به‌کارگیری دو افزودنی نیتروژن‌دار و پایه‌فلزی در سوخت دیزل برای بهبود خواص فیزیکی شیمیایی سوخت و کاهش نشر آلاینده‌ها

مجتبی ساعی مقدم*، محمد شیرازی و مونا محمدباقری

گروه مهندسی شیمی، دانشگاه مهندسی فناوری‌های نوین قوچان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۲۰

چکیده

در این کار پژوهشی، با اضافه کردن افزودنی‌های نیتروژن‌دار و پایه‌فلزی به سوخت دیزل استاندارد، خواص فیزیکی شیمیایی سوخت و انتشار گازهای خروجی از موتور دیزل بررسی شده است. نیترومتان(CH_3NO_2) و اکسید منگنز(MnO_2) به‌ترتیب نمونه‌ای از افزودنی‌های نیتروژن‌دار و پایه‌فلزی استفاده‌شده در این کار پژوهشی هستند. نیترومتان به مقدار ۱۰٪ حجمی و اکسید منگنز به مقدار ۱۰۰ mg/kg به سوخت دیزل اضافه و آزمایش‌های عملکرد موتور روی چرخه هشت حالت ECE R-96 انجام شدند. نتایج نشان دادند که شاخص ستان اندازه‌گیری‌شده به روش ASTM D976 برای سوخت‌های شامل افزودنی بیش از دیزل تنهاست در حالی که گرانروی اندازه‌گیری‌شده به روش ASTM D445 برای سوخت‌های شامل افزودنی کاهش می‌یابد و جرم مخصوص اندازه‌گیری‌شده به روش ASTM D1298 نیز تغییر محسوسی نداشته است. برای دیزل همراه با هر یک از این دو افزودنی، مقادیر آلاینده‌های خروجی مانند دوده کاهش یافت که این مقدار به‌طور متوسط برای هر یک از افزودنی‌های نیترومتان و اکسید منگنز، نسبت به سوخت دیزل، به‌ترتیب حدود ۱۶ و ۲۵٪ بود و به‌طور کلی با استفاده از این افزودنی‌ها BSSOOT کمتری منتشر شده است.

کلمات کلیدی: سوخت دیزل، افزودنی‌های پایه‌فلزی، افزودنی‌های نیتروژن‌دار، کاهش انتشار آلاینده‌ها، نیترومتان و اکسید منگنز.

مقدمه

در جامعه صنعتی امروز موتورهای دیزلی نقشی عمده ایفا می‌کنند. عیب این موتورها انتشار دود، اکسیدهای نیتروژن‌دار و ذرات معلق است، اما به‌دلیل قابلیت تامین قدرت زیاد و بازدهی گرمایی بالا کاربردی گسترده در صنعت حمل‌ونقل، کشتی‌رانی، نیروگاه‌ها، راه‌سازی، کشاورزی و ... دارند. قیمت تمام‌شده اولیه موتور دیزل زیاد است، اما این موتورها عمل‌کردی مقرون‌به‌صرفه دارند و آلودگی کم‌تری از موتورهای بنزینی مشابه تولید می‌کنند[۱-۳]. با افزایش نگرانی برای حفظ محیط زیست و سلامت انسان در سرتاسر جهان، مقرراتی سخت‌گیرانه به اجرا گذاشته شده‌اند.

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی mojtabasaei@qiet.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

