

## بررسی نانوکاتالیست‌های افزودنی به سوخت‌های دیزل و بیودیزل

مهرداد میرزاجان زاده<sup>1</sup>، مهدی ارجمند<sup>2\*</sup>، عزت الله جودکی<sup>3</sup>

<sup>1</sup>استاد مدعو، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران  
<sup>2</sup>عضو هیات علمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران  
<sup>3</sup>عضو هیات علمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه اراک، اراک، ایران  
 دریافت: 94/8/26 پذیرش: 95/3/31

### چکیده

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد که منشاء قسمت عمده‌ای از آن، استفاده از سوخت‌های فسیلی مانند سوخت‌های بنزینی یا دیزلی می‌باشد. امروزه استفاده از سوخت‌های با آلایندگی کمتر مانند بیودیزل در مقایسه با گازوئیل، کمک شایانی به کاهش آلایندگی‌های تولید شده حاصل از احتراق سوخت‌های دیزلی نموده است. اگرچه آلایندگی‌هایی نظیر مونوکسیدکربن (CO)، هیدروکربن‌های نسوخته (UHC) و دوده (Soot) حاصل از احتراق بیودیزل در مقایسه با گازوئیل به طور معناداری کمتر است، اما پایین بودن گشتاور و توان و از طرفی میزان بالای ترکیبات نیتروژن دار (NO<sub>x</sub>) بیشتر تولید شده توسط بیودیزل در مقایسه با گازوئیل، از معایب استفاده از این سوخت به‌عنوان جایگزینی برای گازوئیل می‌باشد. یکی از راه‌های کاهش آلایندگی‌ها و همچنین افزایش عملکرد پارامترهای موتور در هنگام استفاده از سوخت‌های دیزلی استفاده از افزودنی‌های نانو به این سوخت‌ها می‌باشد که در این مطالعه به بررسی انواع این نانوکاتالیست‌های افزودنی پرداخته شده است.

**کلمات کلیدی:** گازوئیل، بیودیزل، نانوکاتالیست، آلایندگی‌ها، موتور.

### مقدمه

یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های محیط زیست، آلودگی مربوط به هوا است که به صورت عمده به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شود. به‌طور مثال، روزانه در ایران بیش از 65 میلیون لیتر بنزین و حدود 100 میلیون لیتر گازوئیل مصرف می‌شود که نقش به‌سزائی در تولید آلایندگی‌ها ایفا می‌کنند. این آلایندگی‌ها نه تنها از نظر اقتصادی (با تعطیل شدن کلان شهرها: 1000 میلیارد ریال هزینه تحمیل شده در نتیجه یک

\*m\_arjmand@azad.ac.ir

روز تعطیلی کلان شهر تهران) بلکه از نظر سلامت شهری (ایجاد بیماری‌های تنفسی و سرطانی) اثرات مہلکی به جامعه وارد می‌نمایند [2 و 1]. از این رو یکی از مسائل مورد علاقه در مبحث آلاینده‌های ناشی از احتراق سوخت‌ها، تحقیق در مورد سوخت‌هایی است که علاوه بر اینکه فرایند احتراق به نسبت کامل در آن‌ها اتفاق می‌افتد، از نظر محیط زیستی و اقتصادی نیز قابل توجه و به‌صرفه باشند.

پروکسیدها و نیترات‌ها به عنوان موثرترین عامل رایج در خود اشتعالی در موتورهای درونسوز شناخته می‌شوند. برای مثال، از 2- اتیل- هکسیل نیترات به عنوان افزودنی در کاهش تاخیر اشتعال در سوخت‌های دیزلی استفاده می‌شود. پیوندهای RO-NO<sub>2</sub> که به نیترات‌ها آکیل متصل می‌شوند به نسبت ضعیف هستند و بنابراین به سادگی شکسته می‌شوند. به این ترتیب، یک الکترون جفت نشده یا یک رادیکال آزاد می‌شود. وجود یک رادیکال آزاد موجب می‌شود که فرایند احتراق در دماهای پایین‌تری رخ دهد که در نتیجه موجب بهبود عدد ستان می‌شود. همچنین، تحقیقات آزمایشگاهی، نشان داده‌است که استفاده از امولسیون آب و نفت، آثار مثبتی بر احتراق سوخت‌های مایع برجای می‌گذارد. با افزایش میزان آب در امولسیون آب و سوخت دیزل، زمان احتراق و مقدار سوخت پسماند کاهش می‌یابد. پیش از آن، استفاده از امولسیون آب و نفت، در احتراق نفت‌های سنگین، به‌عنوان یک روش موثر برای کاهش ذرات معلق خروجی شناخته شده‌بود. اثر افزودن امولسیون به سوخت موتور دیزل نیز در کاهش آلاینده اکسیدنیترژن و دوده مورد مطالعه قرار گرفته‌بود. در این آزمایش‌ها، امولسیون آب-دیزل، با نسبت‌های حجمی گوناگون به‌عنوان سوخت، مورد استفاده قرار گرفته بود. نتایج حاصل بیان‌گر بهبود راندمان احتراقی بود. گشتاور، توان و مصرف ویژه سوخت ترمزی با افزایش درصد آب امولسیون، افزایش و دمای گازهای خروجی کاهش یافت. اگرچه استفاده از این ترکیبات موجب افزایش قابلیت اشتعال می‌شود، اما آن‌ها تنها مقادیر اندکی نرخ واکنش‌های موجود در فرایند احتراق را افزایش می‌دهند [3-6].

از میان جایگزین‌هایی که می‌تواند منجر به دستیابی به این اهداف شود، می‌توان به استفاده از کاتالیست‌ها در سوخت اشاره کرد. یک کاتالیست می‌تواند نرخ واکنش‌ها را سرعت ببخشد و همچنین در فرایند احتراق منجر به یک واکنش کامل‌تر و در نتیجه دستیابی به حداکثر انرژی آزاد شده توسط سوخت بشود.

متاسفانه استفاده از کاتالیست‌های جامد صنعتی موثر و عملی نیستند زیرا قرار دادن مداوم یک کاتالیست پشتیبانی‌کننده در معرض برخورد با محفظه احتراق بسیار داغ، سرعت باعث غیر فعال شدن کاتالیست می‌شود. بنابراین، روش‌های دیگری برای برخورد کاتالیست با مخلوط دمای بالای سوخت و هوا مورد نیاز است. یکی از این روش‌ها، حل کردن کاتالیست در سوخت می‌باشد تا بتوان به‌طور پیوسته آن را وارد مرحله احتراق کرد [7].

