

## اثر افزودنی های نانو سریم اکساید و آب بر روی آلاینده های سوخت B5

اسماعیل خلیفه حمزه قاسم  
دکتری-دانشگاه محقق اردبیلی  
esmailkhalife@gmail.com

بهمن نجفی  
دانشیار-دانشگاه محقق اردبیلی  
najafib@uma.ac.ir

میثم طباطبایی  
استادیار-پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران  
meisam\_tab@yahoo.com

سید مصطفی میرسلیم  
استادیار-دانشگاه امیرکبیر

### چکیده

افزایش نگرانی های مربوط به تغییرات آب و هوایی و همچنین قوانین سختگیرانه آلاینده های موتور، احتراق کامل تر سوخت در موتورها را می-طلبد. کاهش آلاینده های موتور می تواند نقش بسزایی را در سلامت عمومی مردم ایفا کند. استفاده از ۲-۲۰٪ سوخت بیودیزل به سوخت دیزل تاثیر قابل ملاحظه ای را بر روی کاهش آلاینده ها دارد. بیودیزل می تواند موجب بهبود احتراق موتور و کاهش آلاینده بجز آلاینده NOx شود. استفاده از افزودنی ها یک راهکار مناسب و سریع برای کاستن آلاینده NOx شود. در میان افزودنی های مختلف، افزودنی آب در کنار دیگر مزایای آن روش مناسبی برای کاستن آلاینده NOx می باشد. همچنین برای جلوگیری از معایب کاهش دمای احتراق ناشی از استفاده از آب، افزودنی سوخت سریم اکساید نیز مورد مطالعه قرار گرفت. در تحقیق حاضر، عملکرد و آلاینده های ناشی از اثر افزودنی های آب به مقدار ۶٪ و سریم اکساید به مقدار ۶۰ ppm به سوخت B5 (سوخت دیزل حاوی ۵٪ بیودیزل) بر روی یک موتور تک سیلندر مورد بررسی قرار گرفت. یافته های این پژوهش آشکار ساخت که امولسیون B5W (B5 حاوی افزودنی آب) بطور موثری آلاینده های CO، HC و NOx را کاهش داد. همچنین، افزودنی نانو سریم اکساید به B5W منجر به کاهش مقادیر این آلاینده ها در مقایسه با B5W شد. کلمات کلیدی: افزودنی، بیودیزل، نانو سریم اکساید، موتور دیزل، عملکرد و آلاینده ها

### مقدمه

بیش از ۵۰٪ گازهای گلخانه ای (GHGs) مربوط به بخش صنعت و حمل و نقل می باشد. بنابراین حفاظت از محیط زیست یکی از موضوعات مهم این دو بخش می باشد. تحقیقات وسیعی برای بهبود تکنولوژی موتور در راستای تطبیق با مقررات سختگیرانه آلاینده های خودرو انجام گرفته است [۱]. همچنین، بخش بزرگی از GHGs ناشی از مصرف بسیار زیاد سوخت های فسیلی می باشد که جهت کاستن از آن تلاش های زیادی برای یافتن سوخت های جایگزین و تجدیدپذیر انجام گرفته است. در طی چند دهه گذشته بیودیزل بخوبی اثبات کرده است که می تواند جایگزینی قابل اتکا برای سوخت دیزل بسبب مزایایی همچون غیرسمی بودن، بدون محتویات سولفور، تجزیه پذیر بودن و غیره باشد [۲]. روش متداول تولید بیودیزل استفاده از استریفیکاسیون بازی است که منجر به کاهش هزینه های تولید می شود [۳]. بر طبق مطالعات گذشته، احتراق بیودیزل می تواند منجر به کاهش آلاینده های CO، PM و HC شده ولی ممکن است مقدار NOx را کمی افزایش دهد [۴]. اگرچه بهینه سازی موتور می تواند مقدار این آلاینده را کاهش دهد اما استفاده از افزودنی ها مقادیر بیشتری از کاهش این آلاینده را موجب شود.