هدف اصلی پژوهش‌ها در زمینه بهبود موتور کاهش نشر آلاینده‌های خروجی از موتور است به همین خاطر طراحی موتور برای رسیدن به استانداردهای ضروری در انتشار آلاینده‌ها بهبود یافته است(مانند کنترل تزریق سوخت برای مهار افزایش مصرف سوخت)[۴-۹]. یک راه موثر بالا بردن کیفیت سوخت می‌تواند استفاده از انواع افزودنی‌های اکسیژن‌دار، نیتروژن‌دار و پایه‌فلزی برای کاهش آلاینده‌های خروجی حاصل از احتراق موتورهای دیزلی باشد[۱۰]. امروزه کاهش آلاینده‌های خروجی از موتور دیزل با استفاده از افزودنی‌های اکسیژن‌دار به‌شکلی گسترده تایید شده است. در میان افزودنی‌های اکسیژن‌دار، دیگلایم(دی‌اتیلن گلایکول دی‌متیل اتر) برای سوخت‌های دیزلی مناسب است و اضافه کردن آن به سوخت دیزل باعث کاهش مقدار گرمای آزادشده در احتراق پیش‌مخلوط و کاهش غلظت دوده می‌شود، در حالی که می‌تواند مقدار NO_X را کاهش یا افزایش دهد[۱۱-۱۵]. نمونه‌ای از افزودنی‌های نیتروژن‌دار نیترومتان است که تاثیر کسر حجمی آن روی پیک دمایی احتراق و انتشار گاز خروجی بسیار بررسی شده است. نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهند که با افزودن نیترومتان به سوخت پیک دمایی مخلوط افزایش و غلظت دوده کاهش می‌یابد[۱۶]. گروهی دیگر از افزودنی‌ها پایه‌فلزی هستند که کاتالیزور احتراقی مناسبی برای سوخت‌های هیدروکربنی به شمار می‌آیند؛ مانند منگنز(Mn)، آهن(Fe)، سریم(Ce) و... . نتایج حاصل از پژوهش‌های گورو و همکارانش نشان می‌دهند که گرانروی و انتشار CO_2 با اضافه کردن افزودنی اکسید منگنز، که نمونه‌ای از افزودنی‌های پایه‌فلزی است، کاهش و انتشار CO و SO_2 افزایش می‌یابد[۱۷]. باید خاطرنشان کرد که استفاده از اتانول به‌عنوان افزودنی اکسیژن‌دار، که جزو گروه بیودیزل نیز هست، به ناپایداری و دوفازی شدن سوخت منجر می‌شود. همچنین استفاده از بیودیزل باعث انتشار بیش‌تر اکسیدهای نیتروژن می‌شود چون محتوای نیتروژن آنها بالاست[۱۸]. در این کار نیترومتان و اکسید منگنز، به‌عنوان افزودنی‌های سوخت دیزل استاندارد، و اثر آنها بر خواص فیزیکی-شیمیایی سوخت دیزل از جمله چگالی، گرانروی، شاخص ستان و همچنین انتشار گازهای خروجی و غلظت دوده از موتور دیزل برای سه نوع سوخت(دیزل، دیزل+ نیترومتان و دیزل+ اکسید منگنز) ارزیابی شده است.

مواد و روش‌های انجام آزمایش

مواد

خواص فیزیکی شیمیایی دیزل به‌همراه مواد افزودنی نیترومتان و اکسید منگنز که در این آزمایش‌ها استفاده شده‌اند در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. افزودنی نیترومتان دارای ۳۶٪ وزنی اکسیژن و دیزل استفاده شده در این آزمایش دیزل استاندارد یورو دو اروپا با محتوای حداکثر ۵۰۰ ppm گوگرد است و نیترومتان و اکسید منگنز نیز محصول شرکت مرک آلمان هستند.

جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دیزل و افزودنی‌ها.

	فرمول شیمیایی	جرم مولکولی (Kg/kgmol)	دمای جوش(°C)	دمای خود اشتعالی(°C)	جرم مخصوص در ۲۰°C (kg/m^3)	محتوای اکسیژن(wt٪)	ارزش حرارتی سوخت(MJ/kg)	گرمای نهان تبخیر(kJ/kg)
دیزل	C_XH_Y	۱۹۰-۲۲۰	۱۸۰-۳۶۰	۳۱۵	۸۲۹	۰	۴۲/۵	۲۵۰
نیترومتان	CH_3NO_2	۶۱/۰۴	۱۶۲	۴۱۸	۱۱۳۸	۵۲/۴	۱۰/۵۲	۵۶۱
اکسید منگنز	MnO_2	-	-	-	۵۰۳۰	-	-	-

Archive of SID

www.SID.ir

روش انجام آزمایش

گاز حاصل از احتراق در آزمایش‌های انجام‌شده روی یک موتور دیزل پاشش مستقیم[1] چهارسیلندر و توربوشارژ بررسی شد که مشخصات اصلی آن در جدول ۲ و شرایط عملیاتی موتور نیز در جدول ۳ آمده‌اند.