در میان انواع مختلف، کاتالیست‌های محلول ترجیح داده می‌شوند زیرا آن‌ها نیاز به گسترش ترکیبات ویژه را کاهش می‌دهند و می‌توان از آن‌ها در پلت فرم‌ها و پیکربندی‌های متفاوت استفاده کرد. همچنین ذرات کاتالیست‌های محلول در مرحله تزریق رسوب نمی‌کنند و دخالتی در عملکرد موتور ندارند [7].

بنابراین، کاتالیست مطلوب باید این شرایط را داشته باشد: دارای گروه‌های عاملی آلی باشد تا در سوخت محلول باشد؛ در ابعاد کوچک (1-100nm) باشد تا با داشتن نسبت سطح به حجم بالا، امکان حلالیت بالاتری داشته باشد؛ فعالیت بالایی داشته باشد تا بتوان در مقادیر کم (درحد ppm) از آن استفاده نمود.

### نانو کاتالیست‌های افزودنی به سوخت‌های دیزل

فعالیت کاتالیست، به طور عمده به اندازه آن بستگی دارد به طوریکه با یک ذره کوچک‌تر به میزان فعالیت بالاتری می‌توان دست یافت زیرا می‌توان تعداد اتم‌های بیشتری را در واحد سطح داشت. در برخی از واکنش‌های کاتالیستی، انتخاب پذیری به طبیعت سایت‌های کاتالیستی (در دسترس بودن تعداد اتم‌ها) بر روی سطح ذره بستگی دارد [8]. ترکیبات نانو کاتالیستی مثل برخی فلزات (پلاتین، پالادیم، کبالت، مس، نیکل و...)، اکسیدهای فلزی یگانه، اکسیدهای فلزی چندگانه و در نهایت فلزات پوشش داده شده با اکسیدهای فلزی را می‌توان به صورت خالص یا مخلوط، به سوخت (هیدروکربن‌های مایع مثل سوخت‌های مشتق شده از نفت نظیر بنزین و گازوئیل) اضافه کرد تا بدینوسیله ویژگی‌های احتراق سوخت را ارتقاء بخشید. ویژگی‌های مختلف سوخت که در نشر ذرات موثرند مثل فراریت، چگالی و محتوای گوگرد در سوخت، از جمله مواردی هستند که می‌توان با استفاده از نانو کاتالیست‌ها دستخوش تغییر شوند. تزریق سوخت و فرایندهای تهیه مخلوط آماده برای احتراق، به شدت تحت تاثیر ویژگی‌هایی مثل چگالی، فراریت و گرانی هستند که این ویژگی‌ها اغلب به یکدیگر وابسته هستند. فراریت سوخت گازوئیل توسط منحنی تقطیر تعریف می‌شود و گرانی گازوئیل همانند ویژگی‌های روانکاری آن، بر روی اتمیزه کردن آن تاثیر دارد، حال آنکه دمای پایینی برای نقطه اشتعال و نقطه احتراق به منظور اطمینان از کارکرد ایمن سوخت پیشنهاد می‌شود. ویژگی‌های دمای - پایین سوخت دیزل به نسبت رفتار احتراق، از درجه اهمیت بالاتری جهت بررسی و تحقیق برخوردار می‌باشد. بنابراین مقادیر قابل پذیرشی برای ویژگی‌های فیزیکی مناسب به منظور بهینه سازی احتراق با اطمینان از عملکرد ایمن سوخت را باید پیدا کرد. در یک فرایند احتراق، ترکیبات موجود در سوخت برای تولید انرژی، آب و دی اکسید کربن دچار احتراق می‌شوند. با این وجود، ناخالصی‌های موجود در سوخت با محصولات جانبی مضر با بازده نامناسب واکنش مثل  $SO_x$ ،  $NO_x$ ،  $CO_x$  همراه می‌شوند. ترکیبات نانو کاتالیستی به صورت مستقیم یا مخلوط با یک سوبسترا از سوخت برای پایین آوردن مقدار  $NO_x$ ،  $CO$ ، هیدروکربن‌های نسوخته و دوده تولید شده توسط سوخت در حین فرایند احتراق و به صورت همزمان، بالابردن بازده فرایند احتراق و انرژی تولید شده، می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. باتوجه به موارد مذکور، کاتالیست می‌تواند نرخ احتراق سوخت را برای تولید انرژی بیشتر، شتاب ببخشد بدون این‌که تغییری در محتوای انرژی یا ترمودینامیک واکنش ایجاد نماید. به عبارت دیگر، کاتالیست باید توانایی افزایش انرژی همراه با کاهش تشکیل محصولات مضر و افزایش تشکیل محصولات مطلوب را حاصل نماید [9 و 10].

## نانو کاتالیست‌های افزودنی به گازوئیل

تلاش‌های زیادی برای بهبود عملکرد موتورهای دیزل با استفاده از کاتالیست‌های همگن و غیرهمگن صورت پذیرفته است. اولین مطالعات توسط بوتونیت و همکارانش [11] بر روی توزیع نمودن ذرات فلزی مانند پلاتین، پالادیم، روبیدیم و ایریدیم به فرم میکرومولسیون انجام شد. آن‌ها نشان دادند که می‌توان سوسپانسیون‌هایی از فلزات در حلال‌های آلی با استفاده از حل کردن آن‌ها به فرم یونی در میان مایسل‌های معکوس در میکرومولسیون‌ها با واکنش احیاء توسط یک عامل کاهنده، تهیه نمود. یافته‌های آن‌ها، راه را برای تحقیقات دیگر در زمینه استفاده از فلزات در سوخت جهت بهبود کیفیت، ارتقاء عملکرد و کاهش آلاینده‌ها هموار نمود.

چوئی [12] اولین بار اصطلاح جدید نانوسیال را ارائه کرد و آن را به عنوان محیط جدید انتقال حرارت مطرح نمود. نانوسیالات از طریق اضافه کردن نانوذرات با درصد حجمی کمتر از 4% تهیه می‌شوند.

