



Experimental Investigation of the Effect of Nano-particle Concentrations on the First and Second Laws efficiency in CI engine fueled with Diesel/Biodiesel blend

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Gharehghani A.*¹ PhD

How to cite this article

Gharehghani A. Experimental Investigation of the Effect of Nano-particle Concentrations on the First and Second Laws efficiency in CI engine fueled with Diesel/Biodiesel blend. Modares Mechanical Engineering, 2020;20(8):2009-2016.

ABSTRACT

Reducing fossil fuel sources together with tighter environmental laws to control the engine exhaust emissions makes the use of cleaner and renewable fuels inevitable. Therefore, the use of biodiesel fuel as a strategy to conserve energy and reduce emissions is becoming increasingly important in engines. On the other hand, biodiesel fuels increase NO_x emissions in the engines, which necessitate the use of water additives to reduce the combustion temperature. To compensate for the negative effect of water addition by reducing combustion quality and thus reducing thermal and exergy efficiency, the use of metal-based nano-particles additive can be a reliable solution. In this study, the effect of adding different concentrations of nano-particles on improving efficiency of the first and second laws as well as fuel consumption of a single-cylinder engine with different fuel combinations with BXWYNZ formula (diesel fuel with X% biodiesel mass, Y% water mass%, and Zppm nano-particles), has been studied experimentally. The results of this study show that adding 60ppm nano-particles to B0W5 will improve about 3% efficiency in the first law and 2.5% efficiency in the second law compared to pure diesel fuel. These values were about 4 and 3.8% for 90ppm nano-particles, and 5 and 4.7% for 120ppm nano-particles, respectively. In addition, based on the experimental results, the B15W5N120 has 7.5% higher first-law efficiency and 7% higher second-law efficiency than pure diesel fuel.

Keywords First and Second Law Efficiency; Exergy; Fuel Consumption; Biodiesel; Nano-Particle

CITATION LINKS

[1] Simultaneous deduction of CO and NO_x emissions as well as fuel consumption by ... [2] A novel emulsion fuel containing aqueous nano cerium oxide additive in diesel-biodiesel ... [3] Performance and emission characteristics of a diesel engine using alumina nanoparticle ... [4] Environmental and enviroeconomic researches on diesel engines with diesel and ... [5] Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single ... [6] Experimental study and prediction of the performance and exhaust emissions of ... [7] Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion ... [8] A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with ... [9] Adjusting the operating characteristics to improve the performance of an ... [10] Investigating the effect of additives on biodiesel fuel on diesel ... [11] Investigating the performance of a diesel engine using biodiesel oil of ... [12] Performance evaluation of diesel engines (PEDE) for a diesel-biodiesel ... [13] Comparative study of hydrogen addition effects on the natural-gas/diesel ... [14] Reductions in diesel emissions including PM and PN emissions with ... [15] Ignition delay correlation for a direct injection diesel engine fuelled ... [16] Water-in-diesel fuel nanoemulsions prepared by high energy: ... [17] Exhaust emissions of a diesel engine fueled with water-biodiesel-diesel ... [18] Engine performance using emulsified diesel ... [19] Characterization of light duty diesel engine pollutant emissions using ... [20] Performance, combustion and emission characteristics of a DI ... [21] Effect of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fuelled CI ... [22] Improvement of diesel fuel properties by ... [23] Zinc oxide incorporated water-in-diesel emulsion fuel: Formulation, ... [24] Aqueous aluminum nano fluid combustion in diesel ... [25] Impacts of additives on performance and emission characteristics of ... [26] Effect of aluminium oxide nanoparticles blended pongamia methyl ... [27] An experimental study on reactivity controlled ... [28] Comparative analysis on the effect of zinc oxide and ethanox as ... [29] Effects of waste fish oil biodiesel on diesel engine ... [30] Novel environmentally friendly fuel: The effects of nanographene ... [31] The effect of nano-additives in diesel-biodiesel fuel blends: A ... [32] A comparative study on the first and second law analysis and performance ... [33] Fuel economy in gasoline engines using Al₂O₃/TiO₂ nanomaterials as nanolubricant ...

¹School of Mechanical Engineering, Iran University Science and Technology, Tehran, Iran

*Correspondence

Address: School of Mechanical Engineering, Iran University Science and Technology, Resalat Square, Hengam Street, Tehran, Iran. Post Box: 16765-163
Phone: +98 (21) 73228953
Fax: +98 (21) 77240488
ayat_gharehghani@iust.ac.ir

Article History

Received: September 29, 2019
Accepted: May 5, 2020
ePublished: August 15, 2020

بررسی تجربی اثر غلظت نانوذرات بر عملکرد موتور اشتعال تراکمی با سوخت دیزل/بیودیزل از دیدگاه قانون اول و دوم

آیت قره‌قانی^{*} PhD

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

کاهش منابع انرژی‌های فسیلی همراه با تشدید قوانین زیست‌محیطی برای کنترل آلاینده‌های خروجی از موتور، استفاده از سوخت‌های پاک‌تر و تجدیدپذیر را اجتناب‌ناپذیر کرده است. از این رو، استفاده از سوخت بیودیزل هم به‌عنوان راه‌کاری برای حفظ منابع انرژی و هم کاهش آلاینده‌ها اهمیت بسیاری در موتورهای پیدا کرده است. از طرفی، سوخت بیودیزل باعث افزایش آلاینده ناکس (NOx) در موتورهای می‌شود که استفاده از افزودنی آب برای کاهش دمای احتراق را ناگزیر می‌کند. برای جبران اثر منفی استفاده از آب کاهش کیفیت احتراق و در نتیجه کاهش راندمان حرارتی و اگرژی، استفاده از افزودنی نانوذرات فلزی می‌تواند راه‌حل قابل اطمینانی باشد. در این مطالعه، اثر افزودن غلظت‌های مختلف نانوذرات بر بهبود راندمان قانون اول و دوم و نیز مصرف سوخت یک موتور تک‌سیلندر که با ترکیب‌های مختلف سوخت با فرمول BXWYNZ (سوخت دیزل با ۸ درصد جرمی بیودیزل، ۷ درصد جرمی آب و ۵ درصد جرمی بیودیزل) کار می‌کند، مورد بررسی تجربی قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که افزودن ۶٪ بخش در میلیون نانوذره به ترکیب BOW5 باعث بهبود حدود ۳٪ در بازده قانون اول و ۲/۵٪ در بازده قانون دوم، نسبت به سوخت دیزل خالص خواهد شد. این مقادیر برای افزودن ۹٪ بخش در میلیون نانوذره به ترتیب حدود ۴ و ۳/۸٪ و برای ۱۲٪ بخش در میلیون نانوذره به ترتیب ۵ و ۴/۷٪ هستند. به‌علاوه، براساس نتایج تجربی به‌دست‌آمده، ترکیب B15W5N120 دارای ۷/۵٪ بازده قانون اول بالاتر و ۷٪ بازده قانون دوم بالاتر نسبت به سوخت دیزل خالص است.

