

بررسی عملکرد یک موتور دیزل با سوخت بیودیزل روغن ماهی تحت تاثیر نانو ذرات پراکنده شده در سوخت

دانشجوی کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران،
 ali.zarein@yahoo.com

علی زارعین

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران، y.mollayi@gmail.com

یاسر ملایی برزی*

استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ghobadian@tarbiatm.ac.ir

برات قبادیان

چکیده

در این مطالعه، پارامترهای عملکردی یک موتور دیزل شامل توان، گشتاور و مصرف ویژه سوخت موتور با سوخت بیودیزل روغن ماهی تحت تاثیر نانو ذرات نقره و نانولوله های کربنی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا سوخت بیودیزل از روغن ماهی با استفاده از واکنش تبادل استری (Transesterification) و با نسبت حجمی ۲۰ درصد روغن ماهی و ۸۰ درصد دیزل (B20) مخلوط تهیه شد. از نانو ذرات نقره (Ag) و نانو لوله های کربنی (CNT) با غلظت های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm برای اختلاط با بیودیزل جهت بررسی تاثیر این نانو سوخت ها بر پارامترهای عملکردی موتور در چهار دور موتور ۱۸۰۰، ۲۱۰۰، ۲۴۰۰ و ۲۷۰۰ rpm در شرایط بار کامل استفاده شد. به کمک تحلیل آماری داده های آزمایش، اثر اصلی ترکیبات سوخت و دور موتور و اثرات متقابل آنها بر پارامترهای اندازه گیری شده (توان ترمزی، گشتاور و مصرف ویژه سوخت)، به روش دانکن بررسی شد. نتایج نشان داد که با استفاده از نانو سوخت ها و افزایش غلظت نانو ذرات در سوخت بیودیزل (B20) در تمامی دوره های موتور، توان و گشتاور افزایش و مصرف ویژه سوخت نسبت به بیودیزل خالص کاهش یافت. توان و گشتاور موتور، با استفاده از سوخت BD+CNT90 در دور موتور ۲۴۰۰ rpm به ترتیب به میزان ۱۷/۰۸ و ۲۹/۱۷ درصد افزایش یافته و مصرف ویژه سوخت موتور با این سوخت در دور ۲۷۰۰ تا ۷ درصد کاهش یافت.

واژه های کلیدی: نانو ذرات، بیودیزل، عملکرد موتور، توان ترمزی، گشتاور، مصرف ویژه سوخت.

Investigation of a fish oil biodiesel engine performance under the effects of dispersed Nano-particles

A. Zarein

Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University, Kashan branch, Kashan, Iran

Y. Mollaei Barzi

Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University, Kashan branch, Kashan, Iran

B. Ghobadian

Department of mechanical engineering - bio system, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran

Abstract

In present study, operating parameters of a diesel engine including engine power, torque and specific fuel consumption, with the oil fish biofuel were investigated under the effect of nanoparticles of silver (Ag) and carbon nanotubes (CNT). Biodiesel was produced from fish oil using trans-esterification reaction. Then, the blend was prepared as volume ratio of %20 biodiesel and %80 diesel (B20). According to past research results, the blend of B20 was used due to its optimal parameters than the other blends. Nanoparticles of silver (Ag) and carbon nanotubes (CNT) with concentrations of 30, 60 and 90 ppm were applied for blending with biodiesel fuel to investigate the impact of Nano fuels on performance and exhaust emissions of the diesel engine under test. Mean comparison of mixed fuels and engine speed using Duncan was analyzed on their main effect and interactions of measured parameters (power, torque, specific fuel consumption). The experiments were carried out on a single-cylinder diesel engine at engine speed levels of 1800, 2100, 2400 and 2700 rpm, under full load conditions. The results showed that increasing concentrations of nanoparticles using Nano fuel and biodiesel fuel (B20) at all engine speeds, power and torque was increased and specific fuel consumption was decreased compared to biodiesel. Power and torque of the engine were increased with fuel of BD+CNT90 at 2400 rpm as %17.29 and %17.08, respectively. In addition, the specific fuel consumption was increased at 2700 rpm up to %7.21. Finally, the most suitable fuel mixture was found to be BD+CNT90 fuel blend for application in single-cylinder diesel engine under test in terms of increased engine performance and efficiency.

Keywords: Nanoparticles, Biodiesel, Engine performance, Brake power, Torque, Fuel specific consumption.

۱- مقدمه

سوخت های فسیلی در آینده، کشورهای مختلف جهان سرمایه گذاری های زیادی بر روی تولید سوخت های زیستی انجام داده اند. به طوری که اتحادیه اروپا قصد دارد تا سال ۲۰۲۰ در حدود ۲۰ درصد از سوخت های مصرفی موتور خودروهای خود را از طریق سوخت جایگزین (مانند سوخت های زیستی، گاز طبیعی و سوخت های هیدروژنی) تامین کند [۱]. امروزه از سوخت های با پایه زیستی به عنوان سوخت های مناسب

استفاده روزافزون از سوخت های فسیلی، کاهش ذخایر موجود و افزایش انتشار آلاینده های زیست محیطی حاصل از احتراق آنها، محققان را در جهت یافتن منابع جدید انرژی غیر نفتی ترغیب نموده است. به دلیل اهمیت روز افزون انرژی در جهان و پایان پذیر بودن

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: y.mollayi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۲۱

