

اثر نانوذرات در بهبود خواص سوخت دیزل

راضیه احمدی، زینب حجار^{*}، علیمراد رشیدی، شکوفه طیبی، سعید سلطانی

پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

چکیده

در فرآیند احتراق سوخت، به دلیل وجود ناخالصی‌های موجود و عدم انجام احتراق کامل، گازهای خروجی از محفظه احتراق با محصولات جانبی مضر مثل مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن (NOx)، هیدروکربن‌های نسوخته (HC) و دوده همراه می‌شوند. با توجه به بحث استانداردهای زیست محیطی و همچنین بهینه سازی مصرف سوخت، تحقیق در مورد سوخت‌هایی با فرآیند احتراق نسبتاً کامل و تمیز منطبق با استانداردهای زیست محیطی، یکی از مسائل مورد توجه در مبحث احتراق می باشد. از میان روش نوین، می توان 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 منجر به تکمیل فرایند و دستیابی به حداکثر انرژی آزاد شده توسط سوخت شود. در این تحقیق، به مروری بر انواع نانوافزودنی‌های آلی و معدنی، تاثیر آنها بر پارامترهای سوخت و کیفیت سوختن می پردازیم.

واژه‌های کلیدی: اکسیدهای نیتروژن (NOx)، دیزل، سوخت، نانوافزودنی‌ها، نانو کاتالیست‌ها

ایمیل نویسنده مسئول: hajjarz@ripi.ir

۱- مقدمه (فونت Adobe Arabic-13)

افزایش تقاضای انرژی سبب تلاش های زیاد محققان بر روی منابع جدید انرژی و یا بهینه سازی مصرف آن شده است. لذا، بهبود سوخت‌ها یک مسئله بسیار مهم است. سوخت دیزل یکی از منابع اصلی انرژی بوده که از پالایش نفت خام به دست می‌آید. در هنگام استفاده در موتورهای دیزلی با مشکلاتی مواجه می‌شود. یکی از مهم‌ترین مشکلات سوخت دیزل، نقطه انجماد بالا است که به دلیل سنگینی برش نفتی و داشتن تعداد کربن‌های، بالا موجب انسداد فیلترها در شرایط آب و هوایی سرد خواهد شد که معمولاً برای کاهش نقطه انجماد سوخت، حدوداً 100 ppm پارادین پس از تصفیه به آن می‌افزایند. یکی دیگر از مشکلات سوخت دیزل، احتراق ناقص و نشر آلاینده‌هاست که موجب آلودگی هوا می‌شود. به همین دلیل بسیار از محققان در جهت بهبود سوخت دیزل مطالعات و ارزیابی بسیاری شده است. از مهمترین پارامترهای دیزل، احتراق کامل و عدد ستان می باشد. در بسیاری از مطالعات بر روی بهبود دهنده‌های عدد ستان و تاثیرات آن بر روی احتراق و نشر آلاینده‌ها مطالعه شده است [۱]. عدد ستان (CN) (تست استاندارد آن بر اساس ASTM D613 تعیین می‌گردد) یک معیار تعیین کیفیت احتراق سوخت دیزلی می‌باشد کیفیت احتراق بر اساس اندازه‌گیری تاخیر در احتراق تعیین می‌شود و به عبارتی فاصله زمانی میان تزریق سوخت و احتراق سوخت است. یک سوخت با شاخص ستان بالا در مدت کوتاهی پس از تزریق سوخت به محفظه می‌سوزد و به عبارتی تاخیر کوتاهی در سوختن دارد. کیفیت احتراق سوخت به مولکول‌های سازنده آن بستگی دارد. برخی از ترکیبات مولکولی ساده مانند نرمال پارافین‌ها به نسبت راحت‌تر درون موتور

محترق می‌شوند اما برخی دیگر مانند آروماتیک‌ها ساختار حلقوی پایدارتری داشته که برای احتراق به دما و فشار بالاتری احتیاج است. میزان مورد نیاز عدد ستان به طراحی موتور، اندازه، میزان سرعت و سنگینی خودرو و شرایط آب و هوایی بستگی دارد. افزایش شاخص ستان بیش از مقدار تعیین شده برای وسیله نقلیه لزوماً بهبودی در عملکرد آن ایجاد نخواهد کرد. این مساله انطباق میان عدد ستان مورد نیاز موتور و عدد ستان سوخت را بیش از پیش روشن می‌نماید. سوخت دیزلی با عدد ستان کمتر از عدد ستان خواسته شده برای موتور موجب می‌شود تا عملیات با دشواری و سختی روبرو شود. این مساله روشن شدن خودرو را به خصوص در آب و هوای سرد و ارتفاعات بالا دشوار می‌سازد. همچنین سبب ایجاد رسوبات روغنی می‌نماید. افزایش کیفیت سوخت باعث بهسوزی، کاهش انتشار آلاینده‌ها، دوام بیشتر موتور و کاهش صدا و لرزش می‌شود [۲].

در یک فرآیند احتراق، ترکیبات موجود در سوخت جهت تولید انرژی، آب و دی اکسیدکربن دچار احتراق می شوند. با این وجود، به دلیل وجود ناخالصی های موجود در سوخت و عدم انجام احتراق کامل، گازهای خروجی از محفظه احتراق با محصولات جانبی مضر- مثل مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن (NOx)، هیدروکربن های نسوخته (HC) و دوده همراه می شوند. تحقیق در مورد سوخت‌هایی با فرآیند احتراق نسبتاً کامل و قابل توجه از نظر زیست محیطی و اقتصادی، یکی از مسائل مورد علاقه در مبحث احتراق می باشد زیرا در این روش نیازی به تغییر در طراحی موتور وجود ندارد. از میان روش هایی که می تواند منجر به دستیابی به این اهداف شود، می توان به استفاده از افزودنی‌ها و کاتالیست‌ها در سوخت اشاره کرد.

تا زرد تیره است که عملاً غیر قابل امتزاج با آب بوده و نقطه جوش بالا و فشار بخار پایین دارد [۹]. سوخت اتانول: سوخت اتانول برخلاف نفت، انرژی تجدیدپذیر به حساب می‌آید و می‌تواند از مواد خام کشاورزی بدست می‌آید. اتانول می‌تواند از فراورده‌هایی مانند نیشکر، سیب زمینی، مانپوک و ذرت بدست می‌آید [۱۰].

سوخت بيو ديزل پالم: سوخت بيوديزل حاصل از روغنهای گیاهی متداول معمولاً حاوی پنج نوع مونو استر اسیدهای چرب (پالمیتیک، استئاریک، اولئیک، لینولئیک و لینولنیک) می‌باشد. روغن پالم از میوه نوعی نخل روغنی به دست می‌آید و حاوی اسیدچرب غیراشباع پالمیتیک، می‌باشد (که دلیل نام گذاری آن نوع روغن است) وجود این اسید چرب خواص ترموفیزیکی منحصر به فردی را به سوخت بیودیزل می‌دهد [۱۱].

