین‌تر (شکل ۶) و افزایش مدت زمان تزریق (شکل ۴) در بیودیزل، منجر به فشارهای احتراق کمتر، می‌شود. نمودارهای فشار برای سوخت دیزل و مخلوط بیودیزل برای نقاط (ا و ۱) ثبت شده‌اند(شکل av). شکل ۴a,b از نتایج مربوط به رهاسازی گرما برای هر دو سوخت پایه و بیودیزل را خلاصه می‌کند. کل گرمای آزاد شده در مدت احتراق برای سوخت B50 در مقایسه با دیزل نفت، کمتر است. بخاطر شروع زودتر احتراق ثبت شده برای مخلوط بیودیزل متوسط نرخ رهاسازی گرما کاهش یافته است این نتایج در جدول ۳ خلاصه شده است.

۴- نتیجه‌گیری

خواص سوخت بیودیزل حاصل از روغن‌های باطله صنایع غذایی در یک مخلوط ۵۰ درصد با سوخت دیزل مورد بررسی قرارگرفت مقایسه میان این دو نوع سوخت برحسب خواص تزریق و عملکرد موتور انجام شدند. مشخص شد که مهمترین خواص تزریق با استفاده از مخلوط بیودیزل مورد تاثیر واقع می‌شوند. این خواص عبارتند بودند از: میزان ارسال سوخت، مدت تزریق، زمان پخش موج فشار، نرخ تزریق متوسط. پارامترهای عملکرد موتور که مورد بررسی قرارگرفتند عبارت بودند از توان موتور، گشتاور موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی، فشار موثر میانگین ترمزی و بازده دمایی. بواسطه نرخ تزریق کمتر و مدت تزریق طولانی‌تر فشارهای احتراق کمتری هنگامی که از مخلوط بیودیزل استفاده شد، ثبت شد. زمان کوتاهتر توزیع موج فشار و تاخیر اشتعال خودبخودی کوتاهتر بیودیزل موجب شروع زودتر احتراق و نرخ رهاسازی کمتر گرما شد. گرمای کمتر احتراق بیودیزل و کاهش نرخ ارسال سوخت منجر به کاهش توان و گشتاور موتورشد. در حالی حجم اکسیژن بالاتر، عدد ستان بیشتر، و تاخیر خیر