تر استفاده می‌شود. موتورهای دیزل به عنوان یک منبع توان اساسی در تامین نیروی محرکه خودروها و ماشین‌های غیرجاده‌ای به حساب می‌آیند. لذا همواره برای کاهش مصرف سوخت فسیلی، بهبود کارایی و کاهش آلاینده‌ها در این موتورهای تلاش‌های زیادی صورت گرفته است [۲]. در رابطه با موتورهای دیزل، سوخت‌های جایگزین بیودیزل نامیده می‌شوند. سوخت بیودیزل سوختی تجدیدپذیر است که استفاده از آن در بسیاری از کشورهای دنیا متداول شده است [۳]. بیودیزل، اتیل استر یا متیل استری است که از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تولید شده و به عنوان سوخت در موتورهای دیزل یا سامانه‌های گرمایی استفاده می‌شود [۴]. با توجه به تاثیرات اضافه نمودن ذرات نانو به سوخت بیودیزل در جهت افزایش متغیرهای کیفی سوخت و بازده فرآیند احتراق، سوخت نانو بیودیزل در موتور دیزل می‌تواند باعث افزایش متغیرهای عملکردی موتور شود. افزودنی‌های نانو برای پایین آوردن مقدار آلاینده‌های مضر در حین فرآیند احتراق و هم‌زمان بالا بردن بازده فرآیند احتراق، می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند [۵]. سوخت نانوبیودیزل سوختی است که از ترکیب افزودنی‌های ذرات نانو با سوخت بیودیزل به نسبت‌های مختلف و مناسب بدست می‌آید و قابلیت احتراق و استفاده در موتورهای دیزلی را دارا می‌باشد [۶]. بر اساس تحقیقات انجام شده، استفاده از سوخت نانوبیودیزل در موتورهای دیزل می‌تواند نقش اساسی در جهت کاهش مصرف سوخت فسیلی و در نتیجه بهبود عملکرد آن ایفا کند [۷]. سلوان و همکاران به بررسی متغیرهای عملکردی و آلایندگی یک موتور احتراق تراکمی با استفاده از نانو ذرات اکسید سریم به عنوان افزودنی در سوخت‌های دیزل تنها و مخلوط دیزل، بیودیزل و اتانول پرداختند و نتایج پژوهش‌های آنها به این صورت بود که مصرف ویژه سوخت مخلوط سوخت‌های دیزل، بیودیزل و اتانول در مقایسه با سوخت دیزل خالص بیشتر بود اما بازده گرمایی ترمزی در تمام بارهای موتور با سوخت دیزل خالص نسبت به مخلوط دیزل، بیودیزل و اتانول بیشتر شد. فشار موثر با اضافه کردن ذرات نانو اکسید سریم به سوخت دیزل افزایش پیدا کرد و استفاده از این ذرات موجب کاهش تاخیر در اشتعال موتور شد [۸]. ساجیت و سبحان در یک پژوهش در چند سطح به بررسی اثر استفاده از نانو ذرات اکسید سریم بر خواص فیزیکی شیمیایی بیودیزل و بررسی متغیرهای عملکردی موتور به این نتیجه رسیدند که اکسید سریم موجب افزایش گرانروی و نقطه اشتعال شد. خواص بیودیزل در هوای سرد تغییر قابل توجهی نشان نداد و در سطح‌های مختلف نانو ذرات اکسید سریم، بازده موتور افزایش یافت [۹]. همچنین مطالعات مختلفی در سال‌های اخیر در راستای استفاده از نانوسوخت‌های بیودیزل (با سوخت‌های بیودیزل با منشاء‌های متفاوت زیستی) و تعیین مشخصه‌های توان و آلایندگی آنها انجام و کارایی هر یک مورد تحلیل و بحث قرار گرفته است [۱۰-۱۲]. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، خلاء مطالعاتی گسترده‌ای در زمینه بررسی اثرات نانوذرات مختلف دیگر که سازگاری کافی با سوخت‌های بیودیزل روغن ماهی دارند از جنبه‌های مختلف وجود دارد که انجام آنها می‌تواند منجر به بهبود خواص سوخت، کاهش قیمت تمام شده آن و کارایی بهتر موتور شود. با توجه به این موضوع، در مقاله حاضر در نظر است تا به مطالعه تاثیر نانوذرات مختلف اضافه شده با غلظت‌های مختلف به سوخت بیودیزل حاصل از روغن ماهی بر پارامترهای عملکردی یک موتور دیزل تک سیلندر

(Lombardini 3 LD 510) پرداخته شود. در این مطالعه برای اولین بار اثرات اضافه کردن نانو ذرات نقره (Ag) و نانو لوله‌های کربنی (CNT) (با توجه به خواص پراکندگی و عملکردی مناسب آنها) با غلظت‌های مختلف به سوخت بیودیزل روغن ماهی به صورت جداگانه مورد آزمایش و مطالعه قرار گرفته است.

۲- مواد مورد آزمایش و روش تهیه آنها

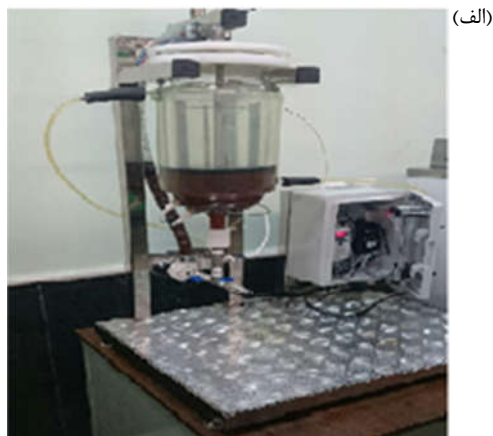
به طور کلی برای فراهم کردن مخلوط سوخت‌های مورد نیاز و انجام این تحقیق سه محصول کلی تهیه شد. این محصولات شامل نانو ذرات، بیودیزل و گازوییل می‌باشند.