استفاده از افزودنی آب به سوخت دیزل می تواند مقادیر آلاینده های مختلف در موتور بخصوص NOx کاهش دهد [۵]. استفاده از آب در موتور دیزل می تواند به سه روش پاشش مستقیم آب بداخل محفظه سیلندر، پاشش و یا بخاردهی آب بداخل منیفلد ورودی هوا، انجام گیرد [۶]. روش امولسیون آب-دیزل به دلیل عدم نیاز به ایجاد تغییرات در موتور بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. چندین تحقیقات در ارتباط با استفاده از امولسیون آب-دیزل گزارش شده است. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۳، فهد و همکاران مطالعه ای را برای آزمون امولسیون دیزل حاوی ۱۰٪ آب را بر روی یک موتور ۴ سیلندر مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آنها کاهش مقادیر NOx و CO را نشان داد [۷]. در یک تحقیق دیگر، اثنین و همکاران اثر افزودن ۴ سطح مختلف از آب (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰٪) را به سوخت دیزل مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که اثر آب توانست موجب کاهش NOx، PM و CO2 شود [۸]. این نتایج نشان از اثر مثبت افزودنی آب بر روی کاهش مقادیر NOx می دهد اما از طرفی دیگر افزایش مقدار آلاینده CO را موجب می شود.

افزودنی دیگر که می تواند موجب بهبود کیفیت احتراق شود، افزودنی های فلزی می باشند. احتراق نانو افزودنی های فلزی با WDE می تواند موجب کاهش مشکلات ناشی از افزودن آب به سوخت دیزل حاصل از کاهش دمای احتراق شود. تحقیقات بسیار کمی به ترکیب اثر افزودنی های آب و نانو فلزات پرداخته اند. برای مثال، فارفاتی و همکاران در سال ۲۰۰۵ اثر سریم اکساید را بر روی WDE مطالعه کردند و نتایج ایشان نشان داد که اثر این دو افزودنی با هم می تواند کاهش همزمان PM و NOx و همچنین HC را منجر شود [۹]. در سال ۲۰۰۸ کائو و همکاران گزارش کردند که اثر همزمان آب و نانو ذرات آلومنیوم کاهش زیاد NOx و افزایش حرارت آزاد شده بالاتری را بجا گذاشتند [۱۰].

بصورت کلی، اطلاعاتی کمی در مورد مطالعه اثر افزودنی نانو سریم اکساید به امولسیون بیودیزل-دیزل-آب بر روی آلاینده های موتور دیزل وجود دارد. هدف مطالعه حاضر بررسی تغییرات آلاینده های حاصل از افزودنی آب در سطح ۶٪ (درصد وزنی) و افزودنی نانو سریم اکساید در سطح ۶۰ ppm بر روی سوخت B5 می باشد.

### مواد و روش ها

بیودیزل با استفاده از روش ترنس استریفیکاسیون متانول با هیدروکسید پتاسیم (KOH) و مطابق با روش توضیح داده شده در تحقیق خلیفه و همکاران تولید شد. برای کاهش آب مصرفی در مرحله آبشویی از تکنیک

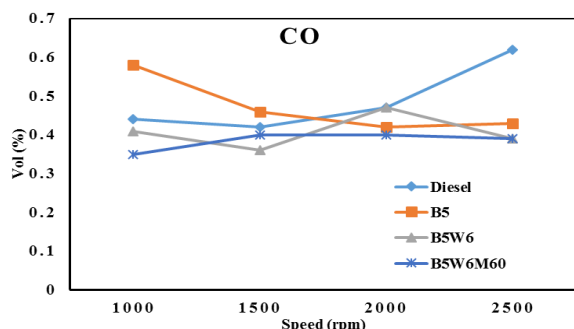
جدول ۲: ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی سوخت‌های مورد استفاده در آزمون.

سوخت	ویسکوزیته کنماتیکی	ارزش حرارتی (Mj.kg)
دیزل	۵,۰۴	۴۷,۲۱۲
بیودیزل	۶,۱۰	۳۷,۳۸۴
B5	۵,۲۲	۴۶,۸۲۷
B5W6	۶,۴۰	۴۳,۱۱۶
B5W6M60	۶,۶۵	۴۵,۴۱۰

### آلاینده CO

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که احتراق B5 مقدار CO را در سرعت‌های بالاتر موتور کاهش می‌دهد که می‌تواند به دلیل احتراق بهتر حاصل از وجود اکسیژن در سوخت بیودیزل باشد.

