

بررسی تجربی تاثیر نانو کاتالیست هیبریدی همگن بر پایه نانو لوله‌های کربنی در سوخت دیزل (گازوئیل) بر عملکرد و آلاینده‌های موتورهای دیزل

مهرداد میرزاجان زاده^۱، مهدی ارجمند^{۱*}، علیمراد رشیدی^۲ و برات قبادیان^۳

۱- گروه مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۱۴

چکیده

این تحقیق به ساخت یک نانو ساختار (کاتالیست) هیبریدی بر پایه نانو لوله‌های کربنی چند دیواره (MW-CNT) برای کاهش آلاینده‌های سوخت دیزل (گازوئیل) شامل ترکیبات اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، مونوکسید کربن (CO)، هیدروکربن‌های نسوخته (HC) و دوده (SOOT) و همچنین بهبود عملکرد سوخت در پارامترهای موتور شامل توان، گشتاور و کاهش مصرف سوخت می‌پردازد. نانو ساختار هیبریدی شامل اکسید سریم بر پایه نانو لوله‌های کربنی با قطرهایی در محدوده ۷-۱۰ nm دارای عامل آمیدی جهت همگن شدن کاتالیست در سوخت، در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به گازوئیل اضافه شد و آزمون‌های عملکرد و آلاینده‌ها توسط موتور دیزل مدل OM355 EUH ساخت شرکت ایدم (تحت لیسانس شرکت مرسدس بنز آلمان) انجام شد. نانو بودن ذرات کاتالیست و در نتیجه سطح بالای تماس با سوخت و همچنین توزیع پذیری مناسب در سوخت همراه با انجام واکنش اکسیداسیون کاتالیستی، باعث پیشرفت مسیر واکنش احتراق به سمت احتراق کامل شده و موجب کاهش آلاینده‌های سوخت شامل ترکیبات اکسیدهای نیتروژن (NO_x) حداکثر تا ۱۷/۸۴٪ کاهش، مونوکسید کربن (CO) حداکثر تا ۱۲/۷٪ کاهش، هیدروکربن‌های نسوخته حداکثر تا ۳۰/۷۷٪ کاهش و دوده حداکثر تا ۲۰/۶۳٪ کاهش پیدا کرد. همچنین بهبود عملکرد در پارامترهای موتور شامل توان حداکثر تا ۳/۷۷٪ افزایش، گشتاور بسته به نوع سوخت حداکثر تا ۱/۴۴٪ افزایش و کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی (حداکثر تا ۴/۷۴٪ کاهش) مشاهده شد. کلمات کلیدی: سوخت دیزل، نانو کاتالیست هیبریدی، نانو لوله‌های کربنی، آلاینده‌ها، عملکرد موتور

مقدمه

در یک فرآیند احتراق، ترکیبات موجود در سوخت جهت تولید انرژی، آب و دی‌اکسیدکربن دچار احتراق می‌شوند. با این وجود، به دلیل وجود ناخالصی‌های موجود در سوخت و عدم انجام احتراق کامل، گازهای خروجی از محفظه احتراق با محصولات جانبی مضر مثل مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، هیدروکربن‌های نسوخته (HC) و دوده^۱ همراه می‌شوند. تحقیق در مورد سوخت‌هایی با فرآیند احتراق نسبتاً کامل و قابل توجیه از نظر زیست محیطی و اقتصادی، یکی از مسائل مورد علاقه در مبحث احتراق می‌باشد زیرا در این روش نیازی به تغییر در طراحی موتور وجود ندارد. از میان روش‌هایی که می‌تواند منجر به دستیابی به این اهداف شود، می‌توان به استفاده از افزودنی‌ها و کاتالیست‌ها در سوخت اشاره کرد. این افزودنی‌ها می‌توانند مسیر انجام واکنش را تغییر داده و آن را از مسیری پیش ببرند که فرآیند احتراق منجر به یک واکنش کامل‌تر و در نتیجه دستیابی به حداکثر انرژی آزاد شده توسط سوخت شود. در واکنش‌های کاتالیستی، فعالیت کاتالیست به طور عمده به اندازه و تعداد سایت‌های کاتالیستی بر روی سطح ذره بستگی دارد به طوری که با یک ذره کوچک‌تر به میزان فعالیت بالاتری می‌توان دست یافت. ترکیبات نانوکاتالیستی به صورت مستقیم یا مخلوط با یک سوپسترا^۲، برای پایین آوردن مقدار آلاینده‌های مضر در حین فرآیند احتراق و هم‌زمان بالابردن بازده فرآیند احتراق، می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند.

ترکیبات نانو کاتالیستی مثل برخی فلزات (پلاتین، پالادیم، کبالت، مس، نیکل و ...)، اکسیدهای فلزی یگانه (مثل CeO_2 و TiO_2)، اکسیدهای فلزی چندگانه (مثل LaMnO_3) و در نهایت فلزات پوشش داده شده با اکسیدهای فلزی (Pt-TiO_2) را می‌توان به صورت خالص یا مخلوط، به سوخت (هیدروکربن‌های مایع مثل سوخت‌های مشتق شده از نفت، نظیر بنزین و گازوئیل) اضافه کرد تا بدین وسیله ویژگی‌های احتراقی سوخت را ارتقاء بخشید [۱ و ۲]. بررسی‌های تجربی زیادی در گستره وسیعی از افزودنی‌های فلزی برای بهبود بخشیدن به خواص سوخت و عملکرد موتور به‌همراه کاهش آلودگی‌ها گزارش شده است [۳-۱۰].