۲-۱- تولید سوخت بیودیزل

روش تبادل استری مناسب‌ترین و معمول‌ترین روش تولید بیودیزل می‌باشد که از این روش در آزمایشگاه بیودیزل پژوهشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس برای تولید بیودیزل استفاده شد. برای انجام این واکنش ابتدا روغن ماهی آماده‌سازی شد. برای این کار در مرحله اول مواد جامد روغن به کمک صافی‌های ۵۰۰ میکرونی تصفیه شده و در مرحله بعد، آب اضافی موجود در روغن جداسازی گردید. جداسازی به روش ته نشین نمودن آب می‌باشد. در این روش ابتدا دمای روغن به ۶۰ درجه سلسیوس رسانیده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در این دما نگه داشته شد. سپس، روغن به طرف جداسازی دو فاز منتقل گردید. پس از ۲۴ ساعت آب به طور کامل از روغن جدا شده و به دلیل چگالی بیشتر، در کف ظرف جداسازی جمع‌آوری گردیده و تخلیه شد. بعد از آماده‌سازی روغن، مخلوط الکل و واکنش‌گر به آن اضافه گردید. به این ترتیب، واکنش تبادل استری انجام شده و کلیترین از متیل ستر (بیودیزل) جدا گردیده و بیودیزل جدا گردیده و بیودیزل باقی‌مانده توسط آبشویی خالص‌سازی شد. در این فرآیند، گلیسرین به علت داشتن چگالی بالا شروع به ته نشین شدن نموده و در حدود ۳ تا ۴ ساعت اول به طور تقریبی ۹۰ درصد آن ته نشین گردید. البته زمان لازم برای تفکیک کامل گلیسرین از بیودیزل در حدود یک هفته به طول می‌انجامد. بعد از این مدت زمان، گلیسرین به راحتی توسط شیر تخلیه که در زیر ظرف جداسازی قرار دارد تخلیه گردید. در نهایت، استر خالص یا بیودیزل به دست آمد. ماده اولیه برای تولید سوخت بیودیزل مورد استفاده در این تحقیق و کلیه آزمون‌های مخلوط‌های مختلف سوخت، روغن ملی بود. واکنش تبادل استری روغن ماهی به همراه متانول و در حضور کاتالیزور هیدروکسید پتاسیم (KOH) انجام گرفت (شکل ۲).

۲-۳- تهیه مخلوط سوخت نانوبیودیزل

برای پراکنده کردن نانو ذرات در مخلوط سوخت‌های مورد نظر از دستگاه فراصوت تحت شرایط استاندارد در فرکانس ۵۰۰ هرتز به مدت ۳ دقیقه در سیکل‌های ۰/۵ ثانیه و قبل از انجام آزمایش‌های موتوری استفاده شد. نحوه اختلاط سوخت‌ها به این ترتیب انجام شد که ابتدا مخلوط سوخت دیزل با بیودیزل با نسبت مشخص برای رسیدن به ترکیب سوخت B20 برای انجام آزمایش‌ها تهیه شد. برای این منظور ۸۰۰ میلی‌لیتر سوخت دیزل با ۲۰۰ میلی‌لیتر سوخت بیودیزل ترکیب شد. سپس برای هر یک از مخلوط‌های سوخت، نانو ذرات با ۱۰۰ میلی‌لیتر از آن‌ها با استفاده از دستگاه فراصوت ترکیب شده و به کل سوخت مورد استفاده اضافه شد. بر اساس تحقیق‌هایی مبنی بر تاثیر اندک مقدار غلظت‌های نانومواد در میزان پارامترهای عملکردی موتور، بنابراین در این پژوهش از سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm استفاده شد. همچنین از سوخت B20 (۸۰ درصد دیزل و ۲۰ درصد بیودیزل به علت بهینه بودن استفاده از این ترکیب سوختی نسبت به دیگر مخلوط‌ها) و دو نوع افزودنی نانو در سه غلظت استفاده شد که در مجموع ۷ نوع مخلوط سوخت تهیه و برای انجام آزمایش‌های موتور مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳).



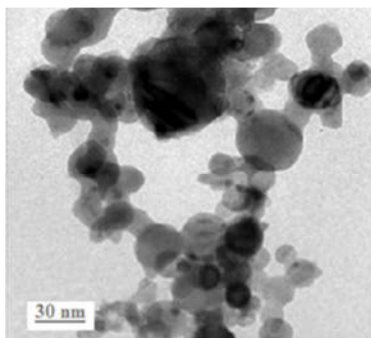
(الف)



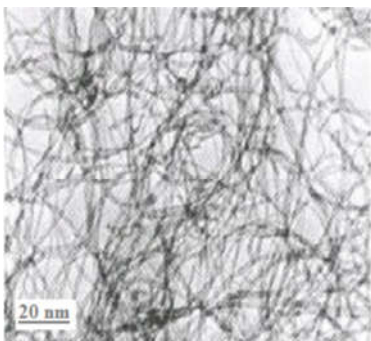
(ب)

شکل ۱ - فرآیند تولید بیودیزل (الف) واکنش تبادل استری (ب) بیودیزل تولید شده از روغن ماهی

از سوخت دیزل متداول در ایران یعنی دیزل شماره ۲، به عنوان سوخت مرجع استفاده شد.