افزودن آب به سوخت بیودیزل-دیزل مقدار آلاینده CO را بیشتر کاهش داد (شکل ۲). مقدار این آلاینده بطور متوسط ۱۲ و ۱۵٪ کاهش را در قیاس با سوخت B5 و دیزل خالص نشان داد. کاهش مقدار آلاینده CO می‌تواند بخاطر وجود پدیده ریز انفجار طی احتراق امولسیون حاوی آب صورت بگیرد [۱۳]. آب محبوس شده در قطرات امولسیون سوخت پاشیده شده به داخل سیلندر، بدلیل گرمای نهان تبخیر، زودتر از دیزل تبخیر می‌شود و متعاقباً قطرات سوخت را از هم متلاشی نموده و اختلاط بهتری از سوخت با هوا شکل می‌گیرد که منجر به بهبود کیفیت احتراق می‌شود (شکل ۳) [۱۴].



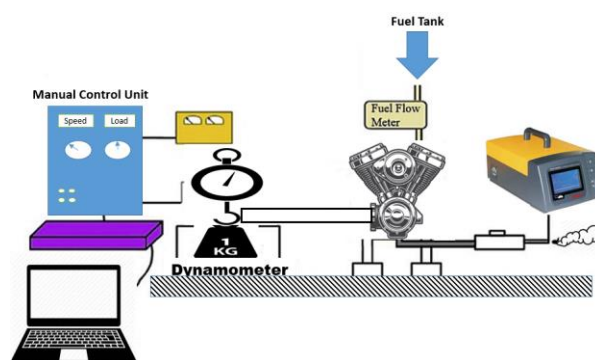
شکل ۲: تغییرات آلاینده CO در سرعت‌های مختلف موتور.

نتایج کاهش آلاینده CO حاصل از احتراق بیودیزل-دیزل حاوی آب پیش از توسط دنباس و همکاران در سال ۲۰۱۳ گزارش شده بود که امولسیون حاوی ۵٪ آب مقدار CO را تا ۶۷٪ کاهش داده بود [۱۵]. با افزودن سریم اکساید به B5W6 مقدار CO کاهش یافت. این کاهش نشان از افزایش اکسید شدن CO را توسط نانو افزودنی سریم اکساید نشان داد. بطور متوسط، سوخت B5W6M60 کاهش ۵٪ را بر روی آلاینده CO داشت.

حباب دهی استفاده شد [۱۱].

مقدار ۶٪ وزنی آب در داخل یک لیتر B5 با استفاده از حمام التراسونیک به مدت ۱۰ دقیقه و در دمای اتاق امولسیون سازی شد. همچنین برای بدست آوردن امولسیون B5W6 حاوی سریم اکساید، ۶۰ ppm سریم اکساید پیش از تهیه B5W6 در داخل آب حل گردید. برای پایداری امولسیون ۵۰ ml سورفکتانت به مواد اضافه گردید.

برای انجام آزمون‌های تست موتور، از یک موتور تک سیلندر چهار زمانه پاشش مستقیم مدل Yanmmar L48N استفاده گردید. دستگاه آلاینده سنج مورد استفاده، مدل SPTC بود که آلاینده‌های CO، CO<sub>2</sub>، HC و NO<sub>x</sub> را سنجش می‌نمود. آزمون‌های تست موتور در شرایط آزمایشگاهی بارگذاری حداکثر و دوره‌های موتور ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ دور بر دقیقه انجام شدند. تصویر شماتیک تست موتور در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱: تصویر شماتیک موتور مورد آزمایش.