سوخت مازوت (نفت کوره): یکی از هیدروکربن های نفتی است که در مراحل تصفیه نفت خام پس از اتر و بنزین و نفت چراغ به دست می‌آید. این ماده ارزان ترین ماده سوختی برای کوره حمام‌ها، تنور نانوایی‌ها و موتورهای دیزل و برخی نیروگاه‌هاست. نفت کوره از هیدروکربن هایی با زنجیره طویل به ویژه آلکان ها، سیکلوآلکان ها و آروماتیک ها تشکیل یافته است:

Carbon chain length : 20-70 atomes

Boiling point : ranging from 175 – 600 °C

(Flash point of approximately : 40 °C (104 °F)

نفت کوره از هیدروکربن های سنگین نفت خام که دارای ترکیبات گوگردی، اکسیژن و فلزات هستند تشکیل می‌شود و به دلیل سنگینی به آسانی نمی‌سوزد با طراحی مشعل های مناسب با استفاده از بخار آب، هوای فشرده و پخش مکانیکی به صورت ذرات ریز، امکان سوختن این فرآورده در کوره میسر شده است. در نفت کوره عناصری مانند آهن، سرب، مس، سدیم، منیزیم، وانادیوم و... وجود دارد.

در این تحقیق انواع راه‌های بهبود سوخت دیزل از طریق تهیه امولسیون‌ها، افزایش افزایه های اکسیژن دار و همچنین نانوذرات بررسی شده است و اثر آن‌ها بر روی عدد ستان، عملکرد موتور دیزلی و همچنین نثر آلاینده‌ها در نظر گرفته شده است.

انواع افزایه ها و اثرات آن‌ها بر روی سوخت دیزل

۲-۱- افزایه ها با پایه فلزی

برخی افزایه های فلزی با پایه ارگانیک در کاهش انتشار آلاینده‌ها موثر هستند. مکانیسم و عملکرد آنها به دو صورت می‌باشد: ابتدا فلزات یا با آب واکنش می‌دهند و رادیکال‌های هیدروکسیل تولید می‌نمایند که موجب افزایش دوده اکسیداسیونی می‌گردد یا مستقیماً با اتم‌های کربن داخل دوده واکنش می‌دهند و دمای اکسیداسیون را پایین می‌آورند. وقتی از این افزایه ها درون موتور استفاده می‌شود، فلز به عنوان هسته مرکزی در رسوبگیری دوده عمل می‌نماید. در یکی از مطالعات انجام شده [۱]، ترکیبات ارگانیکی فلزات منگنز، منیزیم، مس و کلسیم ستر شده و محلول آن‌ها به عنوان افزایه

این افزودنی‌ها می‌توانند مسیر انجام واکنش را تغییر داده و آن را از مسیری پیش ببرند که تکمیل فرایند 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 طوریکه با یک ذره کوچک تر به میزان فعالیت بالاتری می‌توان دست یافت. ترکیبات نانوکاتالیستی به صورت مستقیم یا مخلوط با یک سوپسترا، برای پایین آوردن مقدار آلاینده های مضر- در حین فرآیند احتراق و هم زمان بالابردن بازده فرآیند احتراق، می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند.

برخی کاتالیست‌های استفاده شده در سوخت برای بهبود خواص آن فلزی هستند. با وجود تاثیر مناسب کاتالیست‌های فلزی هتروژن بر کاهش آلاینده‌های سوخت و بهبود پارامترهای عملکرد موتور، این کاتالیست‌ها به دلیل غیر فعال شدن در دماهای بالا، عدم توزیع مناسب در محیط واکنش و رسوب گذاری، مشکلاتی ایجاد می‌نمایند. به همین دلیل علیرغم پتانسیل فعال سازی خوب این مواد، نمی‌توانند انتخاب مناسبی باشند. بنابراین، روش‌های دیگری برای بهبود عملکرد کاتالیست با مخلوط دما بالای سوخت و هوا مورد نیاز است. یکی از این روش‌ها، همگن کردن کاتالیست در سوخت می‌باشد تا بتوان به طور پیوسته آن را وارد مرحله احتراق کرد به طوری که در مرحله تزریق رسوب نکنند. متداول‌ترین روشی که تا به حال در پایداری سازی نانوذرات اضافه شده به سوخت‌های مایع به کار گرفته شده است، استفاده از سورفکتانت‌ها می‌باشد. سورفکتانت‌ها مولکول‌های 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 کاهش کشش سطحی بین نانوذرات از تجمع و کلوخه‌ای شدن آن‌ها جلوگیری می‌کنند. این عمل منجر به توزیع پذیری مناسب نانوذرات در سوخت و در نتیجه پایداری بیشتر امولسیون می‌گردد. سورفکتانت مورد نظر باید مناسب نانوذر و سوختی باشد که در آن قرار است به کار برده شود چرا که در بیشتر موارد برای نانوذرات فلزی سورفکتانت مناسب برای ایجاد توزیع پذیری مطلوب موجود نمی‌باشد. این موضوع به همراه تغییر خواص فیزیکی-شیمیایی سوخت حاوی سورفکتانت، جزء معایب استفاده از سورفکتانت‌ها به شمار می‌رود [۳].

نانوافزودنی‌ها علاوه بر داشتن مساحت سطح بالا، از طریق کاهش زمان سوخت، کمک به انجام احتراق کامل تر و کاهش آلاینده ها از طریق واکنش با آنها، به بهبود عملکرد سوخت کمک می‌کنند [۵].

در زیر مروری مختصر بر بعضی از سوخت های متداول می‌شود: سوخت گازوئیل

سوخت بیودیزل: یک نوع سوخت غیر سمی، ایمن، تجدیدپذیر و تجزیه پذیر است که از منابع طبیعی نظیر روغن های گیاهی، روغن پسماند غذایی، چربی حیوانات و جلبک‌ها بدست می‌آید. این سوخت را می‌توان با گازوئیل مخلوط و در خودروهای گازوئیل سوز به کار برد [۸]. بیودیزل (متیل استر) یک مایع روشن

تغییرات عدد ستان برای غلظت‌های مختلف ترکیبات افزودنی در جدول ۱ مشخص شده است. نتایج نشان داد که عدد ستان با افزایش میزان منگنز افزایش یافت.

جدول ۱: تاثیر غلظت ماده افزودنی بر روی عدد ستان

Value of dosage($\mu\text{mol Mn/fuel}$)	Cetan number
0	46.22
13.5	47.05
27.1	47.47
54.2	48.24
94.9	48.68

اثر استفاده از مواد افزودنی در نشر-آلاینده‌ها در جدول ۲ مشاهده می‌شود. این نتایج حاکی از آن است که احتراق سوخت با افزودنی منگنز کاملتر بوده و کاهش SO_2 در گاز آلاینده‌های خروجی به دلیل تشکیل MnSO_4 می‌باشد.