بررسی‌های صورت گرفته توسط میمانی و پاتیل [13] نشان داد که می‌توان اکسید فلزات را به امولسیون آب و دیزل اضافه نمود که در این صورت نقش کاتالیزور را در فعال کردن پیوندهای مولکولی مخلوط آب-دیزل و نیز انجام یک واکنش شیمیایی ایفا می‌کنند. آن‌ها برای این کار از نانو ذرات آلومینیوم، زیرکونیوم و سریم استفاده نمودند.

موی و همکارانش [14] در یک پتنت گزارش دادند که از نانو لوله‌های کربنی به نسبت وزنی 0/01% تا 30% در سوخت استفاده کرده‌اند. آن‌ها توانستند بازده احتراق و سایر پارامترهای کیفی سوخت مثل روانروی و گرانروی را بهبود ببخشند.

همچنین اسکترگود [15] در یک پتنت دیگر، از نانوذرات سریم اکسید به نسبت وزنی 0/5% تا 5% در یک موتور درونسوز استفاده و مکانیزم انجام واکنش‌ها را بررسی نمود.

سیل و همکارانش [16] در یک پتنت، از نانو ذرات اکسید فلزی برای کاهش دوده استفاده کردند. آن‌ها از تکنیک سوسپانسیون آبی مایسل‌های معکوس بهره بردند.

راناوار و ساتپوت [17] در مقاله‌ای که در یک کنفرانس ارائه شد، یک بررسی بر روی استفاده از نانوذرات سریم اکسید و سیال آبی حاوی ذرات آهن بر روی عملکرد و آلاینده‌های سوخت گازوئیل در موتورهای درونسوز انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که بازده حرارتی ترمزی به میزان 12% افزایش و مصرف ویژه سوخت ترمزی به میزان 11% کاهش داشته است. با توجه به مقادیر گزارش شده به نظر می‌رسد که این نتیجه چندان قابل اعتماد نباشد.

آرول موژی و همکارانش [18] نانوسریم اکسید را به گازوئیل خالص و مخلوط گازوئیل- بیودیزل- اتانول اضافه و گزارش کردند که نانوذرات سریم اکسید منجر به کاهش CO، NO و دوده شده است. آن‌ها همچنین نتیجه‌گیری نمودند که اضافه کردن نانوسریم اکسید باعث کاهش تاخیر در زمان اشتعال شده است.

دانشور و همکارانش [19] تاثیر اضافه نمودن سیال فرور بر روی مشخصه‌های عملکرد موتور دیزل را بر روی یک موتور دیزل تک سیلندر مورد مطالعه قراردادند. آن‌ها برای این منظور از یک سیال فرو با پایه روغنی به میزان 5 cc در یک لیتر سوخت استفاده کردند. نتایج در دور موتور 1800rpm گزارش شد و نشان داد بهبود

اندکی در راندمان‌های حرارتی و احتراقی در شرایط مختلف اتفاق افتاده است. آن‌ها نتایج را این گونه تفسیر نمودند که وجود ذرات فلز درون محفظه احتراق، انتقال حرارت به سوخت را افزایش و با تسریع سوختن، زمان تاخیر در اشتعال را کاهش داده است.

رید [20] از یک محلول آبی شامل ذرات نانو سرب اکسید و سورفکتانت به صورت یک سوسپانسیون به منظور افزودن به سوخت دیزل استفاده نمود. وی گزارش کرد که به این روش توان موتور با غلظت 42ppm از نانوسرب اکسید، حداکثر تا 3/5% افزایش یافته است.

ال صباغ و همکارانش [21] از یک نانوامولسیون آب در گازوئیل با استفاده از یک سورفکتانت نانویونیک استفاده نمودند. آن‌ها برای تهیه این نانوامولسیون با غلظت آب 5، 10 و 14% از یک روش امولسیفیکاسیون انرژی بالا استفاده نمودند. این امولسیون با یک ترکیب 20% سوربیتان مونوولئات و 80% پلی اتوکسیلئات سوربیتان تری اولئات پایدار شد. آن‌ها تاثیر مقدار آب در سائز قطرات، ارزش حرارتی، گازهای آلاینده مانند مونوکسیدکربن و اکسیدهای نیتروژن و همچنین دمای گازهای خروجی در یک موتور دیزل را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که قطرات تشکیل شده با سائز بین 19/3 تا 39nm به مقدار آب موجود در ترکیب امولسیون افزودنی بستگی دارد و میزان آلاینده اکسیدهای نیتروژن تقریباً به مقدار 18% کاهش داشته است.

سالواگاناپتی و همکارانش [22] مطالعه‌ای را بر روی تاثیر نانو ذرات اکسید روی (ZnO) و اکسید مس (CuO) با غلظت 250 و 500ppm در تاخیر در اشتعال گازوئیل در موتور دیزل، انجام دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان از کاهش زمان تاخیر در اشتعال، افزایش بازده ترمزی و کاهش اکسیدهای نیتروژن داشت.

لنین و همکارانش [23] از یک افزودنی نانوفلزی بر پایه اکسیدمنگنز و اکسید مس برای کاهش آلاینده‌های گازوئیل استفاده نمودند. آن‌ها برای سنتز نانوذرات از روش سل ژل استفاده نمودند. همچنین تغییرات خواص گازوئیل مثل گرانی و نقطه اشتعال بر اثر افزودن نانوکاتالیست‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد پارامترهای عملکردی بهبود یافته و مقدار آلاینده‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. به طوری که مونوکسید کربن 37% و اکسیدهای نیتروژن نیز 4% کاهش داشته است.

ما و همکارانش [24] از یک کاتالیست همگن بر پایه آهن با یک ترکیب آلی کامپوزیتی برای کاهش آلاینده‌های سوخت گازوئیل در موتور تک سیلندر استفاده نمودند. آزمون‌های موتور در چهار بار (بار) متفاوت و دو دور موتور 2800 و 3200rpm انجام و میزان آلاینده‌های مونوکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته اندازه گیری شد. آن‌ها گزارش کردند که در مقایسه با سوخت گازوئیل خالص، مصرف سوخت ویژه ترمزی بر اثر استفاده از نانوکاتالیست به میزان 3/7% کاهش داشته است. همچنین اعلام نمودند که میزان آلاینده‌های دوده، مونوکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته به ترتیب 39/5%، 21/1% و 13/1% کاهش داشته است. البته در مورد اکسیدهای نیتروژن نتیجه مطلوب نبود و 6% افزایش گزارش شد.