بوتونت و همکاران مطالعاتی در زمینه ذرات فلزی شامل کلسیم، باریم، آهن، نیکل به شکل میکرومولوسیون با کارکرد کاتالیستی انجام دادند. کلسیم و باریم به طور موثری دوده را کاهش می‌دهند که اینکار با کاهش تشکیل دوده و افزایش اکسیداسیون دوده انجام می‌پذیرد [۱۱]. بوتونت و همکارانش در یک مقاله تمام کارهایی که در این زمینه انجام شده بود را گرد آوری نمودند [۱۲]. همچنین، یک بررسی تجربی برای بررسی عملکرد و تعیین خواص در موتورهای درون‌سوز تحت فشار با استفاده از نانو ذرات سرب اکساید به عنوان افزودنی به سوخت دیزل خالص و مخلوطی از سوخت دیزل-بیو دیزل-اتانول انجام گرفت. آزمون‌های انجام شده نشان داد که نانوذرات سرب اکساید به عنوان افزودنی به سوخت دیزل و ترکیبی از دیزل-بیو دیزل-اتانول برای کمک به احتراق کامل و کاهش قابل توجه آلودگی‌های خروجی از آگزوز، قابل استفاده است [۱۳]. کونگ و همکارانش کاربردها و پتانسیل‌های کاتالیست‌های هتروژن را مورد بررسی قرار دادند [۱۴]. سادیک باشا و همکارانش از نانو ذرات آلومینیوم و نانو لوله‌های کربنی در دو غلظت ۲۵ و ۵۰ ppm جهت بهبود پارامترهای عملکرد موتور و آلاینده‌ها در مخلوط سوخت دیزل-بیو دیزل استفاده نمودند [۱۵]. با وجود تأثیر مناسب کاتالیست‌های فلزی هتروژن بر کاهش آلاینده‌های سوخت و بهبود پارامترهای عملکرد موتور، این کاتالیست‌ها به دلیل غیرفعال شدن در دماهای بالا، عدم توزیع مناسب در محیط واکنش و رسوب‌گذاری، مشکلاتی ایجاد می‌نمایند. به همین دلیل علیرغم پتانسیل اکتیویته خوبشان، نمی‌توانند انتخاب مناسبی باشند. بنابراین، روش‌های دیگری برای برخورد کاتالیست با مخلوط دما بالای سوخت و هوا مورد نیاز است. یکی از این روش‌ها، همگن کردن کاتالیست در سوخت می‌باشد تا بتوان به‌طور پیوسته آن را وارد مرحله احتراق کرد به طوری که در مرحله تزریق رسوب نکنند. متداول‌ترین روشی که تا به حال در پایدارسازی نانو ذرات اضافه شده به سوخت‌های مایع استفاده شده است استفاده از سورفکتانت‌ها می‌باشد. سورفکتانت‌ها ملکول‌های قطبی هستند که با دارا بودن یک بخش آب دوست و یک بخش آب گریز در حد فاصل بین دو فاز واقع می‌شوند و با

1. Soot
2. Substrate

با امید سنتز شد و پس از انجام تست‌های شناسایی از جمله TEM و FT-IR، در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به سوخت دیزل افزوده شد. سوخت تهیه شده حاوی نانو کاتالیست با استفاده از موتور دیزل مدل OM355 EU II برای اندازه‌گیری پارامترهای عملکرد موتور شامل توان^۱، گشتاور^۲ و مصرف سوخت ویژه ترمزی^۳ و همچنین آلاینده‌ها شامل مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن‌های نسوخته و دوده آزمایش شد.

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق نانو لوله‌های کربنی چند دیواره از نمونه تولید شده در پژوهشگاه صنعت نفت با قطر متغیر ۷ تا ۲۰ nm و طول متغیر ۵ تا ۱۵ μm با خلوص ۹۵-۹۰٪ استفاده شد. اکتادسیل آمین^۴ با ۹۸٪ خلوص، تیونیل کلراید^۵ با ۹۹/۵٪ خلوص و اتانول^۶ با ۹۹٪ خلوص به ترتیب از شرکت‌های ریدل دهاین^۷، اکروس ارگانیکس^۸ و مرک^۹ تهیه شدند. همچنین از دی متیل فرمامید^{۱۰} (DMF) و انهیدروس تتراهیدروفوران^{۱۱} (THF) همگی با خلوص ۹۹٪ متعلق به شرکت شیمیایی آلدريج^{۱۲} استفاده شد. نانو اکسید سریم با قطر ذرات کمتر از ۲۵ nm از شرکت شیمیایی آلدريج مورد استفاده قرار گرفت. گازوئیل مصرف شده نیز از پالایشگاه تبریز تهیه شد.

سنتز نانو کاتالیست

هیبرید نمودن اکسید سریم با نانو لوله‌های کربنی با استفاده از تکنیک استفاده از حلال و سپس کلسینه نمودن در دمای ۴۶۰ °C به مدت ۳ ساعت با نرخ ۵ min/°C انجام شد.

کاهش کشش سطحی بین نانو ذرات از تجمع و کلوخه‌ای شدن آنها جلوگیری می‌کنند. این عمل منجر به توزیع‌پذیری مناسب نانو ذرات در سوخت و در نتیجه پایداری بیشتر امولسیون می‌گردد. سورفکتانت انتخابی باید مناسب نانو ذره و سوخت مورد نظر باشد چرا که در بیشتر موارد برای نانو ذرات فلزی سورفکتانت مناسب برای ایجاد توزیع‌پذیری مطلوب موجود نمی‌باشد. این موضوع به همراه تغییر خواص فیزیکی-شیمیایی سوخت حاوی سورفکتانت جزو معایب استفاده از سورفکتانت‌ها به شمار می‌رود.

یکی از تکنیک‌هایی که می‌تواند جایگزین مناسبی برای استفاده از سورفکتانت‌ها و اجتناب از مشکلات مذکور باشد، نشان دادن کاتالیست فلزی بر روی یک پایه غیر کاتالیستی قابل انحلال در سوخت می‌باشد. این تکنیک که برای اولین بار در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است از نانو لوله‌های کربنی عامل دار شده به عنوان پایه کاتالیست فلزی بهره گرفته است.

لوله‌های کربنی به دلیل نانو بودن اندازه ذرات و همچنین وجود اتم‌های کربن قابل احتراق و قابلیت هیبرید شدن مناسب با کاتالیست‌های فلزی، گزینه مناسبی برای استفاده به عنوان پایه کاتالیست می‌باشند. چنانچه نانو لوله‌های کربنی بتوانند در محلول مورد نظر غوطه ور بمانند می‌توانند قابلیت و عملکرد نهایی خود را نشان دهند، اما این استوانه‌های کربنی به دلیل وجود نیروهای واندروالسی بین اتم‌های کربن و نیروهای جاذبه الکترواستاتیکی تمایل زیادی به کلوخه‌ای شدن دارند و معمولاً از انتهای استوانه‌ها به یکدیگر می‌چسبند. استفاده از گروه‌های عاملی مناسب که پیوندهای محکمی با ملکول‌های سوخت برقرار می‌کنند بر روی نانو لوله‌های کربنی، از چسبیدن نانو لوله‌ها به یکدیگر جلوگیری می‌کند. به دلیل وجود ملکول‌های راست زنجیر در ساختار گازوئیل، نشان دادن عامل آمیدی با طول زنجیره مناسب بر روی نانو لوله‌های کربنی می‌تواند گزینه مناسبی برای این منظور باشد که در این تحقیق از این تکنیک استفاده شده است.