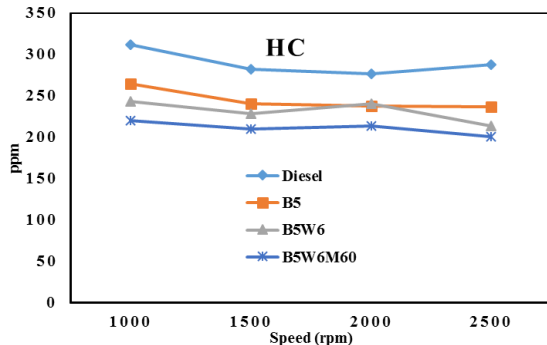
### نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج پروفیل اسیدهای چرب بدست آمده از بیودیزل مورد استفاده را نشان می‌دهد. نتایج مربوط به ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی بیودیزل و سوخت‌های مورد آزمون نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که ویژگی‌های بیودیزل با استانداردهای موجود تطابق دارد (ASTM D6751). افزودن آب به B5 منجر به کاهش ارزش حرارتی سوخت و همچنین افزایش ویسکوزیته شد. همچنین افزودن سریم اکساید به B5W6 مقادیر ویسکوزیته و ارزش حرارتی سوخت را اندکی افزایش داد. افزایش یافتن ویسکوزیته سوخت با افزودنی آب ناشی از بهتر پخش شدن ذرات آب در محیط امولسیون بدلیل استفاده از فرآیند التراسونیک می‌باشد که اصطکاک و جذب الکتریکی مابین ذرات سوخت امولسیون را افزایش می‌دهد [۱۲].

جدول ۱: درصد اسیدهای چرب بیودیزل مورد استفاده

چرب	پروفیل اسیدهای %
میستریک	۰,۷۱
پالمیتیک	۳۳,۱۸
استئاریک	۴,۶۹
اولئیک	۴۲,۰۲
لینولیک	۱۸,۰۹
لینولنیک	۱,۰۳

[۱۸]. همچنین، در سال ۲۰۱۰، کیم و چوی مطالعه ای را بر روی احتراق دیزل-بیودیزل سویا و در سطوح B5, B10, B15 و B20 در سرعت‌های مختلف بر روی یک موتور چهار سیلندر انجام دادند و بیان کردند که وجود اکسیژن در سوخت بیودیزل دلیل اصلی کاهش آلاینده HC در احتراق بیودیزل-دیزل بوده است.



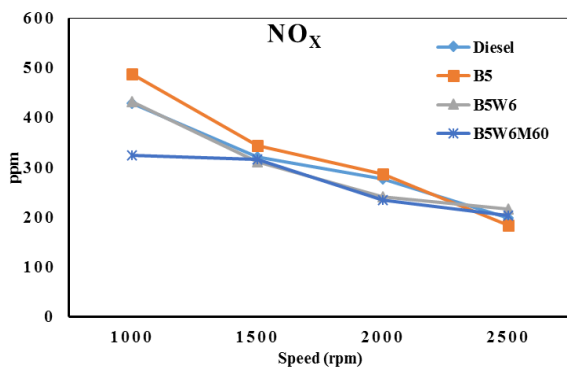
شکل ۵: تغییرات آلاینده HC در سرعت‌های مختلف موتور.

اثر افزودن ۶٪ آب به سوخت B5 منجر به اثر محسوسی بر مقدار آلاینده HC در مقایسه با B5 شد. این کاهش می‌تواند به اثر گذاری پدیده ریز انفجار بر روی بالا بردن کیفیت احتراق ارتباط داده شود.

افزودن سریم اکساید به سوخت B5W6 منجر به کاهش بیشتر آلاینده HC در سرعت‌های مختلف موتور شد. این یافته در راستای نتایج محققین قبلی که بر روی اثر افزودنی‌های فلزی مطالعه کرده‌اند می‌باشد. برای مثال، گانش و گوریشانکار در سال ۲۰۱۱، مطالعه ای را بر روی اثر Al-Mg و اکسید کبالت بر روی احتراق بیودیزل انجام دادند و بدست آوردند که این افزودنی‌ها مقدار آلاینده HC را بمقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داد [۱۹]. این نتیجه در راستای تحقیق سلوان و همکاران که اثر افزودنی سریم اکساید را به سوخت بیودیزل-دیزل-تانول مورد مطالعه قرار داده بودند بود [۲۰].