کلیدواژه‌ها: بازده قانون اول و دوم، اگرژی، مصرف سوخت، بیودیزل، نانوذره

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۶

نویسنده مسئول: ayat_ghareghani@iust.ac.ir

مقدمه

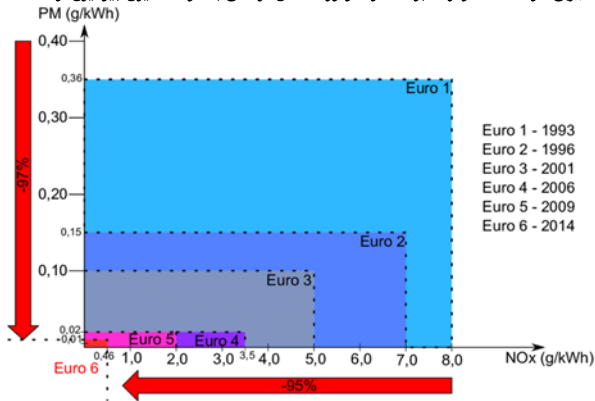
سخت‌گیرانه‌تر شدن مقررات مربوط به تولید آلاینده‌های منتشرشده از خودروها همراه با کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، محققین حوزه تولید سوخت و همچنین بخش تحقیقات موتور شرکت‌های سازنده خودرو را به سمت یافتن راه‌حل‌های مناسب سوق داده است [1]. کاهش مقدار مجاز آلاینده ناکس (NOx) و دوده در موتورهای دیزلی از قانون یورو ۱ تا یورو ۶، در نمودار ۱ نشان داده شده است، که بیانگر سخت‌گیرانه‌تر شدن شدید قوانین آلاینده‌گی در موتورهای احتراقی است. از مهم‌ترین راه‌حل‌های کاهش آلاینده‌گی و نیز کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، استفاده از سوخت‌های جایگزین مانند بیودیزل در موتورهای دیزلی و نیز استفاده از افزودنی‌هایی مانند آب به سوخت، است [2-6]. سوخت بیودیزل با توجه به شباهت‌های فیزیکی و شیمیایی زیادی که با

سوخت دیزل دارد، می‌تواند بدون نیاز به تغییر زیاد در موتورهای دیزلی مورد استفاده قرار گیرد [7-9]. هم‌اکنون پیشرفت تکنولوژی موجب شده است که تبدیل زیست‌توده به سوخت بیودیزل حاصل از منابع گیاهی و حیوانی به‌راحتی توسط روش‌های حرارتی-شیمیایی انجام پذیرد. براساس منابع موجود، کشورهای زیادی همچون آلمان، آمریکا، مالزی و غیره از جمله کشورهایی هستند که بیودیزل را در سبد مصرفی خود قرار داده‌اند [10]. به‌عنوان مثال در آمریکا بیودیزل به‌عنوان یک سوخت جایگزین در کنار سوخت دیزل (گازوئیل) برای موتورهای دیزلی استفاده می‌شود و سالانه بیش از ۳۰۰ میلیون گالن بیودیزل در این کشور تولید شده و به مصرف می‌رسد و پیش‌بینی می‌شود این میزان به ۶۰۰ میلیون گالن در سال نیز برسد. در کشور مالزی، تمام جایگاه‌های عرضه سوخت، بیودیزل را به مقدار ۵٪ با سوخت گازوئیل خالص (B5) مخلوط نموده و عرضه می‌نمایند [11]. استفاده از بیودیزل به‌عنوان یکی از انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌تواند یک راه‌کار بالقوه در کاهش مقدار مصرف سوخت‌های فسیلی باشد. در سند چشم‌انداز ایران ۱۴۰۴، جایگزینی سوخت‌های فسیلی مصرفی کشور با سوخت‌های بیودیزل و بیواتانول به مقدار ۲ تا ۵٪ پیش‌بینی شده است [10].

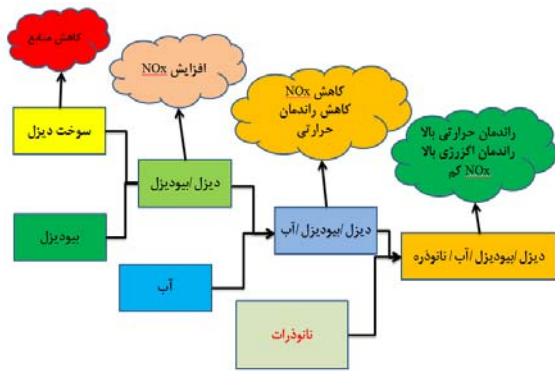
یکی از مهم‌ترین معضلات استفاده از بیودیزل در موتورها، افزایش آلاینده NOx است. این افزایش، به‌دلیل وجود اتم اکسیژن در ساختار بیودیزل و نیز عدد ستان بزرگ‌تر سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل است که باعث افزایش دمای احتراق و در نتیجه افزایش آلاینده اکسیدهای نیتروژن می‌شود [12-14].

برای غلبه بر این مشکل، محققان زیادی استفاده از افزودنی آب به ترکیب دیزل/بیودیزل را پیشنهاد داده‌اند [15-18]. استفاده از افزودنی آب، باعث افزایش گرمای ویژه مخلوط داخل سیلندر شده و در نتیجه دمای بیشینه احتراق را کاهش می‌دهد. گرچه این کاهش دما باعث کاهش آلاینده NOx خواهد شد، اما از طرفی با کاهش کیفیت احتراق، باعث کاهش راندمان حرارتی و نیز راندمان قانون دوم در موتور می‌شود [19]. مطالعات انجام‌شده بر روی استفاده از افزودنی نانوذرات به سوخت‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این نوع افزودنی‌ها با توجه به بهبود فرآیند احتراق، باعث کامل‌تر شدن احتراق و در نتیجه افزایش راندمان حرارتی و نیز کاهش آلاینده‌هایی نظیر هیدروکربن‌ها (HC) و کربن‌مونوکسید (CO) می‌شود [20-22].