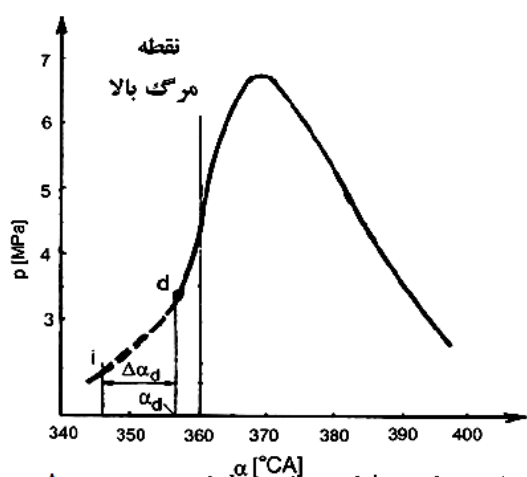
- [16] Devan PK, Mahalakshmi NV .Study of performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine using poon-oil based fuels .Fuel Process Technol 2009;90:513-9.
- [17] Szybist JP, Song J, Alam M, Boehman AL . Biodiesel combustion, emissions and emissions control .Fuel Process Technol 2007;88:679-91.
- [18] Tat ME, Van Gerpen JH .Measurement of biodiesel speed of sound and its impact on injection timing – final report .NREL/SR-510-31462; 2003.
- [19] Monyem A, Van Gerpen JH, Canakci M . The effect of timing and oxidation on emissions from biodiesel fueled engines . Trans ASAE 2001;44)1:(35-42.
- [20] Senatore A, Cardone M .A comparative analysis of combustion process in D.I. diesel engine fueled with biodiesel and diesel fuel .SAE Technical Papers Series 2000-01-0691; 2000.
- [21] Canakci M, Van Gerpen JH .Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel. Presented as Paper No .016050 at the 2001 ASAE annual international meeting, Sacramento, California, USA, July 30– August 1; 2001.
- [22] Ryan TW .Correlation of physical and chemical ignition delay to cetane number . SAE Technical Paper Series 852103, 1985 . Warrendale(PA).
- Pedagogical Publishing House; 1980 .p . 18-37, 240-84.
- [8] Heywood JB .Internal combustion engine fundamentals .New York :McGraw -Hill Book; 1988 .p .42-57, 491-558.
- [9] Utlu Z, Koçak MS .The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions .Renew
- [10] Energy 2008;33:1936-41 .10 -Lin Y, Wu YG, Chang CT .Combustion characteristics of waste-oil produced biodiesel/diesel fuel blends .Fuel 2007;86:1772-9.
- [11] Ozsezen AN, Canakci M, Turkcan A, Sayin C .Performance and combustion characteristics of a D.I. diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters .Fuel 2009;88:629-36.
- [12] Park SH, Kim JH, Suh KH, Lee CS .A study on the fuel injection and atomization characteristics of soybean methyl ester)SME .(Int J Heat Fluid Flow 2009;30:108-16.
- [13] Yamane K, Ueta A, Shimamoto Y . Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuel on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a DI-CI engine .In : Proceedings of the 5th international symposium COMODIA, July 1-4, 2001 . Nagoya .p .402-9.
- [14] Rosca R, Zugravel M .The use of sunflower oil in diesel engines .SAE Technical Paper Series 972979, 1997 .Warrendale)PA.(
- [15] Rosca R, Zugravel M, Gaiginschi R, Agape-Comsa I .Application of a combustion model to a diesel engine fueled with vegetable oils .JSME Int J Ser B 2001;44)4:(634-40.

جدول ۱- خواص فیزیکی سوخت‌ها

Item	Test method	Diesel fuel
Density at 15 °C (g/cm ³)	EN ISO 3675	0.8393
Viscosity at 40 °C (mm ² /s)	EN ISO 3104	4.9
Acid value (mg KOH/g)	ASTM D664	0.089
Ash content (%)	SR ISO 6245:1995	0.085
Flash point (°C)	ASTM D93	69
Cu corrosion	EN ISO 2160	1b
Surface tension (N/m)	-	0.0281

^a B100 – pure methyl ester.

^b B50 – 50% methyl ester + 50% diesel fuel.



شکل ۲- اشتعال خودبخودی: i شروع تزریق، d شروع احتراق،

$\Delta\alpha_d$ تاخیر اشتعال خودبخودین

Waste cooking oil	B100 ^a	B50 ^b
0.891	0.857	0.851
34.0	5.7	5.2
2.67	0.92	0.42
0.075	0.038	0.016
115	110	82
2e	2a	1b
0.0336	0.0296	0.0290

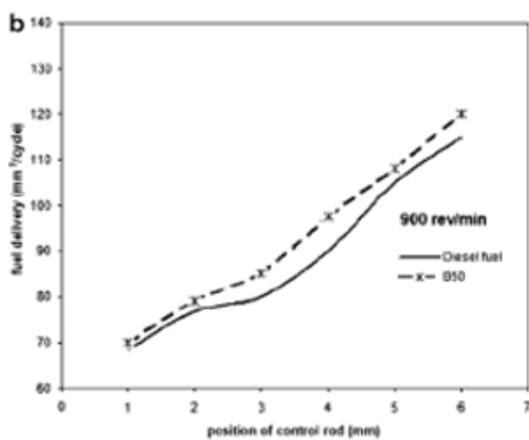
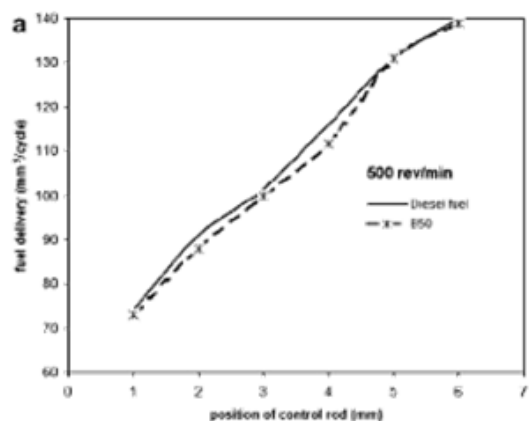
جدول ۲- لیست تجهیزات مورد استفاده همراه با محدوده