جدول ۲: اندازه گیری گازهای منتشره از اگزوز

	Without additive	With additive
Exhaust gas temperature, $^{\circ}\text{C}$	120.6	117.1
Oxygen, %	17.2	17
CO_2 , %	2.7	2.9
Net efficiency, %	74.6	75.4
CO , mg/m^3	1237	1060
Sulphur dioxide, mg/m^3	774	127

در جدول ۳، اثر حضور افزایشنده روی نقطه اشتعال و ویسکوزیته سوخت نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ماده افزودنی موجود در سوخت موجب کاهش نقطه اشتعال و همچنین ویسکوزیته می‌شود. این بدان معناست که ماده افزودنی فشار بخار را افزایش می‌دهد. کاهش نقطه اشتعال این ایده را تقویت می‌کند که اثر شکست کاتالیستی ماده افزودنی باعث ایجاد مولکول‌های کوچکتر هیدروکربنی می‌شود. از نتایج آزمایشات این نتایج حاصل شد که بهسوزی سوخت در اثر شکسته شدن پیوندهای کربن به وجود آمده است.

جدول ۳: مقدار نقطه اشتعال و ویسکوزیته

	Without additive	With additive
Flash point	56	53
viscosity	38	36

در سوخت دیزل بررسی گردید تا عملکرد این دسته از مواد در کاهش نقطه انجماد سوخت دیزل مورد آزمایش قرار گیرد. نتایج نشان داد که منگنز با پایه ارگانیکی بهترین نتیجه را در کاهش نقطه انجماد دارد. این ماده افزودنی نقطه انجماد سوخت را به $12/4$ درجه سلسیوس رساند به طوری که میزان استفاده از آن $2/54 \mu\text{mol Mn/l diesel fuel}$ بود. همچنین با افزودن مقدار بهینه از آن میزان شاخص ستان از $46/22$ به $48/24$ افزایش یافت. مشاهده شده است که منگنز با پایه ارگانیکی باعث افت ویسکوزیته و نقطه اشتعال شده و محتویات گازهای خروجی از اگزوز را بهبود می‌بخشد.

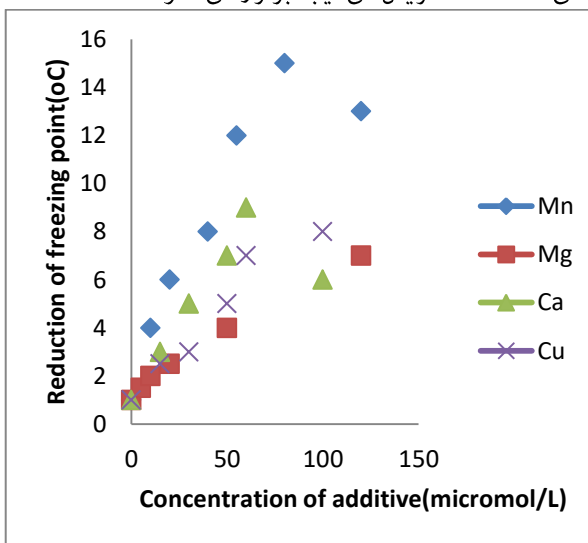
عدد ستان و نقطه انجماد برای سوخت دیزل با افزایش ها و همچنین بدون آنها محاسبه شد. برای محاسبه نقطه آنیلین، API در 50% نقطه جوش سوخت طبق ASTM D611 تعیین شد. شاخص دیزل به وسیله نتایج تجربی و از طریق فرمول زیر محاسبه شد.

$$DI = \frac{API \text{ gravity}(60^{\circ}\text{F}) * Aniline \text{ point}(60^{\circ}\text{F})}{100}$$

عدد ستان (CN) به وسیله فرمول زیر محاسبه شد:

$$CN = \frac{2}{3} DI + 0.68(\text{boiling point}(60^{\circ}\text{F})) - 22$$

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بهترین افت در نقطه انجماد زمانی به دست می‌آید که از ماده افزودنی با ترکیبات منگنز استفاده شود. در غلظت‌های کمتر افزایش، یک نسبت خطی میان دوز افزایش استفاده شده و افت نقطه انجماد مشاهده می‌شود، اما وقتی دوز ماده در حدود $75 \mu\text{mol}$ است، مانند یک مجانب عمل می‌نماید. ترکیبات منگنز بر روی خواص جمعی سوخت (خواص تابع تعداد مولکول‌ها و مستقل از طبیعت آن‌ها) اثر می‌گذارد و یک اثر جاذبه قوی تری میان یون‌ها زمانی که غلظت افزایش می‌یابد برقرار می‌شود.



شکل ۱. تغییرات نقطه انجماد بر اساس غلظت ماده افزودنی



در میان ترکیبات فلزی با پایه ارگانیک، منگنز بهترین کارآمدی را می‌توان به طور موثری در سوخت استفاده کرد [۱]. شایان ذکر در بین بقیه ترکیبات داشته و چون این ماده آلاینده نیست، است که استفاده از ترکیبات فلزی همراه با مشکلاتی است که باید در کاربرد صنعتی و تست های میدانی در نظر گرفت. در جدول زیر مواد فلزی مورد استفاده به عنوان افزودنی بررسی شده اند [۲۸-۸].

جدول ۴: مواد فلزی بکار رفته به عنوان افزودنی

انواع افزودنی های فلزی- شبه فلزی	اثر	سوخت
ترکیبات الومینیوم	- کاهش زمان تاخیر در احتراق مایع n-decane - افزایش احتمال و بهره وری احتراق سوخت دیزل - کاهش درجه ی حرارت شعله - کاهش انتشار CO و دوده - افزایش انتشار NOx	اتانول و n-decane دیزل بیودیزل
منیزیم	- کاهش نقطه ی انجماد سوخت - بهبودی سوخت - کاهش انتشار NOx، CO و دوده - کاهش ویسکوزیته سینماتیک	دیزل
تیتانیوم دی اکسید TiO ₂	- افزایش عدد ستان - افزایش نقطه اشتعال - کاهش انتشار HC، CO و دوده	بیودیزل، پالم دیزل
بور B	- افزایش ارزش حرارتی - کاهش زمان سوختن - افزایش چگالی حرکت - افزایش سرعت تزریق در محفظه احتراق - افزایش اکسیداسیون	سوخت جت
سرم	- بهبود احتراق - کاتالیزور اهدای اکسیژن - بهره وری سوخت - کاهش انتشار NOx و CO - افزایش ویسکوزیته سوخت	دیزل دیزل-بیودیزل-پالم اتانول
CuO	- کاهش HC، CO و انتشار دود - افزایش اندک انتشار NOx	دیزل

۲-۲ مواد افزودنی اکسیژن دار

۲- قابلیت امتزاج با گازوئیل های مختلف در محدوده

دمای محیطی و عملکردی وسایل نقلیه

۳- دارای عدد ستان کافی (ترجیحا باعث افزایش عدد

ستان گردد)