در این تحقیق، یک نانو کاتالیست هیبریدی از اکسید سریم بر پایه نانو لوله‌های کربنی چند دیواره عامل دار شده

1. Power
2. Torque
3. Braking special fuel consumption
4. Octadecylamine
5. Thionyl chloride
6. Ethanol
7. Riedel de-Haen Co.
8. Acros organics Co.
9. Merck Co.
10. N,N-Dimethylformamide
11. Anhydrous tetrahydrofuran
12. Aldrich chemical Co.Ltd.

اپتیکال کار گذاشته شده در قسمت‌های مختلف وظیفه محاسبه شدت جریان سوخت و هوای ورودی، و دمای هوای ورودی و گازهای خروجی را به عهده داشتند.

برای انجام تست‌های عملکرد موتور و اندازه‌گیری آلایندگی‌ها، کاتالیست در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به سوخت اضافه گردید. برای تهیه نمونه‌های سوخت، پس از افزودن کاتالیست به سوخت، نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در دستگاه اولتراسونیک حمامی با قدرت ۴۰ kHz قرار گرفتند تا نانو کاتالیست به خوبی در محیط مایع پراکنده شده و پایداری مناسبی را داشته باشد. روش اولتراسونیک به دلیل تخریب کمتر نانولوله‌های کربنی به سایر روش‌های توزیع ترجیح داده می‌شود. نمونه‌های تهیه شده به مدت ۱۳ هفته پایداری مناسبی از خود نشان دادند. تست‌های موتور و اندازه‌گیری آلایندگی‌ها بر اساس تست استاندارد ۱۳ مد^۵ مورد تایید استانداردهای اتحادیه اروپا انجام شدند. استاندارد ۱۳ مد شرایط حرکت وسیله نقلیه در شرایط جاده‌ای را شبیه‌سازی می‌کند. بر اساس این روش تست، اندازه‌گیری در سرعت‌های ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۱۴۰۰، ۱۵۰۰، ۱۶۰۰، ۱۸۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ rpm اندازه‌گیری می‌شود و مقادیر توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه ترمزی در حداکثر گشتاور به دست آمده گزارش می‌شوند. مقدار فشار محیط در زمان تست ۰.۸۶۴ mbar، رطوبت محیط ۴۰٪ و دما ۲۶°C بود. مقادیر به دست آمده برای توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه ترمزی با اعمال ضریب توسط خود دینامومتر، تصحیح گردیدند. آلایندگی‌های موتور با استفاده از دستگاه آنالایزر گاز مدل AVL Dicom4000-class1 اندازه‌گیری شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های نانو کاتالیست

شکل ۱ تصویر TEM از نانو لوله‌های کربنی استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. در تصویر مشاهده می‌شود که نانو لوله‌های کربنی استفاده شده بسیار بلند (بیش از ۱۰۰۰ nm) و باریک (قطر خارجی ۷ تا ۱۰ nm) هستند.

برای نشان دادن عامل آمیدی بر روی هیبرید حاصل، ۵ gr از نانو لوله‌ها به مدت ۴ hr در دمای اتاق و تحت شرایط اتمسفریک در معرض گاز ازن قرار گرفت که باعث ایجاد عامل‌های کربوکسیل بر روی بدنه و بیشتر در نقاط انتهایی نانو لوله‌های کربنی شد. در مرحله بعدی نانو لوله‌های کربوکسیل‌دار شده به مدت ۱ hr در دمای ۶۰°C در محلول آبی ۳۶٪ پراکسید هیدروژن^۱ تحت رفلکس قرار گرفت و پس از آن به مدت ۲۰ hr در دمای اتاق توسط همزن مگنت دار با دور ۲۰۰ rpm هم‌زده شد.

نمونه تهیه شده از فیلترهای غشایی ۰/۲ mm از جنس پلی کربنات عبور داده شده و پس از شستشو با مقدار فراوانی متانول در داخل آن در دمای ۱۰۰°C خشک شد. نمونه خشک شده در حضور ۸۰۰ ml تیونیل کلراید و ۴۰ ml دی متیل فرمامید (DMF) به مدت ۲۴ hr تحت رفلکس همزن دار قرار گرفت. بعد از واکنش آسیل کلریناسیون^۲ نمونه با انهیدروس تتراهیدروفوران ۵ بار شسته شده و در دمای ۴۰°C به مدت ۳۰ min خشک شد. به نمونه خشک شده به مقدار ۲۵ gr اکتادسیل آمین افزوده شد و این مخلوط به مدت ۲ hr در دستگاه التراسونیک حمامی با دمای ۶۰°C و قدرت ۴۰ kHz قرار گرفت و سپس به مدت ۲ روز تحت رفلکس قرار داده شد. برای خارج نمودن آمین‌های اضافی نمونه با اتانول شستشو داده شد و سپس در داخل آن خشک شد. دستگاه FT-IR مدل FT-IR RAY LEIGH WQF-510A ساخت کشور چین برای شناسایی گروه عاملی آمیدی نشانده شده بر روی نانو لوله‌های کربنی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین میکروسکوپ الکترونی روبشی^۳ مدل FEG CM 200 ساخت شرکت فلیپس برای تعیین سایز و ساختار نانو لوله‌های کربنی به کار گرفته شد.