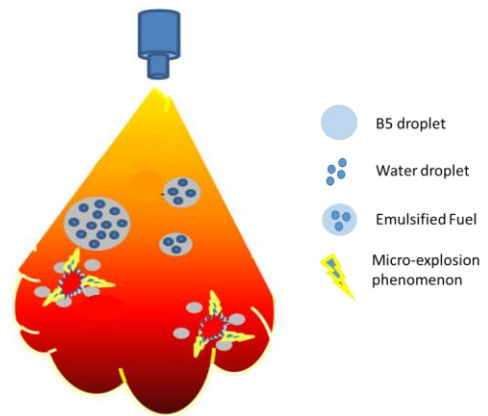
### آلاینده NOx

یکی از اهداف استفاده از آب در سوخت بیودیزل-دیزل کاهش آلاینده NOx می‌باشد. این دلیل این حقیقت می‌باشد که آلاینده NOx بیشتر بخاطر حرارت بالا در حین احتراق بوجود می‌آید [۲۱]. آب بدلیل خاصیت خنک کنندگی خود می‌تواند بطور موثری حرارت داخل سیلندر را کاهش دهد و از این طریق مقدار این آلاینده را کاهش دهد.



شکل ۶: تغییرات آلاینده NOx در سرعت‌های مختلف موتور.

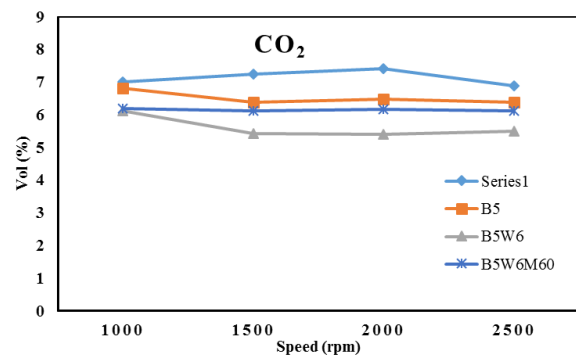
احتراق سوخت B5 موجب افزایش مقدار آلاینده NOx در مقایسه با



شکل ۳: اثر پدیده ریز انفجار بر روی سوخت WDE و کیفیت احتراق.

### آلاینده CO<sub>2</sub>

نتایج مربوط به آلاینده CO<sub>2</sub> در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، احتراق B5 منجر به کاهش آلاینده CO<sub>2</sub> در مقایسه با سوخت دیزل شد. این نتیجه در راستای نتایج محققین گذشته می‌باشد [۱۶]. این نتیجه می‌تواند بدلیل نسبت کربن/هیدروژن سوخت بیودیزل در مقایسه با سوخت دیزل خالص باشد. مقدار کاهش متوسط آلاینده CO<sub>2</sub> سوخت B5 در مقایسه با سوخت دیزل خالص ۹٪ بود.



شکل ۴: تغییرات آلاینده CO<sub>2</sub> در سرعت‌های مختلف موتور.

افزودن ۶۰ ppm سریم اکساید به سوخت موجب افزایش CO<sub>2</sub> در مقایسه با سوخت B5W6 شد. این افزایش می‌تواند به احتراق باکیفیت‌تر سوخت حاوی سریم اکساید نسبت داده شود. در واقع، سریم اکساید بدلیل اثر کاتالیستی خود می‌تواند منجر به اکسید شدن بیشتر آلاینده CO به CO<sub>2</sub> شود.

### آلاینده HC

احتراق کاملتر در سیلندر تاثیر مستقیم بر روی مقدار آلاینده HC دارد. مشاهدات مطالعه حاضر نشان داد که احتراق B5 منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای آلاینده HC در مقایسه با سوخت دیزل خالص شد (شکل ۵). این نتیجه در راستای تایید مطالعات قبلی، مبنی بر اثر مثبت بیودیزل بر روی آلاینده HC به دلیل وجود اکسیژن در ساختار مولکولی سوخت بیودیزل، توسط محققین پیشین می‌باشد [۱۶-۱۸]. به عنوان مثال، الودیان و همکاران مطالعه‌ای را بر روی اثر سطوح مختلف بیودیزل (B5, B75 and B100) بر روی ویژگی‌های عملکردی و آلاینده‌گی انجام دادند و بدست آوردند که HC با افزایش مقدار بیودیزل در سوخت دیزل بیشتر

combustion. *Fuel*, 87(6), 714-722.