(الف)



(ب)

شکل ۲ - تصویر میکروسکوپ الکترونی (TEM) (الف) نانو ذرات نقره و (ب) نانولوله‌های کربنی

۲-۲- نانو ذرات مورد استفاده

با توجه به مطالعات انجام شده در خصوص تاثیر نانو ذرات مختلف بر پارامترهای عملکردی موتورهای دیزل، در این تحقیق از نانو ذرات نقره و نانو لوله‌های کربنی به عنوان افزودنی‌های نانو برای سوخت استفاده شد. امروزه روش‌های مختلفی جهت شناسایی و تحلیل نانو مواد وجود دارد که یکی از معروف‌ترین آنها، روش‌های میکروسکوپی می‌باشد. در این روش‌ها می‌توان تصویر بزرگنمایی شده از نمونه به دست آورد. به منظور اطمینان از ذرات نانو استفاده شده در این تحقیق، با استفاده از میکروسکوپ‌های مخصوص، عکس‌های الکترونی تهیه شدند. عکس‌های الکترونی شکل ۲ مربوط به نانو ذرات نقره و نانو لوله‌های کربنی می‌باشند.

هر کدام از نانو ذرات در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm با سوخت‌های دیزل و بیودیزل مخلوط شدند. برای مخلوط کردن نانو ذرات با سوخت‌های مورد نظر می‌بایست مقدار جرم هر دو ماده بدست آورده شود. با توجه به داشتن چگالی و حجم سوخت‌های مورد استفاده در هر آزمون، جرم سوخت را بدست آورده و با یک تناسب جرم نانو ذرات برای مخلوط شدن نیز بدست می‌آید.

محاسبه می شود. در این رابطه گشتاور موتور در چرخ لنگر بر حسب نیوتن متر، برآیند نیروهای حاصل از احتراق و اینرسی قسمت‌های متحرک موتور بر حسب نیوتن و R فاصله گریر از مرکز میل لنگ (طول دستک میل لنگ) بر حسب متر می باشد.

$$T = F \cdot R \quad (۰)$$

۳-۲- اندازه گیری مصرف ویژه سوخت

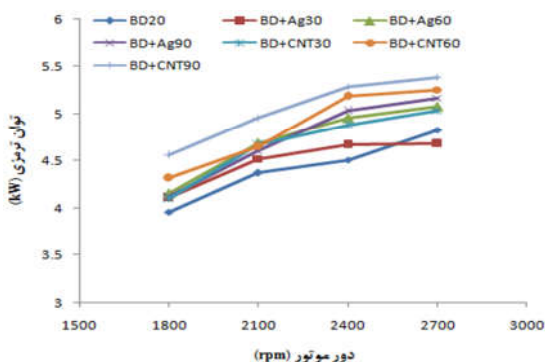
برای اندازه گیری مصرف سوخت از یک مخزن فرعی تعبیه شده در کنار موتور استفاده گردید. با استفاده از ظرف مدرج مورد استفاده حجم سوخت و توسط سامانه خودکار، مدت زمان مصرف سوخت (بصورت اتوماتیک) اندازه گیری شد. مصرف ویژه سوخت عبارت است از جرم سوخت بر حسب گرم که برای تولید یک کیلووات ساعت کار واقعی در موتور مصرف می شود و با SFC نمایش داده می شود. مقدار مصرف ویژه سوخت از رابطه (۳) محاسبه می گردد. در این رابطه M برابر با میزان مصرف سوخت بر حسب گرم بر ساعت (g/h) و P توان تولیدی بر حسب کیلووات می باشد.

$$SFC(g/kW.h) = \frac{M}{P} \quad (۰)$$

۴- نتایج

۴-۱- تجزیه و تحلیل آزمون توان موتور

نتایج حاصل تغییرات توان موتور با مصرف سوخت‌های بیودیزل، نانوبیودیزل نقره و نانوبیودیزل لوله های کربنی در دورهای مختلف موتور در شکل ۵ آمده است:



شکل ۵ - تغییرات توان موتور نسبت به دور با استفاده از سوخت‌های بیودیزل و نانوبیودیزل

با توجه به شکل ۵ برای تمامی سوخت‌ها با افزایش دور موتور، توان موتور افزایش یافته است. از آنجا که آزمایش‌ها بعد از بیشینه گشتاور در دور ۱۸۰۰ rpm انجام شد، نسبت افزایش دور موتور از ۱۸۰۰ تا ۲۷۰۰ rpm بیشتر از کاهش گشتاور موتور بود بطوری که در نتیجه توان موتور نیز افزایش یافت. سوخت BD+CNT90 در تمامی دوره‌های موتور دارای بیشترین مقدار تولیدی توان (۵/۳۹ kW) در موتور بوده و بیشترین توان برای سوخت BD+CNT90 در دور ۲۷۰۰ rpm می باشد. سوخت بیودیزل نیز در تمامی دور موتورها کمترین میزان توان را در موتور بوجود آورد و کمترین مقدار توان برای سوخت



شکل ۳ - نحوه تهیه نانو سوخت ها

در این آزمایش ها مخلوط سوختی و دور موتور به عنوان متغیرهای مستقل بوده که ۷ نوع سوخت هر کدام در چهار دور موتور (۱۸۰۰، ۲۱۰۰، ۲۴۰۰ و ۲۷۰۰ دور بر دقیقه) مورد آزمایش قرار گرفتند و پارامترهای عملکردی موتور دیزل (توان، گشتاور و مصرف ویژه سوخت) به عنوان متغیرهای وابسته اندازه گیری شدند.