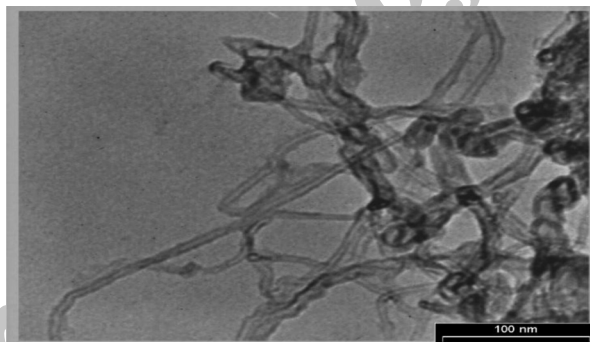
عملکرد موتور و آلایندگی‌ها

برای انجام تست‌های عملکرد موتور از یک موتور دیزل با مدل OM355 EU11 ساخت شرکت ای‌دیم تحت لیسانس شرکت مرسدس بنز آلمان با استاندارد یورو ۲ تحت گواهی شرکت توف نورد^۴ استفاده شد. جدول ۱ مشخصات فنی موتور را بیان می‌نماید. اطلاعات مربوط به نتایج آزمایشات با استفاده از یک دینامومتر که به موتور وصل بود جمع‌آوری شده و در یک سیستم کامپیوتری آنالیز و دریافت می‌گردید. سنسورهای

1. H₂O₂
2. Acyl-chlorination
3. TEM
4. T V NORD
5. Mod

جدول ۱- مشخصات فنی موتور دیزل با مدل OM355 EUII ساخت شرکت ایدم

مشخصه	توضیحات
نوع موتور	Vertical-Inline
تعداد سیلندر	۶
پیشرفت قدرت	۲۴۰ hp @ ۲۲۰۰ rpm
بیشینه گشتاور	۸۲۰ Nm @ ۱۴۰۰ rpm
نسبت تراکم	۸۲/۱۶
قطر حفره سیلندر	۱۲۸ mm
کورس پیستون	۱۵۰ mm
ابعاد موتور	۱۳۳۵×۶۸۵×۱۰۸۵ (l×w×h) mm
وزنی کلی موتور	۸۸۰ kg
میزان جا به جایی کلی پیستون	۱۱/۵۸۰ lit
کمینه مصرف سوخت	@ ۲۰۳/۸ gr/kW.hr ۱۰۰۰ rpm
سیستم چرخش	C.C.W
سیستم خنک کننده	Water cooled
استاندارد آلودگی	EUROII



شکل ۱- تصویر TEM از نانو لوله‌های کربنی استفاده شده

model ساخت شرکت آنتون پار^۱ در استرالیا برای اندازه‌گیری ویسکوزیته و دانسیته سوخت مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج تست‌های خواص فیزیکی-شیمیایی گازوئیل تهیه شده مطابق با استاندارد ASTM D 975 در جدول ۲ آورده شده است.

عملکرد موتور

توان

توان برابر است با قدرت خارج شده و قابل دسترس در میل لنگ، که با فرمول زیر به دست می‌آید:

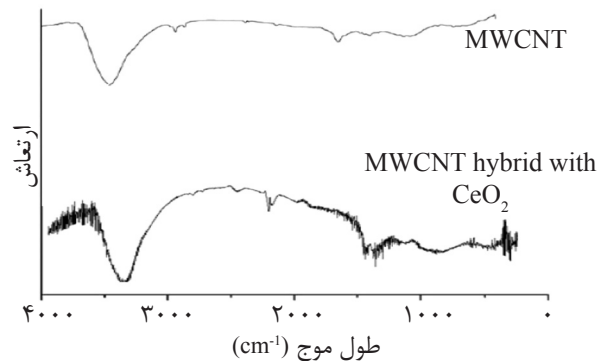
(۱) توان اصطکاکی- توان اندیکاتوری= توان ترمزی

شکل ۲ تصاویر FT-IR از نمونه نانوکاتالیست هیبریدی قبل و بعد از آمید دار شدن را نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که پیک عامل آمیدی در محدوده ۱۵۰۰ تشکیل شده است. پیک ۱۵۴۱ مربوط به پیوند دوگانه C=C در نانو لوله‌های کربنی می‌باشد. وجود ارتعاش مربوط به پیوندهای Ce-O و Ce-O-C به ترتیب در محدوده‌های ۴۴۵ و ۱۰۰۰ cm⁻¹ نشان‌دهنده ایجاد هیبرید نانو لوله‌های کربنی و دی اکسید سربیم می‌باشد.

ویژگی‌های سوخت

دستگاه Grabner FLPH Miniflash Tester ساخت شرکت گرابنر^۱ در استرالیا جهت اندازه‌گیری نقطه اشتعال به روش پیوسته^۲ و دستگاه ویسکومتر استابینگر^۳ مدل SVM 3000

1. Grabner Co.
2. Continuously Close Cup Flash Point(CCCFP)
3. Stabinger Viscometer
4. Anton Paar Co.



شکل ۲- تصویر FT-IR از نانو لوله‌های کربنی قبل و بعد از هیبرید شدن با کاتالیست فلزی

جدول ۲- نتایج تست‌های مشخصه گازوئیل استفاده شده بر اساس استاندارد ASTM

واحد اندازه‌گیری	مقدار تعریف شده در استاندارد مربوطه	مقدار اندازه‌گیری شده در نمونه گازوئیل	شماره استاندارد مربوطه	خاصیت اندازه‌گیری شده
gr/cm ³	-	۰/۷۶	-	دانسیته
mm ² /s	۴/۱-۱/۹	۳/۱	ASTM D445	ویسکوزیته سینماتیک (۴۰ °C)
°C	۵۲<	۶۹/۳	ASTM D93	نقطه اشتعال
°C	-	-۱۸	ASTM D2500	نقطه ابری شدن

است. گشتاور به صورت نیرویی که در فاصله‌ای عمل نموده و ایجاد ممان می‌کند، تعریف می‌گردد که دارای واحد نیوتون-متر (N.m) می‌باشد و با رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$2\pi\tau = W_b = (bmep)V/dn \quad (4)$$

در این رابطه، τ ، گشتاور؛ W_b کار ترمزی یک دور موتور؛ V_d ، حجم جابجایی و n ، تعداد دورها به ازای هر چرخه می‌باشد. همچنین $bmep$ ، فشار موثر متوسط ترمزی می‌باشد. شکل ۴ نتایج حداکثر گشتاور ایجاد شده که در سرعت ۱۵۰۰ rpm اتفاق می‌افتد را برای انواع سوخت نشان می‌دهد. همچنین نتایج مربوط به درصد افزایش گشتاور در گازوئیل حاوی کاتالیست در برابر گازوئیل بدون کاتالیست در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به رابطه توان و گشتاور موتور $(P=k\tau)$ تغییرات گشتاور نیز مشابه تغییرات توان می‌باشد. به طوری که بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۴، استفاده از نانو کاتالیست در سوخت با غلظت‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به ترتیب باعث افزایش ۰/۷۸، ۱/۱۸ و ۱/۴۴ درصدی گشتاور نسبت به سوخت پایه شده است.

