

مروری بر روشهای تهیه و کاربرد نانوسریا جهت کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌های

خروجی موتورهای دیزلی

مرضیه شکرریز، آرین یزدانی

پژوهشکده توسعه فناوری‌های شیمیایی، پلیمری و پتروشیمی

چکیده

در این مقاله مروری بر روشهای ساخت و تهیه نانوسریا و همچنین پوشش دهی آن توسط مواد آلی برای پراکنده شدن آن در حلالها و یا گازوییل انجام شده است. افزایش و فرمولاسیون این ماده در گازوییل به منظور کاهش مصرف سوخت و گازهای خروجی از اگزوز توسط تست های موتوری نیز بررسی شده اند. استفاده از افزودنی نانوسریا تجارتي Envirox و ارزیابی آن کاهش مصرف سوخت تا میزان ۱۱٪، نشر جرمی ذرات تا ۴۶/۱٪، مونواکسید کربن تا ۱۴/۶٪ و کاهش آلدییدهای فرمالدئید و استالیدیید تا ۳۰٪ را بدنبال داشته است. این افزودنی سبب افزایش NOx خروجی از اگزوز تا ۲۷/۸٪ شده است.

واژه‌های کلیدی: نانو سریا، مصرف سوخت، آلاینده های خروجی از اگزوز، تست موتوری

shekarriz@ripi.ir

۱- مقدمه

به علت نسبت بالای سطح به حجم و اثر کوانتومی اندازه، مواد با مقیاس نانو، خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی با مواد توده ارائه می کنند. سریم، که اولین عنصر در گروه لانتانیدها می باشد توجه زیادی از طرف محققین فیزیک، شیمی، زیست شناسی و علم مواد به خود جلب کرده است. نانو اکسید سریم با ساختار بلوری فلوریت در مقایسه با اکسید سریم توده ایی دارای خواص منحصر- به فردی می باشد. نانو سریا به صورت گسترده در کاربردهای مهندسی و بیولوژیکی مختلف، از جمله سلول های سوختی اکسید جامد، مواد محافظ در برابر اکسیداسیون در حرارت بالا، کاتالیست، سلول های خورشیدی استفاده شده است. اگر چه این ماده به دلیل ویژگی های خاص و دارای کاربردهای مختلفی می باشد، ولی به دلیل ساختار منحصر- به فرد خود و خواص اتمی در مقایسه با مواد دیگر کاربرد اصلی نانوذرات اکسید سریم در زمینه کاتالیستی است. در سال های اخیر، استفاده از نانو ذرات اکسید سریم و موادی که شامل این ترکیب هستند به عنوان کاتالیست و به عنوان تسریع کننده های الکترونیکی و ساختاری در واکنش های کاتالیستی همگن تحت بررسی دقیقی قرار گرفته است. در صنعت، به طور گسترده ای به عنوان یک جزء فعال در فرآیندهایی مانند کاتالیستهای سه گانه اگزوز خودروها جهت تبدیل گازهای خروجی، زوج شدن اکسایشی در واکنش جابجایی متان و همچنین واکنش تبدیل آب- گاز استفاده می شود. به تازگی گزارش شده است که نانوذرات اکسید سریم خواص چند آنژی می از جمله سوپر اکسید اکسیداز، کاتالاز و اکسیداز و ... را از خود نشان می دهند و به عنوان یک ماده جذاب و پر سود در زمینه های بیولوژیکی مانند در بیوآنالیز، تحقیقات زیست پزشکی و دارو ظاهر شده است [۱].

نتایج نشان داده است که کاربرد این ماده و خواص آن بسیار وابسته به کیفیت و شکل پودر است و روش سنتز، اثر بسیار

مهمی را بر خواص و کیفیت آن می گذارد. با توجه به کاربرد کاتالیستی پودر سریا و نیاز به سطح ویژه بالا، سنتز این نانو پودر برای صنایع مختلف بسیار حائز اهمیت می باشد [۲]. آنچه در این مقاله بیشتر مورد توجه قرار گرفته است مروری بر روشهای ساخت نانوسریم اکسید و کاربرد این ماده به عنوان ماده افزودنی گازوییل در کاهش مصرف سوخت و آلاینده های خروجی از اگزوز می باشد.

۲- روش های ساخت نانوسریا

روش های مختلفی برای سنتز نانوذرات فلزی، اکسید فلزی و غیرفلزی وجود دارد که شامل روش های شیمیایی، فیزیکی، شیمیایی فیزیکی بالا به پایین و پایین به بالا می باشد. سنتز نانوذرات اکسید سریم با استفاده از روش رسوب همگن در مخلوطی از حلالهای الکل و آب گزارش شده است. نانو ذرات سنتز شده با ساختار فلوریت مکعبی، دارای اندازه ۷-۱۵ نانومتر به دست آمده است. در روش دیگری با استفاده از نمک سریم نیترات شش آبه به عنوان ماده اولیه نانو کریستال های اکسید سریم سنتز شده است. حلال مورد استفاده مخلوط آب و ایزوپروپانول بوده و نسبت آنها تنها پارامتر متغیری بوده که به طور مستقیم بر تبلور و سایز نانوذرات تاثیر گذاشته است. نانو سریا، با اندازه یکنواخت و قابل پراکنده شدن در حلال های هیدروکربنی در یک واکنش تک مرحله ایی بوسیله حرارت دادن کمپلکس سریم اولئات در یک حلال آلی با نقطه جوش بالا و تجزیه آن تهیه انجام شده است. روش میکرومولسیون یا روش مایسل معکوس نیز برای سنتز نانوذرات اکسیدسریم کاتالیستی با فعالیت بالا گزارش شده است. روش میکرومولسیون براساس انجام واکنش در محیط مایسل معکوس در یک سیستم پایدار ترمودینامیکی است که این سیستم از دو مایع غیرقابل امتزاج و یک سورفاکتانت تشکیل شده است [۳].