۳-۲- اندازه گیری مشخصه های خروجی موتور

۳-۱- توان و گشتاور

از دینامومتر ساخت شرکت میتکران پارس اندیش ایران برای اندازه گیری گشتاور و توان موتور دیزل چهار زمانه تک سیلندر (Lombardini 3 LD 510) استفاده گردید (شکل ۴). این دینامومتر از طریق اعمال میدان مغناطیسی میزان توان و گشتاور را به صورت اتوماتیک اندازه گیری کرده و نتیجه را به صورت نمودار و یا داده ارائه می نماید. داده ها قابل انتقال به نرم افزار Excel می باشند. دینامومتر به وسیله ی یک محور به موتور دیزل متصل می شود و با تغییرات بار و دور، میزان توان و گشتاور موتور را نمایش می دهد.

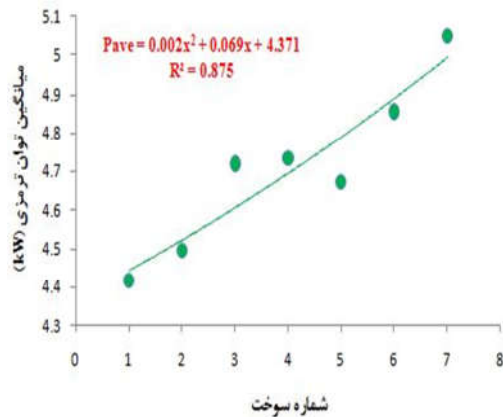


شکل ۴ - نحوه تهیه نانو سوخت ها

مقدار توان موجود در چرخ لنگر موتور که توان ترمزی تیر نامیده می شود از رابطه (۱) محاسبه می شود. در این رابطه توان موتور در چرخ لنگر برحسب کیلووات، گشتاور موجود در چرخ لنگر برحسب نیوتن متر و از دور موتور بر حسب دور بر دقیقه (rpm) می باشد.

$$P = \frac{2\pi TN}{60000} \quad (۰)$$

همچنین مقدار گشتاور موجود در چرخ لنگر موتور از رابطه ی (۲)

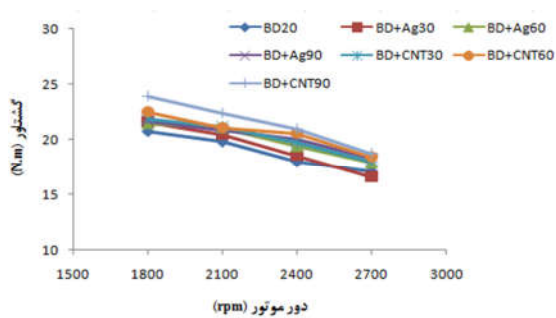


شکل ۵ - روند تغییرات توان موتور با استفاده از نانو سوخت های بیودیزل

با توجه به شکل ۶ مشاهده می شود با افزایش سهم نانو ذرات در سوخت های بیودیزل توان موتور افزایش می یابد. زیرا توان تولید شده با استفاده از سوخت های بیودیزل به علت اکسیژن دار بودن سوخت و ترکیب آنها با نانو ذرات و در نتیجه احتراق کامل تر بالاتر است. نمودار نشان می دهد که افزودنی های نانولوله کربنی سهم بیشتری در افزایش توان موتور نسبت به افزودنی های نانو نقره دارند. با افزایش سهم نانو ذرات لوله های کربنی و نانو ذرات نقره، توان موتور نیز افزایش می یابد. بیشترین مقدار میانگین توان توسط سوخت BD+CNT90 (۵/۰۵ kW) و کمترین مقدار میانگین توان (۴/۴۲ kW) را سوخت بیودیزل خالص تولید می کند.

۴-۲- تجزیه و تحلیل آزمون گشتاور موتور

نتایج حاصل از تغییرات گشتاور موتور با سوخت های بیودیزل خالص، نانوبیودیزل نقره و نانوبیودیزل لوله های کربنی در دورهای مختلف موتور در شکل ۷ آمده است.



شکل ۷ - تغییرات گشتاور موتور نسبت به دور با استفاده از سوخت های بیودیزل و نانوبیودیزل

همانطور که در شکل مشخص است برای تمامی سوخت ها با افزایش دور موتور، گشتاور موتور کاهش یافته است. با توجه به نمودار با افزایش سهم نانو ذرات در هر سوخت، گشتاور موتور نیز افزایش یافته است. علت این افزایش گشتاور را می توان انرژی تولید شده در سیلندر

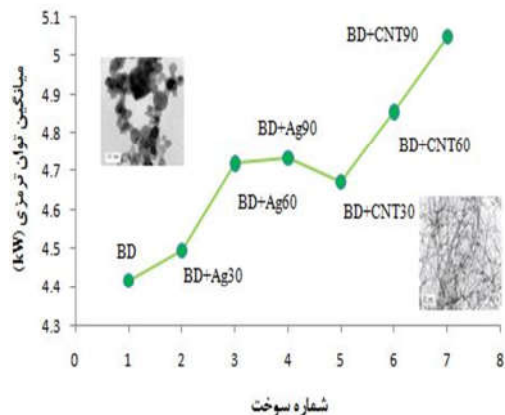
بیودیزل در دور ۱۸۰۰ rpm (۳/۹۶kW) می باشد. زیرا همانطور که پیش بینی می شد استفاده از افزودنی های نانو در سوخت به بهبود کیفیت احتراق و افزایش توان موتور کمک کرده است. علت آن را می توان انرژی تولید شده در سیلندر در اثر افزایش نسبت سطح به حجم ذرات نانو در این سوخت ها نسبت داد که این یکی از ویژگی های منحصر به فرد نانو ذرات می باشد. از طرفی دیگر نانو ذرات باعث افزایش اکسیداسیون در سوخت شده و این امر خود به بهبود پدیده احتراق کمک می کند.