5- Ithnin, A. M., Ahmad, M. A., Bakar, M. A. A., Rajoo, S., & Yahya, W. J. (2015). Combustion performance and emission analysis of diesel engine fuelled with water-in-diesel emulsion fuel made from low-grade diesel fuel. *Energy Conversion and Management*, 90, 375-382.

6- Khalife, E., Tabatabaei, M., Demirbas, A., & Aghbashlo, M. (2017). Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. *Progress in Energy and Combustion Science*, 59, 32-78.

7- Fahd, M. E. A., Wenming, Y., Lee, P., Chou, S., & Yap, C. R. (2013). Experimental investigation of the performance and emission characteristics of direct injection diesel engine by water emulsion diesel under varying engine load condition. *Applied Energy*, 102, 1042-1049.

8- Ithnin, A. M., Ahmad, M. A., Bakar, M. A. A., Rajoo, S., & Yahya, W. J. (2015). Combustion performance and emission analysis of diesel engine fuelled with water-in-diesel emulsion fuel made from low-grade diesel fuel. *Energy Conversion and Management*, 90, 375-382.

9- Farfaletti, A., Astorga, C., Martini, G., Manfredi, U., Mueller, A., Rey, M., . . . Larsen, B. R. (2005). Effect of water/fuel emulsions and a cerium-based combustion improver additive on HD and LD diesel exhaust emissions. *Environmental science & technology*, 39(17), 6792-6799.

10- Kao, Mu-Jung, Chen-Ching Ting, Bai-Fu Lin, and Tsing-Tshih Tsung. "Aqueous aluminum nanofluid combustion in diesel fuel." *Journal of testing and evaluation* 36, no. 2 (2007): 186-190.

11- Khalife, E., Tabatabaei, M., Najafi, B., Mirsalim, S. M., Gharehghani, A., Mohammadi, P., ... & Salleh, M. A. M. (2017). A novel emulsion fuel containing aqueous nano cerium oxide additive in diesel-biodiesel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions: Part I-Experimental analysis. *Fuel*, 201: 741-750.

12- Lin, C.-Y., & Chen, L.-W. (2006). Emulsification characteristics of three-and two-phase emulsions prepared by the ultrasonic emulsification method. *Fuel Processing Technology*, 87(4), 309-317.

13- Hagos, F. Y., Aziz, A. R. A., & Tan, I. M. (2011). Water-in-diesel emulsion and its micro-explosion phenomenon-review. Paper presented at the Communication Software and Networks (ICCSN), 2011 IEEE 3rd International Conference on.

14- Qi, D., Chen, H., Geng, L., Bian, Y. Z., & Ren, X. C. (2010). Performance and combustion characteristics of biodiesel-diesel-methanol blend fuelled engine. *Applied Energy*, 87(5), 1679-1686.

15- Debnath, B. K., Sahoo, N., & Saha, U. K. (2013a). Adjusting the operating characteristics to improve the performance of an emulsified palm oil methyl ester run diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 69, 191-198.

16- Xue, J., Grift, T. E., & Hansen, A. C. (2011). Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2),

کاهش می یابد و این کاهش را به وجود اکسیژن در بیودیزل نسبت داده‌اند سوخت دیزل خالص شد (شکل ۶). افزایش NOx در اثر احتراق بیودیزل بیشتر توسط محققین گزارش شده بود [۱۶]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که افزودن آب به سوخت B5 موجب کاهش مقدار آلایندگی NOx می‌شود. مقدار میانگین کاهش این آلایندگی بترتیب ۵ و ۲٪ در مقایسه با سوخت B5 و دیزل خالص بود. نتایج مشابهی از اثر کاهش افزودنی آب بر روی آلایندگی NOx توسط محققین گزارش شده است [۱۵ و ۲۲]. بطور مثال، دیویس و همکاران مطالعه ای بر روی اثر ۱۰٪ آب بر روی احتراق B20 انجام دادند و مقدار قابل توجهی کاهش را بر روی این آلایندگی مشاهده کردند [۲۲]. همچنین، کوک و عبدالله با مطالعه بر روی احتراق آب-بیودیزل-دیزل به این نتیجه رسیدند که اثر آب موجب کاهش ۸٪ مقدار آلایندگی NOx در مقایسه با سوخت بیودیزل-دیزل شد [۲۳].