۴- کمترین میزان فراریت هنگام ترکیب شدن با سوخت

دیزل

۵- نقطه جوش مواد اکسیژن دار در محدوده نقطه جوش

ترکیبات سازنده گازوئیل باشد و نقطه اشتعال آن

منطبق بر نیازهای امنیتی این سوخت باشد:

۶۰ °C > نقطه جوش

۵۵ °C > نقطه اشتعال

افزایه ها و ترکیبات اکسیژن دار در سوخت سبب در دسترس قرار دادن بیشتر اکسیژن در سوخت شده و موجب بهسوزی و کاهش نشر آلاینده ها به جو می شوند. همچنین باعث کاهش کربن مونواکسید و تشکیل مه دود فوتو شیمیایی می گردد. سوخت های اکسیژن دار شده به احتراق کامل تر کمک می کنند. به دلیل احتراق کامل سوخت، مواد شیمیایی مضر کمتری به جو وارد می شوند. به علاوه مواد اکسیژن دار شده با شکستن ترکیبات تجدید ناپذیر فسیلی، به تمیزتر بودن احتراق کمک می نمایند. افزایه اکسیژن دار باید دارای ویژگی های زیر باشد.

۱- مناسب و منطبق با تنظیمات و شرایط موتور

350°C دمای احتراق خود به خودی

$4\text{ mm}^2/\text{s}$ ویسکوزیته سینماتیکی

همچنین، دیگر ضوابط و معیارهای دیگری مانند محتوای اکسیژن، دانسیته و ارزش حرارتی به انتخاب مناسبتر افزایه های اکسیژن دار در کاهش نشر آلاینده های موتورهای دیزلی کمک می کند. افزایه های بسیاری برای غنی سازی اکسیژن در سوخت وجود دارد که در ادامه بررسی شده اند:

دی متیل اتر (DME) ماده ای بی رنگ، شفاف، بدون پروتون و یک اتر است که به عنوان حلال به کار می رود. DME در آب قابل امتزاج است و معمولاً به دلیل نقطه جوش بالاتر به جای دی اتیل اتر استفاده می شود.

دی متیل کربنات (DMC) یک مایع شفاف قابل اشتعال با نقطه جوش 90°C است. از مزایای این ماده سمیت کم و تجزیه پذیری آن است.

- زمانی که سوخت دیزل خالص سوزانده شود غلظت دوده در حالت حداکثر خواهد بود. متانول مهم ترین اثر را در کاهش دوده دارد در حالی که اثر استن در کاهش دوده موقتی است. به طور کلی نتایج نشان از تاثیر مثبت مواد اکسیژن دار بر روی کاهش تشکیل دوده داشت.

اتیل ترت بوتیل اتر (ETBE) از واکنش بیو اتانول (v/v) (۴۷%) و ایزوبوتن (v/v) (۵۳%) در حضور کاتالیزور و گرما قابل سنتز است. این ماده را که بیوسوخت می توان در نظر گرفت، به کاهش دی اکسید کربن خروجی از وسیله نقلیه کمک می کند.

- ETBE یک ماده اکسیژن دار با نقطه جوش و احتراق خودبه خودی کم و کاملاً در سوخت دیزل امتزاج پذیر است. بنابراین ETBE به عنوان افزایه توانایی خنثی سازی انتشار دود را دارد.

تحقیقات زیادی در سال ۲۰۰۳ بر روی بهبود عملکرد موتورهای دیزلی با افزودن افزایه های اکسیژن دار با درصد مشخص انجام شده است. نتایج اثر افزودنی سوخت، کنترل آلاینده و بهبود عملکرد موتورهای دیزلی می باشد. در این تحقیق، دی متیل کربنات با غلظت های ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ به گازوئیل اضافه شد. آزمایش تجربی در یک سیلندر ترکیبی موتور دیزلی انجام شد. نتایج کاربرد افزایه سوخت نشان داد که نشر PM ، NO_x و چگالی دود کاهش و افزایش نسبی

در عملکرد موتور حاصل شد. ونگ و همکارانش در سال ۲۰۰۹ بر روی امکان سنجی کاهش نشر PM توسط یک طراحی جدید در سوخت تحقیق کردند. چندین ترکیب اکسیژن دار شده با مخلوط بیودیزل، اتانول و دی متیل کربنات و ترکیب آن ها با گازوئیل بدست آمد. تست ها بر روی دو عدد موتور سنگین دیزلی هر دو با فشار تزریقی بالا و یک توربوشارژر انجام شد. میزان کل PM و دوده خشک آن (DS) و جز ارگانیکی حلال (SOF) آن بر اساس ویژگی های فیزیکی شیمیایی سوخت آنالیز شدند. سوخت های به کار رفته در این مطالعه شامل سوخت دیزل پایه، سه نوع بیودیزل و ترکیبات آن ها با اتانول، DMC و سوخت دیزلی با تقطیر مستقیم می باشد. اتانول و DMC به عنوان بالابرنده محتوای اکسیژن استفاده شدند در حالی که از سوخت دیزلی برای بهبود احتراق خود به خودی سوخت مخلوط استفاده شد. با سوختن ترکیبات اکسیژن دار شده، میزان دوده ناشی از PM با افزایش محتوای اکسیژن کاهش یافت. اگرچه میزان اکسیژن به ۱۵٪ و بالاتر می رسید نرخ کاهش ریز ذرات کند شد. بورشید و همکارانش یافتند که متانول نقش مهمی در کاهش تشکیل دوده ایفا می کند [۴].

۳-۲ نانوذرات کربنی

از نانوذرات زیادی در جهت بهبود عملکرد سوخت دیزل می توان استفاده کرد که به تفصیل در مورد هرکدام شرح داده خواهد شد. نانوذرات نسبت به موارد دیگر قابلیت های بیشتری داشته و در صنعت از آن ها استفاده می شود.

۲-۳-۱ نانولوله های کربنی^۱

معمولاً برای استفاده از آن ها در ترکیب سوخت، امولسیون از ترکیبات مورد استفاده تهیه می گردد. امولسیون سازی یکی از راه های کاهش نشر آلاینده ها بدون نیاز به اصلاح طراحی موتور دیزلی می باشد. در امولسیون آب-گازوئیل، حضور بخار آب نقش سودمندی در آزاد شدن گرما و کاهش آلاینده ها دارد. بعلاوه افزودن آب موجب کاهش دمای فلز، شار گرمایی و بار حرارتی اجزای محفظه احتراق می شود. اگرچه استفاده از آب موجب طولانی تر شدن تاخیر در احتراق، مشکلات راه اندازی در هوای سرد و عملکرد سفت و سخت موتور می شود.