جدول 1، خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده در زمینه افزودن نانوکاتالیست‌ها به سوخت گازوئیل را نشان می‌دهد.

جدول 1. خلاصه‌ای از مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در زمینه نانو افزودنی‌ها به سوخت گازوئیل

| پارامتر مطالعه شده |                    |                      |      |              |             |                         |            | غلظت نانو افزودنی در سوخت | نانو افزودنی                             |
|--------------------|--------------------|----------------------|------|--------------|-------------|-------------------------|------------|---------------------------|--|
| تاخیر در اشتعال    | بازده حرارتی ترمزی | مصرف ویژه سوخت ترمزی | توان | آلاینده Soot | آلاینده UHC | آلاینده NO <sub>x</sub> | آلاینده CO |                           |  |
| -                  | -                  | -                    | -    | -            | -           | -                       | -          | 30%-0/01%                 | CNT                                      |
| -                  | -                  | -                    | -    | -            | -           | -                       | -          | -                         | Nano Metal Oxides                        |
| -                  | 12%                | 11%                  | -    | -            | -           | -                       | -          | -                         | Nano CeO <sub>2</sub><br>Nano ferrofluid |
| -                  | -                  | -                    | -    | -            | -           | ↓                       | ↓          | -                         | Nano CeO <sub>2</sub>                    |
| -                  | -                  | -                    | 3/5% | -            | -           | -                       | -          | 42 ppm                    | Nano CeO <sub>2</sub>                    |
| -                  | -                  | -                    | -    | -            | -           | 18%                     | -          | 14% , 10% , 5%            | Nano ionic surfactant                    |
| -                  | -                  | -                    | -    | -            | -           | -                       | -          | 500 ppm و 250             | Nano ZnO<br>Nano CuO                     |
| -                  | -                  | -                    | -    | -            | -           | 4%                      | 37%        | -                         | Nano MnO<br>Nano CuO                     |
| -                  | -                  | 3/7%                 | -    | 39/5%        | 13/1%       | 6%                      | 21/1%      | -                         | Nano ferrous picrate+organic composite   |

### نانو کاتالیست‌های افزودنی به بیودیزل

در حدود 88% از انرژی‌های اولیه مصرفی، سوخت‌های فسیلی هستند (35% نفتی، 29% ذغال سنگ، 24% گاز طبیعی). با توجه به کاهش روزانه ذخایر فسیلی و محدود بودن این منابع، نیاز به منابع جایگزین به شدت احساس می‌شود و این مطلب در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققان بوده است [25]. همچنین توسعه انرژی‌های جایگزین به عنوان انتخابی برای داشتن رشد اقتصادی پایدار در میان جوامع بشری مطرح است. بیودیزل به عنوان جایگزین مناسبی برای گازوئیل، بیشترین توجه را به خود اختصاص داده است. از جمله مزیت‌های بیودیزل نسبت به گازوئیل می‌توان به تجدیدپذیری، غیر سمی بودن، روان کنندگی که باعث طول عمر بیشتر قطعات شده، عدد ستان بیشتر، نقطه اشتعال بالاتر و ... اشاره کرد. بیودیزل متیل یا اتیل استر اسیدهای چرب با زنجیره طولانی است که از منابعی همچون روغن‌های گیاهی و یا چربی‌های حیوانی، که منابعی تجدیدپذیر به حساب می‌آیند، تهیه می‌شود و می‌تواند به جای گازوئیل در موتورهای اشتعال تراکمی و بدون نیاز به تغییرات اساسی در موتور استفاده شود [26]. بنا به گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) تولید بیودیزل از سال 2000 تا 2008، 10 برابر افزایش یافته است و تا سال 2012 دو برابر سال 2010 شده و به 21/8 میلیارد تن رسیده است [27]. وجود اکسیژن در ساختار شیمیایی بیودیزل باعث کاهش انتشار هیدروکربن‌های نسوخته، مونوکسیدکربن و دوده می‌شود. در واقع وجود اکسیژن یکی از

تفاوت‌های بین گازوئیل و بیودیزل محسوب می‌شود. وجود اکسیژن در بیودیزل حدود 10% تا 12% (درصد وزنی) است، در حالی که این مقدار برای گازوئیل صفر است که این موضوع باعث بالاتر بودن عدد ستان در بیودیزل به نسبت گازوئیل می‌باشد. استفاده مستقیم از بیودیزل در موتورهای دیزلی به تنهایی امکان پذیر نیست و باید بصورت مخلوط با گازوئیل استفاده شود. ترکیب بیودیزل با گازوئیل با ترکیب درصدهای 2%، 5% و 20% توصیه شده است (این مخلوط‌ها به صورت کلی با نمادهای B2، B5 و B20 نشان داده می‌شوند). به عنوان نمونه، منظور از B20 یعنی 20% بیودیزل و 80% گازوئیل است، که با این نسبت‌ها نیاز به هیچ گونه اصلاح یا تغییر در قطعات موتور نیست. البته مخلوط بیودیزل با گازوئیل با همین نسبت‌های اندک نیز از انتشار بسیاری از گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌کند. بیودیزل می‌تواند بسیاری از گازهای مضر انتشار یافته از اگزوز خودروهای دیزلی را کاهش دهد. به عنوان مثال، نشان داده شده است که با استفاده مستقیم از بیودیزل، انتشار گاز منواکسیدکربن به میزان 46/7%، ذرات معلق به میزان 66/7% و هیدروکربن‌های نسوخته نشده به میزان 45/2% کاهش پیدا کرده‌اند. در حال حاضر کشورهای زیادی از جمله ایالات متحده آمریکا، برزیل، آلمان، استرالیا و اتریش از بیواتانول در موتورهای بنزینی و یا مخلوطی از دیزل و بیودیزل در موتورهای دیزلی استفاده می‌کنند [28].