۳- کاربرد نانو سربا در سوخت

خودروهایی دیزلی از نظر مصرف سوخت، انتشار آلاینده ها و گشتاور نسبت به موتورهای بنزینی برتری دارند بهمین دلیل استفاده از موتورهای دیزلی در خودروهایی سواری نیز هم اکنون در اروپا با اقبال عمومی مواجه گردیده به طوریکه آمار استفاده از موتورهای دیزلی از ۵ درصد در سال ۱۹۸۰ به رقمی حدود ۴۰ درصد در سالهای اخیر رسیده است.

به دلیل مزیت های اقتصادی سوخت در موتورهای دیزلی تلاش های پژوهشی زیادی در مورد کنترل آلاینده و احتراق این نوع موتور در حال انجام است. راندمان سوخت بالاتر در موتور دیزل به علت نسبت تراکم بالا و غلظت اکسیژن نسبتاً زیاد در خانه احتراق می باشد.

اکسید های ازت (NOx)، دوده و ذرات معلق (PM) از آلاینده های اصلی آگروز موتور دیزلی هستند که این آلاینده ها اثرات مخرب زیست محیطی به همراه دارد. کاهش انتشار اینها باعث سالم سازی هوای شهرهای بزرگ خواهد شد. مکانیزم تشکیل NOx و ذرات معلق در اتاق احتراق موتورهای دیزلی متناقض بوده و کاهش همزمان هر دو بسیار مشکل است.

با پیشرفت فن آوری و ساخت موتورهای جدید دیزلی و ارتقاء کیفیت آنها انتشار آلاینده های زیست محیطی در اروپا از سال ۲۰۰۵ تحت مقررات Euro4، Euro5 قرار گرفته است. تلاشی برای بالا بردن راندمان موتورهای دیزلی و همچنین ارایه فرمولاسیونهای جدید سوخت دیزل با هدف کاهش مصرف سوخت و آلاینده های خروجی از آگروز بدون تاثیر گذاری بر خواص فیزیکی شیمیایی آن صورت گرفته است [۱۲-۱۰].

افزایش ۱۵٪ اتانول و یک بهیود دهنده عدد ستان به گازوییل سبب کاهش ذرات معلق (PM) خروجی از آگروز به میزان ۶۰٪ و کاهش HC و CO به میزان ۴۰-۳۰٪ شده است [۱۳]. دی متیل کربنات به عنوان یک ماده افزودنی اکسیژندار نیز با سوخت دیزل مخلوط شده و بهیود سوخت و کاهش خروجی های آگروز را در پی داشته است [۱۴]. نتایج تحقیقات بر روی مواد افزودنی مختلفی نظیر ترکیبات آلی منگنز، منیزیم، مس و کلسیم بر خواص سوخت گزارش شده است. مشاهده شده است که ترکیبات مس، منیزیم و کلسیم دارای تاثیر کمتری از ترکیبات منگنز هستند [۱۲].

اکسیدهای فلزی نظیر مس، آهن، سرب و کبالت به عنوان مواد افزودنی به سوخت استفاده شده اند. سرب اکسید دارای پایداری حرارتی بالا و همچنین دارای خصوصیت تبادل الکترون و ایجاد چرخه اکسیداسیون-احیا در ظرفیتهای ۳ و ۴ می باشد. سرب اکسید وقتی به صورت نانو ذره استفاده می شود خصوصیت کاتالیتیکی به علت بالا رفتن نسبت سطح به حجم افزایش می یابد و سبب بهیود راندمان سوخت و کاهش گازهای خروجی از آگروز می شود. راندمان حرارتی ترمز تا ۵٪ بهیود می یابد و همچنین کاهش HC، دوده و NOx مشاهده شده است.

در تحقیقاتی که اخیراً انجام شده است [۱۶ و ۱۵] نیز پوشش دهی سرب اکسید و فرمولاسیون آن با گازوییل انجام و خواص فیزیکی و کاهش مصرف سوخت و آلاینده های خروجی از آگروز بررسی شده