عدد ستان سوخت با افزودن آب کمتر می شود که باعث تاخیر در عمل احتراق می گردد. اخیراً مطالعه در مورد برخی افزایه ها

^۱ Carbon Nano-tube (CNT)

شکل ۲. میکروگراف TEM، تصویر SEM، و آنالیز رامان CNT مورد استفاده در تحقیق [۶]

CNT تولید شده با غلظت ۵۰ ppm، ۱۰۰ ppm و ۱۵۰ ppm به امولسیون آب-گازوئیل اضافه شده و اثرات آن بر روی عملکرد احتراق و گازهای خروجی بررسی شده است. چهار نمونه به شکل زیر ساخته شد که محتوای آب امولسیون آب-گازوئیل ۱۵٪ است. همچنین از ۲٪ سورفکتانت و ۵۰ ppm، ۱۰۰ و ۱۵۰ CNT استفاده شده است.



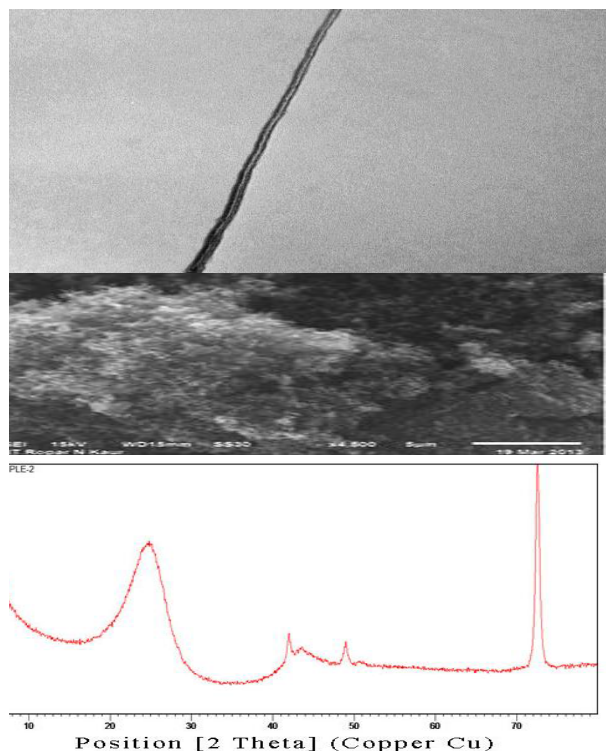
D15W2S, D15W2S50N, D15W2S100N, D15W2S150N

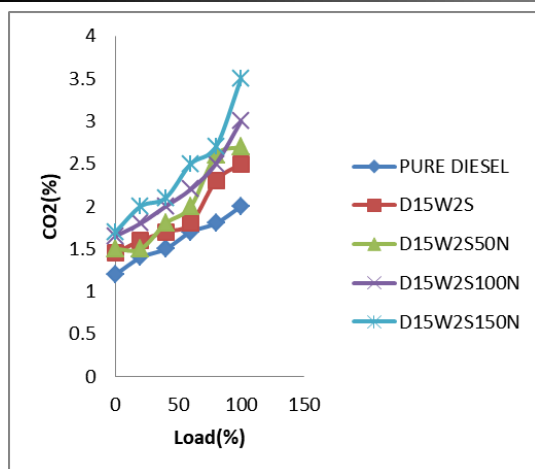
شکل ۳. نمونه های مربوط به امولسیون آب-گازوئیل و CNT امولسیون شده با نسبت های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ قسمت در میلیون در امولسیون ۱۵٪ آب گازوئیل

احتراق، عملکرد ونشر گازوئیل خالص، D15W2S، D15W2S50N، D15W2S100N و D15W2S150N بررسی شد تا نقش به کار گیری CNT در سوخت امولسیون از لحاظ احتراق، افزایش فشار در سیلندر و گرمای کل آزاد شده مشخص شود. همچنین میزان نشر گازهای آلاینده و راندمان حاصل از مصرف سوخت نیز بررسی شد. با افزایش CNT تاخیر در احتراق کاهش یافت. که باعث مصرف سوخت کمتر نیز می شود. همچنین زمانی که از ۱۵۰ ppm CNT استفاده شد راندمان حرارتی بالاتر رفت و دلیل آن سطح فعال بالای CNT و واکنش پذیری بالای آن است که به فرایند احتراق کمک شایانی می کند. نتایج در ادامه قابل مشاهده است.

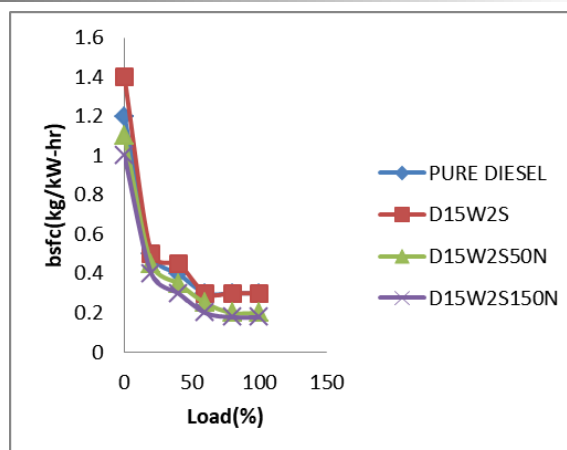
صورت گرفته تا از اثرات جانبی سوخت های امولسیون شده بررسی شود. استفاده از نانو ذرات برای حل این مشکلات پیشنهاد شده است. سطح فعال بالای این نانوذرات به تماس بهتر در حین فرایند اکسیداسیون و ایجاد انرژی بیشتر کمک می نماید. همچنین استفاده از نانوذرات بر روی خصوصیات فیزیکی مایع تاثیر گذاشته و هدایت حرارتی و انتقال حرارت تابشی را بهبود می بخشد. مهم ترین نگرانی که باعث افزودن نانوذرات شده ایجاد تماس بیشتر میان سوخت و اکسید کننده است. همچنین نانوذرات باعث کاهش تاخیر در احتراق می شود. نانوسیال آلومینیم موجب افزایش گرمای حاصل از احتراق و کاهش در دود و نیتروژن اکسید در گازهای خروجی از موتور دیزلی می شود.

CNT به عنوان یک نانو افزایش با افزایش نرخ سوختن موجب افزایش عدد ستان شده و به عنوان یک ضد کوبش عمل می کند و با خنثی کردن تشکیل دود موجب احتراق پاک تر می گردد. در فرایند امولسیون سازی، آب با سوخت در مقیاس میکرو مخلوط می شود. از سورفکتانت جهت کاهش تنش سطحی آب و برای جلوگیری از تماس آب با سطوح موتور استفاده می شود. CNT دارای قابلیت است تا بتواند آسیب های جانبی را در مورد سوخت امولسیون شده به حداقل برساند. CNT از طریق LPG به وسیله روش سنتز شعله ای و با استفاده از اکسیژن به عنوان اکسید کننده تولید می شود. شکل زیر تصاویر TEM، SEM، و آنالیز رامان CNT سنتز شده را نشان می دهند.





