مروری بر کاربرد نانوفناوری در بهبود عملکرد، احتراق و ویژگی‌های انتشار بیودیزل

احمد فرهاد طالبی* ، سیما خاکزاد، مهدی جهاندیده، ساناز علمداری

پردیس علوم و فناوری های نوین، دانشگاه سمنان، سمنان

چکیده

سوخت‌های زیستی مایع به دلیل در دسترس بودن، ارزش حرارتی بالا، ایمنی در استفاده، سازگاری با زیر ساخت های فناوری و حتی مسائل سیاسی توسط مصرف کنندگان انتخاب شده‌اند. با توجه به چالش‌های عملیاتی که تولید سوخت‌های زیستی با آن روبروست، انرژی‌های سبز سهم محدودی از تأمین انرژی اولیه در سراسر جهان را دارند. امروزه رویکردهای نو ظهور مانند فناوری نانو، برای افزایش کارایی تولید و استفاده از انرژی زیستی مورد استفاده قرار می گیرند. قابلیت های ویژه نانوذرات و مکمل های افزودنی های نانو در بیودیزل در مطالعه حاضر معرفی شده است. استفاده از این نانو افزودنی‌ها می تواند به توان خروجی بیشتر، مصرف سوخت و انتشار آلاینده کمتر، راندمان حرارتی بالاتر، کاهش هزینه ها، افزایش قابلیت اطمینان و دوام موتورهای دیزلی منجر شود. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ضعیف بیودیزل در دمای پایین، مصرف سوخت بیشتر و محتوای انرژی پایین‌تر می‌توانند با استفاده از فناوری نانو اصلاح شوند. تاکنون عمده کارهای عملی به منظور اصلاح نواقص بیودیزل، بر روش‌های اصلاح سوخت از طریق نسبت‌های اختلاط و غربالگری و مهندسی مواد اولیه تمرکز داشته‌اند؛ با این حال استفاده از افزودنی های نانو به بیودیزل می تواند باعث بهبود معنی داری در خواص ترموفیزیکی و شیمیایی شود.

واژه‌های کلیدی: *نانوذرات، ویژگی‌های سوخت، عملکرد موتور، افزودنی، بیودیزل*

ایمیل نویسنده مسئول : aftalebi@semnan.ac.ir

۱ـ مقدمه

فعالیت‌های توسعه ای هر کشور به شدت متکی بر منابع انرژی است. نوع، هزینه، تنوع و امکان دسترسی به منابع انرژی ارائه شده، پایداری رشد اقتصادی جوامع را تعیین می کند. زمین، منابع مختلف انرژی را به جوامع هدیه داده است. انرژی های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و باد، زمین گرمایی و انرژی زیست توده و غیره از جمله منابع انرژی پاک هستند. هرچند که سوخت فسیلی به دلیل ارزش حرارتی بالا، ایمنی برای استفاده، حمل و نقل آسان، ایمنی برای ذخیره سازی و سازگاری آسان با حداقل تغییرات تجهیزات، مورد علاقه عموم بوده است [۱].

در خانواده سوخت های فسیلی، تقاضا برای سوخت بیودیزل بیشتر است، زیرا موتورهای دیزلی به طور گسترده برای تامین انرژی وسایل نقلیه، قطارها، کشتی ها، پمپ های آبیاری و همچنین برای تولید نیروی الکتریکی استفاده می شوند. موتورهای دیزلی که عموماً موتورهای احتراق فشرده یا CI[1] نامیده می‌شوند، در طول سال‌ها به دلیل توانایی در ارائه عملکرد و مصرف سوخت بهتر با هزینه نگهداری کمتر، محبوبیت زیادی کسب کرده‌اند [۲]. ترجیح موتور دیزل به دلیل توان خروجی (PS[2]) بالا، مصرف سوخت کمتر، راندمان حرارتی بالاتر، طراحی مورد قبول، تکنولوژی موجود، کارکرد آسان، هزینه عملیات و قابلیت اطمینان و دوام بالای آن است [۳و۵] . علیرغم تمام مزایا، انتشار گازهای گلخانه و خطرناک از موتور CI یک نگرانی جدی است. سرطان زا بودن این گازها، خطر ابتلا به سرطان ریه و همچنین، مشکلات قلبی-عروقی و پوستی را در صورت در معرض قرار گرفتن طولانی مدت

[1] Compression ignition
[2] Power output

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۶ تاریخ چاپ: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸

افزایش می دهد [۲]. دی اکسید کربن، دوده و اکسیدهای نیتروژن و گوگرد از عوامل اصلی آلودگی در مراکز جمعیتی که هم برای سلامت انسان و هم برای محیط زیست خطرناک هستند. انتشار دی اکسید کربن به طور مستقیم به اثر گلخانه ای و تخریب لایه ازن می افزاید، همچنین، انتشار اکسیدهای نیتروژن منجر به تشکیل دود و باران اسیدی می شود [۵]. ۲۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه ای جهان توسط بخش حمل و نقل می باشد و انتظار می‌رود تا زمانی که اقدامات جدی انجام نشود، سهم این بخش رشد بیشتری را تجربه کند [۲].

افزایش سطح آلودگی زیست محیطی به دلیل استفاده روزافزون از سوخت های فسیلی به عنوان حامل های اصلی انرژی و عامل انتشار گازهای گلخانه ای و همچنین، تهدیدات جهانی ناشی از استفاده از آن در بخش حمل و نقل به عنوان یک نگرانی جدی زیست محیطی تلقی شده و سوخت های فسیلی را به یک منبع ناامن انرژی تبدیل کرده است. ۸۰ درصد افزایش در سطح CO_2 از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۳۰ تنها یک مثال هشداردهنده است که لزوم بکارگیری سوخت های زیستی به عنوان جایگزین برای سوخت معمولی را گوشزد می کند [۶]. در دهه‌های گذشته، سوخت‌های زیستی به‌عنوان جایگزین سوخت‌های مایع فسیلی، بیشتر به دلیل منبع انرژی تجدیدپذیر سازگار با محیط زیست که می‌تواند به راحتی با سوخت دیزل ادغام شود و در موتورهای دیزلی معمولی بدون هیچ گونه تغییری در موتور استفاده شوند، توجه زیادی را جلب کرده است. تعدادی از انواع سوخت های زیستی که به عنوان جایگزین سوخت های فسیلی معرفی می شوند عبارتند از بیودیزل، بیوالکل ها، بیوگاز و بیوهیدروژن. سوخت‌های زیستی به این دلیل مورد توجه قرار گرفته‌اند که از ترکیبات غنی از انرژی برپایه موجودات فتوسنتزکننده و منبع انرژی تجدیدپذیر سازگار با محیط زیست مشتق شده‌اند.

بیودیزل به عنوان محبوب ترین منبع سوخت جایگزین برای دیزل است. بیودیزل استر اسیدهای چرب مستحرج از روغن های زیستی است. این روغن می‌تواند از منابع میکروبی، گیاهی یا حیوانی بدست آید. کشورهای مختلف ترکیبی از سوخت بیودیزل/دیزل را بر اساس مواد اولیه موجود خود، به رسمیت شناخته اند. به عنوان مثال، روغن پالم عمدتاً در کشورهای آسیای جنوب شرقی مانند تایلند، مالزی و اندونزی مورد استفاده قرار می گیرد، در حالی که ایالات متحده و اروپا به ترتیب روغن سویا و روغن آفتابگردان را استفاده می کنند [۲].

بر این اساس، پیش بینی‌ها نشان می دهند که استفاده از سوخت های زیستی از ۱/۳ میلیون بشکه معادل نفت خام در روز در سال ۲۰۱۲ به ۴/۶ میلیون بشکه معادل نفت خام در روز در سال ۲۰۴۰ افزایش خواهد یافت[۷].

جایگزینی سوخت های زیستی می‌تواند منجر به کاهش ۲/۱ گیگاتنی انتشار CO_2 در سال شود [۸]. بیودیزل، که می تواند از طریق نسل چهارم حاصل از روغن ها و محصولات خوراکی، مواد خام غیر خوراکی مانند ضایعات زیست توده، ریزجلبک ها، روغن های پسماند و چربی های حیوانی و جانداران مهندسی شده تولید شود، به عنوان یکی از امیدوارکننده ترین جایگزین های سوخت های مایع مبتنی بر منابع فسیلی شناخته می شود [۶و۹]. در ترانس استریفیکاسیون که رایج ترین روش تولید بیودیزل است، مواد اولیه روغن استخراج شده به نام اسیدهای چرب با زنجیره بلند (FA[1]) با یک الکل سبک (عمدتا متانول) در حضور یک کاتالیست (در دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتیگراد، به مدت ۹۰ دقیقه) واکنش داده می شود. محصول این واکنش استرهای متیل یا اتیل به نام بیودیزل و گلیسرول به عنوان محصول جانبی است [۱۰]. بیودیزل حاوی عدد ستان به نسبت بالا و محتوای اکسیژن بالا (۱۰ تا ۱۲ درصد اکسیژن وزنی) با محتوای گوگرد کمتر یا بدون آن و راندمان احتراق بالاتر است که باعث می‌شود خواص احتراق کامل‌تر و تمیزتر نسبت به گازوئیل فسیلی انجام شود که منجر به کاهش برخی از مسائل زیست‌محیطی می‌شود [۱۱و۱۲].

محتوی اکسیژن بالا، گوگرد کمتر و انتشار کربن خالص بسیار ناچیز بیودیزل، از دلایل موفقیت قابل توجه در کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای و

[1] Long chain fatty acids

ذرات معلق موتور دیزل است [۱۳و۱۴]. با این حال، افزایش انتشار اکسیدهای نیتروژن (NO_x) از جمله معایب بیودیزل در مقایسه با نوع فسیلی است [۲]. حجم انتشار NO_x به شرایط عملکرد موتور دیزل نیز بستگی دارد [۱۵]. بر این اساس، تکنیک‌های مختلفی با هدف کاهش انتشار گازهای خروجی ناشی از بیودیزل از جمله توسعه موتور، بهبود عملکرد سوخت و ویژگی‌های انتشار آلاینده، با استفاده از افزودنی‌های سوخت و همچنین فناوری‌های تصفیه گازهای خروجی ارائه شده‌اند. اصلاح خواص سوخت احتمالاً عملی‌ترین گزینه برای رفع عمده کاستی‌ها و بهبود فرآیند احتراق خواهد بود، زیرا این رویکرد اصلاح موتور و تجهیزات اضافی را شامل نمی شود [۱۶].

بیودیزل در دیزل با هر نسبتی قابل اختلاط است. به طور کلی چهار ترکیب اصلی حجمی بیودیزل در بازار سوخت موجود است [۷]. در حالی که رایج ترین و کارآمدترین مخلوط بیودیزل-دیزل مورد استفاده در سراسر جهان B20 و B5 است. در این شرایط، در هر موتور احتراق تراکمی ویژگی های احتراق بهبود یافته و همچنین، کاهش انتشار HC و CO با هزینه کم و بدون تغییرات زیاد در موتورهای دیزلی به وقوع می پیوندد [۶].

رویکردهای اخیر در مورد افزودنی‌های سوخت، گنجاندن ذرات با اندازه نانو با امولسیون دیزل-بیودیزل به عنوان یک افزودنی جدید، نتایج امیدوارکننده ای را نشان می‌دهد. بهبود خواص حرارتی فیزیکی و شیمیایی سوخت اصلاح‌شده مانند نسبت سطح به حجم بالا، محیط واکنش‌پذیر بالا برای احتراق، افزایش سرعت انتقال حرارت و همچنین تثبیت مخلوط‌های سوخت از جمله مهمترین فرایندهای اصلاح شده هستند[۷]. وابسته به نوع نانوذرات مورد استفاده، اندازه ذرات و غلظت آن ها افزایش رسانایی حرارتی، بهبود نقطه اشتعال، نقطه ریزش و برخی دیگر از خصوصیات سوخت نیز گزارش شده است که هریک در بخش‌های بعدی مورد معرفی قرار خواهند گرفت [۱۷].

۲. نانوذرات; پس زمینه، خواص و کاربرد

نانوتکنولوژی به عنوان پیشگام در انقلاب علمی-فناوری در بخش ها و رشته های مختلف به ویژه محیط زیست، کشاورزی و انرژی محبوبیت زیادی به دست آورده است. سنتز آسان، مقرون به صرفه بودن و ایمنی نانومواد برای توسعه نانوتکنولوژی در عصر جدید مورد نیاز است [۱۸]. درآمد حاصل از فناوری نانو در جهان به سرعت افزایش یافته و در سال ۲۰۲۲ به ۹۰ میلیارد دلار رسید [۱۹].