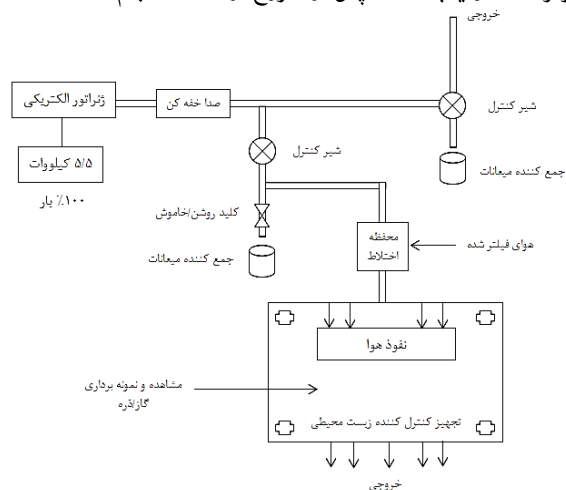
همچنین نانو ذرات اکسید سرب با اندازه حدود ۲-۳ nm استفاده از روش میکرومولسیون تولید و بوسیله سورفاکتانت سدیم بیس (۲- اتیل هگزیل) سولفوسوکسینات (AOT) پوشش دهی شده است [۴]. در تلاشی دیگر نانو ذرات بسیار ریز اکسید سرب با اندازه های ۳/۱ nm با استفاده از اسید سیتریک و با استفاده از فرآیند آبگرمایی ساخته شده است. این اسید در واقع به عنوان عامل حفاظت کننده در مقابل رشد ذرات عمل کرده و در نتیجه باعث شده است که ذرات از پخش شونده خوبی در سیال برخوردار باشند. پس از هیدرولیز کمپلکس سرب - سیتریک، به علت جذب مولکول های اسید سیتریک بر روی سطح ذرات، افزودن این اسید در جلوگیری از رشد ذرات بسیار موثر است [۵]. محققین دیگری نیز از طریق فرآیند آبگرمایی به تولید نانو ذرات سربا با اندازه ۲ الی ۳ nm پرداختند [۶]. علاوه بر این، نانو ذرات اکسید سرب از دو روش آبگرمایی و آبکافت نیز تهیه شده است که طبق گزارش ارائه شده در این ارتباط نانو ذرات سربا اکساید (۳+) از طریق فرآیند آب گرمایی و نانو ذرات سربا اکساید (۴+) از طریق آبکافت سنتز شده اند [۷]. در تجربه ای دیگر نانو ذرات سربا با استفاده از نمکهای سرب و هیدروکسید سدیم و بدون هرگونه افزودنی با اندازه های ۶ الی ۱۰ nm تولید شده است [۸].

در پتنتی ثبت شده، گزارش گردیده که برای ساخت نانو ذرات سربا از فرآیندهای شیمیایی مکانیکی و سنتز تبخیر پلاسما نیز استفاده شده است [۹]. به منظور آنکه نانو ذرات سربا بهترین تاثیر را به عنوان افزودنی به سوخت داشته باشند، می بایست مخلوط نهایی سوسپانسیونی باشد که در آن نانو ذرات سربا به طور پایدار و یکنواخت در سوخت پراکنده شده باشند. محققین در این پتنت بیان داشته اند که به منظور جلوگیری از بهم پیوستن نانو ذرات سربا و تشکیل کلوخه و همچنین کمک به پراکندگی این ذرات در سوخت، نانو ذرات را توسط ماده ای پوشش می دهند که سطحشان را چربی دوست نماید. این محققین در مواردی مشاهده کرده اند که پوشش دهی توسط ماده ای چربی دوست باعث حل شونده گی کامل نانو ذرات در سوخت شده است. پوشش دهی نانو ذرات سربا باعث شده است که این مواد در مدت زمانی که در مخزن سوخت انبار شده اند، با سوخت واکنش ندهند. واکنش دادن نانو ذرات سربا با سوخت اصلاً مطلوب نیست، چرا که در این صورت رسوب جامدی در سوخت به جای خواهند ماند. آنها برای پوشش دهی نانو ذرات سربا از یک سورفاکتانت با HLB پایین که قابلیت انحلال بیشتری در ترکیبات روغنی دارد استفاده کرده اند. سورفاکتانت های پیشنهادی برای پوشش دهی نانو ذرات سربا توسط این محققین عبارت است از اسیدهای آلکیل کربوکسیلیک، انیدریدها و استرهای که حداقل یک گروه آلکیل C₁₀-C₃₀ دارند مانند دودسیل سوکسینیک انیدرید (DDSA)، استتاریک اسید، اولئیک اسید، سوربیتان تری استارات و گلیسرول مونو استتارات. این محققین نانو ذرات سربا به اندازه ۱۰ nm را که از روش تبخیر پلاسما تهیه کرده بودند توسط DDSA پوشش دهی نموده و با دیزل مخلوط و یک موتور دیزلی سوزاندند و بهیود عملکرد و کاهش آلاینده ها را مشاهده کردند [۹].

به یک اگزوز ثابت، برای حدود ۴۵ الی ۶۰ دقیقه کار می کرده است. قبل از شروع یک چرخه جدید از آزمایش ها، موتور از طریق سوزاندن حداقل یک باک کامل از صفر× سوخت پایه تمیز شده است.

شمای سیستم تست در شکل ۱ آورده شده است. موتور تست تک سیلندر، چهار زمانه و با قدرت تولید الکتریکی ۴۰۶ سی سی می باشد.

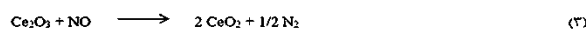
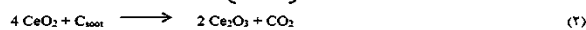
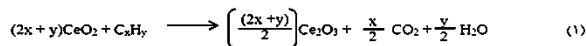
در طول تمامی آزمایشات، موتور به طور مداوم با حداکثر توان ۵/۵ kW (۱۰۰٪ بار) با استفاده از چهار گرمکن سرامیکی کار می کرد و الکتریسیته خروجی بوسیله یک آمپر متر اندازه گیری می گردید. یک قسمت از گازهای داغ خروجی اگزوز وارد یک جعبه مخلوط کننده شد (0.5 m × 0.5 m × 0.6 m) که در آنجا بوسیله هوای عبور داده شده از روی فیلتر چارکول رقیق شده و سپس از طریق یک نفوذ دهنده هوای استیل، مخلوط به داخل تجهیز کنترل محیط (CEF) که یک اتاقک استیل ۲۵ m³ می باشد هدایت می گردد. میزان رقت به صورتی که غلظت ذره در CEF در محدوده ۴۰۰±۸۰ μg/m³ (مدل AM510، TSI Inc., Shoreview, MN) که جرم ذرات را در محدوده سایز ۰/۱-۱۰ μm اندازه گیری می کند، کنترل می گردد. این غلظت بیشتر از میزان متعارف ذرات موجود در محدوده شهری کشورهای توسعه یافته است اما گاهی در تونلها و یا جاده ها می تواند تا این حد وجود داشته باشد. دما و رطوبت در CEF به ترتیب ۲۳-۲۲ و ۴۱-۴۰٪ بود. نمونه برداری ذرات و گازهای آلاینده از مرکز CEF و یا بلافاصله پس از خروج از اتاقک، انجام شدند.