برای جایگزین کردن کامل استفاده از بیودیزل به جای گازوئیل در موتورهای دیزل نیاز به انجام تغییراتی در طراحی موتور می‌باشد اما اگر تنها درصدی از بیودیزل به گازوئیل افزوده شود (کمتر از 20 درصد) هیچ نیازی به تغییر اجزاء موتور وجود ندارد [29]. اضافه نمودن حتی درصد اندکی از بیودیزل به گازوئیل، میزان آلاینده‌های خروجی از اگزوز را تا میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد [30].

مشکل عمده در استفاده از بیودیزل پایین بودن توان و گشتاور ایجاد شده در مقایسه با گازوئیل می‌باشد که یکی از راه‌حل‌های موجود برای رفع این نقیصه، استفاده از افزودنی‌ها به بیودیزل می‌باشد. یکی از این افزودنی‌های ایده آل، افزودنی خواهد بود که پارامترهای عملکرد موتور مثل توان و گشتاور را افزایش داده و همزمان با آن میزان مصرف سوخت و آلاینده‌های خروجی از محفظه احتراق را کاهش دهد. همچنین افزودنی مطلوب خواهد بود که با افزودن مقدار کمتری از آن، این اهداف محقق شود تا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد و مشکلات فنی اعم از گرفتگی در قسمت‌های تزریق سوخت یا آسیب در سایر قسمت‌های موتور را به وجود نیارد [31 و 32].

جدول 2 معایب استفاده از بیودیزل در مقایسه با گازوئیل را نشان می‌دهد.

جدول 2. معایب استفاده از بیودیزل در مقایسه با گازوئیل

| ردیف | معایب استفاده از بیودیزل   |
|------|--|
| 1    | عدم صرفه اقتصادی و مشکلات فرایندی تولید بیودیزل                                    |
| 2    | توان و گشتاور پایین تولید شده توسط بیودیزل نسبت به گازوئیل                         |
| 3    | تولید بیشتر NO <sub>x</sub> نسبت به سوخت دیزل به دلیل محتوای بالاتر اکسیژن بیودیزل |
| 4    | اکسید شدن بیودیزل در معرض هوا  |

یکی از راه‌حل‌های مفید برای حل این مشکلات در مقایسه با سایر راه‌حل‌ها، استفاده از نانو مواد (نانو کاتالیست‌ها) می‌باشد. استفاده از نانو کاتالیست‌ها در فرایند تولید تا بهره‌برداری از بیودیزل به سه منظور قابل بررسی است [33]:

- 1- استفاده از نانو کاتالیست‌ها در فرایند سنتز بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون.
  - 2- استفاده از نانو کاتالیست‌ها به عنوان افزودنی برای بهبود و تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیودیزل مانند عدد ستان، گرانیوی، افزایش مقاومت در برابر اکسیداسیون بیودیزل.
  - 3- استفاده از نانو کاتالیست‌ها به عنوان افزودنی به بیودیزل برای کاهش آلاینده‌ها به ویژه  $\text{NO}_x$  و بهبود پارامترهای عملکرد موتور مانند افزایش توان و گشتاور و کاهش مصرف سوخت.
- ساجیت و همکارانش [34] اثر نانوسریم اکسید بر روی خواص فیزیکی- شیمیایی مهم بیودیزل و پارامترهای عملکرد و آلاینده‌های موتور را بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که افزودن نانوسریم اکسید باعث افزایش نقطه اشتعال و گرانیوی شده است. آن‌ها همچنین ادعا نمودند که افزودن 40 تا 80ppm از نانو کاتالیست به بیودیزل، باعث کاهش 25% تا 40% هیدروکربن‌های نسوخته و افزودن 80ppm از نانو کاتالیست باعث کاهش 30% از  $\text{NO}_x$  شده است.
- کانان و همکارانش [35] از نانو سیال فریک کلراید ( $\text{FeCl}_3$ ) به عنوان یک نانو کاتالیست افزودنی به بیودیزل تولید شده از روغن پسماند پالم استفاده نمودند. کاتالیست با غلظت  $20 \mu\text{mol/L}$  استفاده شد. آن‌ها نتایج را برای یک موتور دیزل در دور موتور 1500rpm بر روی پارامترهای عملکرد و آلاینده‌ها و مشخصه‌های احتراق گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاتالیست افزوده شده باعث کاهش 8/6% مصرف سوخت ویژه ترمزی شده است در حالی که بازده حرارتی ترمزی نیز 6/3% افزایش را نشان می‌داد. در مورد آلاینده‌ها نیز کاهش 52/6%، 26/6% و 6/9% را به ترتیب برای مونوکسیدکربن، هیدروکربن‌های نسوخته و دوده گزارش کردند. نتایج آن‌ها همچنین نشان از نرخ حرارت آزاد شده بیشتر و زمان کمتر برای تاخیر در اشتعال برای وقتی که از افزودنی استفاده شده بود در مقایسه با بیودیزل خالص، داشت.
- گانش و گوریشانکار [36] از یک ترکیب نانو شامل آلومینیوم- منیزیم و اکسید کبالت ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ) با میانگین قطر ذرات 38-70nm به عنوان افزودنی به بیودیزل سنتز شده از جاتروفا در یک موتور تک سیلندر برای بررسی پارامترهای عملکرد و آلاینده‌ها استفاده نمودند. نانو کاتالیست سنتز شده را با غلظت 100 mg/L با کمک دستگاه سونیکیتور و یک سورفکتانت اصلاح شده (جهت توزیع پذیری مناسب) به سوخت اضافه نمودند. اکسید کبالت به عنوان یک بافر اکسیژن باعث افزایش احتراق و کاهش آلاینده‌ها می‌شود. آن‌ها گزارش نمودند که میزان آلاینده‌های هیدروکربن‌های نسوخته، مونوکسید کربن در حالت حداکثر بار به ترتیب 60% و 50% کاهش یافته است. مطالعات آن‌ها همچنین نشان داد، با استفاده از این مقدار نانو افزودنی به سوخت بیودیزل مقدار  $\text{NO}_x$  به میزان 45% کاهش داشته است. برای افزودنی اکسید کبالت نیز برای حال حداکثر بار، آلاینده‌های مونوکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته به ترتیب 41% و 70% کاهش داشته است. همچنین آن‌ها ادعا نمودند که با کاهش دمای سیلندر در حالت 75% بار مقدار  $\text{NO}_x$  برای بیودیزل 30% کاهش داشته است.