شکل ۵. تغییرات کربن دی اکسید با بار در نمونه های مختلف



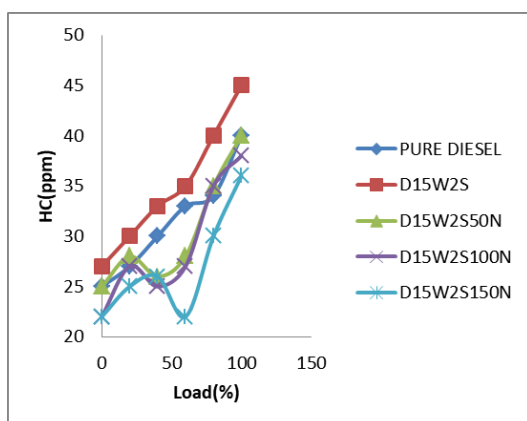
شکل ۴. تغییرات bsfc بر اساس بار

• تغییرات CO با بار موتور

کربن مونواکسید حاصل یک احتراق ناقص است. مشاهده شده است که نشر CO با افزایش میزان CNT در امولسیون، کاهش می‌یابد.

• تغییرات هیدروکربن (HC) با بار موتور

HC زمانی تشکیل می‌شود که سوخت بدون احتراق وارد آگزوز شود یا اکسیژن کافی برای سوختن در دسترس نباشد. لذا HC در اثر سوخت ناقص تولید می‌گردد. فعالیت کاتالیستی بالای CNT با سطح فعال بالا و همچنین وجود آب که اکسیژن اضافی را تامین می‌نماید به هرچه بهتر سوختن امولسیون کمک می‌نماید. شکل زیر تغییرات HC با بار را نشان می‌دهد. با افزایش CNT میزان HC کاهش می‌یابد. از طرفی امولسیون آب گازوئیل بدون حضور افزودنی‌ها HC بیشتری نسبت به دیزل خالص تولید می‌کند که دلیل آن کاهش دمای گاز و در نتیجه سوخت ناقص است.



شکل ۶. تغییرات HC با بار در نمونه های سوختی مختلف

• تغییرات NOx با بار موتور

تغییرات این گاز با بار موتور با استفاده از نمونه های مختلف در شکل زیر قابل مشاهده است. واضح است که با افزودن آب به گازوئیل دمای خروجی از آگزوز کاهش می‌یابد. زیرا مقداری از گرما را آب جذب می‌کند و همین دلیل باعث کاهش NOx می‌شود زیرا محصول واکنش میان نیتروژن و اکسیژن در دماهای بالاتر است. همچنین با افزودن CNT نسبت به حالتی که امولسیون آب و گازوئیل باشد میزان NOx کمتر است زیرا با کاهش تاخیر در احتراق از احتراق قبل از مخلوط شدن جلوگیری می‌نماید.

• تغییرات CO2 با بار موتور

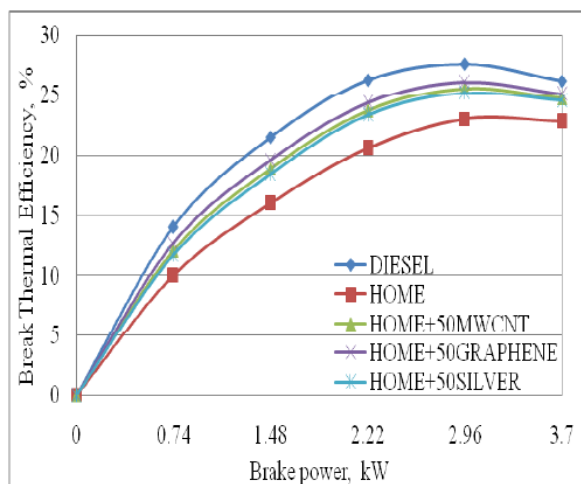
دی اکسید کربن نشان‌دهنده احتراق کامل سوخت است. احتراق سوخت امولسیون شده و ترکیب شده با CNT میزان دی اکسید کربن را بالاتر می‌برد زیرا باعث کامل‌تر شدن احتراق می‌شود. در شکل زیر نتایج این موضوع قابل مشاهده است.



شکل ۸. حمام فراصوت

در ادامه عملکرد و انتشار و رفتار سوختن موتور دیزلی با استفاده از ترکیب سوخت -نانوذرات بررسی می‌شود.

- راندمان حرارتی: راندمان حرارتی مخلوط سوخت+گرافن در قیاس با نانوذرات دیگر (نانولوله کربنی و نقره) بهتر بود. به طور کلی گرافن دارای هدایت حرارتی بالاتر، سطح فعال بیشتر و در نتیجه واکنش پذیری بیشتر است. نتایج در شکل زیر دیده می‌شود.



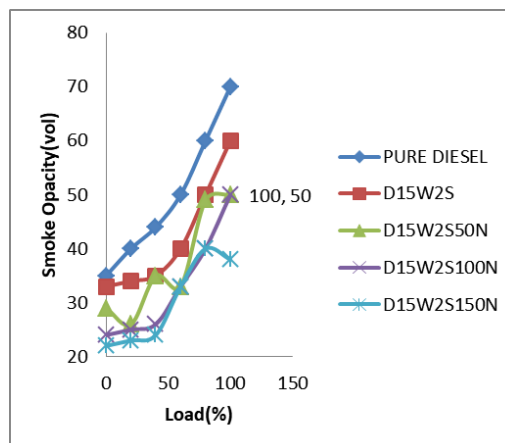
شکل ۹. تغییرات راندمان حرارتی در برابر توان

- تیرگی / کدری دود

میزان کدری و تیرگی دود زمانی که از نانوذرات گرافن استفاده شده است در مقایسه با دو نانوذره دیگر کمتر است و این به

- تغییرات دود با بار موتور

دود نتیجه احتراق ناقص است. ذرات کوچک نسوخته که عموماً دوده کربن می‌باشد، در آگروز جمع شده و دود تولید می‌کند. با اضافه کردن CNT به امولسیون آب گازوئیل کاهش چشمگیری در میزان دود ایجاد شد. نتایج در شکل زیر قابل مشاهده است.



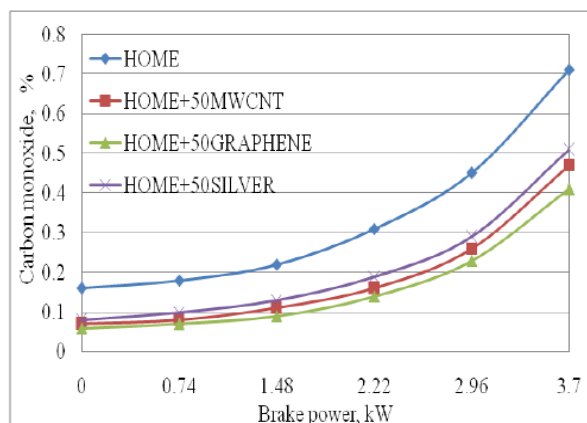
شکل ۷. تغییرات دود با بار در نمونه های سوختی مختلف

اضافه کردن CNT به امولسیون آب گازوئیل باعث کوتاه تر شدن تاخیر در احتراق شده، میزان تبخیر بالاتر رفته و کیفیت احتراق بهبود می‌یابد که به کاهش تیرگی و کدری دود کمک می‌نماید [۵].