کاری، میزات دقت و عدم قطعیت

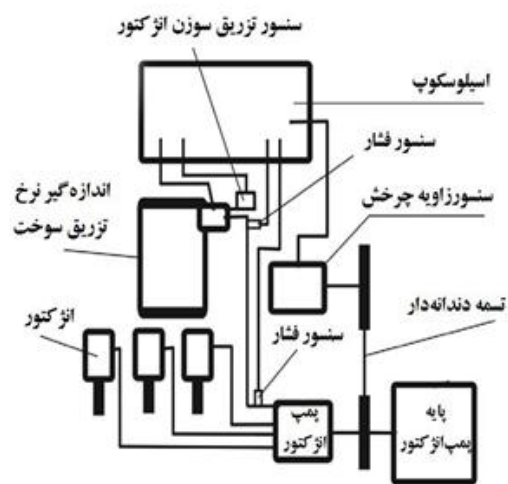
Fuel	Engine speed (rev/min)	Point (according to Fig. 7a)	Average heat release rate (kJ/°CA)
Diesel fuel	2200	1	0.0442
Diesel fuel	1900	2	0.0571
B50	2200	3	0.0371
B50	1900	4	0.0350

جدول ۳-

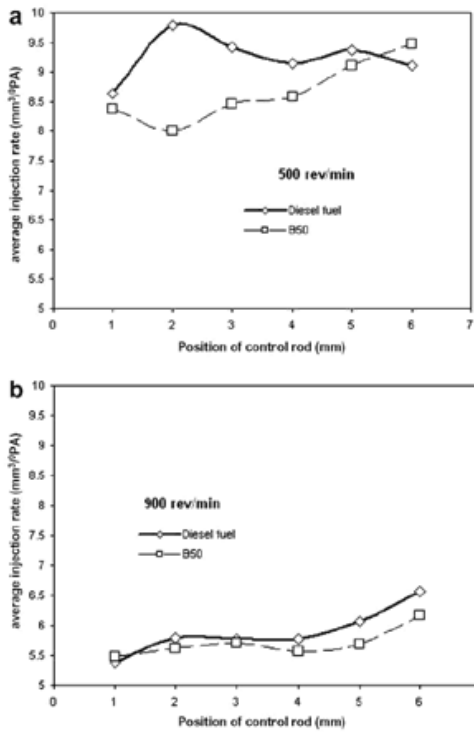
Fuel	Engine speed (rev/min)	Point (according to Fig. 7a)	Average heat release rate (kJ/°CA)
Diesel fuel	2200	1	0.0442
Diesel fuel	1900	2	0.0571
B50	2200	3	0.0371
B50	1900	4	0.0350