صادق باشا و آناند [37] آزمایش‌هایی را بر روی نانوذرات آلومینیوم به صورت مخلوط با 5% آب، 93% جاتروفا بیودیزل و 2% سورفکتانت بر روی ویژگی‌های احتراقی موتور دیزل انجام دادند. آن‌ها از یک سیستم اولتراسونیک برای توزیع نمودن نانوکاتالیست با غلظت‌های 25 و 50ppm در سوخت استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در حالت حداکثر بار بازده حرارتی ترمزی به میزان 29% (در حداکثر غلظت نانوکاتالیست) افزایش داشته است.

همچنین کومار و همکارانش [38] در یک مقاله مروری به بررسی تاثیر استفاده از افزودنی‌ها به ویژه نانوافزودنی‌ها بر روی عملکرد و آلاینده‌های سوخت‌های ترکیبی دیزل-بیودیزل پرداختند. تواری و همکارانش [39] گزارشی در مورد تاثیر استفاده از نانولوله‌های کربنی در بیودیزل بر روی کیفیت احتراق ارائه کردند. آن‌ها از یک سیستم اولتراسونیک برای توزیع نانولوله‌های کربنی در سوخت در دو غلظت 25 و 50ppm استفاده نمودند. نتایج آن‌ها در دور موتور ثابت 1500 rpm حاکی از افزایش بازده حرارتی و کاهش آلاینده‌های سوخت بیودیزل بود.

کوچ و عبدالله [40] یک مطالعه تجربی بر روی تاثیر مقدار آب در یک سوخت نانوامولسیون از بیودیزل در یک موتور چهار سیلندر انجام دادند. نانوامولسیون شامل 5%، 10% و 15% از آب اضافه شده به بیودیزل با B20، B5 و گازوئیل مقایسه شد. نتایج اندازه‌گیری توان و گشتاور برای نانوامولسیون بیودیزل همراه با 5% آب مشابه نتایج بدست آمده برای B5 گزارش شد. افزایش مقادیر بیشتری از آب باعث افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی و آلاینده مونوکسید کربن گردید. هرچند که  $\text{NO}_x$  با افزایش آب، کاهش می‌یافت اما نرخ کاهش آن بیشتر از نرخ افزایش CO در اثر افزایش غلظت آب از 10% به 15% بود.

صادق باشا [41] در یک تحقیق متفاوت با کار قبلی شان، پتانسیل استفاده از نانوذرات نانوالومینا و نانولوله‌های کربنی را در دو غلظت 25 و 50ppm بر روی موتور دیزل تغذیه شده با مخلوط‌های مختلفی از سوخت بیودیزل و دیزل برای بهبود عملکرد و کاهش آلاینده‌ها مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مشاهده کردند که حداکثر افزایش در بازده ویژه ترمزی (در حدود 28/9%) برای سوخت بیودیزل حاوی 25ppm از نانوالومینا و 25ppm از نانولوله‌های کربنی (JBD25A25CNT) رخ می‌دهد؛ در حالی که این مقادیر برای بیودیزل حاوی 50ppm نانولوله کربنی (JBD50CNT)، بیودیزل حاوی 50ppm نانوالومینا (JBD50A) و بیودیزل خالص (JBD) به ترتیب برابر 27/1%، 27/9% و 24/9% در حالت حداکثر بار بوده است. همچنین مطالعات آن‌ها نشان داد که آلاینده‌های  $\text{NO}_x$  و دوده در اثر استفاده از این نانوافزودنی‌ها کاهش داشته است. این کاهش برای دوده برای JBD25A25CNT، JBD50CNT و JBD50A به ترتیب برابر 57%، 60% و 58% بوده است. همچنین گزارش کردند که میزان آلاینده  $\text{NO}_x$  برای بیودیزل خالص برابر 1282ppm بود ولی مقدار بدست آمده برای JBD25A25CNT، JBD50CNT و JBD50A به ترتیب برابر 982ppm، 1001ppm و 1015 ppm بوده است.

توک و همکارانش [42] در یک پتنت، اثر نانوذرات روی بر روی بهبود ویژگی‌های احتراقی یک موتور ایرکرافت را مورد بررسی قرار داد.

کارتیکیان و همکارانش [43] پارامترهای عملکرد، احتراق و آلاینده‌های یک موتور تک سیلندر در دور ثابت موتور 1500rpm تحت شرایط حداکثر بار برای مخلوط‌های مختلفی از سوخت (80% گازوئیل + 20% بیودیزل کانولا، 80% گازوئیل + 20% بیودیزل کانولا+50ppm از نانوکاتالیست اکسید روی و 80% گازوئیل + 20% بیودیزل کانولا+100ppm نانوکاتالیست اکسید روی) مورد بررسی قرار دادند. همچنین خواص مشخصه سوخت مانند نقطه ابری شدن، نقطه اشتعال، گرانیروی، عدد ستان و ارزش حرارتی سوخت‌های حاوی نانوکاتالیست را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که افزودن نانوکاتالیست اکسیدروی باعث تسریع در نرخ واکنش و کوتاه‌تر شدن زمان تاخیر در اشتعال و افزایش  $\text{NO}_x$  شده است. همچنین گزارش کردند که چگالی مخلوط‌های سوختی در اثر استفاده از نانوکاتالیست بدون تغییر، گرانیروی افزایش، نقطه اشتعال به مقدار جزئی افزایش، عدد ستان به مقدار بسیار کمی افزایش و ارزش حرارتی نیز بدون تغییر بوده است. جدول 3، خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده در زمینه افزودن نانوکاتالیست‌ها به سوخت بیودیزل را نشان می‌دهد.

### نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهد که تا کنون تحقیق جامع و کاملی در مورد اثرات افزودن نانوکاتالیست‌های همگن به انواع سوخت‌های دیزل بر روی آلاینده‌ها و عملکرد این سوخت‌ها انجام نشده است. نقص تحقیقات انجام گرفته را در چند مورد می‌توان طبقه بندی نمود. مورد اول عدم استفاده سطوح غلظت‌های کم (به‌طور عمده در یک یا دو غلظت) نانوکاتالیست می‌باشد. مورد دوم عدم توزیع پذیری مناسب نانوکاتالیست در سوخت و مورد سوم نیز عدم اندازه‌گیری کامل پارامترهای آلاینده‌ها و عملکرد می‌باشد. همچنین در بیشتر تحقیقات از یک سوخت دیزل استفاده شده است که همه این موارد مذکور انجام تحقیقات کامل‌تر را ضروری می‌نماید. همچنین با توجه به موارد مذکور می‌توان بیان نمود استفاده از یک نانو کاتالیست همگن، گزینه مناسبی به عنوان یک افزودنی به بیودیزل خواهد بود؛ بدین صورت که باعث بالا رفتن انرژی تولید شده در حین فرایند احتراق از طریق بالا رفتن گرمای احتراق شده و همچنین موجب پایین آمدن محصولات ناخواسته در فرایند احتراق می‌شود. در ضمن مشکل باقی ماندن ذرات جامد و رسوب گذاری در سیستم احتراق و تزریق نیز از بین می‌رود.

جدول 3. خلاصه‌ای از مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در زمینه نانوافزودنی‌ها به سوخت بیودیزل

| پارامتر مطالعه شده    |                          |                            |      |                 |                |                            |               | غلظت<br>نانوافزودنی در<br>سوخت | نانو افزودنی                                      |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------|------|-----------------|----------------|----------------------------|---------------|--------------------------------|---|
| تاخیر<br>در<br>اشتعال | بازده<br>حرارتی<br>ترمزی | مصرف ویژه<br>سوخت<br>ترمزی | توان | آلاینده<br>Soot | آلاینده<br>UHC | آلاینده<br>NO <sub>x</sub> | آلاینده<br>CO |                                |   |
| -                     | -                        | -                          | -    | -               | -40%<br>25     | 30%                        | -40%<br>25    | 40-80ppm                       | Nano CeO <sub>2</sub>                             |
|                       | 6/3%                     | 8/6%                       | -    | 6/9%            | 26/6%          | -                          | 52/6%         | 20μmol/L                       | FeCl <sub>3</sub> nanofluid                       |
| -                     | -                        | -                          | -    | -               | 70%            | 30%                        | 41%           | 100mg/L                        | Nano Al-Mg<br>Nano Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> |
| -                     | 29%                      | -                          | -    | -               | -              | -                          | -             | 50 ppm و 25                    | Nano n-Al   |
| -                     |                          | -                          | -    | ↓               | ↓              | ↓                          | ↓             | 50 ppm و 25                    | CNT   |
| -                     | -                        |                            | -    |                 |                | ↓                          |               | 15% . 10% . 5%                 | Nano emulsion                                     |
| -                     | 28/9%                    | -                          | -    | 60%             | -              | 23/4%                      | -             | 50 ppm و 25                    | CNT<br>Nano n-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      |
|                       |                          | -                          | -    | -               | -              |                            | -             | 50 ppm و 25                    | Nano ZnO  |

## منابع

- [1] Ghobadian, Barat, GholamhassanNajafi, HadiRahimi, and T. F. Yusaf. "Futureof renewable energies in Iran.", *Renewable and sustainable energy reviews* 13, no. 3 (2009): 689-695.
- [2] Abbaszaadeh, Ahmad, Barat Ghobadian, Mohammad Reza Omidkhah, and GholamhassanNajafi. "Current biodiesel production technologies: a comparative review." *Energy Conversion and Management* 63 (2012): 138-148.
- [3] Fahd, M., Yang Wenming, P. S. Lee, S. K. Chou, and Christopher R. Yap. "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 (2013): 1042-1049.
- [4] Koc, A. Bulent, and Mudhafar Abdullah. "Performance and NO<sub>x</sub> emissions of a diesel engine fueled with biodiesel-diesel-water nanoemulsions." *Fuel Processing Technology* 109 (2013): 70-77.
- [5] Kökkülünk, Görkem, GüvenGonca, VezirAyhan, IdrisCesur, and Adnan Parlak. "Theoretical and experimental investigation of diesel engine with steam injection system on performance and emission parameters." *Applied Thermal Engineering* 54, no. 1 (2013): 161-170.

- [6] Şahin, Zehra, Mustafa Tuti, and OrhanDurgun. "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 (2014): 884-895.
- [7] Mirzajanzadeh, Mehrdad, MeisamTabatabaei, Mehdi Ardjmand, AlimoradRashidi, Barat Ghobadian, Mohammad Barkhi, and Mohammad Pazouki. "A novel soluble nano-catalysts in diesel-biodiesel fuel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions." *Fuel* (2014).
- [8] Ganesh, D., and G. Gowrishankar. "Effect of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fuelled CI engine." In *Electrical and Control Engineering (ICECE), 2011 International Conference on*, pp. 3453-3459. IEEE, 2011.
- [9] Sohpal, Vipran K., and Amarparl Singh. "Optimization of alkali catalyst for transesterification of jatropha curcus using adaptive neuro-fuzzy modeling." *Biofuel Research Journal* 1, no. 2 (2014): 70-76.
- [10] Szybist, James P., Juhun Song, MahabubulAlam, and André L. Boehman. "Biodiesel combustion, emissions and emission control." *Fuel Processing Technology* 88, no. 7 (2007): 679-691.
- [11] Boutonnet, Magali, Jerzy Kizling, Per Stenius, and Gilbert Maire. "The preparation of monodisperse colloidal metal particles from microemulsions." *Colloids and Surfaces* 5, no. 3 (1982): 209-225.
- [12] Chol, S. U. S. "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles." ASME-Publications-Fed 231 (1995): 99-106.
- [13] Mimani, T., and K. C. Patil. "Solution combustion synthesis of nanoscale oxides and their composites." *Materials Physics and Mechanics(Russia)* 4, no. 2 (2001): 134-137.
- [14] Moy D, Niu C, Tennent H, Hoch R. Carbon nanotubes in fuels, United States Patent; US 6419717 B2, issued Jul., 16, 2002.
- [15] Scattergood R. Cerium oxide nano particles as fuel additives, United States Patent; US 2006/0254130 A1. issued November 16, 2006.
- [16] Seal et al. Use of oxide nanoparticles in soot reduction, United States Patent; US 7,419,516 B1, issued Sep., 2, 2008.
- [17] Ranaware, A. A., and S. T. Satpute. "Correlation between Effects of Cerium Oxide Nanoparticles and Ferrofluid on the Performance and Emission Characteristics of a CI Engine." *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 2009.
- [18] Selvan, V. Arul Mozhi, R. B. Anand, and M. Udayakumar. "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, no. 7 (2009): 1819-6608.
- [19] فریبرز دانشور، مهریار سخایی، مجید سمیع، محمد بهشاد شفیعی، بررسی اثر " اضافه نمودن سیال فرو به سوخت دیزل در یک موتور تک سیلندر"، هجدهمین همایش سالانه بین‌المللی مهندسی مکانیک ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، 21 لغایت 23 اردیبهشت 1389.
- [20] Reed K. Cerium oxide nanoparticle-containing fuel additive, United States Patent; US 2010/0199547 A1, issued October 1, 2013.