۲-۳-۲ گرافن

آزمایش زیر به جهت بررسی عملکرد نانوذرات کربنی انجام شده است. ترکیب نانوذرات-بیودیزل (HOME) با کمک یک حمام فراصوت تهیه شد و نانوذرات استفاده شده با جز جرمی ppm ۲۵ و ۵۰ استفاده شدند. از این سوخت در یک موتور دیزلی چهار زمانه استفاده شد و میزان عملکرد، احتراق و مشخصات گازهای آلاینده تعیین گردید. نتایج حاکی از بهبود فزاینده در راندمان حرارتی و کاهش در انتشار گازهای مضر با اضافه کردن نانوذرات به سوخت است [۶].

سوخت همراه با گرافن استفاده شده، میزان CO تولیدی نسبت نانوذرات دیگر کمتر است. این به دلیل فعالیت کاتالیستی بالای گرافن و ویژگی‌های سوختی بهتر ترکیب نانوسوخت ناشی می‌شود.



شکل ۱۲. تغییرات کربن مونواکسید با توان

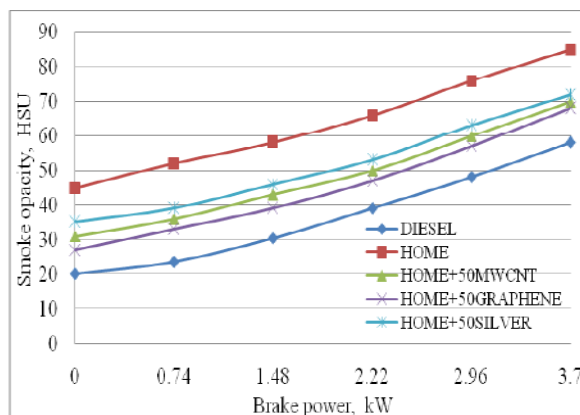
• تغییرات NO_x

احتراق کامل سوخت دمای محفظه احتراق را بالا برده و باعث تشکیل NO_x بیشتر می‌شود. استفاده از گرافن در مقایسه با نانولوله کربنی و یا نقره در سوخت موجب نشر NO_x بیشتر می‌گردد. این مسئله به دلیل نرخ گرمایی بالای آزاد شده حاصل از احتراق است که در مورد گرافن بیشتر از بقیه نانوذرات استفاده شده در مخلوط سوخت، می‌باشد [۶].

۲-۳-۳ نانوذرات سرب اکسید

سرب اکسید (CeO_2) قادر به سرعت بخشی به واکنش احتراق از طریق دادن اتم اکسیژن از ساختار شبکه‌ای خود است. این فعالیت کاتالیستی به سطح فعال وابسته است و در بین سایر مواد مانند مواد توده‌ای و ذرات بزرگتر مزایای متمایزی دارد. اضافه کردن نانوذرات سرب اکسید به سوخت به ته نشینی هیدروکربن‌های نسوخته و دوده کمک می‌کند، همچنین انتشار مواد آلاینده را از اکروز کاهش داده و باعث صرفه جویی در مصرف سوخت می‌شود. مطالعات قبلی نشان داده است که سرب اکسید باعث کاهش فشار در محفظه سوخت شده که موجب کاهش تولید NO_x و بهسوزی می‌شود. از نانوذرات سرب اکسید می‌توان در فیلترهای موتورهای دیزلی نیز استفاده کرد. نانوذرات باعث رفع مسدود شدن فیلترها به وسیله دوده می‌گردد که به

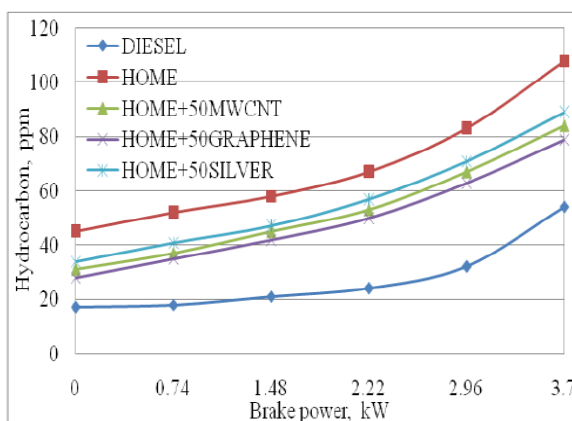
دلیل کوتاهی تاخیر در احتراق سوخت مخلوط -گرافن است. نتایج در شکل زیر دیده می‌شود.



شکل ۱۰. تغییرات تیرگی دود در برابر توان

• هیدروکربن نسوخته

نانوذرات به عنوان کاتالیزور اکسید کننده عمل می‌کنند و دمای فعالیت احتراق کربن را پایین آورده و موجب اکسیداسیون بیشتر هیدروکربن می‌شوند که نتیجه نهایی آن احتراق کامل است. میزان هیدروکربن نسوخته برای زمانی که از نانوذرات گرافن در مخلوط سوخت استفاده شده بود در قیاس با نقره و نانولوله کربنی کمتر بود که منجر به بهتر شدن سوختن شده است.



شکل ۱۱. تغییرات هیدروکربن‌ها با توان

• تغییرات CO

در شکل زیر تغییرات کربن مونواکسید برای تمام نانوسوخت‌های سنتز شده گزارش شده است. درحالتی که نانوذرات به مخلوط اضافه شوند، احتراق کاملتر صورت گرفته و در نتیجه میزان CO کاهش می‌یابد. درمیان نانوذرات اضافه شده، زمانی که از مخلوط

سوخت، کاهش نشر آلاینده ها و همچنین افزایش عدد ستان میشوند. لازم به ذکر است که از میان روش هایی که می تواند منجر به دستیابی به این اهداف شود، می توان به استفاده از افزودنی ها و کاتالیست ها در سوخت اشاره کرد. این افزودنی ها می توانند مسیر انجام واکنش را تغییر داده و آن را از مسیری پیش برند که سبب تکمیل احتراق و در نتیجه دستیابی به حداکثر انرژی آزاد شده توسط سوخت شود. در این تحقیق مروری بر انواع نانوافزودنی های آلی و معدنی، تاثیر آنها بر پارامترهای سوخت و کیفیت سوختن شد. اما تجاری سازی و به کارگیری این روشها شرایط و مشکلات خود را داشته و شاید سالها به طول بینجامد. امید است با پیشرفت تکنولوژی و علم، بتوانیم روشهای تحقیقاتی و آزمایشگاهی را بصورت صنعتی در راستای بهبود خواص سوخت مصرفی که سبب بهسوزی و بهینه سوزی مصرف سوخت و کاهش آلاینده های زیست محیطی می شود، اجرا نماییم.