با افزودن سریم اکساید به سوخت B5W6 مقدار بیشتری از آلایندگی NOx کاهش یافت. این کاهش بترتیب ۸، ۱۲ و ۱۰٪ در مقایسه با B5، B5W6 و دیزل خالص بود. این مقدار بهبود در کاهش مقدار آلایندگی NOx می‌تواند دلیل اثر کاتالیستی سریم اکساید در طی احتراق باشد.

### نتیجه گیری

مطالعه حاضر اثر آلایندگی‌های افزودنی‌های آب و سریم اکساید بر روی سوخت بیودیزل-دیزل را بر روی یک موتور تک سیلندر مورد بررسی قرار داده است. نتیجه گیری کلی این مطالعه بصورت زیر می‌باشد:

- افزودن آب به سوخت B5 موجب کاهش ارزش حرارتی سوخت می‌شود، در حالیکه سریم اکساید تا اندازه‌ای ارزش حرارتی سوخت را افزایش داد.
- افزودن آب و سریم اکساید مقدار ویسکوزیته را کاهش دادند.
- مقدار آلایندگی CO با افزودن سریم اکساید کاهش یافت. مقدار میانگین این کاهش در مقایسه با سوخت B5W6 برابر با ۵٪ بود.
- افزودن آب به سوخت B5 مقدار آلایندگی HC را کاهش داد. افزودن سریم اکساید این کاهش را بدلیل بالا رفتن کیفیت احتراق افزایش داد.
- اگرچه افزودن بیودیزل موجب افزایش مقدار آلایندگی NOx شد اما افزودن آب بخوبی توانست مقدار آلایندگی NOx را کاهش دهد و این کاهش با افزودن سریم اکساید بیشتر نیز شد.

### مراجع

- 1- Şahin, Z., Tuti, M., & Durgun, O. (2014). Experimental investigation of the effects of water adding to the intake air on the engine performance and exhaust emissions in a DI automotive diesel engine. *Fuel*, 115, 884-895.
- 2- Bautista, L. F., Vicente, G., Rodriguez, R., & Pacheco, M. (2009). Optimisation of FAME production from waste cooking oil for biodiesel use. *Biomass and bioenergy*, 33(5), 862-872.
- 3- Hajjari, M., Ardjmand, M., & Tabatabaei, M. (2014). Experimental investigation of the effect of cerium oxide nanoparticles as a combustion-improving additive on biodiesel oxidative stability: mechanism. *RSC Adv.*, 4(28), 14352-14356.
- 4- Zheng, M., Mulenga, M. C., Reader, G. T., Wang,

- M., Ting, D. S., & Tjong, J. (2008). Biodiesel engine performance and emissions in low temperature 1098-1116.
- 17- Song, J., & Zhang, C. (2008). An experimental study on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with soybean oil methyl ester. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 222(12), 2487-2496.
- 18- Al-Widyan, M. I., & Tashtoush, G. (2002). Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engines. *Fuel Processing Technology*, 76(2), 91-103.
- 19- Ganesh, D., & Gowrishankar, G. (2011). Effect of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fuelled CI engine. Paper presented at the Electrical and Control Engineering (ICECE), 2011 International Conference on.
- 20- Selvan, V. A. M., Anand, R., & Udayakumar, M. (2009). Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel-ethanol blends on the performance and emission characteristics of a CI engine. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(7), 1819-6608.
- 21- Glaude, P.-A., Fournet, R., Bounaceur, R., & Molière, M. (2010). Adiabatic flame temperature from biofuels and fossil fuels and derived effect on NOx emissions. *Fuel Processing Technology*, 91(2), 229-235.
- 22- Davis, J., Johnson, D., Edgar, D., Wardlow, G., & Sadaka, S. (2012). NO (x) Emissions and Performance of a Single-Cylinder Diesel Engine with Emulsified and Non-Emulsified Fuels. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(2), 179-186.
- 23- Koc, A. B., & Abdullah, M. (2013). Performance and NO x emissions of a diesel engine fueled with biodiesel-diesel-water nanoemulsions. *Fuel Processing Technology*, 109, 70-77.