۱-۲- برنامه های کاربردی

نانوتکنولوژی کمک قابل توجهی به حفاظت از محیط زیست داشته است. نانوذرات (NPs) از طریق کاربردهایی مانند نانو کودها، نانو آفت کش ها و پوشش دهی بذر، کاربردهای فوق العاده ای در بخش کشاورزی پیدا می کنند. سیستم های تحویل هوشمند و همچنین نانوپزشکی، کاربرد نانوتکنولوژی را در بخش های زیست پزشکی توسعه داده اند [۲۰]. علاوه بر این، حسگرهای زیستی که از فعل و انفعالات نانوذرات بهره می‌برند، در بخش‌های مختلف محیطی کاربرد دارند و همچنین یک سیستم تشخیص قابل توجه در تشخیص بیماری هستند [۲۱]. علاوه بر این، نانوذرات بیوژنیک، مانند نانوذرات نقره، به دلیل ویژگی‌های ضد میکروبی خود در ممانعت از فاسد شدن مواد غذایی، در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند[۱۹]. محصولات متنوعی از فناوری نانو در سیستم‌های رانش به عنوان سوخت با چگالی بالا، در سیستم‌های خنک‌کننده موتور به‌عنوان سیال با رسانایی حرارتی بالا و در احتراق موتور به دلیل سرعت آزادسازی گرمای بهتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۷]. یکی از کاربردهای گسترده نانوذرات، همگرا با رویکردهای زیست محیطی، استفاده از آن ها در بخش انرژی زیستی یا تولید سوخت زیستی و افزایش پایداری سوخت زیستی است. پیشرفت‌های اخیر در علم نانو و فناوری نانو، تولید افزودنی‌های سوخت را ارتقاء بخشیده است؛ این ترکیبات معایب مهمی مانند تأخیر در احتراق، رسوب‌گذاری و توزیع غیریکنواخت، ویژگی‌های ضعیف پاشش که همگی منجر به احتراق ناکارآمد می‌شوندرا با معلق کردن ذرات نانومتری در سیالات برطرف می‌کنند[۲۲]. تمام محدودیت های ذکر شده ناشی از اندازه میلی متری را می توان با استفاده از قطر بسیار کوچک نانوذرات برطرف کرد. افزایش حرکات آشفته و کاهش سرعت ته

نشینی نانوذرات موجب بهبود پایداری پراکندگی سیالات می شود. این افزودنی‌ها می‌توانند با تغییر خواص ترموفیزیکی مانند نسبت سطح به حجم، هدایت حرارتی، دمای اکسیداسیون و حتی عدد ستان ویژگی های احتراق موتور CI را بهبود بخشند. ترکیبات دیزل و بیودیزل معمولاً به مواد افزودنی برای بهبود روانکاری، پایداری و بهسوزی نیاز دارند. [۱۵،۱۹].

مواد نانومقیاس دارای خواص فیزیکی و شیمیایی نسبتاً متفاوتی با عناصر در مقیاس میکرونی خود هستند؛سطح تماس بزرگتر، پایداری بیشتر، نقطه ذوب پایین تر، گرمای احتراق بالا و کاهش سرعت همجوشی و سرعت انتقال جرم ار جمله این موارد هستند [۳]. به سایر ویژگی‌های این مواد در بخش های بعدی مفصلاً پرداخته می شود.

۲-۲- طبقه بندی نانوذرات

در طی فرایندهای سنتز نانوذرات، بلوک‌های ساختمانی پایه در محصولات، در ابعاد مختلف بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، و اشکال مختلف مانند استوانه‌ای، کروی، تخت، مخروطی، لوله‌ای تولید می شوند. نانوذرات در هر شکل سه بعدی به صورت صفر، یک، دو، سه بعدی رشد می کنند. آن ها می توانند بی شکل یا کریستالی، پایدار یا ناپایدار، متشکل از جامدات تک بلوری یا چند بلوری باشند [۱۹]طبقه بندی نانوذرات بر اساس ساختار، اندازه، شکل، مواد و خصوصیات سطح آنهاست. در جدول ۱ لیستی از پرکاربردترین نانوذرات با کاربردهای متنوع در صنایع اشاره شده است.

۱-۲-۲- طبقه بندی نانوذرات بر اساس منشاء آن ها و عناصر شیمیایی تشکیل دهنده

فهرست متنوعی از خواص، نحوه سنتز، منشاء و عنصر شیمیایی پایه تشکیل دهنده از جمله ویژگی های اصلی در نظر گرفته شده برای طبقه بندی یک نانوذره هستند. بر این اساس، نانوذرات به انواع کربنی، آلی، معدنی و بر پایه کامپوزیت طبقه بندی می شوند. دو گروه عمده از نانوذرات، کربنی و فلزی، در کاربردهای متنوع مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۱۹].

• نانوذرات مبتنی بر کربن: به طور کامل از زنجیره های بلند اتم های کربن متصل به یکدیگر به شکل های متمایز مانند کروی، شبکه لانه زنبوری در لوله های نانو کربنی یا شکل مخروطی در نانوالیاف کربن تشکیل شده است.

• نانوذرات آلی: این نوع از نانوذرات غیر سمی و زیست تخریب پذیر هستند و عمدتاً در زمینه پزشکی به عنوان سیستم دارورسانی، آنتی اکسیدان و غیره کاربرد دارند.

• نانوذرات اکسید فلز و فلز: تحت شاخه نانوفلز های معدنی قرار می گیرند و خواص مطلوبی را برای موتورهای CI به ارمغان می آورند. نمایش خواص استثنایی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، نانوذرات فلزی را به یک زمینه تحقیقاتی جذاب تبدیل کرده است. محققان عموماً بر توانایی نانوذرات اکسید فلز برای افزایش واکنش پذیری، سرعت تبخیر با عمل به عنوان بافر اکسیژن و بهبود هدایت حرارتی و گرانروی سوخت پایه تمرکز بیشتری دارند.

نانوذرات فلزی دارای اتم اکسیژن اضافی هستند که به عنوان یک بافر اکسیژن در مناطق غنی از سوخت عمل می کند و آلاینده های نسوخته مانند HC و CO را کاهش می دهد و از اکسیداسیون هسته های دوده پشتیبانی می کند و انتشار دوده و دود را کاهش می دهد. افزودنی‌های اکسید فلز را می‌توان به‌صورت آلومینیوم (Al)، منگنز (Mn)، تیتانیوم (Ti)، زیرکنیوم (Zr)، سریم (Ce)، مس (Cu) و روی (Zn) برشمرد. افزودنی‌های فلزی از سال ۲۰۰۰ به عنوان افزودنی سوخت دیزل استفاده شده است با این حال، پیشرفت های اخیر در نانوذرات مبتنی بر فلز، کاربرد آن ها را متنوع کرده است. اکسیدهای فلزی Cu، Fe، Ce، Pt، B، Al و Co به تازگی به طور گسترده ای به عنوان افزودنی در ترکیبات سوخت دیزل و بیودیزل استفاده شده است [۲۳].

۲-۲-۲- طبقه بندی نانوذرات بر اساس تأثیر آن ها بر خواص یک نانو مخلوط

افزودنی های نانو بر پایه کربن و فلز می‌توانند با افزایش سرعت احتراق ، خواص سوخت را بهبود دهند. همچنین، می‌توانند با کاهش تشکیل دود منجر به سوختن پاک تر سوخت شوند. شواهد بیشتر در بخش بعدی مورد بحث قرار می گیرد.

• **افزودنی های مبتنی بر فلز**

احتراق به کمک فلز با استفاده از افزودنی‌های فلزی در اندازه نانو در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. رفتار فوق پارامغناطیس، انعطاف پذیری بالا، نقطه انجماد کمتر، دمای جوشی کمتر، احتمال اشتعال بیشتر، فعالیت کاتالیستی بالا و چگالی نظری بالاتر برخی از خواص غیر معمول ذرات فلزی در اندازه نانو هستند [۱۸]. مطلوب ترین خاصیت نانوذرات فلزی به توانایی بالقوه آن ها برای ذخیره انرژی در سطوح نسبت داده شده است. افزودنی های مبتنی بر فلز به عنوان کاتالیست، موجب بهبود احتراق می شوند و گزارش شده است که منجر به کاهش مصرف سوخت و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می شود.

جدول ۱. خواص و کاربردهای نانوذرات مختلف [۲].

نانوذره	خاصیت	کاربرد
آلومینیوم اکسید	افزایش واکنش پذیری، سطح بزرگتر، پایداری از نظر شیمیایی، حساس به گرما، نور خورشید و رطوبت	بیومواد، مواد افزودنی مقاوم در برابر سایش و خراش، لوازم آرایشی، افزودنی به پیشران موشک، انتقال حرارت سیالات
سریوم اکسید	شکاف باند وسیع، انرژی اتصال اکسایتون بالا، آنتی اکسیدان، ممانعت از خوردگی، ضد باکتری، ضد قارچ، فیلتر اشعه UV، غیر سمی	پیل های سوختی، کاتالیستها، صنایع متالورژی، مواد ضد خوردگی، افزودنی در شیشه و سرامیک، مواد پولیش
اکسید مس	فعالیت کاتالیستی بالا، ضریب شکست بالا، خواص نوری عالی، آنتی اکسیدان، ماهیت سمی، بسیار قابل اشتعال، پتانسیل کاهشی کم، فیلتر اشعه UV	محیط های ذخیره سازی مغناطیسی، نیمه هادی، حسگر،
اکسید روی	نسبت سطح به حجم بالا، نامحلول در آب، قابلیت احیا، بسیار سمی برای انسان و محیط زیست	کرم ها و لوسیون های ضد باکتری و ضد قارچ، ، افزودنی به بتن و سرامیک ، اپتوالکترونیک و سلول های خورشیدی
اکسید تیتانیوم	سطح بالا، جذب اشعه UV، جلوگیری از رشد باکتری ها، خواص مغناطیسی	محصولات آرایشی - کرم های ضد آفتاب و سفید کننده، کاتالیستهای عکس، داروهای ضد باکتری و ضد عفونی کننده
اکسید کبالت	اثرات مغناطیسی، سمی، نیمه هادی نوع p، خواص کاتالیستی و نوری	مواد مغناطیسی، کاتد باتری، حسگرهای گاز، کاتالیست، لعاب پوششی، پنل های خورشیدی
اکسید منیزیوم	نقطه ذوب بالا، غیر سمی، پایداری شیمیایی و حرارتی بالا، واکنش پذیری سطح، بازدارنده خوردگی	عامل آب زدایی، مواد عایق، ضد حریق، عامل ضد باکتری، تصفیه کننده برای آلاینده ها
گرافن	رسانای خوب گرما و الکتریسیته، غیر سمی، انعطاف پذیر، از نظر شیمیایی بی اثر	سیستم های دارورسانی، تصفیه آب، کاتالیست عکس، خازن فوق العاده، حسگرهای زیستی

نانولوله کربنی	هدایت الکتریکی بالا، هدایت حرارتی بالا، استحکام بالا به دلیل پیوندهای C-C، پایداری شیمیایی	منسوجات، پارچه های مقاوم در برابر پارگی و نفوذ آب، نیمه هادی ، حسگرها، فیلترهای هوا و آب

به طور کلی، اگرچه گنجاندن افزودنی مبتنی بر فلز در مخلوطهای بیودیزل-دیزل ممکن است به دلیل ناپایداری مخلوط آسان نباشد، اما این افزودنی‌ها بهترین تأثیر را بر پارامترهای عملکرد و کاهش انتشار آلاینده در میان افزودنی‌های بیودیزل-دیزل نشان داده‌اند. مواد افزودنی مبتنی بر فلز که به عنوان بهبود دهنده احتراق مورد بررسی قرار گرفته اند عبارتند از: پلاتین (Pt)، سریم (Ce) [۲۴،۲۵]، آهن (Fe) [۴] ، باریم (Ba)، روی-تیتانیوم [۲۶]، کربن (C) [۲۷]، کبالت (Co) [۲۸]، کلسیم، پلاتین-سریم (Pt-Ce)، منگنز (Mn) و مس(Cu) [۱] ، روی (Zn) [۲۶،۲۹،۳۰] و آلومینیوم (Al) [۳۳-۳۱]. نانوذرات فلزی در سوخت دیزل به عنوان افزودنی به دو صورت استفاده می‌شوند: افزودنی‌های فلزی-فلزی مانند (Pt-Ce)و(Al-Mg) و افزودنی‌های آلی-فلزی (فروسن، MgO و CuO) که نوع دوم می‌تواند بدون نیاز به سورفکتانت به طور همگن در سوخت حل شود . اثرات مثبت این افزودنی ها به طور کلی با افزایش اکسیداسیون دوده از طریق دو مکانیسم مختلف مرتبط است. اول، واکنش با مولکول های آب که منجر به تولید رادیکال های هیدروکسیل می شود که به نوبه خود دوده موجود را اکسید می‌کند و/یا دوم، واکنش مستقیم با اتم های کربن و عمل به عنوان کاتالیست در کاهش دمای مورد نیاز برای اکسیداسیون اتم های کربن موجود در دوده[۱۶]. بیشتر نانوذرات فلزی به عنوان یک کاتالیست اهداکننده/جاذب اکسیژن عمل می‌کنند، یعنی می‌توانند اکسیژن را برای اکسیداسیون CO آزاد کنند یا با جذب اکسیژن،کاهش NO_x را فراهم کنند.
علاوه بر تمام مزایا، مسئله حلالیت کم ممکن است توانایی نانوذرات فلزی را برای رقیق شدن و انتشار پایدار در سوخت زیستی محدود کند. برای جلوگیری از رسوب، نانوافزودنی های فلزی را قبل از ترکیب با سوخت با مواد دیگر همراه می کنند.