۵. منابع

- [1] M. Gürü, U. Karakaya, D., Altıparmak, A. Alicılar, Energy conversion and Management, 43, 1021-1025, (2002).
- [2] J. Susilo, Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, (2014).
- [3] م. میرزاجانزاده، م. ارجمند، ع. رشیدی ب. قبادیان، پژوهش نفت، ۸۱، ۶۶-۷۷، (۱۳۹۴).
- [4] A.R. Patil, S.G. Taji, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 30-35, (2013).
- [5] N. Singh, R.S. Bharj, International Journal of Current Engineering and Technology, 5, 477-485, (2015).
- [6] N. R. Banapurmath, R. Sankaran, A. V. Tumbal, T.N. Narasimhalu, A.M. Hunshyal, N. H. Ayachit, International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 3, 129-138, (2014).
- [7] W. Soutter, AZO NANO, (2012).

طور موثری باعث بهبود عملکرد فیلترها و تمیز کردن گازهای خروجی از اگزوز می شود [۷].

۲-۳-۴ نانوذرآت آلومینیم

از نانوذرآت و میکروذرآت آلومینیم بعنوان افزایه سوخت سرمایه گذاری شده است. مطالعه ای که توسط محققان دانشگاهی انجام شده است نشان داد که نانوذرآت آلومینیم عملکرد بسیار بهتری را نسبت به میکروذرآت دارند. ویژگی های نانوذرآت آلومینیم در سوسپانسیون در ایجاد انفجارهای کوچک حین احتراق بسیار سودمند است و از طریق تسهیل کردن اختلاط هوا-سوخت، احتراقی تمیزتر و موثرتر شکل می گیرد. شایان ذکر است که نانوذرآت آلومینیم تاثیر بیشتری در سوخت های با پایه اتانول در مقایسه با سوخت های پایه نفتی دارند [۷].

۲-۳-۵ نانوذرآت منیزیم-آلومینیم و کبالت اکسید

در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۱ منتشر شد، محققان دانشگاهی در هند بر روی پتانسیل نانوذرآت کبالت اکسید (Co_3O_4) و نانوذرآت منیزیم-آلومینیم به عنوان افزایه در بیودیزل تحقیق نمودند. اتم های اکسیژن موجود در ذرات کبالت اکسید مانند سریم اکسید توانایی تسهیل واکنش احتراق را دارند. در نتیجه، احتراق زمانی که از افزایه کبالت اکسید استفاده شد بسیار تمیزتر بود و انتشار گاز کربن مونواکسید و هیدروکربن های نسوخته کاهش یافته بود. نانوافزودنی های کبالت همچنین باعث کم شدن تولید NO_x می شود. این مساله برای بیودیزل از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا اثبات شده است که بیودیزل NO_x بیشتری نسبت به سوخت دیزل بر پایه نفت تولید می کند. نانوذرآت منیزیم-آلومینیم (مگنالیوم) نقشی شبیه به نانوذرآت آلومینیم را ایفا می کنند و با ایجاد انفجارهای کوچک در حین سوختن به واکنش احتراق کمک می کنند و موجب افزایش در قدرت خروجی موتور می شوند [۷].

۳-نتیجه گیری

روش های متفاوتی برای کاهش زمان احتراق کامل سوخت دیزل، بالا بردن عدد ستان آن و در نتیجه کاهش آلودگی ناشی از کند سوختن وجود دارد. برخی از این روش ها امروزه به مقیاس صنعتی و کاربرد انبوه رسیده و در صنعت به کار برده میشود و برخی هنوز به صورت آزمایشگاهی بررسی شده اند. طبق مشاهدات، برخی روش های آزمایشگاهی بیشتر باعث بهسوزی

- [8] X. Li, W.L. Chippior, O.L. Gülder, SAE Technical Paper, (1997).
- [9] E.J. Sienicki, R.E. Jass, W.J. Slodowske, C.I. McCarthy, A.L. Krodel, SAE Technical Paper, (1990).
- [10] N. Ladommatos, M. Parsi, A. Knowles, Fuel, 75, 8-14, (1996).
- [11] X. Li, W.L. Chippior, O. L. Gülder, SAE Technical Paper, (1996).
- [12] N.M. Ribeiro, A. C. Pinto, C. M. Quintella, G. O.da Rocha, L.S. Teixeira, L. L. Guarieiro, A. M. de Oliveira, Energy & fuels, 21, 2433-2445, (2007).
- [13] B.C. Choi, Journal of the Korea Society for Power System Engineering, 6, 12-19, (2002).
- [14] M.V. Kumar, A.V. Babu, P.R. Kumar, Alexandria Engineering Journal, 57, 509-516, (2017).
- [15] S. M. Geyer, M.J. Jacobus, S.S. Lestz, Transactions of the ASAE, 27, 375-0381, (1984).
- [16] Y. Wang, Y. Liu, The 2nd International Conference on IEEE, (2008).
- [17] H. H. Masjuki, M.A. Kalam, M. Syazly, T.M.I Mahlia, A.H. Rahman, M. Redzuan, M. Varman R. Saidur, Y.H. Yau Strategic Technology Conference, The 1st International Forum on, (2006).
- [18] K. Senthilkumar, R. Ramadoss, M. M. Prabu, IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Managementm, (2012).
- [19] K.A. Subramanian, A. Ramesh, SAE technical paper, (2002).
- [20] O. Armas, R. Ballesteros, F.J. Martos, J.R. Agudelo, Fuel, 84, 1011-1018, (2005).



- [21] K. Park, I. Kwak, S. Oh, KSME international journal, 18(11), 2049-2057, (2004).
- [22] L. Vaisman, H. D. Wagner, G. Marom, Advances in colloid and interface science, 128, 37-46, (2006).
- [23] M.G. Guzmán, J. Dille, S. Godet, Int. J. Chem. Biomol. Eng., 2, 104-111, (2009).
- [24] G. Maayan, R. Popovitz-Biro, R. Neumann, Journal of the American Chemical Society, 128, 4968-4969, (2006).
- [25] J. Sathik Basha, R. B. Anand, J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng., 35, 257-264, (2013).
- [26] M. Saranya, C. Santhosh, R. Ramachandran, A. Nirmala Grace, Journal of Nanotechnology, 2014, 1-8, (2014).
- [27] F. Gómez-Rivera, J.A. Field, D. Brown, R. Sierra-Alvarez, Bioresource technology, 108, 300-304, (2012).
- [28] K. Sellers, C. Mackay, L.L. Bergeson, S.R. Clough, M. Hoyt, J. Chen, K. Henry, J. Hamblen, Nanotechnology and the Environment, CRC press, (2008)