$$(2) \quad \text{توان ترمزی (Power)} = \frac{2\pi \cdot N \cdot \tau}{60000} \text{ (kW)}$$

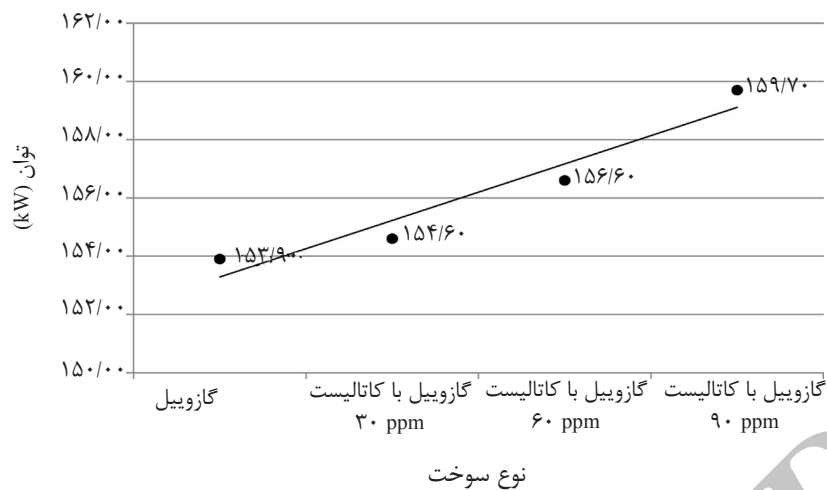
در اینجا τ ، گشتاور بر حسب N.m؛ N ، سرعت میل لنگ بر حسب دور در دقیقه می‌باشد. در عمل توان ترمزی به کمک یک دینامومتر اندازه‌گیری می‌شود که به کمک رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$(3) \quad \text{توان ترمزی (Power)} = \frac{\text{سرعت موتور} \times \text{عدد خوانده دینامومتر}}{\text{عدد ثابت دینامومتر}}$$

شکل ۳ نتایج توان ایجاد شده بر حسب kW در حداکثر گشتاور که در سرعت ۱۵۰۰ rpm اتفاق می‌افتد را برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی سه غلظت از کاتالیست را نشان می‌دهد. نتایج نشان داده شده در شکل ۳ بیان‌گر آن است که با افزایش غلظت کاتالیست، مقدار توان نیز افزایش می‌یابد. این افزایش تقریباً به صورت خطی بوده است. درصد این افزایش در جدول ۳ آورده شده است. بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۳، مشاهده می‌شود که استفاده از نانو کاتالیست در سوخت با غلظت‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به ترتیب باعث افزایش ۰/۴۵، ۱/۷۵ و ۳/۷۷ درصدی توان نسبت به سوخت پایه شده است.

گشتاور

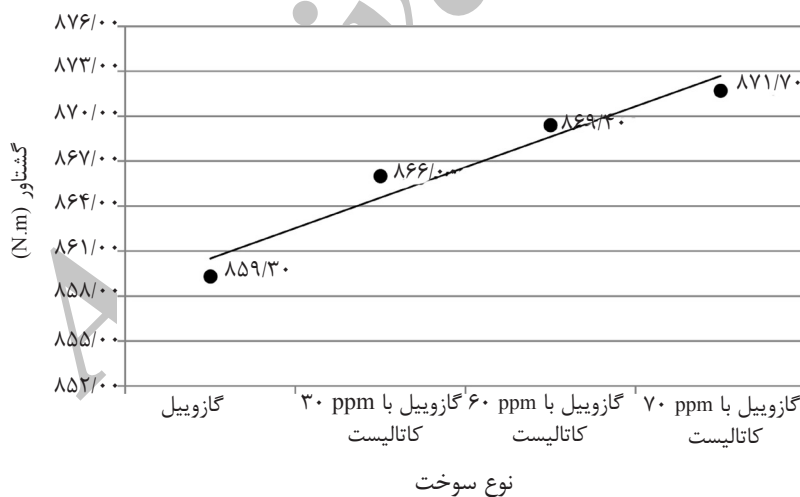
گشتاور، نشان‌گر خوبی از توانایی موتور برای انجام کار



شکل ۳- توان ایجاد شده بر حسب kW در حداکثر گشتاور (در سرعت ۱۵۰۰ rpm) برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی سه غلظت ۳۰، ۶۰، ۹۰ ppm از کاتالیست

جدول ۳- مقادیر و درصد افزایش توان برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm از کاتالیست

نوع سوخت	توان (kW)	درصد افزایش توان نسبت به سوخت پایه
گازوئیل	۱۵۳/۹۰	-
گازوئیل با غلظت ۳۰ ppm از کاتالیست	۱۵۴/۶۰	+۰/۴۵
گازوئیل با غلظت ۶۰ ppm از کاتالیست	۱۵۶/۶۰	+۱/۷۵
گازوئیل با غلظت ۹۰ ppm از کاتالیست	۱۵۹/۷۰	+۳/۷۷



شکل ۴- حداکثر گشتاور ایجاد شده بر حسب N.m در سرعت ۱۵۰۰ rpm برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm از کاتالیست

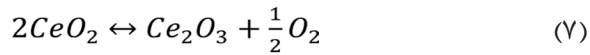
جدول ۴- مقادیر و درصد افزایش گشتاور برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل با سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm از کاتالیست

نوع سوخت	گشتاور (N.m)	درصد افزایش گشتاور نسبت به سوخت پایه
گازوئیل	۸۵۹/۳۰	-
گازوئیل با غلظت ۳۰ ppm از کاتالیست	۸۶۶/۴۰	+۰/۷۸
گازوئیل با غلظت ۶۰ ppm از کاتالیست	۸۶۹/۴۰	+۱/۱۸
گازوئیل با غلظت ۹۰ ppm از کاتالیست	۸۷۱/۷۰	+۱/۴۴

روند خطی دارد که به دلیل کم بودن داده‌های آزمایشگاهی می‌تواند در حد خطای آزمایشات باشد.

آلاینده‌ها

سربیم دی اکسید مطابق رابطه ۷ می‌تواند اکسیژن را ذخیره یا آزاد سازد.