افزودن نانوذرات روی اکساید (ZnO) به ترکیب سوخت هیدروژن و بیودیزل در یک موتور دوگانه‌سوز بیانگر این بوده است که اندازه نانوذرات بر روی میزان بهبود بازده موتور اثرگذار است [23]. همچنین بررسی انجام‌شده بر روی سوخت دیزل دارای نانوذرات آلومینیوم (Al) نشان‌دهنده بیشتر بودن نرخ آزادسازی حرارت و در نتیجه افزایش آلاینده NOx است [24]. افزودن نانوذرات سرب اکساید (CeO2) به ترکیب سوخت دیزل/بیودیزل نیز نشان‌دهنده بهبود فرآیند احتراق و در نتیجه بهبود راندمان حرارتی بوده است [25]. با توجه به موارد گفته‌شده، استفاده هم‌زمان از



نمودار ۱) سخت گیرانه تر شدن قوانین آلاینده‌گی



شکل ۱) خلاصه تصویری مطالعه حاضر

راه اندازی آزمایشگاهی

تهیه مخلوط سوخت‌ها

برای تهیه امولسیون دیزل/بیودیزل/آب، ابتدا سوخت دیزل از یک جایگاه عرضه سوخت تهیه شد تا نتایج آزمون‌ها برای شرایط واقعی باشد. سوخت دیزل مورد استفاده دارای کیفیت یورو ۴ است. برای تهیه امولسیون، ابتدا بیودیزل در نسبت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی به سوخت دیزل اضافه شدند، و نهایتاً ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی آب به مخلوط اضافه شد. برای تهیه امولسینی پایدار از دستگاه هموژنایزر استفاده شد که به مدت ۱۰ دقیقه مواد را با هم مخلوط کرده است^[1]. برای اضافه نمودن نانوذرات، سه غلظت مختلف از نانوذرات سربیم‌اکساید (۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ بخش در میلیون) به آب اضافه شده و سپس آب به مخلوط دیزل/بیودیزل اضافه شده است.

مشخصات مجموعه موتور و وسایل اندازه‌گیری

آزمون‌ها بر روی یک موتور تک‌سیلندر ریکاردو E6 انجام گرفته است. تصویری از موتور مورد استفاده در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۱ مشخصات اصلی موتور تک‌سیلندر و شرایط عملکرد موتور آورده شده است. موتور به یک دینامومتر برقی با توان ۲۲ کیلووات متصل بوده است که وظیفه راه‌اندازی اولیه موتور را بر عهده دارد. برای اندازه‌گیری مصرف سوخت از دستگاه AVL-735 استفاده شده است که ساخت شرکت AVL اتریش است. همچنین برای اندازه‌گیری گشتاور موتور، از یک

افزودنی‌های آب و نانوذرات، می‌تواند راه‌حل مطمئنی برای کاهش هم‌زمان آلاینده‌های NOx، CO و HC و نیز بهبود راندمان و کاهش مصرف سوخت باشد.

مرور کارهای پیشین نشان می‌دهد که از نانوذرات آلومینیوم‌اکساید (Al₂O₃)، ZnO، Graphene Oxide، CeO₂، تیتانیوم‌اکساید (TiO₂) و منگنزاکساید (Mn₂O₃) توسط محققان برای کاهش انتشار آلاینده‌ها و همچنین کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی (BSFC) استفاده شد.

قره‌قانی و همکاران^[27]، تأثیر اندازه نانوذرات Al₂O₃ در کاهش انتشار آلاینده‌ها در موتور دیزلی را مورد بررسی قرار داده‌اند. تأثیر ۲۰ و ۴۰ نانومتر قطر ذرات نانو روی ویژگی‌های آلاینده‌گی دیزل دو سیلندر چهارزمانه توسط شوک و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است^[28]. اثر قطر ذرات بین ۱۰ تا ۳۰ نانومتر برای نانوذرات Co₃O₄ اضافه‌شده به سوخت بیودیزل توسط قره‌قانی و همکاران، به منظور بررسی تأثیر آن بر انتشار آلاینده‌ها و عملکرد موتور در یک موتور دیزل مجهز به کاتالیزور اوره مورد مطالعه قرار گرفته است^[29]. نتایج آنها نشان داد که اندازه نانوذرات تأثیر زیادی در بهبود راندمان حرارتی ترمز (BTE) در موتور دارد.

غلظت نانوذرات پارامتر دیگری است که توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است تا تأثیر آن در کاهش آلاینده‌گی و بهبود راندمان حرارتی مشخص شود. سیواکومار و همکاران^[26]، اثر غلظت ۵۰ تا ۱۰۰ بخش در میلیون از نانوذرات Al₂O₃ در کاهش آلاینده‌گی موتور دیزل که با سوخت متیل‌استر کار می‌کند، را مورد مطالعه قرار داده‌اند. غلظت ۳۰ تا ۹۰ بخش در میلیون از نانوذرات اکسید گرافن نیز توسط حسینی و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است^[30]. نتایج آنها نشان داده است که افزودنی‌های گرافن اکسید تأثیر معنی‌داری در کاهش انتشار CO و UHC دارد، با این حال، افزایش اندک در انتشار CO₂ و NOx گزارش شده است.

مرور کارهای انجام‌گرفته در زمینه افزودنی‌ها نشان می‌دهد که گرچه بررسی اثر استفاده هم‌زمان آب و نانوذرات بر عملکرد موتورهای دیزلی توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است، اما براساس دانش نویسنده، این مطالعه اولین موردی است که اثر استفاده از غلظت نانوذرات بر راندمان قانون دوم را به صورت تجربی مورد بررسی قرار داده است. لذا، نوآوری اصلی این مقاله بررسی تجربی اثر غلظت نانوذرات اکسیدسربیم بر بهبود راندمان قانون دوم موتور است. بدین منظور غلظت‌های ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ بخش در میلیون نانوذره اکسیدسربیم به ترکیب سوخت دیزل/بیودیزل/آب B0W5NX و B15W5NX اضافه شده و اثر آن بر میزان بهبود راندمان قانون اول و دوم نیز کاهش مصرف سوخت مورد بررسی قرار گرفته است. راه‌اندازی آزمایشگاهی مورد استفاده، یک موتور تک‌سیلندر تحقیقاتی ریکاردو با قابلیت تغییر نسبت تراکم بوده است. خلاصه تصویری کار تجربی انجام‌شده، در شکل ۱ نشان داده شده است.