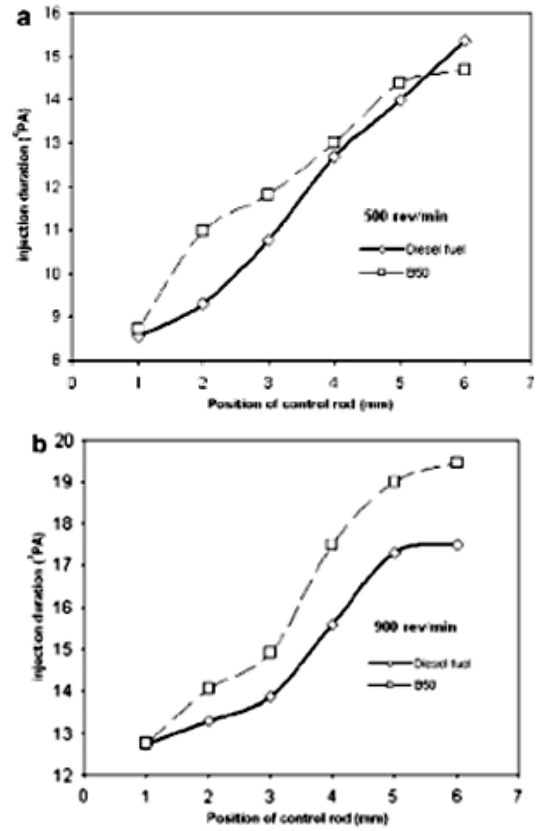
شکل ۳- ارسال سوخت: (a) ۵۰۰ و (b) ۹۰۰ دور بر دقیقه



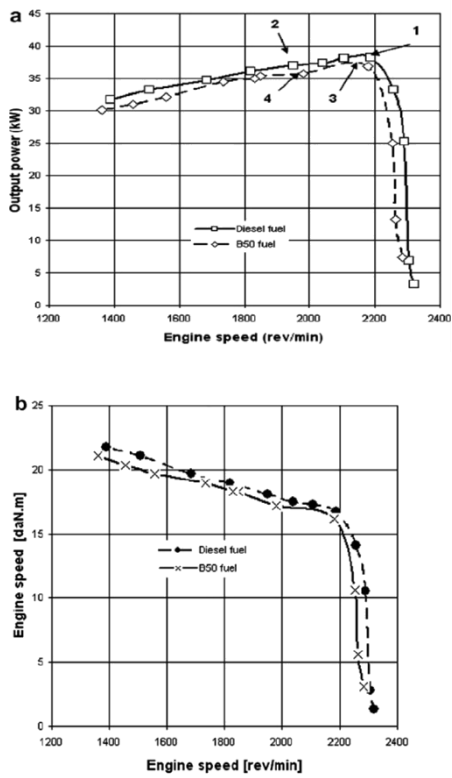
شکل ۱- تجهیزات تزریق نصب شده بر روی تست ریگ



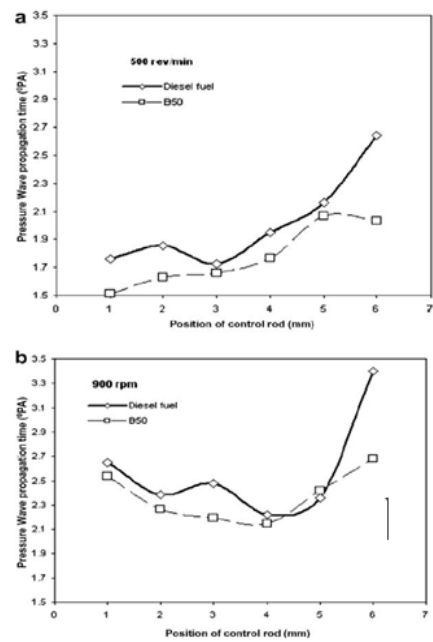
شکل ۶- نرخ متوسط تزریق: (a) ۵۰۰ و (b) ۹۰۰ دوربردقیقه



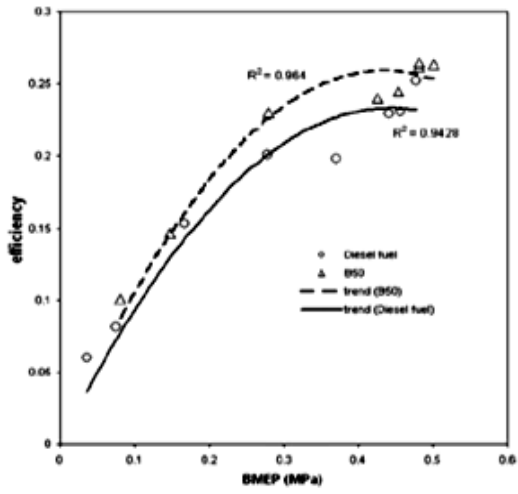
شکل ۷- مدت تزریق: (a) ۵۰۰ و (b) ۹۰۰ دوربردقیقه