شکل ۱- طرح کلی سیستم تست، نحوه رقیق سازی گازهای خروجی از اگزوز برای اندازه گیری [۱۸]

۵- تاثیر غلظت نانوسریا بر روی نرخ مصرف سوخت
تاثیر Envirox بر روی مصرف سوخت در شکل ۲ نشان داده شده است. از آنجاکه خروجی موتور دیزلی بر روی مقدار ۵/۵ kW ثابت نگهداری شده بود، مصرف سوخت بر kWh الکتریسیته تولید شده، به وسیله تقسیم نرخ سوختن (L/h) بر ۵/۵ kW محاسبه شده است. نتایج حاصله نشان می دهند که با افزایش غلظت Envirox در سوخت دیزلی، مصرف سوخت یک روند

است نحوه عملکرد نانوسریا در سوخت در معادلات زیر آورده شده است (معادلات ۱-۳).



نانو ذره سریا به عنوان ماده افزودنی به سوخت دیزل در اروپا و جاهای دیگر بطور گسترده ایی استفاده می شود. اگرچه گزارش شده است که افزودن CeO_2 راندمان احتراق سوخت را افزایش و انتشار دوده را کاهش داده است اما ابهامات عمده ای در مورد چگونگی اینکه یک افزودنی با پایه نانوسریا، می تواند خواص فیزیکی و شیمیایی خروجی دیزل را تغییر دهد وجود دارد [۱۷]. چندین افزودنی دیزلی تجاری با پایه سریا به ویژه در اروپا در دسترس است که ماده افزودنی Envirox محصول شرکت Energenics Europe Ltd., Begbroke, Oxfordshire, U.K. معروفترین آنهاست. برای اثبات کاهش مصرف سوخت و همچنین آلاینده های خروجی از اگزوز آزمایشاتی انجام شده است [۱۸] که در ذیل به تفصیل آورده شده است.

۴- مواد و دستگاه های مورد استفاده

یک سوخت دیزل با میزان گوگرد بسیار پایین (گوگرد کمتر از ۱۵ ppm) با استاندارد EPA No.2 که از یک پمپ بنزین در Edison ایالت نیوجرسی آمریکا در جولای ۲۰۱۱ خریداری شده بود، به عنوان سوخت پایه مورد استفاده قرار گرفته است. روغن روانسازي که در این تحقیق استفاده شده است، روغن موتور Premium SAE 10W30 بوده است. مقادیر متفاوتی از یک افزودنی دیزلی با پایه نانو CeO_2 ، Envirox، که در آوریل ۲۰۱۱ از لندن انگلستان خریداری شده بود به سوخت پایه اضافه گردید تا چهار مخلوط سوختی زیر تهیه شود: مخلوط اول، مخلوطی که در آن هیچ میزانی از Envirox به سوخت پایه اضافه نشده است (صفر× سوخت)، مخلوط دوم که مقدار ۰/۰۵ میلی لیتر از Envirox به هر لیتر از سوخت پایه اضافه شده است (۰/۱×)، سوخت سوم که در آن ۰/۵ میلی لیتر از Envirox به هر لیتر از سوخت پایه اضافه شده است (۱× سوخت) و مخلوط چهارم که در آن ۵ میلی لیتر از Envirox به هر لیتر از سوخت پایه اضافه شده است (۱۰× سوخت). با استفاده از یک روش آنالیز ICP-MS مقدار CeO_2 در Envirox معادل ۰/۰۱±۰/۰۰۱ g/L (۰/۰۱۸±۰/۰۰۱ w/w) بوده که با مقادیر گزارش شده قبلی سازگار بوده است [۷]. از این رو غلظت CeO_2 با اندازه نانو در مخلوط های صفر× سوخت، ۰/۱× سوخت، ۱× سوخت و ۱۰× سوخت به ترتیب برابر بوده است با صفر، ۹/۰ و ۹۰ μg/mL. در این تحقیق Envirox به منظور اندازه و شکل CeO_2 مورد آزمایش قرار نگرفته است چراکه این آنالیز در تحقیقات مستقل قبلی انجام و گزارش شده بود که سریا در Envirox به شکل ذرات کروی با قطر بین ۵ الی ۱۰ nm بوده است [۱۹]. به منظور به حداقل رساندن آلودگی متقابل سوخت، آزمایش های تجربی به ترتیب زیر انجام شده است: صفر×، ۰/۱×، ۱× و ۱۰× سوخت. قبل از هر جلسه اندازه گیری، موتور به منظور گرم شدن و رسیدن

هیچ مقداری از Envirox استفاده نشده، مشاهده نگردیده است. برای $\times 1$ سوخت و $\times 10$ سوخت، نرخ نشر- CO به ترتیب ۱۰/۶ درصد و ۱۴/۶ درصد کاهش یافته است. در مقابل، افزایش غلظت CeO_2 در سوخت منجر به افزایش نرخ NO_x ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) شده است. برای صفر $\times$ سوخت، $\times 0/1$ سوخت، $\times 1$ سوخت و $\times 10$ سوخت به ترتیب ۸/۷ درصد، ۹/۳ درصد و ۲۷/۸ درصد NO_x بیشتر منتشر شده است. غلظت های ارائه شده برای $\text{NO}/\text{NO}_2/\text{NO}_x$ چند ثانیه پس از خروج گاز آگروز از موتور اندازه گیری شده است، یعنی مدت زمانی که برای تبدیل NO به NO_2 کافی نیست و از این رو مشاهده گردیده که بیش از ۹۷ درصد NO_x به صورت NO بوده است.