نتایج آزمون‌ها

در این بخش، نتایج آزمون‌های انجام‌گرفته بر روی موتور با استفاده از ترکیب‌های مختلط سوخت مورد بحث قرار خواهد گرفت.

تأثیر غلظت نانوذرات بر راندمان قانون اول

راندمان قانون اول به‌عنوان نسبت توان ترمزی به انرژی ورودی تعریف می‌شود. توان ترمزی در طول آزمایشات با استفاده از یک بارسنج (بارسنج گشتاور را اندازه‌گیری می‌کند) اندازه‌گیری می‌شود، در حالی که انرژی ورودی با استفاده از مقدار کالری موجود در هر نمونه سوخت به همراه میزان نرخ جرم ورودی محاسبه می‌شود. معادله ۱ رابطه بازده قانون اول را نشان می‌دهد:

$$\eta_{Thermal} = \frac{Brake_Power}{Input_Energy} = \frac{Torque \times \frac{2\pi N}{60}}{\dot{m}_{fuel} \times LHV} \quad (1)$$

در این رابطه، N دور موتور، $\dot{m}_{fuel}$ دبی سوخت ورودی و LHV ارزش حرارتی هر نمونه سوخت است. اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات و نیز درصدهای مختلف آب (۵، ۱۰ و ۱۵٪) بر روی راندمان حرارتی سوخت دیزل خالص (B0) در نمودارهای ۲ و ۳ نشان داده شده است.

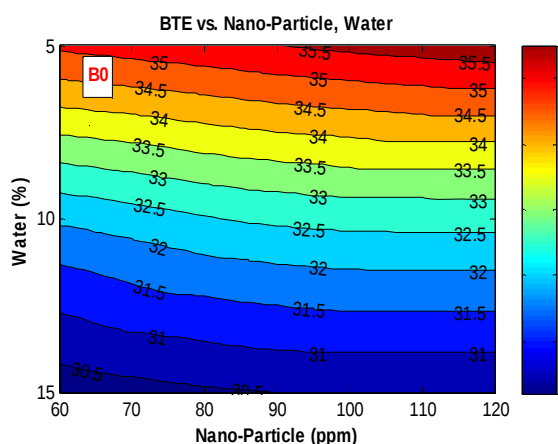
نیروسنج مغناطیسی متصل به دینامومتر استفاده شده است. برای اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی از موتور دماسنج نوع K به‌کار رفته است. دور موتور با استفاده از شمارنده مغناطیسی دوار مدل MES-2500D-T، Fotek اندازه‌گیری شده است.



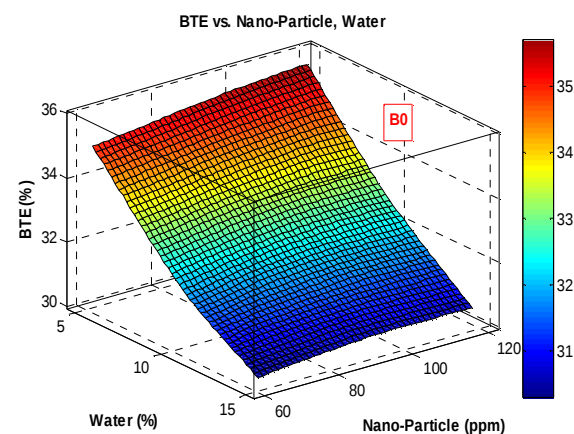
شکل (۲) مجموعه آزمایشگاهی

جدول (۱) مشخصات فنی و شرایط عملکردی موتور مورد آزمایش

مشخصات	اندازه
قطر سیلندر (میلی‌متر)	۷۶/۲
طول پیمایش (میلی‌متر)	۱۱۰
حجم جابه‌جایی (سی‌سی)	۵۰۷
بیشینه نسبت	۱۷
سرعت موتور (دور بر دقیقه)	۱۰۰۰
تعداد دریچه	۲
زاویه پاشش سوخت (درجه قبل از مکث بالا)	۲۵-۱۵
فشار پاشش (بار)	۱۸۰



نمودار (۲) کانتور اثر غلظت نانوذرات و آب بر راندمان قانون اول برای حالت B0



نمودار (۳) اثر غلظت نانوذرات و آب بر راندمان قانون اول برای حالت B0

آنالیز خطا و عدم قطعیت

اپراتورها و نیز دستگاه‌ها ممکن است در اندازه‌گیری‌های تجربی خطا ایجاد کنند. کارکرد غیرخطی دستگاه‌ها به همراه کالیبراسیون بد، منبع خطای دستگاه‌ها است که تکرار اندازه‌گیری و تعیین حداقل خطا راه‌حل این نگرانی است. اندازه‌گیری‌ها ۲۰۰ بار برای هر نقطه عملکردی تکرار شده و سپس میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده به‌عنوان یک مقدار در نظر گرفته می‌شود. جدول ۲ عدم قطعیت اندازه‌گیری‌شده برای نتایج را نشان می‌دهد.

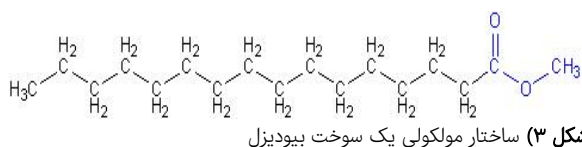
جدول (۲) اندازه‌گیری عدم قطعیت در نتایج محاسبه‌شده (بیشینه عدم قطعیت در همه موارد $\pm 1\%$ است)

پارامتر	وضوح	دقت
مصرف سوخت	-	$\pm 0.1\%$ کیلوگرم بر ساعت
دما	-	$\pm 0.1\%$ درجه سانتی‌گراد
سرعت موتور	۱۰ دور بر دقیقه	$\pm 1\%$

همان طور که در این نمودارها نشان داده شده است، با افزودن بیودیزل ۱۵٪ بیودیزل به سوخت دیزل خالص، راندمان حرارتی موتور به طور متوسط حدود ۳٪ افزایش یافته است. یک مولکول معمولی بیودیزل شبیه ساختار نشان داده شده در شکل ۳ است. براساس شکل ۳، ساختار مولکولی بیودیزل زنجیره‌ای طولانی از اتم‌های کربن است، که اتم‌های هیدروژن به آن متصل شده و در یک انتها یک گروه عملکردی استری (رنگ آبی) به آن متصل است.