- **افزودنی های اکسیژن دار**

ترکیبات اکسیژن دار می توانند با تأمین مقادیر کافی اکسیژن و در نتیجه افزایش نسبت اکسیژن به سوخت، به کاهش رخداد احتراق ناقص کمک کنند. در واقع، افزایش میزان اکسیژن در ترکیب سوخت می تواند منجر به احتراق پاک تر و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه ای شود. افزودنی‌های اکسیژن‌دار می‌توانند بر خواص مهم مخلوط سوخت به عنوان مثال گرانروی، نقطه اشتعال، خواص دمای پایین (مانند نقطه ابری شدن و نقطه ریزش)، فراریت، عدد ستان، و همچنین ارزش حرارتی در مخلوطهای دیزل و بیودیزل تأثیر بگذارند. به طور کلی، تمام ویژگی‌های مطلوب افزودنی‌های اکسیژن‌دار مانند کاهش انتشار دود به محتوای اکسیژن آن ها و همچنین ساختار مولکولی ترکیب سوخت بستگی دارد [۱۶].
ترکیبات اکسیژن دار با افزایش نسبت اکسیژن به سوخت، راه حلی موثر برای غلبه بر پدیده احتراق ناقص ارائه می دهند. علاوه بر این، محتوای بالای اکسیژن این ترکیبات، منجر به احتراق کاملتر می شود که به نوبه خود انتشار گازهای گلخانه ای موتور دیزل به ویژه ذرات معلق را کاهش می دهد. با این وجود، ارزش کالری افزودنی های اکسیژن دار کمتر از سوخت دیزل است و بنابراین گنجاندن آن ها در سوخت، محتوای انرژی نهایی مخلوط را رقیق می کند. علاوه بر این، وجود افزودنی‌های اکسیژن‌دار در سوخت می‌تواند دمای احتراق را بسته به ساختار شیمیایی افزودنی‌ها، محتوای اکسیژن مخلوط و غلظت اکسیژن در سوخت، کاهش دهد.
ترکیبات اکسیژن دار اصلی که در حال حاضر در ترکیب با سوخت دیزل استفاده می شوند عبارتند از

متانول، اتانول، n-بوتانول، گلیسیرین تری استات، پلی اتوکسی استر، بوتانول، اتیل ترت-بوتیل اتر (ETBE)، متیل بوتانوات، اتیلن گلیکول مونو استات (EGM)، دی متیل اتر (DME)، دی متیل کربنات (DMC)، دی اتیلن گلیکول دی متیل اتر (DGM)، دی اتیلن گلیکول دی اتیل اتر (DGE)، تری استین، استون، دی-ان-پنتیل اتر (DNPE)، دی متوکسی اتان، و همچنین مخلوط های مختلف افزودنی هایی مذکور [۵]. برخی از سوخت‌های اکسیژن‌دار را می‌توان به شکل منظم خود به‌عنوان سوخت مانند بیودیزل و اتانول استفاده کرد. با این وجود، این سوخت‌ها نیز در ترکیب سوخت به عنوان افزودنی استفاده می‌شوند [۷]. با وجود چنین مزایایی، هزینه بازیافت بالا و راندمان تولید پایین الکل های زیستی در مرحله تولید، از جمله موانع اقتصادی محدود کننده در استفاده از آن ها برای موتورهای مدرن در برخی از نقاط جهان بوده است. علاوه بر این، نباید نادیده گرفت که برخلاف الکل ها، نانوذرات به دلیل توانایی چشمگیر در افزایش خواص حرارتی-فیزیکی سوخت، به عنوان یک افزودنی برای موتورهای CI کاربرد پیدا می کنند. به دلیل ساختار نانو، این افزودنیها نسبت سطح به حجم بالاتری را در مقایسه با الکل‌های زیستی از خود نشان می‌دهند، که این ویژگی مطلوبی در موتورهای CI است، زیرا سطح واکنش‌پذیری بزرگ‌تری را برای انجام فرآیند شیمیایی و احتراق فراهم می‌کنند [۲].
ویژگی‌های مختلف نانوافزودنی‌های اکسیژن‌دار مانند، نقطه جوش (< ۶۰ °C)، نقطه اشتعال (< ۵۰°C)، محتوای اکسیژن بالا، چگالی انرژی مناسب، دمای خود اشتعال (< ۳۵۰ °C) و گرانروی (< ۴ میلی‌متر مربع / ثانیه)، برای انتخاب مناسب ترین افزودنی ها در نظر گرفته می شوند. علاوه بر این، برای کاهش ذرات معلق اگزوز، معیارهای دیگری مانند چگالی و عدد ستان سوخت غنی شده نیز ممکن است در نظر گرفته شود. همراه با پارامترهای مرتبط با کیفیت سوخت، ویژگی های دیگری از سمیت و سازگاری با محیط زیست تا هزینه نهایی یک افزودنی نیز ممکن است در نظر گرفته شود.

• افزودنی های آنتی اکسیدانی

آنتی اکسیدان ها به عنوان عوامل مهار کننده رادیکال های آزاد تولید شده در طی واکنش های تخریب، عمل می کنند. واکنش های اکسیداسیون منجر به تولید رادیکال های آزاد و واکنش های زنجیره ای بعدی ناشی از این رادیکال ها می شود که سرعت واکنش اکسیداسیون را تعیین می کنند. رادیکال آزاد به عنوان الکترون جفت نشده یک مولکول که ناپایدار و بسیار واکنش‌پذیر است تعریف می‌شود. مشخصه آنتی اکسیدان ها توانایی آن ها در مهار اکسیداسیون سایر مولکول ها با خنثی کردن رادیکال‌های آزاد است [۵].
اکسیداسیون سوخت که دلیل اصلی ناپایداری سوخت و در نتیجه نامناسب شدن ظاهر آن (مانند تیره شدن، تشکیل صمغ و رسوبات و غیره) و از دست رفتن ویژگی های احتراق است، می تواند با استفاده از آنتی اکسیدان ها جلوگیری شود. از نظر فنی، آنتی اکسیدان ها می توانند با مهار یا کند کردن تشکیل رادیکال های آزاد، پایداری سوخت را افزایش دهند.
حفظ کیفیت بیودیزل در طول ذخیره سازی طولانی مدت به دلیل پدیده اکسیداسیون سوخت دشوار است. لازم به ذکر است از آنجایی که با استفاده از آنتی اکسیدان ها نمی توان به طور کامل از اکسیداسیون جلوگیری کرد، نکته اصلی کاهش میزان تخریب سوخت در طول دوره ذخیره سازی، به کمک سرکوب تشکیلات رادیکال آزاد پراکسید است. گزارش شده است که آنتی اکسیدان های مختلفی در ترکیبات دیزل/بیودیزل استفاده شده است که به عنوان مثال می توان به موارد زیر اشاره کرد: بوتیل آنیزول هیدروکسیل (BHA)، بوتیل هیدروکسیل تولوئن (BHT)، پیروگالول (PL)، دی فنیلامین (DPA) و پروپیل گالات (PG) و ترت بوتیل هیدروکینون (TBHQ) [۵].

• افزودنی های بهبود دهنده جریان سرد [1]

خواص جریان سرد[2] (CFPs)، یعنی نقطه ابری بالا[3] (CP)، نقطه اتصال فیلتر سرد[4] (CFPP) و

[1] Cold flow improver
[2] Cold flow properties
[3] High cloud point
[4] Cold filter plugging point

نقطه ریزش (PP) نماینده رفتار جریان سوخت در دماهای پایین هستند. در واقع این ویژگی یکی از مهمترین کاستی‌های بیودیزل است که مانع کاربرد آن در بسیاری از مناطق جغرافیایی می‌شود. CFP ضعیف می تواند سیستم تامین سوخت و فیلترهای سوخت را با گرفتگی، که منجر به مشکل کمبود سوخت لازم برای احتراق موتور، اتلاف نیرو و خاموش شدن احتمالی موتور در هوای سرد می شود، به خطر بیندازد.

CFPهای دیزل/بیودیزل به شدت به محتوای نوع متیل استر اسید چرب (FAME) بستگی دارند. با نسبت بیشتر اسیدهای چرب اشباع شده، CFP هایی با مطلوبیت کمتر مورد انتظار است. افزودنی های بهبود دهنده جریان سرد ترکیبات شیمیایی هستند که از رشد کریستال جلوگیری می‌کنند و رفتار کریستالیزاسیون کلی سوخت را بهبود می بخشند. آن ها می توانند به طور قابل ملاحظه ای عملکرد ترکیبات بیودیزل-دیزل در دمای پایین را افزایش دهند و از رشد کریستال جلوگیری کنند و رفتار کریستالی شدن سوخت را اصلاح کنند [۱۶].

- **افزودنی های بهبود دهنده روانکاری**

عدم روانکاری کافی، که به عنوان نقص اصلی سوخت های با گوگرد کم شناخته می شود، دلیل سایش مکانیکی در تجهیزات تزریق سوخت است. این مشکل ذاتی فرآیند گوگرد زدایی دیزل را می توان با اضافه کردن افزودنی های بهبود دهنده روانکاری به سوخت برطرف کرد. بهبود دهنده های روانکاری معمولی شامل استرهای اسیدهای چرب از جمله (FAME)[2]، دیمرهای اسیدهای چرب غیراشباع، آمین های آلیفاتیک و اسیدهای مونو کربوکسیلیک با زنجیره بلند هستند. در تحقیقات اخیر، Knothe و Razon ادعا کردند که افزودن بیودیزل تجاری در سطوح پایین، روانکاری گازوئیل کم گوگرد را بیش از استرهای چرب تمیز بهبود می بخشد [۳۴]. استفاده از بیودیزل به عنوان یک بهبود دهنده روانکاری در مقایسه با افزودنی های مرسوم سودمند است، زیرا برخلاف آن ها، بیودیزل به طور مشخص دارای خواص سوختی مشابه با دیزل است.

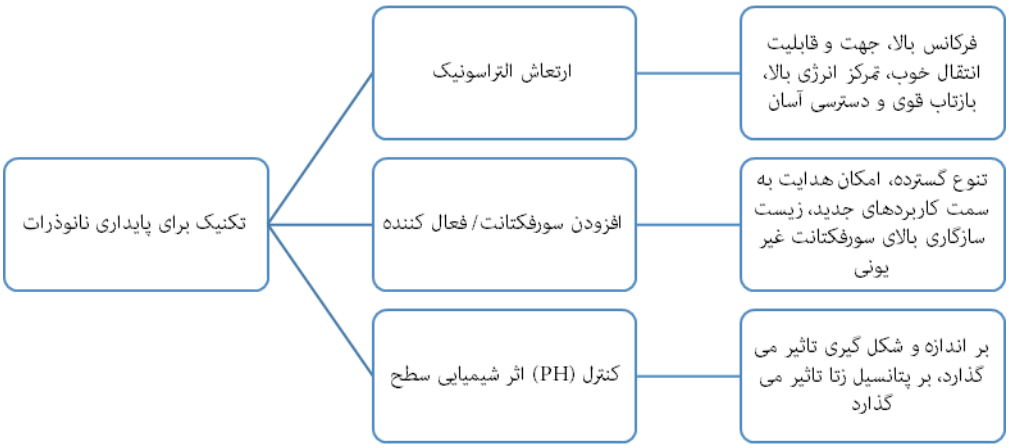
آب

در پایان قرن گذشته، افزودن آب به دیزل به عنوان روشی برای کاهش آلایندگی موتور معرفی شد. هدف اولیه از افزودن آب کاهش دمای احتراق موضعی در محفظه احتراق و در نتیجه کاهش انتشار NO_X بود. سه روش عملی برای القای آب به داخل سیلندر موتور وجود دارد که عبارتند از بخور آب[3] (WF) به منیفولد ورودی، امولسیون آب-دیزل[4] (WDE) و تزریق مستقیم آب[5] (DWI) به داخل محفظه احتراق (با استفاده از یک تزریق کننده مشترک یا جداگانه) [۳۶-۳۴].

۳-۲- جنبه‌های پایداری نانوذرات

روش غنی‌سازی سوخت با افزودن افزودنی های نانو، به طور گسترده توسط محققان زیادی پذیرفته شده است. افزودنی های نانو برای دستیابی به ویژگی های خاص سوخت و بهبود ویژگی های عملکرد موتور و = انتشار آلاینده کمتر استفاده می شوند [۳]. انتخاب مواد افزودنی برای بیودیزل به عوامل مختلفی از جمله خواص ترکیب سوخت، پایداری افزودنی، خواص ترموفیزیکی، امکان سنجی اقتصادی، حلالیت افزودنی، سمیت، گرانروی مخلوط سوخت و نقطه اشتعال مخلوط سوخت بستگی دارد[۷].

[1] Pour point
[2] Fatty acid methyl ester
[3] Water fumigation
[4] Water-diesel emulsion
[5] Direct water injection



شکل ۱. سه تکنیک اصلی برای حفظ پایداری نانوذرات.

یکی از زمینه‌های مهمی که فعالیت‌های پژوهشی در آن انجام می‌شود، جنبه‌های پایداری بلندمدت نانوذرات و تکنیک‌های ارزیابی آن است. محققان در تلاشند تا سوخت هایی بر پایه نانوذرات را تولید کنند که پایداری و ماندگاری طولانی مدت در زمان ذخیره سازی و حداقل تاثیر منفی را بر سلامتی و محیط زیست داشته باشند. همچنین از نظر فنی و اقتصادی برای استفاده در کاربردهای تجاری نیز مقرون به صرفه باشند. با این حال، مسائل دیگری در ارتباط با افزودنی‌های سوخت نانوذرات وجود دارد که عموماً باید برای استفاده بهینه از آن مورد توجه قرار گیرد، که عبارتند از: الف) چگالی انرژی بالا ب) قابلیت امتزاج/انحلال پذیری در سوخت های مایع ج) سینتیک احتراق ناهمگن د) تشکیل سوسپانسیون سوخت نانوذرات اکسید نشده و ناپایدار ه) غیرفعال سازی اکسید و) واکنش پذیری برای تسریع اشتعال ز) هزینه و مقیاس پذیری [17]. مروری بر رویکردهای اصلی افزایش پایداری نانوافزودنی‌ها در شکل ۱ به نمایش گذاشته شده است.