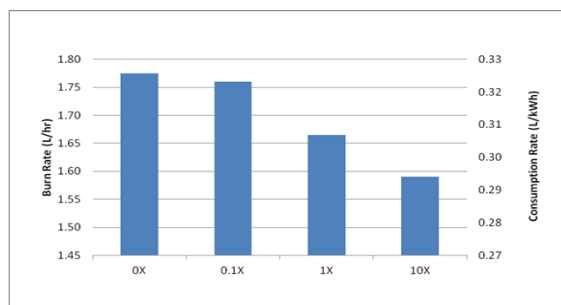
۶- تاثیر غلظت نانوسریا بر روی نشر جرم PM و عدد PM

افزایش غلظت CeO_2 در سوخت پایه، منجر به کاهش نرخ نشر- برای تمامی جرم ذرات می شود. نسبت به حالت صفر $\times$ سوخت، نسبت های $\times 0/1$ سوخت و $\times 1$ سوخت، به ترتیب ۱۱/۰ درصد و ۲۴/۴ درصد کاهش و $\times 10$ سوخت کاهش قابل توجه ۴۶/۱ درصد در میزان جرم PM را نتیجه داده است (جدول ۱). برخلاف اثر بر روی جرم PM، افزودن Envirox به سوخت پایه در حالت غلظت های افزایشی- از صفر، $\times 0/1$ و $\times 10$ سوخت منجر به افزایش نرخ های عدد ذرات کل با نسبت های ۷/۷ درصد، ۳۲/۴ درصد و ۲۷/۹ درصد شده است.

۷- اثرات غلظت نانوسریا بر روی توزیع اندازه ذرات

توزیع اندازه ذرات بوسیله عدد در شکل ۲ نشان داده شده است. تمامی توزیع ها برای غلظت جرمی یکسان $400 \pm 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ مورد سنجش قرار گرفته و توسط SidePak رویت شده است. داده ها نشان می دهند که توزیع اندازه ذرات تقریباً به صورت long-normal هستند و همچنین ذرات کوچکتری که موتور به عنوان غلظت CeO_2 در سوخت رها می کند، افزایش یافته است. در این تحقیق mode، median، mean و قطر ذرات نیز بر اساس عدد جرم غلظت محاسبه شده است (شکل ۳). جرم غلظت بر اساس عدد غلظت و با فرض کروی شکل بودن ذرات و دانسیته gr/cm^3 ۱ محاسبه شده است. داده ها نشان می دهند که با افزایش غلظت نانوسریا در سوخت، میانگین قطر متوسط ذرات کاهش پیدا کرده است.

کاهش- را طی می کند. اضافه کردن Envirox به میزان ۰/۱ ضریب غلظت توصیه شده از سوی سازنده به منظور استفاده طولانی (بطور منظم) منجر به کاهش ناچیز ۰/۶ درصد سوخت شده و افزودن آن به سوخت در حدی که سازنده برای استفاده طولانی توصیه کرده است، باعث کاهش ۵/۶ درصدی سوخت شده است. این یافته ها با اظهارات شرکت سازنده که: "در ارزیابی های انجام شده در شرایط عملیاتی تجاری، مقدار ۴ الی ۱۱ درصد کاهش سوخت بدست آمده است" هماهنگ می باشد، اگرچه به سمت پایین بازه بیان شده تمایل داشته است [۲۰]. همچنین مشاهده شده افزایش مقدار بیشتری از Envirox به سوخت ($\times 10$ سوخت) باعث کاهش قابل توجهی در مصرف سوخت (۱۱/۳ درصد) می شود. از این رو در این تحقیق تأیید شده است که افزودن Envirox به سوخت دیزلی با غلظت توصیه شده از سوی سازنده و بالاتر از آن، باعث صرفه جویی سوخت می شود.



شکل ۲- نرخ سوختن (L/h) و نرخ مصرف (L/kWh) برای چهار نوع سوخت حاوی مقادیر مختلف Envirox [۱۸]

تاثیر غلظت نانوسریا بر روی انتشار CO_2 ، CO و NO_x

با توجه به آنکه تقریباً ۹۹/۶ درصد از کربن سوخت به CO_2 تبدیل شده است، اثر غلظت Envirox بر روی نرخ مصرف سوخت می تواند بطور مستقیم به اثر بر روی نرخ نشر- CO_2 تعبیر گردد. این بدان معنیست که افزودن Envirox طبق توصیه سازنده ($\times 1$ سوخت) و بالاتر ($\times 10$ سوخت) به ترتیب باعث کاهش نشر CO_2 به مقدار ۵/۶ درصد و ۱۱/۳ درصد (برای میزان الکتریسیته تولید شده یکسان) خواهد شد (جدول ۱). اثر Envirox بر نرخ های نشر CO، الگوی مشابهی با آنچه برای CO_2 نشان داده شد را دنبال می کند. برای $\times 0/1$ سوخت استفاده شده، هیچگونه تغییری در میزان نشر CO نسبت به حالتی که