بنابراین، بیودیزل را می‌توان به عنوان سوخت اکسیژن‌دار در نظر گرفت. اتم‌های اکسیژن به همراه عدد ستان بزرگ‌تر سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل، منجر به احتراق کامل‌تر و در نتیجه راندمان حرارتی بالاتر در موتور می‌شوند. در جدول ۳، مقادیر راندمان حرارتی برای نمونه سوخت‌های مختلف آورده شده است.

براساس نتایج جدول ۳، نمونه سوخت B15W5N120 بالاترین بهبود راندمان حرارتی را نسبت به دیزل خالص دارد. بنابراین، ترکیب سوخت اکسیژن‌دار (بیودیزل) با نانوذرات فلزی می‌تواند یک راه‌حل امیدوارکننده برای بهبود راندمان حرارتی و در نتیجه کاهش مصرف سوخت در موتورهای دیزلی باشد.



جدول ۳) راندمان حرارتی برای نمونه سوخت‌های مختلف

درصد بهبود راندمان نسبت به سوخت دیزل	راندمان حرارتی (%)	نمونه سوخت
۰	۳۴/۲	B0 (D100)
۲/۶۳	۳۵/۱	B0W5N60
۳/۸۰	۳۵/۵	B0W5N90
۴/۶۸	۳۵/۸	B0W5N120
۴/۹۷	۳۵/۹	B15W5N60
۵/۸۵	۳۶/۲	B15W5N90
۷/۰۲	۳۶/۶	B15W5N120

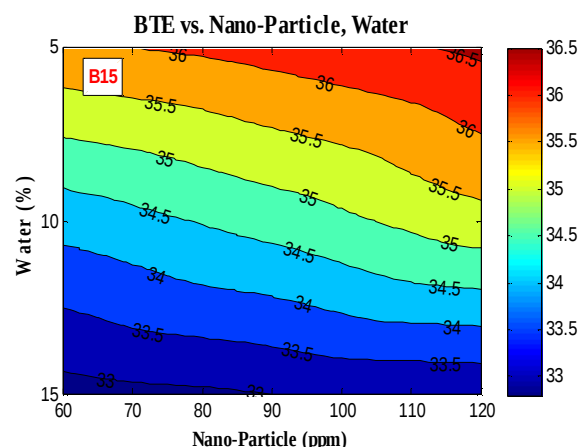
تأثیر غلظت نانوذرات بر راندمان قانون دوم

همان طور که در مقدمه ذکر شد، این کار نخستین تلاش برای بررسی تأثیر غلظت نانوذرات بر بهبود راندمان آگرژی موتور است. برای بررسی تعادل آگرژی در موتور، از معادلات زیر استفاده شده است [32]:

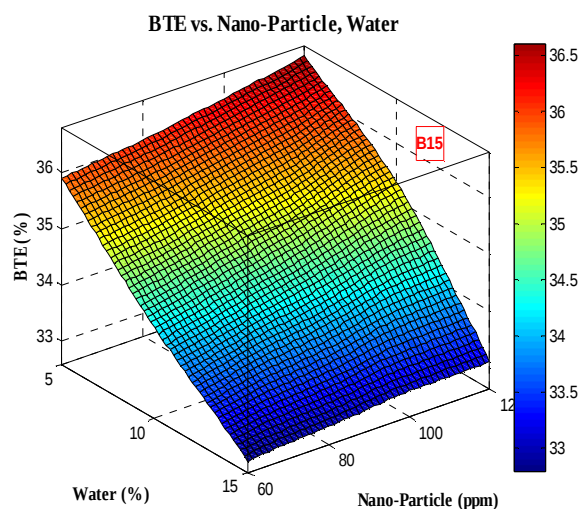
$$X_{fuel} + X_{in} - X_W - X_{ex} + \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) Q_c - X_{dest} = 0 \quad (2)$$

در معادله ۲، X_{fuel} ، X_W و X_{ex} به ترتیب آگرژی‌های سوخت، توان خروجی و گازهای خروجی از موتور هستند. X_{in} آگرژی است که از طریق فرآیند ورود هوا انتقال می‌یابد. همچنین، ترم $\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) Q_c$ آگرژی را نشان می‌دهد که توسط گرما منتقل می‌شود و در آن T_j دمای مطلق بخش مرزی است که از آنجا گرما

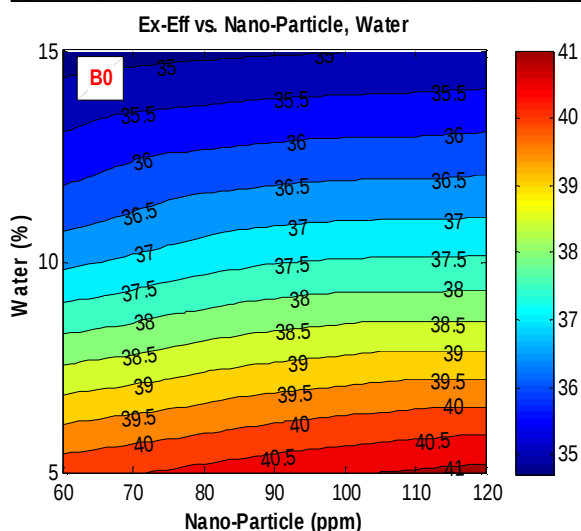
همان طور که در این نمودارها دیده می‌شود، با افزایش غلظت نانوذرات، BTE به طور مداوم افزایش می‌یابد در حالی که درصد آب تأثیر متضاد بر BTE دارد. افزودن نانوذرات در حین احتراق منجر به ریز انفجارها در سیلندر می‌شود و در نتیجه احتراق کامل‌تری در محفظه احتراق اتفاق می‌افتد [31]. این پدیده منجر به راندمان بهتر احتراق و سرعت بیشتر آزادسازی حرارت می‌شود. از طرف دیگر، اضافه کردن آب باعث کاهش دمای احتراق و در نتیجه کاهش نرخ آزادسازی حرارت در موتور می‌شود. همان طور که در نمودارهای ۲ و ۳ دیده می‌شود، بیشترین راندمان حرارتی مربوط به غلظت ۱۲٪ بخش در میلیون نانوذرات و ۵٪ آب بوده است. کاهش منابع سوخت‌های فسیلی به همراه مقررات سخت‌گیرانه‌تر انتشار آلاینده‌ها در سال‌های اخیر، محققان را به سمت یافتن راه‌حلی برای ترکیب سوخت‌های فسیلی با مواد افزودنی یا سوخت‌های تجدیدپذیر مانند بیودیزل، سوق داده است. نمودارهای ۴ و ۵ اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات و نیز درصدهای مختلف آب (۵، ۱۰ و ۱۵٪) را بر روی راندمان حرارتی سوخت B15 می‌دهند.