جدول ۲ مشخصه‌های موتور(تولید تراکتورسازی تبریز- موتورسازان).

نوع موتور	۴/۲۴۴ MT
Bore*Stroke	۱۲۷*۱۰۰
جابه‌جایی	۳/۹۹ L
نسبت تراکم	۱۷/۵
نوع تزریق سوخت	تزریق مستقیم
پمپ تزریق سوخت	چرخشی
فشار تزریق	۴۰۰-۴۵۰ bar
توان بیشینه	61kW in 200 rpm
گشتاور بیشینه	360 N.m in 1300 rpm

جدول ۳ شرایط عملیاتی موتور دیزلی معرفی شده

درصد بارگذاری	سرعت موتور(دور در دقیقه)(rpm)	حالت
۱۰۰	۲۰۰۰	۱
۷۵	۲۰۰۰	۲
۵۰	۲۰۰۰	۳
۱۰	۲۰۰۰	۴
۱۰۰	۱۳۰۰	۵
۷۵	۱۳۰۰	۶
۵۰	۱۳۰۰	۷
۰/۵	۷۶۰	۸

نیتروژن به‌عنوان افزودنی نیتروژن‌دار به مقدار ۱۰٪ حجمی و اکسید منگنز به‌عنوان افزودنی پایه‌فلزی به مقدار ۱۰۰ mg/kg با سوخت دیزل استاندارد ترکیب شده‌اند. برای هر آزمون سه عامل سرعت، زمان تزریق و بار در تمام حالات یکسان نگه داشته و تمام آزمایش‌ها ۳ الی ۵ بار برای بالا بردن دقت و پرهیز از خطا تکرار شدند. گازهای حاصل از احتراق به‌کمک آنالیزگر گازهای خروجی AVL Dicom 4000 آنالیز و CO_2 و CO با یک آنالیزگر مادون قرمز غیرمتفرق‌کننده[2] و NO_x با یک آشکارساز پرتوافشانی شیمیایی[3] تجزیه‌وتحلیل شدند. در شکل ۱ شماتیکی از دستگاه آزمایش‌شده، در شکل ۲ کامپیوتر ثبت داده‌های[4] آزمایش‌ها و موتور به‌همراه دینامومتر و در جدول ۴ نیز مقادیر دقت اندازه‌گیری گزارش شده‌اند.

نتایج

خواص فیزیکی- شیمیایی سوخت

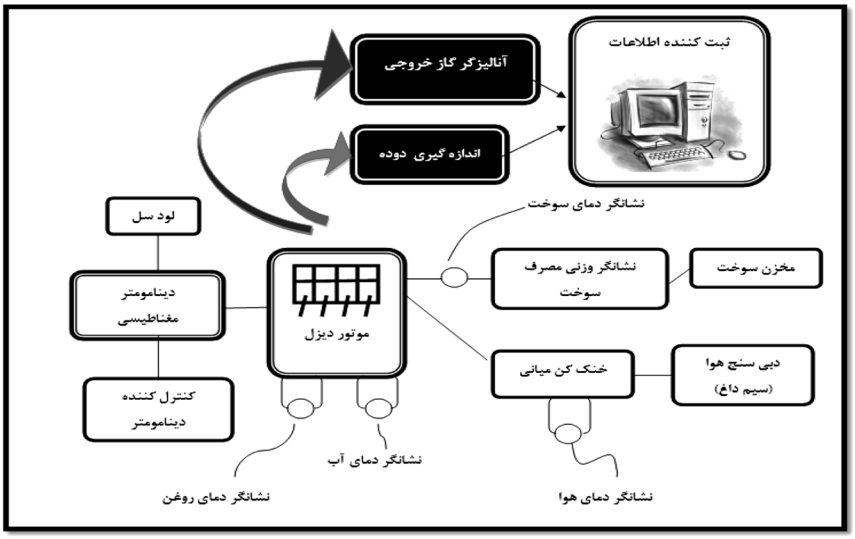
آزمون‌های خواص فیزیکی- شیمیایی انجام‌شده شامل اندازه‌گیری شاخص ستان، گرانروی و جرم مخصوص برای سه نوع سوخت هستند که به‌ترتیب در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند. جرم مخصوص هر دو سوخت همراه با افزودنی که با روش ASTMD1298 اندازه‌گیری شده تغییر محسوسی نسبت به دیزل نداشته است. برای سوخت‌های شامل افزودنی(دیزل+ نیترومتان و دیزل+اکسید منگنز)، در مقایسه با خود دیزل، شاخص ستان اندازه‌گیری شده به روش ASTMD976 افزایش و گرانروی اندازه‌گیری‌شده به روش ASTMD445 کاهش یافته است.