- [21] Al-Sabagh, A. M., Mostafa M. Emara, MR Noor El-Din, and W. R. Aly. "Water-in-diesel fuel nanoemulsions prepared by high energy: emulsion drop size and stability, and emission characteristics." *Journal of Surfactants and Detergents* 15, no. 2 (2012): 139-145.
- [22] Selvaganapthy, A., A. Sundar, B. Kumaragurubaran, and P. Gopal. "An Experimental Investigation to Study the Effects of Various Nano Particles with Diesel on Di Diesel Engine." (2011).
- [23] Lenin, M. A., M. R. Swaminathan, and G. Kumaresan. "Performance and emission characteristics of a DI diesel engine with a nanofuel additive." *Fuel* 109 (2013): 362-365.
- [24] Ma, Yu, Mingming Zhu, and Dongke Zhang. "The effect of a homogeneous combustion catalyst on exhaust emissions from a single cylinder diesel engine." *Applied Energy* 102 (2013): 556-562.
- [25] Ghanei, R., G. R. Moradi, R. TaherpourKalantari, and E. Arjmandzadeh. "Variation of physical properties during transesterification of sunflower oil to biodiesel as an approach to predict reaction progress." *Fuel Processing Technology* 92, no. 8 (2011): 1593-1598.
- [26] Moradi, G. R., S. Dehghani, and R. Ghanei. "Measurements of physical properties during transesterification of soybean oil to biodiesel for prediction of reaction progress." *Energy Conversion and Management* 61 (2012): 67-70.
- [27] Abbaszaadeh, Ahmad, Barat Ghobadian, Mohammad Reza Omidkhah, and GholamhassanNajafi. "Current biodiesel production technologies: a comparative review." *Energy Conversion and Management* 63 (2012): 138-148.
- [28] Haas, Michael J., Andrew J. McAloon, Winnie C. Yee, and Thomas A. Foglia. "A process model to estimate biodiesel production costs." *Bioresource technology* 97, no. 4 (2006): 671-678.
- [29] Mohammadi, Pouya, Ali M. Nikbakht, MeisamTabatabaei, Khalil Farhadi, and ArashMohebbi. "Experimental investigation of performance and emission characteristics of DI diesel engine fueled with polymer waste dissolved in biodiesel-blended diesel fuel." *Energy* 46, no. 1 (2012): 596-605.
- [30] Azócar, Laura, Hermann J. Heipieper, and Rodrigo Navia. "Biotechnological processes for biodiesel production using alternative oils." *Applied microbiology and biotechnology* 88, no. 3 (2010): 621-636.
- [31] Chen, Wei-Hsin. "Assessment of energy performance and air pollutant emissions in a diesel engine generator fueled with water-containing ethanolebiodieselediesel blend of fuels." *Energy* 36 (2011): 5591-5599.
- [32] Mani, M., and G. Nagarajan. "Influence of injection timing on performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine running on waste plastic oil." *Energy* 34, no. 10 (2009): 1617-1623.
- [33] Lam, Man Kee, KeatTeong Lee, and Abdul Rahman Mohamed. "Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: a review." *Biotechnology advances* 28, no. 4 (2010): 500-518.
- [34] Sajith, V., C. B. Sobhan, and G. P. Peterson. "Experimental investigations on the effects of cerium oxide nanoparticle fuel additives on biodiesel." *Advances in Mechanical Engineering* 2010.



- [35] Kannan, G. R., R. Karvembu, and R. Anand. "Effect of metal based additive on performance emission and combustion characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel." *Applied Energy* 88, no. 11 (2011): 3694-3703.
- [36] Ganesh, D., and G. Gowrishankar. "Effect of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fuelled CI engine." In *Electrical and Control Engineering (ICECE), 2011 International Conference on*, pp. 3453-3459. IEEE, 2011.
- [37] SadhikBasha, J., and R. B. Anand. "Effects of nanoparticle additive in the water-diesel emulsion fuel on the performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine." *International Journal of Vehicle Design* 59, no. 2 (2012): 164-181.
- [38] Suthar Dinesh Kumar L., RathodPravin P., Patel NikulK. "Performanceandemission by effect of fuel additives for CI enginefuelledwithblendofbiodiesel and diesel - areviewstudy", *Journal of Engineering Research and Studies*, 3, no. 4 (2012): 1-4.
- [39] Tewari, Prajwal, EshankDoijode, N. R. Banapurmath, and V. S. Yaliwal. "Experimental investigations on a diesel engine fuelled with multiwalled carbon nanotubes blended biodiesel fuels." *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng* 3 (2013): 72-76.
- [40] Koc, A. Bulent, and Mudhafar Abdullah. "Performance and NO<sub>x</sub> emissions of a diesel engine fueled with biodiesel-diesel-water nanoemulsions." *Fuel Processing Technology* 109 (2013): 70-77.
- [41] Basha, J. Sadhik, and R. B. Anand. "The influence of nano additive blended biodiesel fuels on the working characteristics of a diesel engine." *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 35, no. 3 (2013): 257-264.
- [42] Tock RW, Hernandez A, Sanders JK, Yang DJ. Catalyst component for aviation and jet fuels, United States Patent; US 8,545,577, issued October 1, 2013.
- [43] Karthikeyan, S., A. Elango, and A. Prathima. "Diesel engine performance and emission analysis using canola oil methyl ester with the nano sized zinc oxide particles." *INDIAN JOURNAL OF ENGINEERING AND MATERIALS SCIENCES* 21, no. 1 (2014): 83-87.