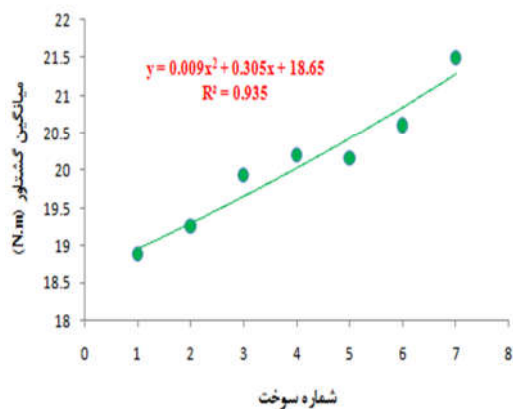
مقایسه میزان مقادیر کاهش یا افزایش توان موتور با استفاده از مخلوط سوخت های نانوبیودیزل نسبت به سوخت بیودیزل در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین درصد افزایش یا کاهش توان موتور با استفاده از سوخت های نانوبیودیزل و بیودیزل

مخلوط سوخت	میزان کاهش/افزایش توان موتور (درصد)
BD+Ag30	۳/۴۷
BD+Ag60	۶/۸۲
BD+Ag90	۷/۰۳
BD+CNT30	۵/۷۴
BD+CNT60	۹/۸۷
BD+CNT90	۱۴/۳۹

با توجه به جدول ۱ نتیجه گیری می شود که بیشترین و کمترین درصد افزایش میانگین توان به ترتیب در مخلوط های سوخت نانوبیودیزل BD+CNT90 به میزان ۱۴/۳۹ درصد و در مخلوط های نانوبیودیزل BD+Ag30 ۳/۴۷ درصد می باشد. نتایج حاصل از روند تغییرات توان در دورهای مختلف موتور، با استفاده از نانو سوخت های بیودیزل در شکل نشان داده شده است (شکل ۶). معادله رگرسیونی، نمودار برازش منحنی و چگونگی افزایش توان با شماره سوخت را نشان داده شده است (داده های نشان داده شده در شکل، میانگین توان بدست آمده برای سوخت مورد نظر در چهار دور مورد آزمایش می باشد).



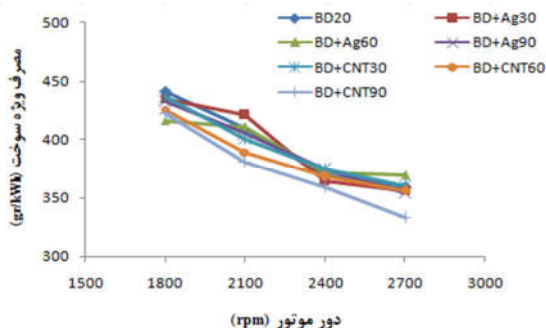


شکل ۸ - روند تغییرات گشتاور موتور بر حسب شماره سوخت های نانو بیودیزل

با دقت در شکل ۸، نمودار نشان می دهد با افزایش سهم پلوذرات گشتاور موتور افزایش می یابد که افزودنی های لوله های کربنی سهم بیشتری در افزایش گشتاور موتور نسبت به افزودنی های نانو نقره دارد. همچنین این نمودار نشان می دهد بین همه مخلوط سوخت ها در تمامی دوره های موتور، ترکیب سوخت BD+CNT90 بیشترین مقدار گشتاور را با میانگین (۲۱/۴۹ N.m) و ترکیب سوخت BD+Ag30 کمترین مقدار گشتاور را با میانگین (۱۹/۲۶ N.m) دارد.

۴-۳- تجزیه و تحلیل آزمون مصرف ویژه سوخت موتور

تغییرات میزان مصرف ویژه سوخت موتور با استفاده از سوخت های بیودیزل خالص، نانوبیودیزل نقره و نانوبیودیزل لوله های کربنی در دور موتورهای مختلف در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹ - تغییرات مصرف ویژه سوخت نسبت به دور با استفاده از سوخت های بیودیزل و نانوبیودیزل

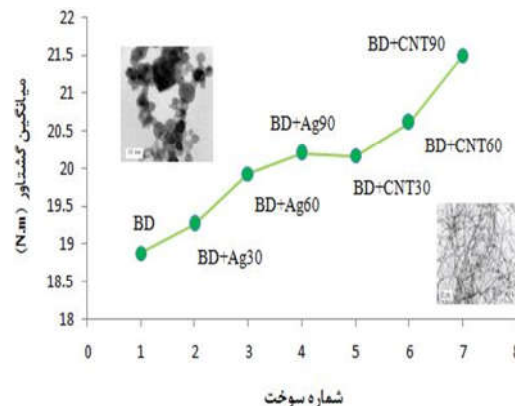
همان طور که مشاهده می شود میزان مصرف ویژه سوخت در دوره های آغازین بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد که این مقدار با افزایش دور موتور روند کلی پیدا کرد. این امر می تواند بالا بودن توان موتور در اثر افزایش دور موتور باشد. با توجه به نمودار بالا سوخت BD+CNT90 در تمامی دوره های موتور دارای کمترین میزان مصرف ویژه سوخت می باشد و کمترین میزان مصرف ویژه سوخت در دور ۲۷۰۰ rpm و برابر ۳۳۳/۱۲ g/kWh است. سوخت بیودیزل خالص بیشترین مصرف ویژه سوخت در تمامی دوره های موتور را داشت. با