آنالیز گازهای خروجی

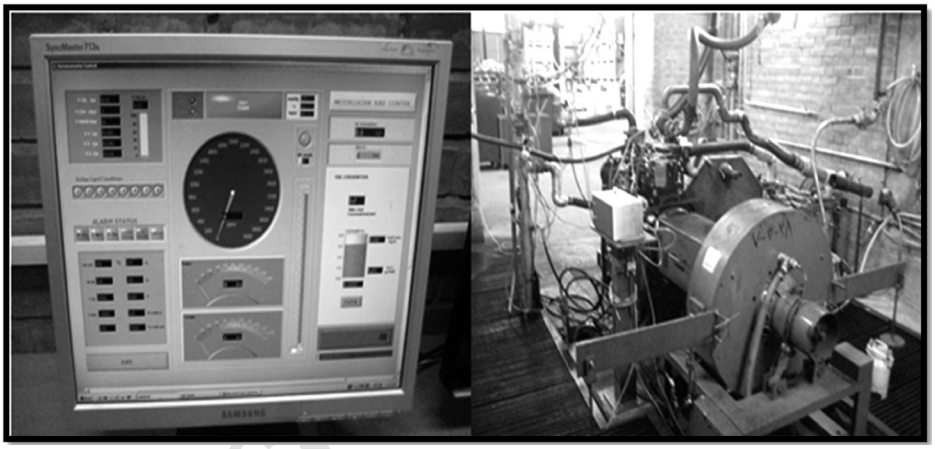
در شکل ۶ انتشار NO_x در هر حالت برای سه نوع سوخت براساس چرخه ۸ حالت ECE R -96 رسم شده است. با دقت در این شکل می‌توان به‌خوبی دریافت که مقدار تولید NO_x با افزایش بار موتور و همچنین کاهش دور موتور با بار یکسان افزایش یافته است. در حالت‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ انتشار NO_x از سوخت دیزل+ نیترومتان از سوخت‌های دیگر بیش‌تر بوده است.

1. Direct Injection
2. Non-dispersive Infrared Analyzer
3. Chemilluminescent Detector
4. Data Logger

Archive of SID
www.SID.ir



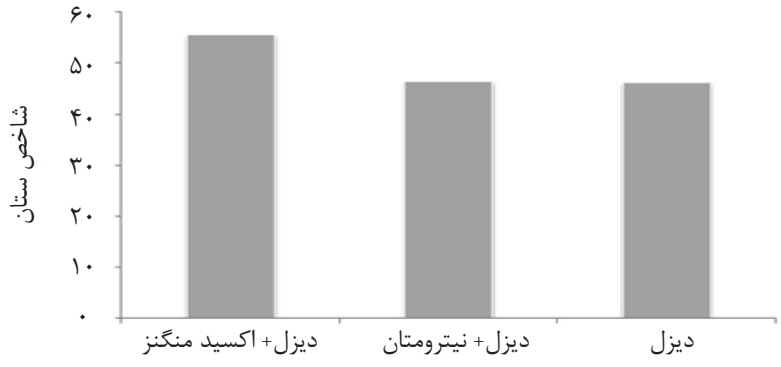
شکل ۱ شماتیکی از دستگاه آزمایش‌شده.



شکل ۲ کامپیوتر ثبت‌کننده داده‌های آزمایش‌ها و موتور به‌همراه دینامومتر.