۳- افزودنی‌های نانو در ترکیب سوخت دیزل-بیودیزل

از مزایای اساسی افزودنی‌های سوخت می توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱) کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (۲) افزایش غلظت اکسیژن در موتور (۳) بهبود پایداری سیال در شرایط متنوع (۴) افزایش شاخص گرانروی (۵) کاهش زمان تاخیر اشتعال و نقطه اشتعال (۶) افزایش سطح واکنش-های شیمیایی به جای تماس فلز به فلز در شرایط بارگذاری بالا به منظور کاهش عوامل سایش سطوح فلزی [۷]. شکل ۲، مروری بر ویژگی‌های اصلاح شده با مصرف افزودنی های سوخت است.

شکل ۲. خصوصیات نانوذرات در موتورهای CI برای بهبود عملکرد و انتشار.

۱-۳-تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی ترکیب سوخت دیزل-بیودیزل با افزودنی های نانو

پژوهشگران زیادی خواص ترکیب سوخت با افزودنی های نانو و تأثیر آن بر خواص مختلف مانند ارزش حرارتی، نقطه اشتعال، چگالی، گرانروی، عدد ستان و غیره را مورد مطالعه قرار دادند. در واقع بهبود عملکرد موتور با بهبود خواص سوخت حاصل میشود. با این حال، تغییرات خواص فیزیکوشیمیایی یک مخلوط نانوسوخت به طور قابل توجهی به خواص فیزیکوشیمیایی بیودیزل موجود در این مخلوط وابسته است.

با توجه به نتایج مطالعات منتشر شده، به نظر می‌رسد که اثرات مشارکت نانوذرات مختلف بر سایرخواص فیزیکی مخلوطهای نانوسوخت تعمیم داده نشده است . به عنوان مثال، گنجاندن نانوذرات Al_2O_3، CNT، CeO_2، Al، Ag و گرافن در بیودیزل، موجب کاهش مقادیر نقطه اشتعال شده، در حالی که مقادیر گرانروی و چگالی را افزایش داده اند[۲۴و۳۱]. افزودن نانوذرات فلز روی باعث افزایش نقطه اشتعال، گرانروی، چگالی و ارزش حرارتی سوخت می شود. افزودن نانوذرات منگنز، منیزیم و آلومینیوم در مخلوطهای دیزل-بیودیزل مقادیر نقطه اشتعال را کاهش می دهند[۱۷]. اگرچه مطالعات دیگری تغییر قابل توجهی در گرانروی، چگالی، CFFP، و ویژگی های تقطیر نشان نداده اند [۳۶].

با توجه به نتایج تجربی، عوامل موثر دیگری نیز وجود دارد که در کاربرد نانوافزودنی‌ها باید در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، pH و پایداری حرارتی نانو دیزل تأثیر زیادی بر عدم مصرف نانوذرات در دیزل دارد و در نهایت چگالی و گرانروی را تغییر می‌دهد. علاوه بر این، محتوای آب در برخی از مخلوطهای سوخت نانو بر خواص فیزیکوشیمیایی مانند چگالی و گرانروی امولسیون‌های دیزل-بیودیزل-آب تأثیر می‌گذارد. گرانروی را می توان با افزودن سورفکتانت DDSA نیز کاهش داد. همچنین کاهش نقطه ریزش ممکن است به دلیل تاخیر در تشکیل خوشه های هیدروکربنی با افزودن نانوذرات باشد [۶]. افزودن ذرات نانو در گازوئیل و بیودیزل به طور کلی باعث بهبود عدد ستان و ارزش حرارتی می شود و محتوای گوگرد در سوخت را کاهش می دهد که کیفیت احتراق بهتر را تضمین می کند [۱۷].

۲-۳- عملکرد موتور در ترکیب سوخت دیزل-بیودیزل با افزودنی های نانو

به دلیل معایبی که بیودیزل در حالت خالص دارد، مانند پایداری اکسیداسیون کمتر، سرعت و قدرت کمتر موتور، رسوب بیش از حد کربن و تشکیل صمغ، این سوخت بصورت خالص در موتور استفاده نمی شود. پارامترهای عملکرد موتور، در یک موتور CI مانند راندمان حرارتی ترمز(BTE)[1]، مصرف سوخت ویژه ترمز(BSFC)[2] و PS، سوختن امولسیون های مختلف دیزل-بیودیزل را می توان با افزودن افزودنی های نانو افزایش داد. در زیر عناوین مرتبط بیشتر مورد بحث قرار می گیرد.

- **تاثیر افزودنی های نانو بر بازده حرارتی ترمز**

رابطه بین PS واقعی تولید شده توسط موتور و انرژی منتقل شده به موتور به عنوان BTE شناخته می شود. اثرات چندین سوخت و ترکیب سوخت بر عملکرد موتور را می توان توسط BTE بررسی کرد. افزودن نانوذرات با امولسیون‌های سوخت دیزل-بیودیزل، فرآیند احتراق سریع و جامع را به دلیل خواص انتقال جرم تابشی و گرمایی بهتر، که منجر به بهبود قابل‌توجهی در بازده احتراق می‌شود، تشویق می‌کند. با توجه به نتایج منتشر شده، توان تولید شده و راندمان حرارتی ترمز یک ترکیب نانو سوخت، مستقیم با غلظت افزودنی های نانو اعمال‌شده متناسب است و این رابطه تقریباً خطی است. در واقع، افزایش میزان توان تولیدی و بازده حرارتی ترمز به این دلیل است که نانوذرات به عنوان کاتالیست عمل می‌کنند. افزودنی نانو به عنوان حامل مولکول‌های اکسیژن عمل کرده و باعث احتراق کامل مونوکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته می‌شوند. به طور خاص، به دلیل اثر کاتالیستی اکسیدهای فلزی، بهبود احتراق، تقویت اکسیژن رسانی، ویژگی‌های تبخیر

[1] Brake thermal efficiency
[2] Brake specific fuel consumption

آسان، ویژگی‌های نسبت سطح به حجم بالا و پدیده انفجار میکرو در سوخت منجر به افزایش BTE می‌شود. نانوذرات موجود در امولسیون نسبت سطح به حجم زیادی دارند که منجر به تبخیر سریع و اتمیزه شدن بهتر می شود. ذرات آب به اختلاط بهتر اتم های سوخت با هوا و تبخیر سریع کمک می کند.علاوه بر این، نانوذره ممکن است به شکافتن اتم هیدروژن از آب کمک کند و ممکن است موجب تشدید احتراق شود [۲۴].

• تأثیر افزودنی های نانو بر مصرف سوخت ویژه ترمز

BSFC نسبت سوخت مصرف شده توسط موتور برای تولید نیروی چرخشی یا شفت با توجه به زمان است. BSFC به طور کلی با افزایش بار کاهش می یابد. بنابراین مقایسه با بار موتور یک پارامتر مهم است. ویژگی های عملکردی که بر BSFC حاکم است، گرانروی، چگالی، تزریق حجمی سوخت و ارزش حرارتی می باشد [۲]. نتایج مشاهده‌شده در مقالات نشان دهنده کاهش BSFC برای مخلوطهای سوخت غنی شده با نانوذرات در مقایسه با مخلوط سوخت بیودیزل است و این کاهش در حالی که درصد نانوذرات در یک ترکیب سوخت افزایش می‌یابد، حفظ می‌شود. این اتفاق می تواند به دلیل وجود نانوذرات در قطرات آب محصور شده موجود در سوخت امولسیون بیودیزل و بهبود خواص فیزیکوشیمیایی ترکیب سوخت و کاهش تاخیر اشتعال باشد. با توجه به افزایش نسبت سطح به حجم و کوتاه شدن ویژگی‌های تاخیر احتراق نانوذرات، سوخت کافی در محفظه احتراق جمع می‌شود تا تحت تأثیر کاتالیستی نانوذراتدر طی احتراق قرار گیرد. در واقع نانوذرات به عنوان تقویت کننده اکسیژن عمل می کنند و از این رو احتراق کامل رخ می دهد. در مورد مخلوط بیودیزل، قطرات آب در لایه روغن بیودیزل دچار تبخیر سریع می‌شوند که به دلیل تاخیر در اشتعال طولانی‌مدت، احتراق خودکار را به تاخیر می‌اندازد. این عمل منجر به سوخت بیش از حد بیودیزل در احتراق پیش مخلوط می شود که منجر به BSFC بالاتر در مقایسه با نمونه های بیودیزل مخلوط شده با نانوافزودنی می شود [۱و۴].

• تاثیر افزودنی های نانو بر قدرت ترمز

توان خالص موجود پس از کسر تلفات اصطکاکی از توان مشخص شده یا خروجی قدرت یک محور محرک موتور فاقد هرگونه تلفات قدرت ناشی از دنده، اصطکاک انتقالی و غیره به عنوان قدرت ترمز[1](BP) شناخته می شود. ثابت شده است که با افزایش بار، BP برای همه سوخت ها به تدریج افزایش خواهد یافت. محققانی مانند ندیم و همکاران [۳۷] آزمایشاتی را بر روی موتور با سرعت متغیر برای تجزیه و تحلیل اثر دور موتور بر قدرت ترمز انجام دادند. مشاهده شد که BP موتور با افزایش دور موتور تا حد سرعت معین افزایش می‌یابد که بیشتر به رتبه موتور و تعداد سیلندرها بستگی دارد.

علاوه بر آن، افزایش جزئی در BP با بیودیزل مخلوط شده با نانوذرات و ترکیبات سوخت دیزل، در مقایسه با سوخت دیزل خالص تحت شرایط عملیاتی مشابه مشاهده شده است. به گفته آن ها، افزایش جزئی در BP، ممکن است به دلیل تاخیر احتراق بهینه و افزایش دما باشد که باعث بهبود قابل توجهی در فرآیند احتراق و سرعت انتشار گرما می شود. علاوه بر این، با بهبود راندمان احتراق نانو سوخت‌ها، کاهش مصرف سوخت و سطح انتشار منجر به افزایش راندمان کلی موتورهای CI می‌شود[۱۷].

افزودن نانوذرات در ترکیب دیزل-بیودیزل منجر به افزایش BP در مقایسه با دیزل، بدون هیچ گونه افزودنی نانو تحت همه شرایط عملیاتی می شود. این افزایش به دلیل ارزش حرارتی بالا و گرانروی پایین آن است. از این رو، احتراق کارآمدتر رخ می دهد و منجر به افزایش BP میشود. این افزایش همچنین به دلیل مساحت سطح بزرگتر و سوخت کافی در محفظه احتراق که منجر به تشکیل مخلوط هوا و سوخت است مرتبط می شود. علاوه بر این، به دلیل چگالی و گرانروی بالای سوخت، نانوذرات مخلوط موجب کاهش نشت پمپ و در نتیجه کاهش BP می شوند [۱۷و۲۳].

[1] Brake power

۳-۳- ویژگی های احتراق و تبخیر موتور دیزل-بیودیزل مخلوط با افزودنی های نانو

هدف اساسی در مخلوط های دیزل-بیودیزل اصلاح شده از طریق افزودن نانوذرات، افزایش سرعت احتراق برای دستیابی به پارامترهای احتراق بهتر است. بسته به خواص حرارتی-فیزیکی نانوذرات مختلف، نقش آن ها بر ویژگی های احتراق موتور دیزل می تواند متفاوت باشد. در ادامه به آن ها پرداخته می شود.

• تأثیر افزودنی های نانو بر سرعت انتشار گرما

گرمای آزاد شده از احتراق ، فشار و دمای داخل سیلندر را بسیار تحت تاثیر قرار می دهد. این پدیده به عنوان معیار تعیین کننده مصرف سوخت، راندمان موتور، PS و آلایندگی موتور در نظر گرفته می شود. سرعت آزادسازی حرارت ترکیبات نانوسوخت با درصد بالاتر نانوذرات به دلیل داشتن ارزش حرارتی بالاتر در مقایسه با مخلوطهای بدون نانوذره یا مواد کم‌محتوا، افزایش می‌یابد. این سهم عمده بدلیل حضور نانوذرات است که سرعت احتراق را افزایش می‌دهند. با احتراق کامل در نتیجه گرمای بیشتری نیز تولید می شود[۱و۲۳].

• تاثیر افزودنی های نانو بر دوره تاخیر اشتعال

بازه زمانی بین شروع پاشش سوخت تا شروع احتراق در داخل محفظه احتراق به عنوان تاخیر احتراق شناخته می شود و با نمودار زاویه میل لنگ - فشار مشخص می شود. تاخیر احتراق(ID) بعنوان یکی از مشخصه های مهم احتراق در تعیین راندمان موتور، انتشار گازهای گلخانه ای و نرمی کارکرد موتور است [۳۳]. دوره تأخیر جرقه زنی در موتور دیزل تاثیر بسزایی بر طراحی و عملکرد موتور دارد و می تواند به دو بخش تأخیر فیزیکی و تأخیر شیمیایی تقسیم می شود [۳۲]. این تأخیر عمدتاً به خواص سوخت و شرایط عملکرد موتور در ارتباط با ویژگی‌های سیستم تزریق سوخت بستگی دارد [۴]. علاوه بر این، تحت تأثیر فرآیندهای فیزیکی (مانند گرانروی، سرعت شکست قطرات سوخت، سرعت تبخیر، پاشش سوخت و اختلاط هوا-سوخت) و فرآیندهای شیمیایی است [۹و۳۴]. در واقع داشتن ID بالا در سوخت بیودیزل به گرانروی و وزن مولکولی بالاتر نسبت داده می شود که منجر به افزایش اندازه قطرات سوخت و زمان تبخیر می شود.