در اثر افزایش نسبت سطح به حجم ذرات نانو و افزایش ضریب انتقال گرما با ذرات نانو در این سوخت ها نسبت داد چرا که با افزایش ذرات نانو به سوخت ها به دلیل بهبود کیفیت سوخت ها از لحاظ انتقال گرما، بهسوزی افزایش یافته و در نتیجه انرژی بیشتری تولید می گردد. بیشترین گشتاور در دور ۱۸۰۰ rpm با استفاده از سوخت BD + CNT90 در موتور تولید شد و این سوخت در تمامی دوره های موتور دارای بیشترین گشتاور تولیدی (۲۳/۸۹ N.m) می باشد. کمترین گشتاور نیز با استفاده از سوخت بیودیزل خالص و در دور ۲۷۰۰ rpm ایجاد شد و این سوخت دارای کمترین میزان تولید گشتاور (N.m) در تمامی دور موتورها بود. مقایسه میزان مقادیر کاهش یا افزایش توان موتور با استفاده از مخلوط سوخت های نانوبیودیزل نسبت به سوخت بیودیزل خالص در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- درصد افزایش یا کاهش گشتاور موتور با استفاده از نانو سوخت های بیودیزل نسبت به سوخت بیودیزل

مخلوط سوخت	دور موتور (rpm)			
	۲۷۰۰	۲۴۰۰	۲۱۰۰	۱۸۰۰
BD+Ag30	۳/۱۶	۳/۳۵	۳/۳۹	۳/۷۶
BD+Ag60	۴/۲۷	۸/۰۹	۶/۴۷	۳/۵۲
BD+Ag90	۷/۰۸	۱۱/۵۵	۵/۵۱	۴/۲۹
BD+CNT30	۵/۲۷	۹/۷۱	۶/۹۳	۵/۳۵
BD+CNT60	۷/۴۹	۱۴/۷۹	۶/۳۲	۸/۲۴
BD+CNT90	۹/۶۰	۱۷/۰۸	۱۳/۲۵	۱۵/۱۴

نتایج حاصل از روند تغییرات گشتاور متوسط (در دوره های مختلف موتور) بر حسب نوع سوخت های نانوبیودیزل در شکل ۸ نشان داده شده است. شکل سمت چپ، نمودار برازش منحنی و معادله رگرسیونی تغییرات گشتاور بر حسب شماره سوخت نانوبیودیزل را نشان می دهد. (داده های نشان داده شده در شکل، میانگین گشتاور بدست آمده برای سوخت مورد نظر در چهار دور مورد آزمایش می باشد).



ها در تمامی دور های موتور به غیر از دور ۱۸۰۰ rpm سوخت BD+CNT90 کمترین میزان مصرف ویژه سوخت را با مقدار (۳۳۳/۱۲) g/kWh دارد و در دور ۱۸۰۰ rpm سوخت BD+Ag60 کمترین میزان مصرف ویژه سوخت را با مقدار (۴۱۶/۶۲) g/kWh دارد. با توجه به داشتن ۷ متغیر مستقل سوخت و ۴ متغیر مستقل دور موتور برای بدست آوردن حالت بهینه از روش امتیاز دهی استفاده شد. در این روش افزایش پارامترهای عملکردی موتور مورد توجه قرار گرفت. با استفاده از این روش، بهترین سوخت جهت استفاده در موتور دیزل تک سیلندر 3 LD 510 Lombardini، از نظر افزایش پارامترهای عملکردی موتور، سوخت BD+CNT90 می باشد.

۵- نتیجه گیری و جمع بندی

سوخت BD+CNT90 باعث تولید بیشترین توان ترمزی (kW) (۵/۳۹) و بالاترین میزان گشتاور تولیدی (۲۳/۸۹ N.m) در موتور دیزل گردید و از این رو بهترین سوخت برای بدست آوردن توان و گشتاور بیشینه در موتور می باشد. دور موتور مناسب برای داشتن توان و گشتاور بیشینه به ترتیب ۲۷۰۰ و ۱۸۰۰ rpm می باشد. همچنین کمترین میزان مصرف ویژه سوخت (۳۳۳/۱۲ gr/kWh) با استفاده از سوخت BD+CNT90 و در دور موتور ۲۷۰۰ rpm رخ داد. نتایج آزمایش ها حاکی از آن است که افزایش غلظت نانو ذرات در سوخت بیودیزل، باعث افزایش پارامترهای عملکردی موتور (توان و گشتاور) و کاهش مصرف ویژه سوخت می شود.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از مدیریت پژوهشکده انرژی های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس، بابت در اختیار گذاشتن امکانات آزمایشگاه بیودیزل و تسهیلات انجام آزمایش ها در آن پژوهشکده را اعلام می دارند.

۷- مراجع

- [1] Saravanan N., Nagarajan G., and Puhana S., Experimental Investigation on a DI Diesel Engine Fueled With Madhuka Indica Ester and Diesel Blend. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 34, No. 6, pp. 838-843, 2010.
- [2] Zheng M., Reader G.T., and Hawley J.G., Diesel Engine Exhaust Gas Recirculation-A Review on Advanced and Novel Concept. *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, No. 6, pp. 883-900, 2004.
- [3] Jung H., Kittelson D., and Zachariah M., The Influence of a Cerium Additive on Ultra-Fine Diesel Particle Emissions and Kinetics of Oxidation. *Combustion and Flame*, Vol. 142, No. 5, pp. 276-288, 2004.
- [4] قبادیان ب. و خاتمی فر م.، تولید بیودیزل از روغن های پسماند خوراکی. مجموعه مقالات اولین همایش ملی بررسی ضایعات محصولات کشاورزی، تهران، ایران، ۱۳۸۴.
- [5] Guru M., Karakaya U., Altiparmak D., and Alicilar A., Improvement of Diesel Fuel Properties By Using Additives. *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, No. 8, pp. 1021-1025, 2002.