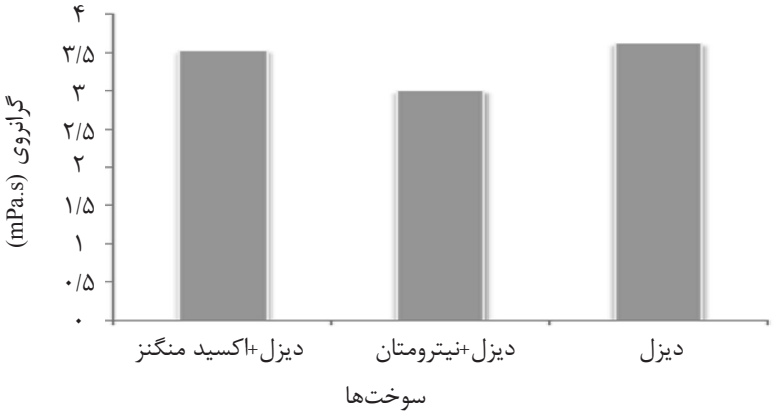
جدول ۴ مقادیر دقت اندازه‌گیری.

NO_X	۱ ppm
دوده	٪۰/۱

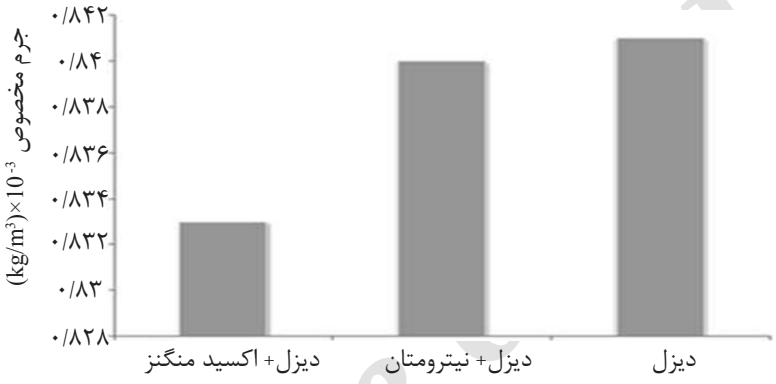


شکل ۳ شاخص ستان برای سه نوع سوخت آزمایش‌شده.

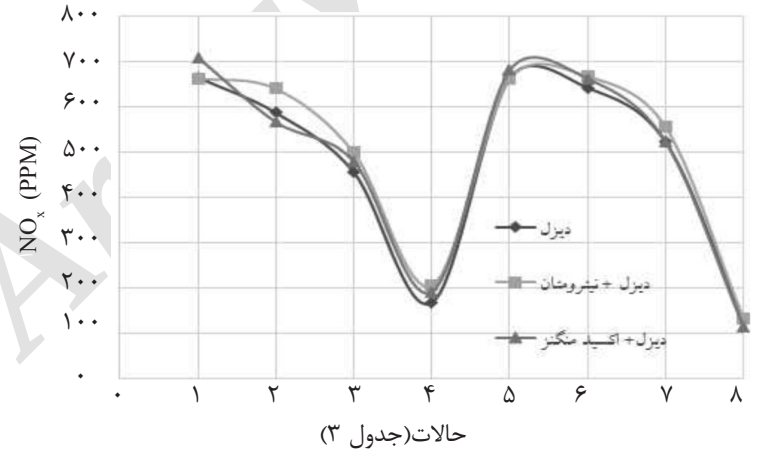
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴ گرانروی برای سه نوع سوخت آزمایش‌شده.



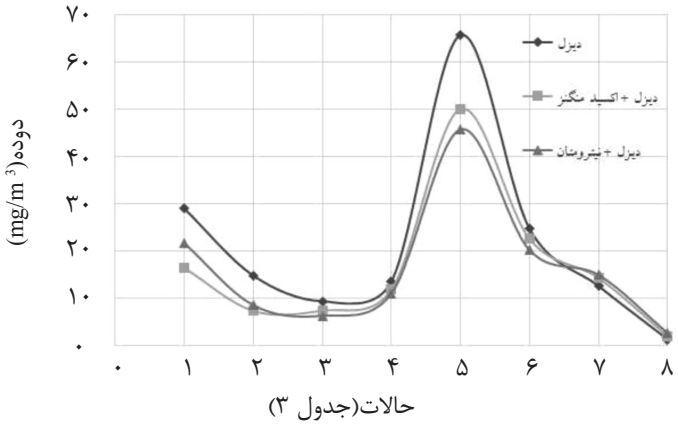
شکل ۵ جرم مخصوص برای سه نوع سوخت آزمایش‌شده.