جدول ۱- نرخ انتشار دی اکسید کربن، مونواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، و ذرات معلق برای چهار سوخت دیزل مخلوط شده با غلظتهای مختلف Envirox

آلاینده	$\times 0$ سوخت				$\times 0/1$ سوخت				$\times 1$ سوخت				$\times 10$ سوخت			
	متوسط	انحراف استاندارد	درصد	متوسط	انحراف استاندارد	درصد	متوسط	انحراف استاندارد	درصد	متوسط	انحراف استاندارد	درصد	متوسط	انحراف استاندارد	درصد	درصد
CO_2 (kg/h)	۴.۷۷	۰.۰۲	۰.۴	۴.۷۴	۰.۰۱	۰.۲	۴.۴۹	۰.۱۸	۳.۹	۴.۲۹	۰.۰۳	۰.۶	۴.۲۹	۰.۰۳	۰.۶	۰.۶
CO (g/h)	۹.۲۷	۰.۲۹	۳.۰	۹.۳۷	۰.۳۶	۳.۸	۸.۳۷	۰.۲۴	۲.۹	۷.۹۹	۰.۲۵	۳.۱	۷.۹۹	۰.۲۵	۳.۱	۳.۱
NO (g/h)	۱۰.۸۵	۲.۲۵	۲۰.۷	۱۱.۷۷	۲.۱۹	۱۸.۶	۱۱.۹۵	۲.۰۰	۱۶.۷	۱۳.۹۲	۰.۰۲	۰.۱	۱۳.۹۲	۰.۰۲	۰.۱	۰.۱
NO_2 (g/h)	۰.۲۷	۰.۰۳	۱۱.۳	۰.۳۱	۰.۱۶	۵۲.۸	۰.۱۸۵	۰.۰۲	۱۱.۹	۰.۲۹	۰.۰۶	۱۹.۵	۰.۲۹	۰.۰۶	۱۹.۵	۱۹.۵
NO_x (g/h)	۱۱.۱۱	۲.۲۶	۲۰.۳	۱۲.۰۸	۲.۲۵	۱۸.۶	۱۲.۱۴	۲.۰۲	۱۶.۶	۱۴.۲۰	۰.۰۷	۰.۵	۱۴.۲۰	۰.۰۷	۰.۵	۰.۵
PM mass (mg/h)	۸۳۲.۴	۱۳۸.۱	۱۶.۶	۷۴۱.۸	۱۳۲.۶	۱۷.۹	۶۳۰.۳	۱۵۳.۶	۲۴.۴	۴۴۹.۱	۲.۷	۰.۶	۴۴۹.۱	۲.۷	۰.۶	۰.۶
PM number ($10^{12}/\text{h}$)	۳۱۰.۲	۶۶.۳	۲۱.۴	۳۳۴.۲	۵۰.۳	۱۵.۱	۴۱۰.۱۷	۶۴.۳	۱۵.۷	۳۹۶.۶	۴۴.۸	۱۱.۳	۳۹۶.۶	۴۴.۸	۱۱.۳	۱۱.۳

جدول ۲- نرخ انتشار (mg/h) آلودیهای فاز گازی برای چهار نمونه سوخت مخلوط سده با غلظتهای مختلف Envirox

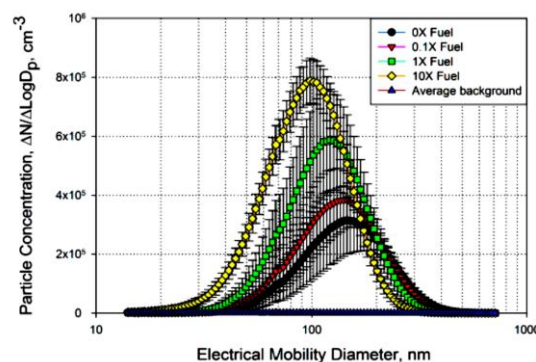
آلاینده	سوخت ×۱۰			سوخت ×۰/۱			سوخت ×۱			سوخت ×۱۰		
	متوسط	انحراف استاندارد	درصد	متوسط	انحراف استاندارد	درصد	متوسط	انحراف استاندارد	درصد	متوسط	انحراف استاندارد	درصد
فرمالدئید	۱۷۸	۷.۷۱	۴.۳	۱۶۶	۲.۸۸	۱.۷	۱۶۲	۵.۳۹	۳.۳	۱۲۴	۱۳	۱۱
استالدید	۵۹.۱	۵.۹۶	۱۰	۵۶.۴	۱.۲۲	۲.۲	۵۳.۹	۱.۸۲	۳.۴	۴۱.۵	۴.۹۴	۱۲
آکروئین	۳۰.۱	۳.۹۲	۱۳	۲۶.۸	۵.۹۶	۲۲	۲۳.۳	۴.۴۱	۱۹	۱۷.۷	۳.۴۷	۲۰
پروپیونالدید	۲.۳۸	۰.۸۶	۳۶	۱.۶۹	۰.۰۵	۳.۲	۱.۷۷	۰.۰۷	۳.۹	۱.۰۳	۰.۲۸	۲۸
کورتونالدید	۰.۵۵	۰.۰۷	۱۳	۰.۴۵	۰.۰۳	۵.۹	۰.۴۱	۰.۰۸	۱۸	۱.۲۳	۰.۰۹	۷.۲
بوتیرالدید	۳.۴۱	۰.۱۱	۳.۳	۲.۴۶	۰.۵۹	۲۴	۱.۹۷	۰.۳۸	۱۹	۲.۲۸	۰.۵۵	۲۴
بنزالیدید	۲.۳۵	۰.۷۸	۳۳	۲.۰۵	۰.۵۰	۲۵	۲.۰۷	۰.۱۶	۷.۷	۱.۶۶	۰.۴۲	۲۵
ایزووالرالدید	۳.۱۷	۰.۵۳	۱۷	۰.۷۷	۰.۰۵	۵.۹	۰.۹۱	۰.۲۷	۳۰	۱.۴۵	۰.۲۶	۲۵
والرالدید	۰.۶۸	۰.۱۰	۱۵	۰.۵۷	۰.۰۳	۵.۹	۰.۵۲	۰.۱	۱۹	۱.۲۴	۰.۲۶	۲۹