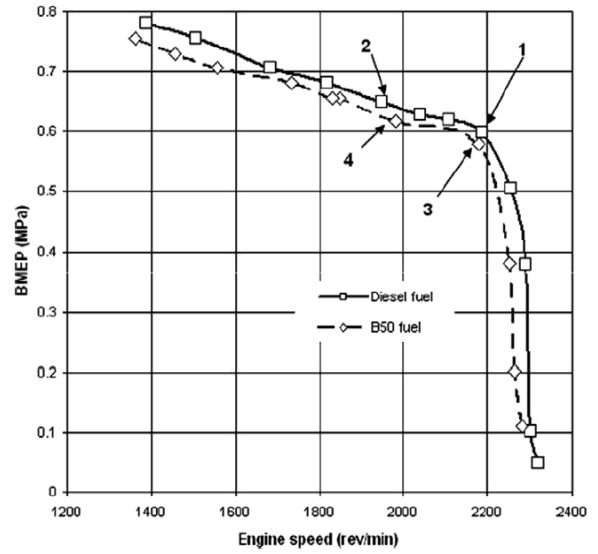
شکل ۸- توان ترمزی و گشتاور موتور: (a) ۵۰۰ و (b) ۹۰۰ دوربردقیقه



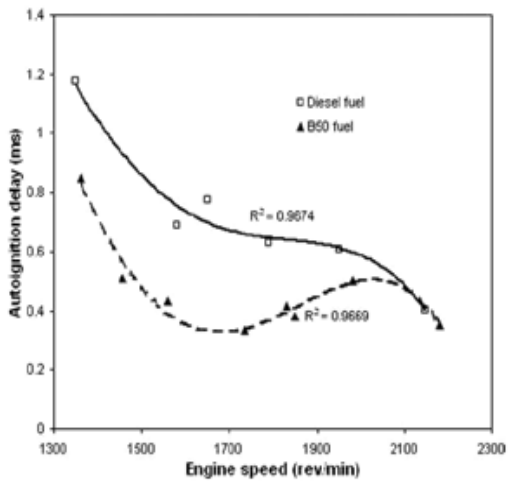
شکل ۹- زمان توزیع موج فشار: (a) ۵۰۰ و (b) ۹۰۰ دوربردقیقه



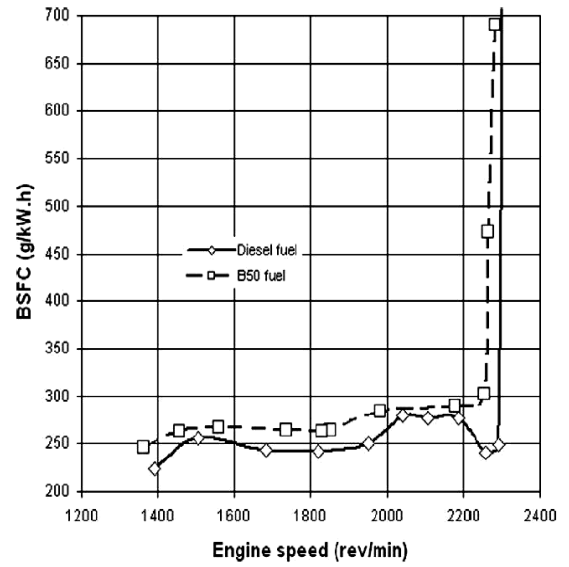
شکل ۱۰- بازده دمایی ترمزی



شکل ۸- فشار موثر



شکل ۱۱- تاخیر اشتعال خودبخودی



شکل ۹- مصرف سوخت ویژه