شکل ۶ نمودار مقدار انتشار NO_x برای سه نوع سوخت طبق چرخه ۸ حالت ECE R - 96.

در تمام حالات به جز حالت ۲، انتشار NO_x از سوخت‌های شامل افزودنی از خود دیزل بیش‌تر بود در حالی که این مقدار به‌طور متوسط برای سوخت دیزل+ نیترومتان و دیزل+ اکسید منگنز به‌ترتیب در حدود ۶ و۲/۵٪ بوده است. به‌طور کلی در حالت‌های ۵، ۶ و ۷ شیب نشر NO_x برای سوخت دیزل از سوخت دیزل شامل افزودنی بیش‌تر است. شکل ۷، که برای افزودنی‌های نیتروژن‌دار و پایه‌فلزی به‌همراه دیزل براساس چرخه ۸ حالت ECE R - 96 رسم شده است، نشان می‌دهد که با اضافه کردن هر یک از افزودنی‌ها به سوخت دیزل مقدار دوده خروجی کاهش یافته است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۷ نمودار مقدار دوده برای سه نوع سوخت طبق چرخه ۸ حالت ECE R - 96.

در حالت ۵ حداکثر مقدار دوده در بالاترین بار تولید شده است. با دقت در این شکل مشخص می‌شود که کاهش غلظت دوده در حداکثر گشتاور(حالت‌های ۵، ۶ و ۷) از ماکزیمم سرعت(حالت‌های ۱، ۲، ۳ و ۴) بیش‌تر بوده است. در تمام حالات متوسط نرخ کاهش دوده از ترکیب سوخت دیزل+نیترومتان و دیزل+اکسید منگنز نسبت به سوخت دیزل به‌ترتیب حدود ۱۶ و ۲۵ ٪ بوده است. کلا مقدار نشر دوده در دور کم بیش از دور بالا بوده است.

در جدول ۵ مقادیر BSSOOT، $BSNO_X$، BSCO و BSHC برای سه نوع سوخت براساس چرخه ۸ حالت ECE R - 96 برحسب g/kWh ارایه شده است. مقدار انتشار هیدروکربن‌های نسوخته از هر یک از افزودنی‌ها از دیزل بیش‌تر بوده است. مقدار انتشار BSSOOT برای سوخت شامل هر یک از دو افزودنی نیتروژن‌دار و پایه‌فلزی یکسان گزارش شده که در مقایسه با سوخت دیزل حدود ۲۵٪ کاهش داشته است. در BSCO، نشر CO از افزودنی نیتروژن‌دار بیش از افزودنی پایه‌فلزی بوده که دلیل آن را می‌توان تاخیر زمان افروزش به‌خاطر گرمای نهان تبخیر بالا دانست.

جدول ۵ مقادیر BSSOOT، $BSNO_X$، BSCO و BSHC برای سه نوع سوخت براساس چرخه ۸ حالت ECE R - 96.

	دیزل	دیزل+ نیترومتان	دیزل+ اکسید منگنز
BSHC (g/kW h)	۰/۰۲۳	۰/۱۵۰	۰/۰۹۲
$BSNO_X$ (mg/kW h)×10^3	۵/۸۳	۶/۳۰	۶/۱۷
BSSOOT (g/kW h)	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۲
BSCO (g/kW h)	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۲۱

نتیجه‌گیری

خلاصه نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

با افزودن نیترومتان(CH_3NO_2) و اکسید منگنز(MnO_2) به‌عنوان افزودنی نیتروژن‌دار و پایه‌فلزی به سوخت دیزل، استاندارد خواص فیزیکی شیمیایی از جمله گرانروی کاهش و شاخص ستان افزایش یافته و جرم مخصوص نیز تغییر قابل‌توجهی نسبت به سوخت دیزل استاندارد نداشته است.

درباره اثر این افزودنی‌ها بر انتشار آلاینده‌های خروجی از موتور دیزل می‌توان گفت که به‌طور متوسط نرخ تولید دوده از افزودنی نیتروژن‌دار و پایه‌فلزی به‌ترتیب حدود ۱۶ و ۲۵٪ کاهش و نشر NO_X از هر یک نیز حدود ۶ و ۲/۵٪ افزایش داشته است؛

Archive of SID

www.SID.ir

ایـن دو افزودنـی نتایـج خوبـی در کاهـش دوده نشـان داده‌انـد، امـا در نشـر NO_X نتایـج رضایت‌بخـش نبوده‌انـد و بـرای اسـتفاده عملـی از ایـن افزودنی‌هـا بـه آزمون‌هـای بیش‌تـر نیـاز اسـت تـا عـوارض احتمالـی اسـتفاده از آنهـا نیـز مشـخص شـوند.