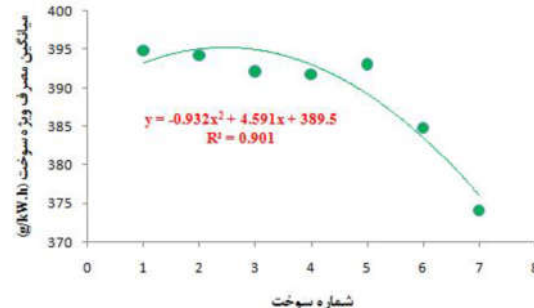
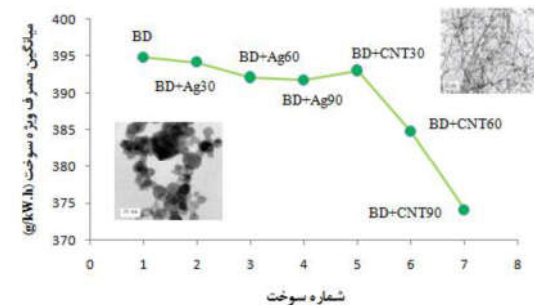
توجه به افزایش توان موتور با افزایش سهم پلوزرات در سوخت، مصرف ویژه سوخت، کاهش یافت.

مقایسه میزان مقادیر کاهش یا افزایش مصرف ویژه سوخت با استفاده از مخلوط سوخت های نانوبیودیزل نسبت به بیودیزل خالص در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- درصد افزایش یا کاهش مصرف ویژه سوخت با استفاده از سوخت های نانوبیودیزل و بیودیزل

مخلوط سوخت	دور موتور (rpm)			
	۲۷۰۰	۲۴۰۰	۲۱۰۰	۱۸۰۰
BD+Ag30	-۰/۹۲	-۱/۵۰	-۲/۹۱	-۱/۳۱
BD+Ag60	-۲/۹۰	-۰/۴۶	-۰/۳۸	-۵/۵۶
BD+Ag90	-۱/۴۰	-۱/۲۹	-۰/۹۹	-۱/۸۱
BD+CNT30	-۰/۴۳	-۱/۲۹	-۲/۱۸	-۱/۰۳
BD+CNT60	-۰/۹۶	-۰/۵۰	-۴/۸۵	-۳/۴۳
BD+CNT90	-۷/۲۱	-۲/۷۹	-۶/۹۸	-۴/۲۱

نتایج حاصل از روند تغییرات مصرف ویژه سوخت در دورهای مختلف موتور، با استفاده از سوخت های نانوبیودیزل در شکل نشان داده شده است (شکل ۱۰). معادله رگرسیون، نمودار برازش منحنی و چگونگی کاهش مصرف ویژه سوخت با افزایش غلظت نانو ذرات در سوخت ها نشان می دهد. (داده های نشان داده شده در شکل، میانگین مصرف ویژه سوخت بدست آمده برای سوخت مورد نظر در چهار دور مورد آزمایش می باشد).



شکل ۱۰- روند تغییرات مصرف ویژه سوخت موتور با استفاده از نانو سوخت های بیودیزل

با توجه به جدول ۳ و نمودار شکل ۱۰، بین همه مخلوط سوخت

- [6] Deluca L.T., Galfetti L., and Severini F., Combustion of Composite Solid Propellants With Nanosized Aluminum. *Combustion. Explosion and Shock Waves*, Vol. 41, No. 7, pp. 680-692, 2005.
- [7] Tabatabaei M., Karimi K., Horváth I. S., Kumar R., Recent trends in biodiesel production. *Biofuel Research*, Vol. 7, pp. 258-267, 2015.
- [8] Selvan V., Anand R., and Udayakumar M., Effects of Cerium Oxide Nanoparticulate Addition In Diesel and Diesel-Biodiesel-Ethanol Blends on The Performance and Emission Characteristics of A CI Engine. *Journal of Engineering & Applied Sciences*, Vol. 4, No. 7, pp. 115-123, 2009.
- [9] Sajith V., and Sobhan C., Experimental Investigations on The Effects of Cerium Oxide nanoparticle Fuel Additives on Biodiesel. *Advance in Mechanical Engineering*, Vol. 12, No. 6, pp. 19-25, 2009.
- [10] Franco A., Shenbagavinayagamoorthi N., Sathish Gandhi V. C., Performance and Emission Study of Sardine Fish Oil Biodiesel in a Diesel Engine. *Oxidation Communications*, Vol. 37, No. 3, pp. 802-816, 2013.
- [11] Ghareghani A., Mirsalim S. M., Hosseini R., Effects of waste fish oil biodiesel on diesel engine combustion characteristics and emission. *Renewable Energy*, Vol. 101, pp. 930-936, 2017.
- [12] Sharma D. K., Verma T. N., Characteristics of fish oil biodiesel with the impact of diesel fuel addition on a CI engine. *J. Computational and Applied Research in Mechanical Engineering (JCARME)*, Vol. 9, No. 1, pp. 233-241, 2019.