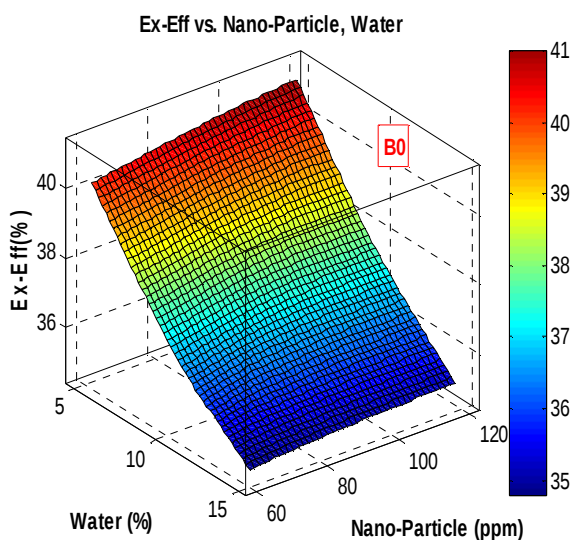
نمودار ۴) کانتور اثر غلظت نانوذرات و آب بر راندمان قانون اول برای حالت B15



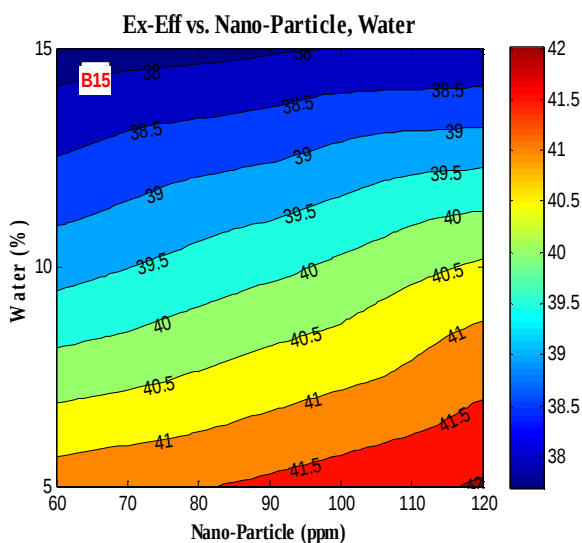
نمودار ۵) اثر غلظت نانوذرات و آب بر راندمان قانون اول برای حالت B15



نمودار ۶) کانتور اثر غلظت نانوذرات و آب بر راندمان قانون دوم برای حالت B0



نمودار ۷) اثر غلظت نانوذرات و آب بر راندمان قانون دوم برای حالت B0



نمودار ۸) کانتور اثر غلظت نانوذرات و آب بر راندمان قانون دوم برای حالت B15

رد می‌شود [32]. توضیحات بیشتر در مورد نحوه محاسبه هر یک از ترم‌های معادله ۲، در مطالعه قره‌قانی و همکاران [32] آمده است. در نهایت، راندمان آگرژی یا همان بازده قانون دوم از معادله ۳ بدست می‌آید:

$$Ex_Eff = \frac{x_w}{x_{fuel}} \quad (3)$$

در رابطه ۳، صورت کسر آگرژی کار است که برابر خود کار است. مخرج کسر نیز آگرژی سوخت است که از ضرب نسبت افزایش انرژی آزاد گیبس به آنتالپی $\left(\frac{-(\Delta G)_{T_0, P_0}}{-(\Delta H)_{T_0, P_0}}\right)$ در مقدار انرژی ورودی سوخت به‌دست می‌آید [32].

نمودارهای ۶ و ۷ اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات و نیز درصدهای مختلف آب (۵، ۱۰ و ۱۵٪) را بر روی راندمان آگرژی سوخت دیزل خالص (B0) نشان می‌دهند.

در نمودارهای ۶ و ۷ دیده می‌شود که با افزایش غلظت نانوذرات، بازده آگرژی به‌طور مداوم افزایش می‌یابد، در حالی که افزودن آب تأثیر منفی بر عملکرد قانون دوم موتور دارد. افزودن نانوذرات به سوخت، باعث افزایش کیفیت احتراق در سیلندر می‌شود و در نتیجه، قدرت خروجی موجود افزایش می‌یابد و براساس معادله ۳، راندمان آگرژی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، ورود آب به سوخت باعث افت کیفیت احتراق در موتور می‌شود و در نتیجه کار در دسترس کاهش می‌یابد که باعث پایین‌آمدن بازده قانون دوم می‌شود [33]. براساس نتایج نمودار ۶، حداکثر راندمان آگرژی موتور متعلق به نمونه سوخت B0W5N120 است (بیش از ۴۱٪)، در حالی که حداقل مقدار آن به نمونه سوخت B0W15N60 اختصاص یافته است (کمتر از ۳۵٪).

نمودارهای ۸ و ۹ اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات و نیز درصدهای مختلف آب (۵، ۱۰ و ۱۵٪) را بر روی راندمان قانون دوم سوخت B15 نشان می‌دهند.