دی اکسید سربیم از طریق ۲ مکانیزم، عمل جذب یا تامین اکسیژن را انجام می‌دهد. اول، اکسیژن لازم برای اکسیداسیون مونوکسیدکربن یا هیدروکربن‌ها را تامین می‌کند. دوم، با جذب اکسیژن و کاهش فشار در محفظه احتراق باعث کاهش میزان اکسیدهای نیتروژن می‌گردد. مونوکسید کربن حاصل اشتعال ناقص به خاطر ناکافی بودن میزان هوا-سوخت، ناکافی بودن زمان در چرخه موتور برای احتراق کامل و یا پایین بودن دمای احتراق است. هیدروکربن‌های نسوخته خارج شده از اگزوز نیز نتیجه مستقیم اشتعال ناقص است. الگوی تولید هیدروکربن‌های خروجی وابستگی نزدیکی به تعداد زیادی از متغیرهای کاری و طراحی موتور دارد. وجود دوده نیز به خاطر اشتعال ناقص است که جزو خروجی‌های قابل رویت است. کافی بودن میزان اکسیژن در دسترس، باعث نزدیک شدن به احتراق کامل و در نتیجه کاهش در میزان هر سه آلاینده مذکور می‌شود. واکنش‌های ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب مکانیزم تامین اکسیژن توسط اکسید سربیم برای کاهش هیدروکربن‌های نسوخته (HC)، دوده (Soot) و مونوکسید کربن (CO) را نشان می‌دهند.

مصرف سوخت ویژه ترمزی (bsfc)

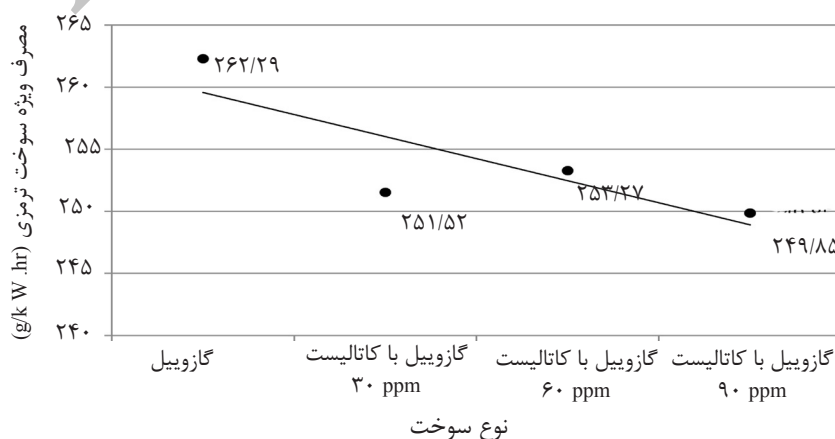
مصرف سوخت ویژه ترمزی معیاری از احتراق کامل در محفظه احتراق است و در مبحث اقتصاد سوخت معیار درستی از میزان سوخت مصرف شده توسط وسیله نقلیه بوده چرا که مصرف سوخت را به صورت مقدار سوخت مصرف شده به ازای توان تولید شده در زمان معین بیان می‌کند. مصرف سوخت (مقدار bsfc) در شرایط دورتر از حالت احتراق ایده‌آل بیشتر خواهد بود. توان ترمزی، مصرف سوخت ویژه ترمزی را مطابق روابط زیر می‌دهد.

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{W} \quad (5)$$

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{W_b} \quad (6)$$

در روابط بالا \dot{m}_f ، نرخ جرمی سوخت ورودی به داخل موتور و W ، توان موتور را می‌دهد.

شکل ۵ نتایج به دست آمده میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی بر حسب g/kW.hr در حداکثر گشتاور (در سرعت ۱۵۰۰ rpm برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی کاتالیست با سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm را نشان می‌دهد. مقادیر مربوط به درصد کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی نیز در جدول شماره ۵ آورده شده است. بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۵، استفاده از نانو کاتالیست در سوخت با غلظت‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به ترتیب باعث کاهش ۴/۱۲، ۳/۴۴ و ۴/۷۴ درصدی مصرف سوخت نسبت به سوخت پایه شده است. مشاهده شکل شماره ۵، نشان از عدم پیروی میزان کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی از

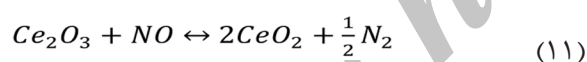


شکل ۵- مصرف سوخت ویژه ترمزی بر حسب g/kW.hr در حداکثر گشتاور (در سرعت ۱۵۰۰ rpm) برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm از کاتالیست

جدول ۵- مقادیر و درصد کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm از کاتالیست

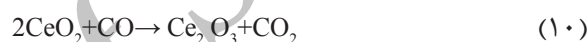
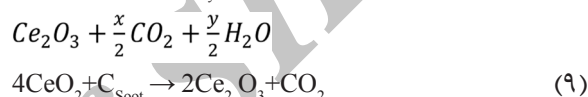
نوع سوخت	مصرف سوخت ویژه ترمزی (bsfc) (g/kW.hr)	درصد کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به سوخت پایه
گازوئیل	۲۶۲/۲۹	-
گازوئیل با غلظت ۳۰ ppm از کاتالیست	۲۵۱/۵۲	-۴/۱۲
گازوئیل با غلظت ۶۰ ppm از کاتالیست	۲۵۳/۲۷	-۳/۴۴
گازوئیل با غلظت ۹۰ ppm از کاتالیست	۲۴۹/۸۵	-۴/۷۴

(NO₂) هستند. اکسیژن و نیتروژن به نسبت در دمای بالا واکنش می‌دهند. بنابراین، دمای بالا و در دسترس بودن اکسیژن دو علت اصلی برای تشکیل NO_x هستند. هرچه اوج دمای اشتعال بالا بیشتر باشد، NO_x بیشتری تشکیل می‌شود. غلظت NO_x در اگزوز تحت تاثیر طراحی موتور و طرز کار خودرو قرار دارد. نسبت هوا به سوخت و آوانس جرقه دو عامل مهمی هستند که به طور عمده بر NO_x تاثیر می‌گذارند. واکنش ۱۱ مکانیزم جذب اکسیژن توسط اکسید سربیم برای کاهش اکسیدهای نیتروژن (NO_x) را نشان می‌دهد



نتایج مربوط به میزان NO_x بر حسب g/kW.hr برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی کاتالیست در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به همراه استانداردهای اتحادیه اروپا در جدول ۹ ارائه شده است.