بسیاری از محققان در مطالعات خود مشاهده کردند موتورهایی که با افزودنی های نانو مخلوط با سوخت کار می کنند، در مقایسه با دیزل خالص که تا حد زیادی مسئول افزایش راندمان احتراق است، ID کوتاهی دارند. همچنین لازم به ذکر است که تاخیر احتراق در بار کمتر به دلیل گرانروی بیشتر در ترکیب سوخت بیشتر است. اما وجود نانوذرات باعث افزایش اختلاط سوخت هوا در بار کمتر می شود. ولی در بار بیشتر، ID به دلیل افزایش دمای داخل محفظه احتراق کاهش می یابد [۱۷]. دلیل ID کوتاهتر به نسبت سطح به حجم و هدایت حرارتی بالاتر نانوذرات نسبت داده می شود که باعث افزایش سرعت تبخیر و در نتیجه کاهش تأخیر فیزیکی می شود [۴و۳۰].

• تاثیر افزودنی های نانو بر فشار سیلندر

فرایندهای مؤثر بر احتراق یک موتور دیزل پدیده‌ها مکانیسم‌های پیچیده‌ای برای شناسایی هستند و اساساً به نوع سوخت، زمان تزریق سوخت، نسبت تراکم، بار موتور، دما و ورودی فشار بستگی دارند. فشار سیلندر تابعی از زاویه میل لنگ در پایان حرکت فشاری و در سراسر قسمت اولیه حرکت انبساط است.

در مطالعات مختلف نشان داده شده است که افزودن نانوافزودنی ها به یک مخلوط، افزایش قابل توجهی در فشار سیلندر را تعیین می کند [۲۳]. دیدگاه این است که افزایش فشار سیلندر را می توان به قرار گرفتن در معرض بیشتر مساحت سطح نانوذرات و محتوای غنی اکسیژن ذاتی بیودیزل نسبت داد. علاوه بر این، افزایش فعالیت کاتالیستی نانوذرات منجر به ID کوتاه‌تر با شروع زودهنگام فرآیند احتراق در حضور نانوذرات در ترکیب سوخت دیزل-بیودیزل می‌شود و در نهایت می‌تواند دلیل مهمی برای فشار بالای سیلندر باشد. همچنین مطالعات تجزیه و تحلیل اثر تغییر در سطح غلظت نانوذرات در مخلوط سوخت بیودیزل - دیزل بر فشار سیلندر گزارش کرده اند هرچه مقدار

[1] Ignition-delay

نانوذرات در سوخت دیزل-بیودیزل بیشتر باشد، فشار سیلندر بالاتر خواهد بود [۳۸].

۳-۴- ویژگی های انتشار موتور سوخت دیزل-بیودیزل با افزودنی های نانو

موتور دیزل منجر به انتشار آلودگی‌های گازی متنوعی می‌شود که از عوامل اصلی تغییرات محیط زیست مانند تغییرات آب و هوا و گرم شدن کره زمین هستند. آلاینده های مربوط به احتراق دارای قطر متوسط بسیار کمی هستند که گاهی اوقات کمتر از ۲/۵ میکرون و حاوی ترکیب پیچیده ای از روغن موتور، سولفات ها و مواد معدنی هستند[۳۹]. اساساً آلاینده‌های موتور به دو دسته مختلف تقسیم می‌شوند. دسته اول به دلیل دمای بالای محفظه احتراق تولید می شوند مانند NO_x. در مقابل، دسته دوم آلاینده‌های ناشی از احتراق ناقص سوخت هستند که به دلیل دمای پایین‌تر احتراق تولید می شوند، یعنی HC و CO_2 و CO. دوده از احتراق ناقص سوخت تولید و در گازهای خروجی به رنگ تیره مشاهده می‌شود. به طور خلاصه، کنترل همزمان آلاینده ها با استفاده از یک رویکرد ساده ممکن است کافی نباشد زیرا آلاینده های مختلف در شرایط مختلف تشکیل می شوند [۲۵].

موتور دیزل مقدار بسیار کمی HC و CO در مقایسه با موتورهای بنزینی تولید می کند، اما انتشار ذرات معلق[1] (PM) و دوده در این نوع موتور بیشتر است. بیودیزل با انتشار کمتر CO_2، HC و PM همراه است. با این حال، انتشار NO_x بالاتری نسبت به دیزل دارد. با اینکه پیشرفت‌ها در طراحی موتورهای دیزلی و شرایط احتراق باعث کاهش قابل توجهی در انتشار NO_x و PM شده است، اما این دستاوردها برای برآورده کردن استانداردهای جدید بدون اقدامات کنترلی تکمیلی کافی نبوده است [۲۵].

دو روش برای کاهش انتشار گازهای خروجی موتور CI وجود دارد. روش اول، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای با استفاده از دستگاه های تصفیه گازهای خروجی مانند مبدل های کاتالیستی و همچنین، فیلترهاست. با این حال، استفاده از این دستگاه ها بر عملکرد موتور CI تأثیر منفی می گذارد. روش دوم برای کاهش آلاینده ها و بهبود عملکرد موتور CI، استفاده از افزودنی های سوخت است [۴۰]. بسیاری از محققین بهبود عملکرد و کاهش ویژگی های انتشار آلاینده را با افزایش نانوذرات در دیزل و بیودیزل گزارش کرده اند. در بخش های بعدی انتشار آلاینده های مختلف و اثرات مواد افزودنی در کنترل آن ها هنگام احتراق دیزل/بیودیزل در موتور، مورد بحث قرار خواهد گرفت.

- **تأثیر افزودنی های نانو بر انتشار ذرات معلق**

معین شده است که PM یکی از بزرگترین تهدیدات برای سلامت انسان است. علاوه بر این، ذرات معلق به دلیل ویژگی های نوری، فیزیکی، شیمیایی و سم شناسی خود، بر محیط زیست نیز تأثیر نامطلوبی دارند. گنجاندن بیودیزل در دیزل می تواند انتشار PM را کاهش دهد. اکثر تحقیقات به اتفاق آرا استدلال کرده‌اند که کاهش قابل‌توجهی در انتشار ذرات معلق تا ۵۰% با استفاده از بیودیزل خالص و به میزان کمتر با استفاده از مخلوطهای آن قابل دستیابی است. این نتایج را می توان با اثر مطلوب بیودیزل در کاهش احتمال تشکیل منطقه سوخت غنی و همچنین محتوای اکسیژن بالاتر و محتوای کمتر ترکیبات آروماتیک و گوگردی توضیح داد [۱۱]. با این حال، مشاهده شده است که شرایط کار موتور مانند بار، سرعت، گردش مجدد گاز خروجی(EGR) و زمان تزریق بر انتشار PM یک سوخت بیودیزل-دیزل تأثیر دارد.

در مورد اثر افزودنی های نانو بر انتشار ذرات معلق، برخی از مطالعات اثر افزودنی ها، مانند افزودنی های اکسیژن دار (عمدتاً الکل ها)، افزودنی های مبتنی بر فلز، آنتی اکسیدان ها، بهبود دهنده های عدد ستان و بهبود دهنده های جریان سرد را بر انتشار موتورهای دیزل بررسی کردند. افزودنی های اکسیژن دار در ترکیب سوخت بیودیزل/دیزل اثرات مثبت قابل توجهی بر تشکیل دوده با افزایش غلظت اکسیژن در مناطق غنی از سوخت در محفظه احتراق نشان داده اند. به عنوان مثال، افزودن اتانول، متانول، بوتانول و n-بوتانول

[1] Particulate matter

[2] Exhaust gas recirculation

به بیودیزل باعث کاهش انتشار PM با افزایش بیشتر محتوای اکسیژن و گرمای تبخیر، کاهش چگالی و گرانروی و بهبود خواص کلی شده است [۱۵]. اثرات آنتی اکسیدان های مختلف مانند NPPD، DPPD، که عمدتاً به عنوان تثبیت کننده اکسیداتیو مخلوط سوخت استفاده می شود، بر انتشار دود منجر به کاهش میانگین شدت دود به دلیل جلوگیری از تشکیل مناطق غنی از سوخت می شود. به عبارت دیگر، این افزودنی ها با هدایت نسبت‌های مناسب‌تر سوخت به هوا، بهبود پخش آن ها و افزایش راندمان احتراق، به بهسوزی موتور و کاهش دوده کمک می کنند [۴۱و۴۲]. افزودنی های بهبود دهنده جریان سرد، مانند ۱،۴-دیوکسان نیز به دلیل کاهش گرانروی مخلوط سوخت، فرآیند احتراق را بهبود می بخشند و انتشار دود را کاهش می دهند [۴۳]. در تحقیقات اخیر در مورد اثرات افزودنی های مبتنی بر فلز بر ویژگی های احتراق بیودیزل، این بحث مطرح شده است که کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، به تبخیر بهتر ذرات سوخت و در نتیجه کوتاه شدن ID نسبت داده می شود [۴۴]. لازم به ذکر است که از نظر فنی تأخیرهای جرقه زنی کوتاهتر، باعث تجمع کمتر سوخت و احتراق کاملتر همراه با انتشار دود کمتر می شود.

• تأثیر افزودنی های نانو بر انتشار اکسید نیتروژن

NO_x (اکسیدهای نیتروژن) یکی از نگران کننده ترین گازهای خروجی اگزوز از موتورهای CI است. NO_x از ۹۰٪ اکسید نیتریک (NO)، ۵٪ دی اکسید نیتروژن (NO_2) و ۵٪ سایر اکسیدهای نیتروژن (N_2O، N_2O_3 و N_2O_5) تشکیل شده است. بخش کوچکی از انتشار NO_x، گاز NO_2 است که سمی تر از NO می باشد و اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان و محیط زیست دارد [۴۵و۱۰]. انتشار NO_x ناشی از احتراق به فشار سیلندر، دمای احتراق، نسبت هوا به سوخت، مدت زمان احتراق، رطوبت و محتوای اکسیژن سوخت بستگی دارد. تشکیل NO_x با دمای احتراق بالاتر، اکسیژن بیشتر در مخلوط و رطوبت کمتر هوا افزایش می‌یابد[۱۵]. ۸۰٪ از مقالات ارائه شده ادعا می کنند که استفاده از بیودیزل باعث افزایش انتشار NO_x می شود، در حالی که کمتر از ۱۴٪ مطالعات کاهش انتشار NO_x را در پاسخ به استفاده از بیودیزل در ترکیبات سوخت گزارش کرده اند [۴۶].

با توجه به تأثیر افزودنی های نانو بر انتشار NO_x، تعدادی از ترکیبات مختلف از افزودنی های اکسیژن دار مثل الکل ها (متانول و اتانول)، تا بهبود دهنده های عدد ستان در بیودیزل با هدف کاهش انتشار NO_x استفاده شده اند. هنگامی که در ترکیب سوخت بیودیزل/دیزل گنجانده می شود، افزودنی های بهبود دهنده عدد ستان مانند اتیل هگزیل نیترات، گزارش شده است که اثرات کاهش قابل توجهی بر انتشار NO_x در سوخت دیزل-بیودیزل به دلیل کاهش گرانروی و چگالی سوخت نشان داده است [۲۳]. آنتی اکسیدان ها دسته دیگری از افزودنی ها هستند که برای کاهش انتشار NO_x استفاده می شوند. این ذرات می توانند اثرات مثبتی با کاهش انتشار NO_x از طریق جلوگیری از تشکیل رادیکال های آزاد در طول فرآیند ذخیره سازی سوخت و احتراق داشته باشند. گنجاندن آنتی اکسیدان ها در سوخت های تجزیه پذیر مانند بیودیزل، از تشکیل رادیکال های آزاد جلوگیری می کند.

این رادیکال‌ها (به عنوان مثال، هیدروپروکسیل (OOH)، هیدروکسیل (HO)، آلکوکسیل (RO) و پراکسید (ROO))، چه در حین ذخیره‌سازی سوخت یا در حین احتراق تولید شوند، می‌توانند با N_2 و N_2O واکنش دهند و منجر به تشکیل NO_x شوند. از سوی دیگر، کاهش میزان رادیکال در مخلوط سوخت، منجر به کاهش اکسیداسیون CO و HC در محفظه احتراق می شود که باعث کاهش دمای داخل سیلندر و در نتیجه انتشار کمتر NO_x می شود [۴۷]. افزودنی‌های اکسیژن‌دار همچنین می‌توانند به طور مؤثر در کاهش انتشار NO_x استفاده شوند، به این صورت که احتراق پیش‌آمیخته را کاهش و گرمای نهان تبخیر مخلوط سوخت را افزایش می‌دهند و در نتیجه دمای داخل سیلندر کاهش می‌یابد [۴۸]. نانوکاتالیست های مبتنی بر فلز، به عنوان افزودنی برای کاهش انتشار NO_x نیز استفاده شده اند. این افزودنی ها می توانند اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون رسوبات کربن را فراهم کنند. علاوه بر این، می توانند اکسیژن اضافی

موجود در محفظه احتراق را جذب کنند و در نتیجه تولید NO_x را کاهش دهند [۳۰].