مقایسه نمودارهای ۶ و ۸ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار بیودیزل در مخلوط سوخت، راندمان آگرژی موتور در حدود ۳٪ (باند بالا و پایین) افزایش یافته است. این اثر مثبت بیودیزل بر کیفیت احتراق را نشان می‌دهد و در نتیجه، کار قابل دسترس در موتور افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، براساس مقدار ارزش حرارتی پایین‌تر بیودیزل، میزان آگرژی ورودی برای مخلوط‌های بیودیزل/دیزل کاهش می‌یابد و براساس معادله ۳، راندمان آگرژی افزایش می‌یابد. در جدول ۴، بازده آگرژی برای نمونه‌های مختلف سوخت‌رسانی ارایه شده است. همان طور که در این جدول نشان داده شده است، افزایش غلظت نانوذرات تأثیر فزاینده‌ای بر راندمان آگرژی برای همه نمونه‌ها دارد. براساس جدول ۴، بهترین گزینه برای مورد سوخت‌رسانی موتور با توجه به راندمان قانون دوم، نمونه سوخت B15W5N120 است. سطوح بالاتر بیودیزل و نانوذرات در محتوای سوخت منجر به کیفیت احتراق بسیار بهتر شده و در نتیجه بیشترین میزان کار در دسترس برای این مورد سوخت‌رسانی حاصل می‌شود.

۴- افزایش غلظت نانوذرات به‌طور فزاینده‌ای بر بازده آگرژی برای همه مقادیر بیودیزل تأثیر می‌گذارد. بهترین انتخاب برای مورد سوخت‌رسانی، با توجه به راندمان قانون دوم، نمونه سوخت B15W5N120 است.

تشکر و قدردانی: نویسنده بر خود لازم می‌داند تا از آزمایشگاه موتور دانشگاه صنعتی امیرکبیر برای در اختیار قراردادن تجهیزات آزمایشگاهی برای آزمون و استخراج نتایج تجربی، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشد.

تأییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسنده ذکر نشد.

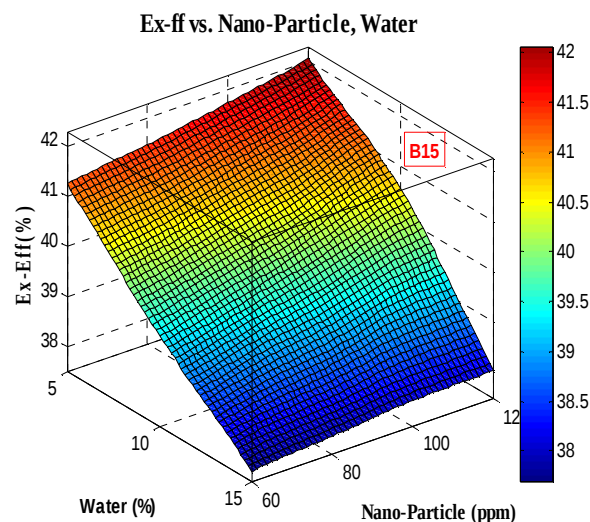
تعارض منافع: موردی توسط نویسنده ذکر نشد.

سهم نویسندگان: آیت قره‌قانی، نگارنده مقدمه/روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۱۰۰٪).

منابع مالی: موردی توسط نویسنده ذکر نشد.

منابع

- 1- Gharehghani A, Asiaei S, Khalife E, Najafi B, Tabatabaei M. Simultaneous deduction of CO and NOx emissions as well as fuel consumption by using water and nano particles in diesel-biodiesel blend. Journal of Cleaner Production. 2019;210:1164-1170.
- 2- Aghbashlo M, Tabatabaei M, Khalife E, Najafi B, Mirsalim SM, Gharehghani A, et al. A novel emulsion fuel containing aqueous nano cerium oxide additive in diesel-biodiesel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions: Part II-Exergetic analysis. Fuel. 2017;205:262-271.
- 3- Anbarasu A, Karthikeyan A, Balaji M. Performance and emission characteristics of a diesel engine using alumina nanoparticle blended biodiesel emulsion fuel. Journal of Energy Resources Technology. 2016;138(2):220-203.
- 4- Caliskan H. Environmental and enviroeconomic researches on diesel engines with diesel and biodiesel fuels. Journal of Cleaner Production. 2017;154:125-129.
- 5- Can O, Öztürk E, Yücesub HS. Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. Renewable Energy. 2017;109:73-82.
- 6- Dharma S, Hassan MH, Ong HC, Sebayang AH, Silitonga AS, Kusumo F, et al. Experimental study and prediction of the performance and exhaust emissions of mixed Jatropa curcas-Ceibapentandra biodiesel blends in diesel engine using artificial neural networks. Journal of Cleaner Production. 2017;164:618-633.
- 7- Buyukkaya E. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. Fuel. 2010;89(10):3099-3105.
- 8- Chauhan BS, Kumar N, Cho HM, Lim HC. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with karanja biodiesel and its blends. Energy. 2013;56:1-7.
- 9- Debnath BK, Sahoo N, Saha UK. Adjusting the operating characteristics to improve the performance of an emulsified palm oil methyl ester run diesel engine. Energy Conversion and Management. 2013;69:191-198.
- 10- Khalifeh E. Investigating the effect of additives on biodiesel fuel on diesel engine performance and emissions [dissertation]. Ardebil: Mohaghegh University; 2017. [Persian]
- 11- Maskoti N. Investigating the performance of a diesel engine using biodiesel oil of sesame oil and its blends



نمودار (۹) اثر غلظت نانوذرات و آب بر راندمان قانون دوم برای حالت B15

جدول (۴) راندمان آگرژی برای نمونه سوخت‌های مختلف

نمونه سوخت	راندمان آگرژی (%)	درصد بهبود راندمان آگرژی نسبت به سوخت دیزل
B0 (D100)	۳۹/۹۰	۰
B0W5N60	۴۰/۳۰	۲/۵۴
B0W5N90	۴۰/۸۰	۳/۸۲
B0W5N120	۴۱/۱۴	۴/۷۰
B15W5N60	۴۱/۲۶	۴/۹۹
B15W5N90	۴۱/۶۰	۵/۸۷
B15W5N120	۴۲/۰۶	۷/۰۴

نتیجه‌گیری

برای نخستین‌بار، تأثیر غلظت‌های مختلف نانوذرات بر راندمان آگرژی موتور با استفاده از نمونه‌های مختلف سوخت‌رسانی بر روی موتور تک‌سیلندر مورد آزمایش قرار گرفته است. یافته‌های اصلی به شرح زیر خلاصه می‌شود:

۱- B0W5N60 (دیزل خالص حاوی ۵٪ آب و ۶۰٪ بخش در میلیون نانوذره) دارای ۲/۶۳٪ راندمان حرارتی بالاتر در مقایسه با دیزل خالص (D100) است. این بهبود اثر مثبت نانوذرات بر کیفیت احتراق نمونه‌های سوخت را نشان می‌دهد. همچنین، B0W5N90 و B0W5N120 به‌ترتیب منجر به بهبود ۳/۸۰ و ۴/۶۸٪ در راندمان حرارتی در مقایسه با D100 می‌شوند.