۸- اثرات غلظت نانوسریا بر روی نشر آلودیها

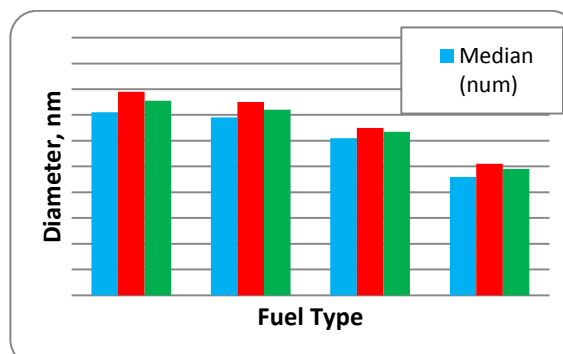
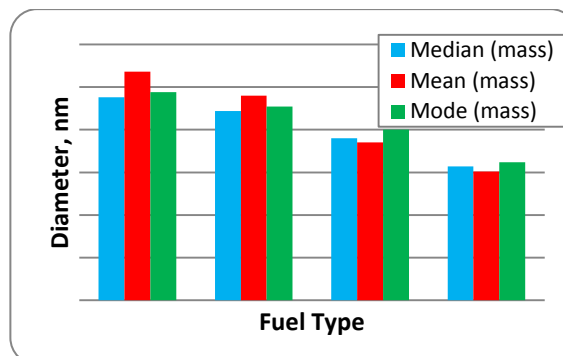
افزایش غلظت های CeO_2 در سوخت باعث کاهش نرخ نشر فرمالدئیدها، استالدیدها و اکروئین ها شده است (جدول ۳). نسبت به صفر سوخت، حالت های $\times 0/1$ سوخت، $\times 1$ سوخت و $\times 10$ سوخت، به ترتیب منجر به یک کاهش $6/7$ درصد، $8/7$ درصد و 30 درصد کاهش در نرخ نشر فرمالدئید و $4/4$ درصد، $8/7$ درصد و 41 درصد کاهش در نرخ نشر استالدید و 11 درصد، 23 درصد و 41 درصد کاهش در نرخ نشر اکروئین شده است. این سه آلودی بیشترین آلودیهای بوده اند که در گاز خروجی از اگزوز اندازه گیری شده اند و 89 الی 92 درصد وزنی همه آلودیهای گزارش شده در جدول ۲ را به خود اختصاص داده اند. در هر چهار نوع سوخت، در بین این سه آلودی، فرمالدئید $2/9$ الی 3 برابر بیشتر از استالدید و $5/9$ الی 7 مرتبه بیشتر از اکروئین بوده است. برای سایر آلودیها، اثر Envirox کمتر واضح بوده و در ظاهر به غلظت وابسته نیست. برای مثال اگرچه هر یک از $\times 0/1$ سوخت، $\times 1$ سوخت، $\times 10$ سوخت یک کاهش را در نرخ نشر پروپین آلودی نشان داده اند، نرخ نشر برای $\times 0/1$ سوخت کمی پایین تر از $\times 1$ سوخت بوده است. برای بوتیرآلودی و ایزووالرآلودی، افزودن Envirox در سه غلظت مذکور باعث کاهش در نرخ نشر شده است، اما میزان کاهش در $\times 10$ سوخت کمتر از حالات $\times 0/1$ سوخت و $\times 1$ سوخت بوده است (جدول ۲).

۹- نتیجه گیری

کاهش مصرف سوخت و آلاینده های خروجی از اگزوز موتورهای دیزلی یکی از چالشهای موجود جوامع پیشرفته می باشد. مواد افزودنی نظیر نانو سیریم اکسید می توانند در کاهش مصرف سوخت و آلاینده های خروجی از اگزوز موثر باشند. در این مقاله مروری بر روشهای ساخت و پوششدهی این نانو ذره انجام شده است. استفاده از افزودنی Envirox حاوی نانوسریا کاهش مصرف سوخت تا میزان 11% ، نشر- جرمی ذرات تا $46/1\%$ ، مونواکسید کربن تا $14/6\%$ و کاهش آلودیهای فرمالدئید و استالدید تا 30% را بدنبال داشته است. این افزودنی سبب افزایش NO_x خروجی از اگزوز تا $27/8\%$ شده است.