• تأثیر افزودنی های نانو بر انتشار مونوکسید کربن

در مورد انتشار CO، تقریباً تمام تحقیقات روند کاهشی انتشار CO را با افزودن بیودیزل در دیزل به دلیل محتوی اکسیژن بیشتر ، نسبت کربن به هیدروژن پایین و احتراق کامل حاصل از آن، گزارش کرده‌اند. در مورد تأثیر افزودنی های نانو بر انتشار CO، مطالعات مختلفی انجام شده است. به طور خلاصه، هر چه مقدار اکسیژن و عدد ستان بیشتر باشد، CO کمتری منتشر می شود. برعکس، دمای بالا در موتور، کمبود اکسیژن، و زمان ماندن برای اکسیداسیون، منجر به احتراق ناقص سوخت و انتشار بیشتر CO می شود. در واقع، CO در اثر کمبود هوا در احتراق و دمای پایین شعله تشکیل می شود. انتشار CO با بار و همچنین در نتیجه افزایش دما در محفظه احتراق، نسبت هوا به سوخت، کمبود اکسیژن در سرعت بالا و کمبود زمان برای احتراق افزایش می یابد. برخی از مقالات کاهش تولید CO با افزودن نانوذرات در سوخت را بررسی کرده‌اند. بهبود دهنده های جریان سرد به طور کلی فرآیند احتراق را افزایش می دهند که منجر به کاهش انتشار CO می شود. با توجه به مطالعات، بهبود دهنده های جریان سرد مانند ۱،۴-دی اکسان گزارش شده است که فرآیند احتراق را بهبود می بخشند و در نتیجه، انتشار CO را کاهش می دهد. علاوه بر این، افزودن افزودنی های اکسیژن دار مانند الکل ها به بیودیزل نشان داده شده است که اثرات مطلوبی بر کاهش انتشار CO دارد. با توجه به نتایج تحقیقات قبلی چنین افزودنی هایی بر نسبت هوا به سوخت تأثیر می گذارند. غلظت بالاتر اکسیژن سوخت منجر به اکسیداسیون کارآمدتر CO، حتی در مناطق غنی از سوخت می شود [۴۸و۴۹].

از سوی دیگر بر اساس تحقیقات متعدد، افزودنی‌های آنتی‌اکسیدان، انتشار CO از بیودیزل را افزایش می‌دهند [۴۹]. مشاهده شده است که افزودن آنتی اکسیدان های مختلف، به عنوان مثال BHT، EHN[1] و BHA باعث افزایش انتشار CO در مقایسه با همتای بدون آنتی اکسیدان آن ها می شود. محققان افزایش انتشار CO را به احتراق ناقص، ناشی از تاثیر آشکار آنتی اکسیدان ها بر کاهش محتوای رادیکال OH نسبت دادند. کاهش محتوای رادیکال مخلوط سوخت، به نوبه خود منجر به کاهش اکسیداسیون CO در محفظه احتراق شد. به عبارتی آنتی اکسیدان مانع از تبدیل CO به CO_2 می‌شود [۴۹].

بهبود دهنده های عدد ستان به طور کلی انتشار CO را از طریق کاهش زمان اختلاط افزایش می دهند. مشاهده شده است که افزودن بهبود دهنده های عدد ستان مانند EHN منجر به افزایش انتشار CO می شود [۷و۵۰]. بهبود دهنده های عدد ستان، نسبت انتشار احتراق را افزایش می دهند که با افزایش انتشار CO_2 همراه است. به گفته امدادول و همکاران [۵۱] افزایش انتشار CO در مخلوط ها ممکن است به کاهش قابلیت اکسیداسیون CO به دلیل حضور پراکسید نسبت داده شود. علاوه بر این، افزودن EHN احتراق را در مناطق غنی از سوخت-هوا افزایش می دهد و از قابلیت اکسیداسیون CO جلوگیری می کند که در نتیجه، CO پس از افزودن بهبود دهنده عدد ستان افزایش می یابد.

نشان داده شده است که استفاده از افزودنی های مبتنی بر فلز در بیودیزل منجر به کاهش انتشار CO می شود. عملکرد کاتالیستی افزودنی های مبتنی بر فلز در کاهش ID و بهبود احتراق کامل مؤثر هستند [۲۳]. گانش و همکاران [۲۸]به این نتیجه رسیدند که مکانیسم اکسیداسیون CO به دو گونه اکسیژن موجود در سطح اکسیدهای فلزی بستگی دارد؛اکسیژن فعال (به عنوان مثال CoO_x) و اکسیژن شبکه (مانند Co_3O_4). شایان ذکر است که عملیات حرارتی می تواند به وضوح بر تحرک مولکول های اکسیژن فعال تأثیر بگذارد. به عبارت بهتر هر چه دما بالاتر باشد، مولکول‌های اکسیژن فعال تحرک بیشتری پیدا می‌کنند که منجر به اکسیداسیون آسان‌تر CO می‌شود. آن ها استدلال

[1] 2-ethylhexyl nitrate(EHN)

می‌کنند که اکسیژن شبکه روی Co_3O_4 فعال‌تر از اکسیژن فعال است و یک ماده میانی مثلً ترکیب دوتایی تشکیل می‌دهد. کربنات، می تواند CO را برای تولید CO_2 از طریق مکانیسم کاتالیستی اکسید کند.

• تاثیر افزودنی های نانو بر انتشار هیدروکربن

هیدروکربن نسوخته (HC) تحت تابش نور خورشید به مه دود فتوشیمیایی تبدیل می شود و به عنوان یک خطر جدی برای سیستم تنفسی انسان عمل می کند. دو دلیل اصلی برای انتشار HC در موتورهای دیزلی وجود دارد: الف) تأخیر در فرآیند احتراق ب) اختلاط ضعیف سوخت. این یک دیدگاه غالب است که انتشار HC به طور متناسب در نتیجه گنجاندن بیودیزل در دیزل کاهش می یابد [۴۳].

در مورد تأثیر افزودنی های نانو بر انتشار HC، مطالعات مختلفی انجام شده است. اثر افزودنی بهبود جریان سرد (به عنوان مثال پلی متیل آکریلات) بر انتشار HC از مخلوط های بیودیزل مثبت است و به افزایش محتوای اکسیژن و عدد ستان سوخت حاوی افزودنی نسبت داده می شود که منجر به احتراق کامل تر می شود. علاوه بر این، با بررسی تغییرات در انتشار HC در پاسخ به افزودن افزودنی های بهبود دهنده روانکاری، مشخص شد که این افزودنی می تواند به شدت انتشار HC را از طریق تحریک سوختن کامل تر سوخت مخلوط که با پارامترهای احتراق مانند سرعت انتشار حرارت خالص و نسبت جرمی سوختن اندازه گیری می شود، کاهش دهد [۷].

افزودنی های مبتنی بر فلز برای بهبود انتشار هیدروکربن استفاده می شوند. مواد افزودنی به دلیل عملکرد بافر اکسیژن و/یا آزادسازی اکسیژن، با تبدیل از حالت استوکیومتری به حالت والانس منجر به کاهش انتشار هیدروکربن می‌شوند و اکسیژن کافی را در بارهای بالاتر فراهم می‌کنند که منجر به فرآیند احتراق بهتر در چنین شرایطی می‌شود و بنابراین موجب کاهش انتشار HC می شوند [۳۰].

در مورد تأثیرات بهبود یا تخریب افزودنی‌های اکسیژن‌دار مانند الکل‌ها بر انتشار HC از مخلوطهای بیودیزل، توجیه‌های مختلفی توسط محققان مختلف ارائه شده است. افزودن الکل به مخلوط های بیودیزل به بهبود اثرات اختلاط کمک می کند. آن ها همچنین می توانند محتوای اکسیژن ترکیبات سوخت را افزایش دهند که منجر به احتراق بهتر و در نتیجه کاهش انتشار HC می شود، در حالی که از طرف دیگر، گرمای نهان بالای تبخیر آن ها و اثر خنک کنندگی متعاقب آن در محفظه احتراق می تواند منجر به افزایش انتشار HC شود. به گفته ایمدادل و همکاران [۴۸] گنجاندن ۱۵ و ۲۰ درصد بوتانول و پنتانول در مخلوطهای بیودیزل منجر به کاهش انتشار HC در مقایسه با مخلوطهای بدون الکل شد. افزایش محتوای اکسیژن در مخلوط سوخت به عنوان دلیل اصلی کاهش انتشار HC معرفی شد.

• تاثیر افزودنی های نانو بر انتشار دی اکسید کربن

اگر چه انتشار CO_2 توسط موتورهای احتراق داخلی به معنای یک فرآیند احتراق کامل است و نمی توان آن را به عنوان آلودگی تلقی کرد، اما CO_2 به عنوان یکی از مهم ترین گازهای گلخانه‌ای و عامل اصلی گرمایش جهانی و پدیده های تغییر اقلیم در نظر گرفته می شود. عوامل زیادی در احتراق کامل و در نتیجه تشکیل دی اکسید کربن نقش دارند، از جمله ترکیب و خواص سوخت (به عنوان مثال، گرانروی و چگالی)، طراحی موتور، نسبت هوا به سوخت، شروع و فشار تزریق، سرعت موتور و غیره. از آنجایی که انتشار CO_2 به یک فرآیند احتراق کامل نسبت داده می‌شود، برای از بین بردن خطرات مرتبط، تا زمانی که سوخت‌های مبتنی بر هیدروکربن به‌ویژه سوخت‌های فسیلی در حال استفاده هستند، کار چندانی نمی‌توان انجام داد. با این وجود، گزارش شده است که جایگزین‌های تجدیدپذیر مانند بیودیزل منجر به کاهش سطح انتشار CO_2 در مقایسه با همتای فسیلی خود می‌شوند. این را می توان به سادگی به نسبت کربن به هیدروژن کمتر و محتوای بالاتر اکسیژن این سوخت ها نسبت داد [۱۲و۱۳].

با توجه به تأثیر افزودنی های نانو بر انتشار CO_2، اکثر مطالعات بر روی کاربرد افزودنی‌های مختلف سوخت در ترکیبات دیزل-بیودیزل بر کاهش انتشار CO متمرکز شده‌اند. ساده سازی بیش از حد در انتشار CO_2 احتمالاً نتیجه این باور عمومی است که روند انتشار CO_2 برعکس روند انتشار CO است.

افزودن نانوذرات مختلف در یک ترکیب دیزل-بیودیزل، به دلیل افزایش فعالیت کاتالیستی آن ها، منجر به فرآیند اکسیداسیون هیدروکربنی کارآمدتر می شود و در نتیجه فرآیند اکسیداسیون هیدروکربن ها منجر به انتشار CO_2 بیشتر در مقایسه با سوخت های کنترل می شود. افزودنی های اکسیژن دار به دلیل گرانروی و چگالی پایین تر، تبخیر ترکیب سوخت را بهبود می بخشد و احتراق کامل تر آن را تسهیل می کند [۵۲و۴۸].

۴-- مروری بر مزایا و معایب انواع افزودنی های سوخت

افزودنی‌های نانوذرات خصوصیات متنوع سوخت را بهبود می بخشند. این افرودنی ها می‌توانند گرانروی، نقطه اشتعال، دمای احتراق، تأخیر اشتعال، پایداری، رشد کریستال، نقطه ریزش، روان‌کنندگی و عدد ستان بیودیزل را بهبود بخشند و منجر به بهبود عملکرد و ویژگی‌های انتشار می‌شود. با این حال، استفاده از مواد افزودنی می تواند منجر به اثرات نامطلوب بر انتشار نیز شود. به عنوان مثال، افزودنی های بهبود دهنده عدد ستان می توانند انتشار PM و NO_x را افزایش دهند. بنابراین، به منظور دستیابی به جمع بندی بهتر در راستای استفاده از نانوافزودنی های سوخت، باید در طول هر بررسی، خصوصیات قابل توجه نانوذرات مختلف را به خوبی در نظر گرفت. به منظور تسهیل ایجاد یک تصویر جامع در این خصوص، مزایا و معایب هر نوع افزودنی نانو در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. انواع افزودنی های نانو در ترکیب سوخت دیزل-بیودیزل [۵۳].