شکل ۶، درصد افزایش یا کاهش هر چهار آلاینده اندازه‌گیری شده Soot، HC، CO و NO_x را برای سوخت‌های حاوی کاتالیست در مقایسه با سوخت پایه (گازوئیل بدون کاتالیست) را نشان می‌دهد. نتایج شکل ۶ نشان می‌دهد که میزان هر چهار آلاینده اندازه‌گیری شده Soot، HC، CO و NO_x با استفاده از کاتالیست به میزان قابل قبولی کاهش یافته است و این کاهش متناسب با افزایش مقدار کاتالیست بوده است به طوری که در غلظت ۹۰ ppm میزان این کاهش بیشتر از دو غلظت پایین تر بوده است.



نتایج مربوط به میزان CO بر حسب g/kW.hr برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی کاتالیست در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به همراه استانداردهای اتحادیه اروپا در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که افزودن نانو کاتالیست در هر سه غلظت به سوخت در کاهش مونوکسید کربن موثر بوده است.

نتایج مربوط به میزان HC بر حسب g/kW.hr برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی کاتالیست در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به همراه استانداردهای اتحادیه اروپا در جدول ۷ گزارش شده است. نتایج، کاهش موثری را در میزان این آلاینده با استفاده از نانو کاتالیست در هر سه غلظت به ویژه در غلظت ۹۰ ppm را گزارش می‌کند.

همچنین، نتایج مربوط به میزان Soot بر حسب B.N برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی کاتالیست در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به همراه استانداردهای اتحادیه اروپا در جدول ۸ آورده شده است. مشابه سایر نتایج مربوط به دو آلاینده مذکور، برای دوده نیز کاهش معنی داری (کاهش ۳ تا ۲۰ درصدی) به دلیل استفاده از کاتالیست مشاهده می‌شود.

اکسیدهای نیتروژن که فقط در اگزوز موتور یافت می‌شوند ترکیبی از اکسیدنیتریک (NO) و دی اکسید نیتروژن

جدول ۶- میزان CO بر حسب g/kW.hr برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی کاتالیست در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به همراه استانداردهای اتحادیه اروپا [۱۶].

نوع سوخت	CO (g/kW.hr)	مقدار مجاز در استاندارد اتحادیه اروپا
گازوئیل	۵/۹	EuroII = ۴
گازوئیل با غلظت ۳۰ ppm از کاتالیست	۵/۶۶	EuroIII = ۲
گازوئیل با غلظت ۶۰ ppm از کاتالیست	۵/۴۳	EuroIV = ۱/۵
گازوئیل با غلظت ۹۰ ppm از کاتالیست	۵/۱۵	EuroV = ۱/۵

جدول ۷- میزان HC بر حسب g/kW.hr برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی کاتالیست در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به همراه استانداردهای اتحادیه اروپا [۱۶].

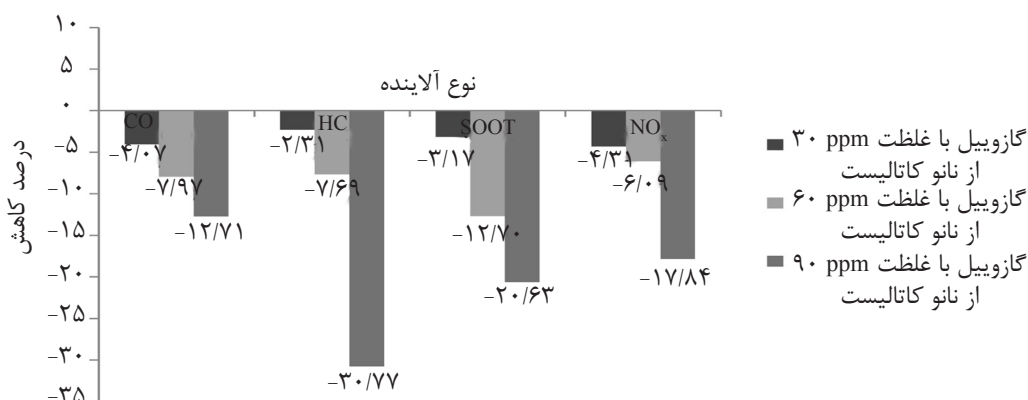
نوع سوخت	HC (g/kW.hr)	مقدار مجاز در استاندارد اتحادیه اروپا
گازوئیل	۰/۱۳۰	EuroII = ۱/۱
گازوئیل با غلظت ۳۰ ppm از کاتالیست	۰/۱۲۷	EuroIII = ۰/۶۶
گازوئیل با غلظت ۶۰ ppm از کاتالیست	۰/۱۲۰	EuroIV & V = ۰/۴۶
گازوئیل با غلظت ۹۰ ppm از کاتالیست	۰/۰۹	EuroVI = ۰/۱۳

جدول ۸- میزان Soot بر حسب B.N برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی کاتالیست در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به همراه استانداردهای اتحادیه اروپا [۱۶].

نوع سوخت	SOOT (B.N)	مقدار مجاز در استاندارد اتحادیه اروپا
گازوئیل	۰/۶۳	EuroIII = ۰/۸ EuroIV & V = ۰/۵
گازوئیل با غلظت ۳۰ ppm از کاتالیست	۰/۶۱	
گازوئیل با غلظت ۶۰ ppm از کاتالیست	۰/۵۵	
گازوئیل با غلظت ۹۰ ppm از کاتالیست	۰/۵۰	

جدول ۹- میزان NO_x بر حسب g/kW.hr برای گازوئیل بدون کاتالیست و گازوئیل حاوی کاتالیست در سه غلظت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ppm به همراه استانداردهای اتحادیه اروپا [۱۶].

نوع سوخت	NO _x (g/kW.hr)	مقدار مجاز در استاندارد اتحادیه اروپا
گازوئیل	۴/۶۹	EuroII = ۷
گازوئیل با غلظت ۳۰ ppm از کاتالیست	۴/۴۹	EuroIII = ۵
گازوئیل با غلظت ۶۰ ppm از کاتالیست	۴/۴۱	EuroIV = ۳/۵
گازوئیل با غلظت ۹۰ ppm از کاتالیست	۳/۸۶	Euro V = ۲



شکل ۶- نمودار درصد افزایش یا کاهش هر چهار آلاینده اندازه‌گیری شده Soot، HC، CO و NO_x برای سوخت‌های حاوی کاتالیست در مقایسه با سوخت پایه (گازوئیل بدون کاتالیست)

لایه باعث کاهش اصطکاک در موتور و در نتیجه کاهش مصرف سوخت می‌شود. نزدیک شدن به احتراق کامل سوخت در موتور باعث بهبود پارامترهای عملکرد موتور از جمله توان و گشتاور و هم‌زمان افزایش عمر موتور و کاهش رسوبات در محفظه احتراق می‌گردد به طوری که نتایج به ترتیب نشان از افزایش ۰/۴۵ تا ۳/۷۷ و ۰/۷۸ تا ۱/۴۴ درصدی برای توان و گشتاور، و مصرف سوخت ویژه ترمزی نیز کاهشی ۴/۱۲ تا ۴/۷۴ درصدی را در سه غلظت متفاوت نشان می‌دهد.