شکل ۲- توزیع اندازه ذرات بر اساس غلظت عددی ذرات اندازه گیری شده در داخل محفظه تست [۱۸]



شکل ۳- نمودار آماری برای پراکندگی سایز ذرات در CEF برای چهار نمونه سوخت: (چپ) بر اساس جرم، (راست) بر اساس تعداد [۱۸]

- [11] Lepperhoff G., Kroon G., Impact of Particulate Traps on the Hydrocarbon Fraction of Diesel Particles, SAE Tech. Pap. 850013, 1985.
- [12] Guru M., Karakaya U., Altiparmak D., Alicilar A., Improvement of Diesel Fuel Properties by Using Additives, *Energ. Convers. Manage.*, Vol. 43, No. 8, 2002, pp 1021-1025.
- [13] Kim H. N., Choi B. C., Effect of Ethanol-Diesel Blend Fuels on Emission and Particle Size Distribution in a Common-Rail Direct Injection Diesel Enginewithwarm-up Catalytic Converter, *Renew. Energ.*, Vol. 33, No. 10, 2008, pp 2222-2228.
- [14] De Menezes E.W., Da Silva R., Cataluna R., Ortega R. J. C., Effect of Ethers and Ether/Ethanol Additives On The Physicochemical Properties of Diesel Fuel and on Engine Tests, *Fuel*, Vol. 85, No. 5-6, 2006, pp 815-822.
- [15] Sajeevan A. C., Sajith V., Diesel Engine Emission Reduction Using Catalytic Nanoparticles: An Experimental Investigation, *J. Eng.*, Vol. 2013, 2013.
- [16] Sajith V., Sobhan C. B., Peterson G. P., Experimental Investigations on the Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Fuel Additives on Biodiesel, *Adv. Mech. Eng.*, Vol. 2010, 2010.
- [17] Cassee F. R., Van Balen E. C., Singh C., Green D., Muijsers H., Weinstein J., Dreher K., Exposure, Health and Ecological Effects Review of Engineered Nanoscale Cerium And Cerium Oxide Associated With Its Use as a Fuel Additive, *Crit. Rev. Toxicol.*, Vol. 41, No. 3, 2011, pp 213-229.
- [18] Zhang J., Nazarenko Y., Zhang L., Calderon L., Lee K. B., Garfunkel E., Schwander S., Tetley T. D., Chung K. F., Porter A. E., Ryan M., Kipen H., Liyo P. J., Mainelis G., Impacts of a Nanosized Ceria Additive on Diesel Engine Emissions of Particulate and Gaseous Pollutants, *Environ. Sci. Tech.*, Vol. 47, No. 22, 2013, pp 13077-13085.
- [19] Exposure, health and ecological effects review of engineered nanoscale cerium and cerium oxide associated with its use as a fuel additive. *Crit. Rev. Toxicol.* 2011, 41 (3), 213-229; DOI: 10.3109/10408444.2010.529105.
- [20] Envirox Product Information. <http://www.energenics.co.uk/envirox/envirox-product-information>
- [1] Xu C., Qu X., Cerium Oxide Nanoparticle: a Remarkably Versatile Rare Earth Nanomaterial for Biological Applications, *NPG Asia Materials*, Vol.6, No.3, 2014.
- [۲] سید علی حسن زاده تبریزی، مهدی مظاهری، مسعود امین زارع، سید خطیب اسلام صدر نژاد، سنتز نانو پودر سریا به روش رسوبی و بررسی اثر عملیات حرارتی بر رشد کریستال ها، هفتمین گنگره سرامیک ایران، شیراز، اردیبهشت ۱۳۸۸.
- [3] Masui T., Fujiwara K., Machida K. I., Adachi G. Y., Sakata T., and Mori H., Characterization of cerium(IV) oxide ultrafine particles prepared using reversed micelles, *Chemistry of Materials*, vol. 9, no. 10, 1997, pp. 2197-2204.
- [4] Wu Zh., Guo L., Benfield R. E., Qinglin Y., Grandjean D., Li Q., Zhu H., Cerium Oxide Nanoparticles Coated by Surfactant Sodium Bis (2-Ethylhexyl) Sulphosuccinate (AOT): Local Atomic Structures and X-Ray Absorption Spectroscopic Studies, *J. Phys. Condens. Mat.*, Vol.13, No. 22, 2001, pp 5269-5283.
- [5] Masui T., Hirai H., Hamada R., Imanaka N., Adachi G., Sakata T., Mori H., Synthesis And Characterization if Cerium Oxide Nanoparticles Coated With Turbostratic Boron Nitride, *J. Mater. Chem.*, Vol.13, 2003, pp 622-627.
- [6] Pahari S. K., Sutradhar N., Sinhamahapatra A., Pala P., Panda A. B., Synthesis of Nearly Monodispersed Metal Oxide Nanoparticles in Water, *New J. Chem.*, Vol.35, 2011, pp 1460-1465.
- [7] Renu, G., Divya Rani, V.V., Nair, S.V., Subramanian, K.R.V., Lakshmanan, V.K., Development Of Cerium Oxide Nanoparticles and its Cytotoxicity in Prostate Cancer Cells, *Adv. Sci. Lett.*, Vol. 5, 2012, pp1-9.
- [8] Chen H. S., Mazzolini J., Ayers J., Rappoport J., Lead J., Preece J., Synthesis And Characterization Of Nano Ceria for Biological Applications, *Proceedings of the SPIE*, Vol. 8879, 2013.
- [9] Hazarika R., Morgan B. L., A Fuel Additive, Patent WO 2002000812 A2, 2002.
- [10] Baumgard, K. J., Kittelson D. B., The Influence of a Ceramic Particle Trap on the Size Distribution of Diesel Particles, SAE Tech. Pap. 850009, 1985.