	افزودنی های بهبود دهنده روانکاری	افزودنی های بهبود دهنده جریان سرد	افزودنی های بهبود دهنده عدد ستان	افزودنی های آنتی اکسیدانی	افزودنی‌های اکسیژن‌دار	افزودنی‌های مبتنی بر فلز
معیارهای تحت تاثیر	تشکیل یک فیلم محافظ روی سطوح فلزی متحرک و یک دم هیدروکربنی برای کمک به حلالیت سوخت. •در بازگرداندن روانکاری از دست رفته در فرآیندهای شدید پالایشگاهی مؤثر است و در نتیجه، امکان عملکرد عادی موتور، قابلیت اطمینان و عمر مفید را فراهم می کند. •کاهش انتشار CO و NO_x به دلیل اشتعال به موقع و سوختن کامل در محفظه احتراق. •برخی از افزودنی های بهبود دهنده روانکاری دارای نقطه ابری نسبتاً بالایی هستند که منجر به رسوب در دمای معمولی محیط در زمستان می شوند. بنابراین ممکن است نیاز به رقیق سازی یا ذخیره سازی گرم شود. •برخی از افزودنی های بهبود دهنده روانکاری، پس از نگهداری طولانی مدت در دمای پایین محیط، تنها حلالیت محدودی در سوخت دارند.	•جلوگیری از رشد کریستال •جلوگیری از گرمایش مخزن و خط سوخت. •بهبود دمای احتراق، منجر به کاهش انتشارHC ، CO، NO_x و دود می شود. •کاهش دمای نقطه ریزش در مخلوط های بیودیزل. •رسوب کریستال های پارافین اصلاح شده، مقدار چگالی بالاتری را در پی دارد.	•تسریع احتراق در محفظه احتراق که منجر به کاهش زمان تاخیر جرقه زنی و در نتیجه کاهش تشکیل NO_x می شود. •پایداری بیشتر موتور، راندمان احتراق بهتر و انتشار کمتر گازهای گلخانه ای. •شروع سرد کارآمدتر علاوه بر صدای احتراق کمتر و عمر طولانی موتور. •بهبود گرانروی سوخت. •ارائه افزایش مقرون به صرفه در کیفیت بیودیزل ستان. •افزایش احتراق انتشار در مناطق غنی از سوخت-هوا که منجر به افزایش انتشار COمی شود. •کاهش اثر خنک کننده در داخل سیلندر که منجر به افزایش انتشار HC می شود.	•مهار اکسیداسیون مولکول های دیگر. •حفظ کیفیت بیودیزل در طول ذخیره سازی طولانی مدت. •سرکوب تشکیل رادیکال های آزاد پراکسید از طریق واکنش با آمین های معطر که می توانند به طور موثر انتشار NO_x را کنترل کنند. •افزایش پایداری بیودیزل بدون ایجاد هیچ گونه اثر منفی قابل توجهی بر خواص فیزیکوشیمیایی آن. •افزایش عدد ستان، افزایش راندمان احتراق و در نتیجه کاهش انتشار ذرات معلق. •چگالی بیشتر و گرانروی سینماتیکی و در نتیجه تزریق جرم بیشتری از سوخت به موتور برای همان حجم سوخت. •افزایش نقطه اشتعال. •افزایش انتشار CO به دلیل رادیکال های OH بازدارنده اکسیداسیون. •افزایش ناچیز در انتشار HCبه دلیل کاهش تشکیل رادیکال های آزاد اکسیداتیو. •کاهش ارزش حرارتی.	•یک راه حل کارآمد برای غلبه بر پدیده احتراق ناقص و کاهش انتشار موتورهای دیزل به ویژه انتشارPM . •تاخیرهای جرقه زنی کوتاهتر. •بهبود گرانروی سوخت. •راندمان حرارتی ترمز بالاتر. •سرطان زایی برخی از افزودنی های اکسیژن دار مانند بوتیل اتر سوم. •کاهش ارزش کالری. •کاهش دمای اشتعال. •کاهش دمای سیلندر که می تواند انتشار CO و HC و همچنین کدورت دود را کاهش دهد، اما به طور بالقوه منجر به کاهش سرعت واکنش اکسیداسیون بیودیزل در محفظه و متعاقبا، کاهش راندمان احتراق می شود. •پایداری کمتر ترکیب, و نیاز به استفاده از امولسیفایرها/سورفکتانت ها. •افزایش انتشار CO_2 با بهبود سرعت تبخیر سوخت.	•فعالیت کاتالیستی در فرآیند احتراق. •کاهش دمای اکسیداسیون و کاهش انتشار PM. •کاهش تشکیل ذرات در سیلندرها و سیستم های اگزوز. •احتراق کاملتر و کارآمدتر در موتورهای دیزلی منجر به افزایش قدرت، بهبود مصرف سوخت و کاهش انتشار آلاینده ها. •کاهش نقطه ریزش و نقطه ابری شدن و در نتیجه بهبود مصرف سوخت در شرایط آب و هوایی سرد. •کاهش گرانروی و نقطه اشتعال. •کاهش دمای اشتعال در حین احتراق. •کاهش انرژی اکسیداسیون. •دوره تاخیر جرقه زنی کوتاهتر و میزان انتشار حرارت بالاتر. •کاهش انتشار NO_x با افزایش عدد ستان.

فصلنامه
انجمن ISC
نانو فناوری
ایران

دنیای

اگرچه استفاده از افزودنی های نانو در ترکیبات دیزل-بیودیزل با یک پتانسیل گسترده در موتور CI در این مقاله معرفی شدند، اما توسعه و تجاری‌سازی نانوذرات به دلیل داشتن نگرانی‌های کلی و نتایج تا حدودی نامشخص و متناقض در مقالات، مانع از توسعه و تجاری‌سازی نانوذرات می‌شود. عدم درک نظری مکانیسم ها نیاز به تلاش جدی برای توصیف تأثیر کلی نانوذرات در صنعت سوخت زیستی را برجسته می کند. در ادامه به برخی از این نگرانی ها پرداخته می شود.

• ناپایداری نانوذرات و اثرات آن بر اجزای موتور

در راستای ناپایداری نانوذرات ، برخی از مسائل رایج مانند ژله ای شدن، انعقاد، لخته‌سازی، ادغام و مهمتر از آن جداسازی فاز، پتانسیل افزودن نانوذرات در دیزل/الکل یا بیودیزل را محدود می‌کند.

میل ترکیبی نانوذرات با سوخت می تواند نقش حیاتی در تخمین پایداری مخلوط ها داشته باشد. تجمع نانوذرات به ذرات بزرگتر، مزیت مساحت سطح بالا را محدود می کند. برای جلوگیری از این تمایل، مواد افزودنی پراکندگی ذرات به طور منظم به سیال پایه اضافه می شود که ممکن است سطوح نامطلوبی از ناخالصی ها را ایجاد کند. سدیم دودسیل سولفات، سوربیتان اولیات، ستیل تری متیل آمونیوم بروماید و اسید اولئیک سورفکتانت های کمتری هستند که به طور گسترده برای بهبود پراکندگی نانوذرات در سوخت زیستی استفاده شده اند [۲].

•اثر افزودن نانوذرات بر انتشار گازهای خروجی اگزوز

مطالعات متعددی به بررسی اثرات افزودنی های نانو و ترکیبات سوخت بر ویژگی های مختلف پرداخته است. با این حال، یک سوال اساسی در مورد گنجاندن افزودنی های نانو در سوخت مطرح می‌شود که به خوبی مورد توجه قرار نگرفته است: «چه اتفاقی برای نانوذرات در طول انتشار اگزوز موتور می‌افتد؟» در واقع، مقالات بسیار کمی در مورد ردپای افزودنی های نانو در انتشار گازهای خروجی موتور موجود است. افزودنی های نانو بستری را برای بهبود خواص سوخت ایجاد کرده‌اند، اما اگر توسط گازهای خروجی منتقل شوند، ممکن است نگرانی‌های زیست‌محیطی ایجاد کنند. اندازه ذرات فلزی، مورفولوژی و ضخامت لایه اکسیدی، پارامترهای کنترل کننده کلیدی هستند که عواقب نهایی این انتشار آلاینده تازه پدید آمده را تعیین می کنند [۱۸].

نانوذرات پس از احتراق ترکیب خود را تغییر می دهند، اگرچه که باقیمانده آن ها به صورت ذرات منفرد در هوا منتشر می شوند [۵۴و۵۵]. هنگامی که از مواد مغناطیسی مانند افزودنی های نانو مبتنی بر فلزات خطرناک استفاده می شود، کنترل اگزوز اهمیت بیشتری دارد و باید از فرار آن ها به اتمسفر جلوگیری کرد.

•خوردگی نانو ذرات در موتور و قطعات موتور

خوردگی، ناشی از عمل شیمیایی دیزل و مواد افزودنی بر سطوح داخلی موتور و تجهیزات آن است. خوردگی، موتور را از بین می برد زیرا محصولات اسیدی در روغن جمع می شوند. در طی احتراق، گوگرد موجود در سوخت و مواد افزودنی آن ، اکسیدهای گوگرد را تشکیل می‌دهند که سپس با رطوبت هوا و سوخت ترکیب می‌شوند و اسیدهای سولفوریک و گوگردی تولید می‌کنند. تشکیل ترکیب اسیدی یعنی گوگرد و آسفالتین در طی فرآیند احتراق، نیازمند زمان، انرژی و دماهای بالاتر برای احتراق است.

تعیین حد دوز افزودنی مبتنی بر فلز برای تست خوردگی نوار مسی می تواند خوردگی قطعات موتور را زیر حد آستانه کاهش دهد [۵۶]. در مقابل، افزودنی های ضد خوردگی در افزایش عملکرد موتور مؤثرتر هستند و به عنوان مهار کننده خوردگی عمل می کنند. آن ها از حمله شیمیایی به سطح فلز جلوگیری می کنند. این گروه از افزودنی ها آب را دفع می کنند و محصولات جانبی واکنش اسیدی ناشی از خوردگی تشکیل شده در سطح روان کننده را خنثی می کنند. برخی از بازدارنده های خوردگی هگزامین، فنیلن دی آمین و دی متیل اتانول آمین هستند که از مشتقات آن ها گاهی سولفیت و اسید اسکوربیک نیز استفاده می شود. استفاده از دیزل با گوگرد فوق العاده کم و

افزودنی های آنتی اکسیدانی به عنوان افزودنی های ضد خوردگی، رویکردهایی موفق برای جلوگیری از خوردگی هستند[۳]. می توان نتیجه گرفت که با توجه به محدودیت ها و خواص هر قسمت از یک مخلوط، استفاده از کوکتل های افزودنی یک استراتژی ممکن برای بهره گیری از ویژگی های مثبت افزودنی ها خواهد بود. ترکیبی از نانوذرات مختلف مانند اکسید سریم- نانوذرات دی اکسید زیرکنیوم (CeO2-ZrO2)، نانولوله‌های کربنی-سریا (CNT-ceria)، سریای آلاییده شده با ساماریوم[۲۰] (SDC) برای غلبه بر کاستی های ذاتی آن ها در نظر گرفته می شوند [۳۳و۵۷].

- **اثرات سمی نانوذرات بر انسان و محیط زیست**

علی‌رغم چندین مزیت نانوتکنولوژی، انقلاب نانو با چالش‌هایی مانند سرنوشت نانوذرات در محیط با توجه به اثرات بالقوه سلامت ناشی از سمیت نانو در هنگام انتشار آن ها مواجه شده است[۱۹]. تعامل نانوذرات با ساختارهای زنده شامل دوز و حلالیت آن ها است و توانایی نانوذرات برای انتشار در بدن انسان نگرانی هایی را برانگیخته است. نانوذرات تجزیه نمی شوند و ممکن است در سیستم های بیولوژیکی انباشته شوند و برای مدت طولانی باقی بمانند، که باعث نگرانی هایی می شود [۱۰]. بسته به زمان در معرض قرار گرفتن ، نانوذرات تجمع یافته در بافت ها می توانند آسیب های مختلفی را تحمیل کنند. با این حال، اطلاعات در مورد این مسیرها محدود است [۵۸].

احتراق سوخت با مواد افزودنی تعداد زیادی از نانوذرات را تولید می کند که در درجه اول فقط حدود ۱۰ نانومتر اندازه دارند. PM هایی با اندازه کمتر از ۱۰ نانومتر قابل مقایسه با گاز هستند و می توانند به راحتی وارد بافت های انسانی شوند و ممکن است محیط طبیعی بیوشیمیایی سلول را مختل کنند [۵۹و۶۰].

سنتز نانوذرات به تجهیزات پیشرفته و پیچیده ای نیاز دارد که کاملاً ایمن یا سازگار با محیط زیست نیستند. مواد شیمیایی سمی استفاده شده یا محصولات جانبی مضر ممکن است در آب، هوا و سیستم خاک انباشته شوند. آن ها می توانند تهدیدهای جدی برای گیاهان، حیوانات و میکروب ها باشند. برای جلوگیری از عوارض جانبی نانوذرات باید برخی از مراحل پایش و کنترل آلاینده ها انجام شود که با عث می شود هزینه تولید افزایش یابد. هزینه افزودنی های سوخت می تواند نقش حیاتی در استفاده گسترده از آن ها ایفا کند. تجزیه و تحلیل هزینه تعدادی از افزودنی های سوخت برای مقایسه اقتصادی مخلوط سوخت نمونه باید انجام شود. به هر حال، با توجه به اطلاعات موجود، الکل ها را می توان به عنوان مقرون به صرفه ترین افزودنی های سوخت موجود در بازار در نظر گرفت. بنابراین، جست‌وجوی افزودنی‌های جدید و مقرون‌به‌صرفه نانو، تمرکز بر مسائل بلندمدت اکولوژیکی و زیست‌محیطی و توسعه رویکردهای نظارتی کارآمد باید در آینده ادامه یابد.

تولید مواد افزودنی سوخت از مواد زائد، سنتز سبز نانوذرات و مواد طبیعی و زیست تخریب پذیر می تواند استانداردها را برآورده کند. ثابت شده است که سنتز سبز نانوذرات با استفاده از گیاهان و عصاره آن ها از نظر زیست محیطی ایمن و مقرون به صرفه با رفاه انسان است [۱۸و۱۹]. نانوذرات فتوسنتز شده پایداری زیست محیطی تولید محصول را در بخش کشاورزی حفظ می کند. تولید آنتی اکسیدان های طبیعی به عنوان افزودنی های سوخت از پوست پسته [۶۱]، تولید افزودنی های نانو سنتز شده سبز Fe_3O_4 از ضایعات *Ziziphus mauritiana* [۴]، سنتز سبز نانوذرات نقره توسط Pleurotus (قارچ صدفی) [۶۲] نانوذرات سبز سنتز شده اکسیدروی با کمک روغن لیمو[۶۳] و همچنین افزودنی های نانو پوسته نارگیل از جمله تلاش های موفق در این زمینه است.