۲- برای موارد سوخت‌رسانی B0، بیشترین راندمان آگرژی موتور متعلق به B0W5N120 (بیش از ۴۱٪) است در حالی که حداقل مقدار آن به B0W15N60 (پایین‌تر از ۳۵٪) اختصاص یافته است.

۳- مقایسه موارد سوخت‌رسانی B0 و B15 نشان داد که راندمان آگرژی موتور در موارد سوخت‌رسانی B15 حدود ۳٪ افزایش یافته است. این اثر مثبت بیودیزل بر کیفیت احتراق را نشان می‌دهد و در نتیجه، کار در دسترس در موتور افزایش می‌یابد.

- 23- Vellaiyan S, Amirthagadeswaran KS. Zinc oxide incorporated water-in-diesel emulsion fuel: Formulation, particle size measurement, and emission characteristics assessment. *Petroleum Science Technology*. 2016;34(2):114-122.
- 24- Mitchell MR, Link RE, Kao MJ, Ting CC, Lin BF, Tsung TT. Aqueous aluminum nano fluid combustion in diesel fuel. *Journal of Testing and Evaluation*. 2008;36(2):503.
- 25- Khalife E, Tabatabaei M, Demirbas A, Aghbashlo M. Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady-state operation. *Progress Energy and Combustion Science*. 2017;59:32-78.
- 26- Sivakumar M, Sundaram NS, Thasthagir MHS. Effect of aluminium oxide nanoparticles blended pongamia methyl ester on performance, combustion and emission characteristics of diesel engine. *Renewable Energy*. 2018;116:518-526.
- 27- Gharehghani A, Hosseini R, Mirsalim M, Jazayeri SA, Yusaf T. An experimental study on reactivity controlled compression ignition engine fueled with biodiesel/natural gas. *Energy*. 2015;89:558-567.
- 28- Ashok B, Nanthagopal K, Mohan A, Johny A, Tamilarasu A. Comparative analysis on the effect of zinc oxide and ethanox as additives with biodiesel in CI engine. *Energy*. 2017;140:352-64.
- 29- Gharehghani A, Mirsalim M, Hosseini R. Effects of waste fish oil biodiesel on diesel engine combustion characteristics and emission. *Renewable Energy*. 2017;101:930-936.
- 30- Hoseini SS, Najafi G, Ghobadian B, Mamat R, Ebadi MT, Yusaf T. Novel environmentally friendly fuel: The effects of nanographene oxide additives on the performance and emission characteristics of diesel engines fuelled with *Ailanthus altissima* biodiesel. *Renewable Energy* 2018;125:283-294.
- 31- Soudagar MEM, Nik-Ghazali NN, Kalam MA, Badrudin IA, Banapurmath NR, Akram N. The effect of nano-additives in diesel-biodiesel fuel blends: A comprehensive review on stability, engine performance and emission characteristics. *Energy Conversion and Management*. 2018;178:146-177.
- 32- Gharehghani A, Hosseini R, Mirsalim M, Yusaf TF. A comparative study on the first and second law analysis and performance characteristics of a spark ignition engine using either natural gas or gasoline. *Fuel*. 2015;158:488-493.
- 33- Ali MKA, Fuming P, Younus HA, Abdelkareem MAA, Essa FA, Elagouz A, et al. Fuel economy in gasoline engines using Al_2O_3/TiO_2 nanomaterials as nanolubricant additives. *Applied Energy*. 2018;211:461-478.
- with diesel oil [dissertation]. Ardebil: Mohaghegh University; 2014. [Persian]
- 12- Gharehghani A, Pourrahmani H. Performance evaluation of diesel engines (PEDE) for a diesel-biodiesel fueled CI engine using nano-particles additive. *Energy Conversion and Management*. 2019;198:111921.
- 13- Kakoei A, Gharehghani A. Comparative study of hydrogen addition effects on the natural-gas/diesel and natural-gas/dimethyl-ether reactivity controlled compression ignition mode of operation. *Energy Conversion and Management*. 2019;196:92-104.
- 14- Nurun Nabi M, Zare A, Hossain FM, Ristovski ZD, Brown RJ. Reductions in diesel emissions including PM and PN emissions with diesel-biodiesel blends. *Journal of Cleaner Production*. 2017;166:860-868.
- 15- Alkhulaifi K, Hamdalla M. Ignition delay correlation for a direct injection diesel engine fuelled with automotive diesel and water diesel emulsion. *Journal World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2011;6(58):905-917.
- 16- Al-Sabagh A, Emara MM, El-Din MRN, Aly WR. Water-in-diesel fuel nanoemulsions prepared by high energy: emulsion drop size and stability, and emission characteristics. *Journal of Surfactants and Detergents*. 2012;15(2):139-145.
- 17- Abdullah MK, Koc AB. Exhaust emissions of a diesel engine fueled with water-biodiesel-diesel nanoemulsions. Paper Presented at the ASABE Annual International Meeting, 7-10 August 2011, Louisville, United States. St.Josef: American Society of Agricultural and Biological Engineers; 2011.
- 18- Alahmer A, Yamin J, Sakhrie A, Hamdan MA. Engine performance using emulsified diesel fuel. *Energy Conversion and Management*. 2010;51(8):1708-1713.
- 19- Armas O, Ballesteros R, Martos FJ, Agudelo JR. Characterization of light duty diesel engine pollutant emissions using water-emulsified fuel. *Fuel*. 2005;84(7-8):1011-1018.
- 20- Arockiasamy P, Anand RB. Performance, combustion and emission characteristics of a DI diesel engine fuelled with nanoparticle blended jatropha biodiesel. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2015;59(2):88.
- 21- Ganesh D, Gowrishankar G. Effect of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fuelled CI engine. *Electrical and Control Engineering (ICECE)*, 2011 International Conference, 16-18 September 2011, Yichang, China. Piscataway: IEEE; 2011.
- 22- Gürü M, Karakaya U, Altıparmak D, Alicilar A. Improvement of diesel fuel properties by using additives. *Energy Conversion and Management*. 2002;43(8):1021-1025.