علائم و نشانه‌ها

τ : گشتاور N.m

N : سرعت میل لنگ بر حسب دور در دقیقه (rpm)

W_b : کار ترمزی یک دور موتور W

V_d : حجم جابجایی l

n : تعداد دورها به ازای هر چرخه

bmep: فشار موثر متوسط ترمزی Pas

\dot{m}_f : نرخ جرمی سوخت ورودی به داخل موتور m/min

\dot{W} : توان موتور kW

$bsfc$: مصرف سوخت ویژه ترمزی g/kW.hr

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای پایداری و همگن شدن کاتالیست در سوخت گازوئیل از عامل آمیدی بر روی نانو لوله‌های کربنی استفاده شد. نانو لوله کربنی عامل دار شده (به عنوان پایه کاتالیست) به صورت هیبرید با اکسید سریم (کاتالیست) در سه غلظت به گازوئیل افزوده شد. اکسید سریم به عنوان یک کاتالیست دهنده اکسیژن عمل می‌کند و اکسیژن را برای اکسیداسیون CO فراهم می‌کند یا اکسیژن را برای کاهش NO_x جذب می‌کند. انرژی اکتیواسیون سریم اکساید برای سوزاندن کربن باقی مانده در داخل سیلندر موتور در دمای دیواره و جلوگیری از ته نشینی ترکیبات غیر قطبی در دیواره سیلندر عمل می‌کند و در نتیجه باعث کاهش هیدروکربن‌های خروجی می‌شود. نتایج کار نشان از کاهش ۴/۰۷ تا ۱۲/۷۱ درصدی برای مونوکسید کربن، ۲/۳ تا ۳۰/۷۷ درصدی برای هیدروکربن‌های نسوخته، ۳/۱۷ تا ۲۰/۶۳ درصدی برای دوده و نهایتاً ۴/۳۱ تا ۱۷/۸۴ درصدی برای اکسیدهای نیتروژن در سه غلظت متفاوت از کاتالیست می‌دهد. همچنین نانو ذرات اکسید سریم یک لایه موقت روی دیواره سیلندر و سایر بخش‌های متحرک آن تشکیل می‌دهند که این لایه باعث می‌شود موتور مثل یک دستگاه کاتالیستی عمل نماید. همچنین وجود این

مراجع

- [1]. Zhou, *Organically complexed nano-catalysts for improving combustion properties of fuels and fuel compositions incorporating such catalyst*, United States Patent, US20060175230 A1, Issued Aug. 10, 2006.
- [2]. François G., "Environmental catalysis", *Catalysis Today*, 89 Vol. 89, Issue 3, pp. 253-386, 2004.
- [3]. Guru M., Karakaya U., Altıparmak D., and Alicilar A., "Improvement of diesel fuel properties by using additives", In: *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, pp 1021-1025, 2002.
- [4]. Chlopek Z., Darkowski A., and Piaseczny L., "The influence of metallo-organic fuel additives on CI engine emission", *Polish J Environ. Stud.*, Vol. 14, pp. 559–567, 2005.
- [5]. Wickham D. T., Cook R., De Voss S., R. Engel J., and Nabity J., "Soluble nano-catalyst for high performance fuels", *Journal of Russian Laser Research*, Vol. 27, pp. 258-268, 2006.
- [6]. Yetter R. A., Grant A. R., and Steven F. S., "Metal particle combustion and nanotechnology", In: *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 32, pp. 1819-1838, 2009.
- [7]. Valentine J. M., Peter-Hoblyn J. D., and Acres G. K., "Emissions reduction and improved fuel economy performance from a bimetallic platinum/ cerium diesel fuel additive at ultra-low dose rates", *SAE Technical Paper*, 1934, pp. 1-9, 2000.
- [8]. Sadhik Basha J. and Anand R. B., "Effects of nanoparticle additive in the water-diesel emulsion fuel on the performance", emission and combustion characteristics of a diesel engine, *Int. J. Veh. Des.* Vol. 59, pp. 164–181, 2012.
- [9]. DeLuca L. T., Galfetti L., and Severini F., "Combustion of composite solid propellants with nanosized aluminium", *Combust Explos Shock Waves*, Vol. 41, pp. 680–692, 2005.
- [10]. Rongguang L., Xiaoli L. I., and Qifei J., "Development of high efficiency diesel fuel additive for emission control", *J. Vehicle Engine*, Vol. 1, pp. 29-32, 2001.
- [11]. Boutonnet M., Kizzling J., and Stenius P. "The preparation of monodisperse colloidal metal particles from microemulsions", *Colloids and Surfaces*, Vol. 5, No.3, pp. 209-225, 1982.
- [12]. Boutonnet M., Lögdberg S., and Svensson E. E., "Recent developments in the application of nanoparticles prepared from w/o microemulsions in heterogeneous catalysis", *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Vol. 13, Iss 4, pp. 195-314, 2008.
- [13]. Arul Mozhi Selvan V., Anand R. B., and Udayakumar M., "Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel ethanol blends on the performance and emission characteristics of a CI engine", Vol. 4, No. 7, pp. 1-6, 2009.
- [14]. Kung H. H. and Kung M. C., "Nanotechnology: applications and potentials for heterogeneous catalysis", *Catalysis Today*, Vol. 97, Issue 4, pp. 219-224, 2004.
- [15]. Sadhik Basha J. and Anand R. B., "The influence of nano additive blended biodiesel fuels on the working characteristics of a diesel engine", *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, Vol. 35, pp. 257–264, 2013.
- [16]. www.dieselnet.com/emission-standards/emission-stan-fuel-regulations-EU/EU/Fuels-EU-Biodiesel-Fuel.