ارزیابی سیستماتیک اثرات زیست‌محیطی بالقوه افزودنی‌های سوخت، با نبود واحد در فرآیند تصمیم‌گیری مواجه است. سطح مضر بودن آلاینده ها و اثرات زیست محیطی آن ها ممکن است قابل مقایسه نباشد. رویکرد ارزیابی چرخه عمر (LCA) می‌تواند به عنوان یک جایگزین امیدوارکننده برای غلبه بر کاستی‌های ذاتی و محدودیت‌های کلی منتسب به تحلیل‌های محیطی مرسوم در نظر گرفته

[2] samarium- doped ceria [0]

شود و ابزار ارزشمندی برای تعیین کمیت چالش‌های نانوذرات در صنعت سوخت ارائه کند. مسائل مربوط به سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم ، تغییرات آب و هوا و آسیب به منابع طبیعی به طور همزمان برای تسهیل بهینه سازی چند هدفه باید در نظر گرفته شوند [۵۶].

۵ نتیجه گیری

در این مقاله به معرفی روش‌های موثر در کنترل گازهای گلخانه‌ای با کاهش مصرف سوخت فسیلی و انتشار CO_2 پرداخته شد. انتشار CO_2 با میزان مصرف سوخت و میزان کربن موجود در سوخت، کیفیت سوخت و کیفیت احتراق مرتبط است. سوخت های زیستی مایع ، به دلیل مزایای ویژه، گزینه مناسبی برای جایگزینی سوخت های فسیلی و کاهش انتشار CO_2 هستند. می‌توان از نانوذرات برای بهبود خواص سوخت، عملکرد موتور و احتراق سوخت استفاده کرد.افزودن نانوذرات نقشی حیاتی در ارتقاء کیفیت احتراق دارد. با افزودن نانوذرات به سوخت، می‌تواند خواص آن مانند گرانروی سینماتیکی، نقطه اشتعال و چگالی را بهبود بخشید که منجر به احتراق کامل شود. ویژگی های سوخت نیز به نوع بیودیزل، نوع نانوذرات و اندازه آن، و میزان دوز آنها وابسته هستند. از طرف دیگر تکنیک های رایج سنتز نانومواد، مانند سنتز شیمیایی، ایمنی و سازگاری محیط زیست مقبولی ندارند. استفاده از مواد شیمیایی مضر یا تولید محصولات جانبی سمی می تواند تهدیدی جدی برای گیاهان، حیوانات و میکروب‌ها باشند. افزودن نانوذرات در سوخت پایه موتور CI دارای مزایای متنوعی از جمله کاهش انتشار آلاینده و افزایش عملکرد احتراق است، اما مشکلات قابل توجهی نیز در مورد ناپایداری نانوذرات، انتشار آلاینده ها، خوردگی در موتور، اثرات زیست محیطی و جنبه های اقتصادی نیز وجود دارد. این نگرانی ها باید قبل از تجاری سازی به خوبی برطرف شود.

۶- منابع

[1] V. Perumal, M. Ilangkumaran, Fuel, 232, 791-802, (2018).

[2] K.Nanthagopal, R.S. Kishna, Atabani, A.E., Ala'a, H., Kumar, G. Ashok, B., Energy Conversion and Management, 203, (2020).

[3] M.E.M. Soudagar, Nik-Ghazali, N.N., Kalam, M.A., Badruddin, I.A., Banapurmath, N.R. and Akram, N., Energy Conversion and Management, 178, 146-177 (2018).

[4] S. Agarwal, S. Kumari, A. Mudgal, and S. Khan, Renew. Energy, 147, 1836–1844, (2020).

[5] E. Khalife, Tabatabaei, M., Demirbas, A. and Aghbashlo, M., Progress in energy and Combustion Science, 59, 32-78 (2017).

[6] D. Singh, Sharma, D., Soni, S.L., Sharma, S., Sharma, P.K. and Jhalani, A., Fuel, 262, (2020).

[7] H. Hosseinzadeh-Bandbafha, M. Tabatabaei, M. Aghbashlo, M. Khanali, and A. Demirbas, Energy Convers. Manag., 174, 579–614, (2018).

[8] J. Diefenderfer, Arora, V. Singer, L.E., Doe/Eia-0484, 202-586, (2016).

[9] A. E. Atabani, A. S. Silitonga, I. A. Badruddin, T. M. I. Mahlia, H. H. Masjuki, and S. Mekhilef, Renew. Sustain. Energy Rev., 16, 2070–2093, (2012).

[10] K. J. Godri Pollitt, D. Chhan, K. Rais, K. Pan, and J. S. Wallace, Sci. Total Environ., 688, 1036–1055, (2019).

[11] S. Simsek, Fuel, 265, (2020).

[12] M. M. Hasan and M. M. Rahman, Renew. Sustain. Energy Rev., 74, 938–948, (2017).

[13] M.S.M. Zaharin, Abdullah, N.R., Najafi, G., Sharudin, H. Yusaf, T., Renewable and Sustainable energy reviews, 79, 475-493 (2017).

[14] N. Nirmala, Dawn, S.S. and Harindra, C., Renewable Energy, 147, 284-292 (2020).

[15] F.S. Mirhashemi Sadrnia, H., Journal of the Energy Institute 93, 129-151,

Rajeswara Reddy, and K. Rajagopal, J. Clean. Prod., 137, 490–506, (2016).
[30] B. Prabakaran Udhoji, A., Alexandria Engineering Journal 55, 3355-3362 (2016).
[31] T. Shaafi R. Velraj, Renew. Energy, 80, 655–663 (2015).
[32] A.I., El-Seesy Attia, A.M. El-Batsh, H.M., Fuel, 224, 147-166 (2018).
[33] Q. Wu, X. Xie, Y. Wang, and T. Roskilly, Appl. Energy, 221, 597–604, (2018).
[34] G. Knothe and L. F. Razon, Prog. Energy Combust. Sci., 58, 36–59, (2017).
[35] E. Jiaqiang, Zhang, Z., Chen, J., Pham, M., Zhao, X., Peng, Q., Zhang, B. Yin, Z., Energy Convers. Manag., 169, 194–205, (2018).
[36] H. Hosseinzadeh-Bandbafha, Khalife, E., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Khanali, M., Mohammadi, P., Shojaei, T.R. Soltanian, S., Energy Convers. Manag., 196, 1153–1166, (2019).
[37] M. Nadeem, Rangkuti, C., Anuar, K., Haq, M.R.U., Tan, I.B. and Shah, S.S , Fuel, 85, 2111-2119, (2006).
[38] A.K. Hasannuddin, Yahya, W.J., Sarah, S., Ithnin, A.M., Syahrullail, S., Sidik, N.A.C., Kassim, K.A., Ahmad, Y., Hirofumi, N., Ahmad, M.A. Sugeng, D.A, Energy Convers. Management, 291–314, (2018).
[39] D. Singh, Sharma, D., Soni, S.L., Sharma, S. and Kumari, D. Fuel 253, 60-71, (2019).
[40] V. W. Khond and V. M. Kriplani, Renew. Sustain. Energy Rev., 59, 1338–1348, (2016).
[41] K. Varatharajan and M. Cheralathan, Fuel Process. Technol., 106, 526–532 (2013).
[42] I. M. R. Fattah, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, M. A. Wakil, H. K. Rashedul, M. J. Abedin, Ind. Crops Prod., 57, 132–140 (2014).
(2020):.
[16] M. A. Rajaeifar, R. Abdi, and M. Tabatabaei, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 74, 278–298, (2017).
[17] V. Saxena, N. Kumar, and V. K. Saxena, Renew. Sustain. Energy Rev., 70, 563–588, (2017).
[18] D. Sundaram, V. Yang, and R. A. Yetter, Prog. Energy Combust. Sci., 61, 293–365, (2017).
[19] P.K. Rai, Kumar, V., Lee, S., Raza, N., Kim, K.H., Ok, Y.S. and Tsang, D.C., Environment international, 119, 1-19 (2018).
[20] L. Farzin, M. Shamsipur, L. Samandari, and S. Sheibani, Talanta, 206, (2019).
[21] F. Gao, C. Gao, S. He, Q. Wang, and A. Wu, Biosens. Bioelectron., 81, 15–22, (2016).
[22] S. Kumar, P. Dinesha, and I. Bran, Energy, 140, 98–105, (2017).
[23] M. Ghanbari, L. Mozafari-Vanani, M. Dehghani-Soufi, A. Jahanbakhshi, Energy Convers. Manag. 100091, (2021).
[24] G. Vairamuthu, Sundarapandian, S., Kailasanathan, C. Thangagiri, B., Journal of the Energy Institute 89, 668-682, (2016).
[25] M. Mirzajanzadeh Tabatabaei, M., Ardjmand, M., Rashidi, A., Ghobadian, B., Barkhi, M. and Pazouki, M., Fuel, 139, 374-382, (2015).
[26] K. Nanthagopal Ashok, B., Tamilarasu, A., Johny, A. Mohan, A., Energy Conversion and Management, 146, 8-19 (2017).
[27] H. Hosseinzadeh-Bandbafha, Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Khanali, M., Khalife, E., Shojaei, T.R. and Mohammadi, P., Fuel 267, (2020.
[28] D. Ganesh Gowrishankar, G., IEEE, 3453-3459(2011).
[29] S. Javed, Y. V. V. Satyanarayana Murthy, M. R. S. Satyanarayana, R.

[43] M. Arya, A. K. Rout, S. Samanta, Advancement in Materials, Manufacturing and Energy Engineering, 1, 389-401 (2022).
[44] M.G. Bidir, Millerjothi, N.K., Adaramola, M.S. Hagos, F.Y., Energy Reports, 7, 3614-3627 (2021).
[45] J.C. Ge, H. Y. Kim, S. K. Yoon, N. J. Choi, Fuel, 218, 266–274, (2018).
[46] S. Dharma, Hassan, M.H., Ong, H.C., Sebayang, A.H., Silitonga, A.S., Kusumo, F. Milano, J.,. Journal of cleaner production, *164*, 618-633 (2017).
[47] S.M. Palash, Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Arbab, M.I., Masum, B.M. Sanjid, A., Energy Conversion and Management 77, 577-585 (2014).
[48] H.K. Imdadul, Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Zulkifli, N.W.M., Alabdulkarem, A., Kamruzzaman, M. and Rashed, M.M., Fuel, 179 281-288, (2016).
[49] S. Senthur Prabu, M. A. Asokan, R. Roy, S. Francis, and M. K. Sreelekh, Energy, 122, 638–648, (2016).
[50] G. Labeckas and S. Slavinskas, Energy Conversion and Management, 11 (2021).
[51] H.K. Imdadul, Rashed, M.M., Shahin, M.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Kamruzzaman, M. and Rashedul, H.K , Energy Convers. Manag., 138, 327–337, (2017).
[52] A. Gharehghani, M. Mirsalim, and R. Hosseini, Renew. Energy, 101, 930–936, (2017).
[53] A. Devaraj, M. Nagappan, D. Yogaraj, O. Prakash, Y.A. Rao, & A. Sharma Materials Today: Proceedings, 62, 2266-2270, (2022).
[54] S. Karmakar, Acharya, S. Dooley, K.M., ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 44298, 691-698, (2010).
[55] B. Gantt, Hoque, *et al.*, Aerosol Science and Technology, 49, 371-380, (2015).
[56] G.R. Kannan, R. Karvembu, and R. Anand, Appl. Energy, 88, 3694–3703, (2011).
[57] E. Aneggi, De Leitenburg, C., Dolcetti, G. Trovarelli, A., Catalysis Today 114, 40-47. (2006).
[58] A.M. Gatti, Biomaterials, 25, 385–392, (2004).
[59] R. Lei, , Wu, C., Yang, B., Ma, H., Shi, C., Wang, Q., Wang, Q., Yuan, Y. Liao, M., Toxicology and applied pharmacology, 232, 292-301 (2008).
[60] I. Passagne, M. Morille, M. Rousset, I. Pujalté, B. L'Azou, Toxicology, 299, 112–124, (2012).
[61] M. Ahanchi, Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Rezaei, K., Talebi, A.F., Ghaffari, A., Khoshnevisan, B. Khounani, Z., Journal of Cleaner Production, 185, 852-859, (2018).
[62] M.N. Owaid, Environ. Nanotechnology, Monit. Manag., 12, (2019).
[63] S. Ganesan, S. lakshmisankar, S. Deepak, S. et al. Nanotechnol. Environ. Eng. 1-15, (2023).

A Review of Application of Nanotechnology to Improve Performance, Combustion and Emission Characteristics of Biodiesel

Ahmad Farhad Talebi[1]* , Sima Khakzad, Mahdi Jahandideh, Sanaz Alamdari

Faculty of New Sciences and Technologies, Semnan University, Semnan, Iran

Abstract

Liquid biofuels have been selected by users due to their availability, higher calorific value, safety for usage, easy adaptability with fewer technological changes and even political issues. Considering the operational challenges faced by biofuel production, green energies have a limited share of the global primary energy supply. Newly-emerged nanoprocessing approaches are exploited to enhance the bioenergy production efficiency. The potential of nano-particles and nano-additives supplementation in biodiesel has been introduced during the present study. Implementation of nano-additives could lead to more power output, less fuel consumption as well as fewer emissions, higher thermal efficiency, decreased cost of operation and enhanced reliability and durability for diesel engines. Poor physicochemical properties of biodiesel at low temperatures, higher fuel consumption and lower energy content could be disappeared using nanotechnology. Most of the practical works to mask the shortcomings of biodiesel have focused on fuel modification methods through further blending and feedstock screening and engineering of the oily feedstock; The application of fuel nano-additives brings meaningful improvement in the thermophysical and chemical properties of the biodiesel.

Keywords: Nanoparticles, Fuel characteristics, Engine performance, Additive, Biodiesel.