تشکر و قدردانی

ایـن مقالـه بخشـی از طـرح پژوهشـی بـا شـماره قـرارداد ۱۰۲۱ بـا حمایت‌هـای دانشـگاه مهندسـی فناوری‌هـای نویـن قوچـان، بـه انجـام رسـیده اسـت.

مراجع

[1]. Robert N. Brady and John F., *"Dagel, diesel engine and fuel system repair,"* 5th ed, Prentice Hall, 2001.

[2]. Ed May, *"Diesel mechanics",* McGraw-Hill Australia, 1985.

[3]. Hansen A. C., Zhang Q. and Lyne P. W. L., *'Ethanol-diesel fuel blends-a review, Bioresource,'* Technol., Vol. 96, pp. 277-285, 2005.

[4]. De Menezes E. W., Da Silva R., Cataluna R. and 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, pp. 815-822, 2006.

[5]. Ribeiro N. M., Pinto A. C., Quintella C. M., Da Rocha G. O., Leonardo S. G., Lílian T., Guarieiro L. N., do Carmo Rangel M., Márcia C. C. Veloso , Michelle J. C. Rezende, Rosenira Serpa da Cruz, Ana Maria de Oliveira, Ednildo A. Torres , and Jailson B. de Andrade, "*The role of additives for diesel and diesel blended (ethanol or biodiesel) fuels- a review*", Energy Fuels, Vol. 21, pp. 2433-2445, 2007.

[6]. Frusteri F., Spadaro L., Beatrice C. and Guido C., "*Oxygenated additives production for diesel engine emission improvement*", Chem. Eng., Vol. 134, pp. 239-245, 2007.

[7]. Yao M., Wang H., Zheng Z. and Yue Y., "*Experimental study of n-butanol additive and multi-injection on HD diesel engine performance and emissions*", Fuel, Vol. 89, pp. 2191-2201, 2010.

[8]. Mohebbi A., Komarizade M. A., Jafarmadar S. and Pashai J., "*Use of waste cooking oil biodiesel in a tractor DI diesel engine*", J. Food Agric. Environ., Vol. 10, pp. 1290-1297, 2012.

[۹]. غفـارزاده س.، عباسـی پ. و جعفـری قاسـم قشـلاقی م.، "بررسـی تئـوری و تجربـی تاثیـر قطـر لولـه سـوخت فشـاربالای انژکتـور در عمل‌کـرد و آلایندگـی موتورهـای دیزلـی"، مجلـه دانشـکده فنـی دانشـگاه تبریـز، شـماره ۲، صفحـات ۷۳-۷۹، ۱۳۸۷.

[10]. Stage De Caro P., Mouloungui Z., Vaitilingom G. and Berge J. Ch., "*Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines*", Fuel, Vol. 80, pp. 565-574, 2001.

[11]. Zannis T. C. and Hountalas D. T., "*DI diesel engine performance and emissions from the oxygen enrichment of fuels with various aromatic content*", Energy Fuel, Vol. 18, pp. 659–666, 2004.

[12]. Di Y., Cheung C. S. and Huang Z., "*Experimental investigation of particulate emissions from a diesel engine fueled with ultralow-sulfur diesel fuel blended with diglyme*", Atmos. Environ., Vol. 44, pp. 55-63, 2010.

[13]. Ren Y., Huang Z., Miao H., Di Y., Jiang D., Zeng K., Liu B. and Wang X., "*Combustion and emissions of a DI diesel engine fuelled with diesel-oxygenate blends*", Fuel, Vol. 87, pp. 2691–2697, 2008.

[14]. Tamanouchi M., Akimoto T., Aihara S. and Morihisa H., "*Effects of DGM and oxidation catalyst on diesel exhaust emissions*", SAE Techn., pp. 1122-1137, 1999.

[15]. Ren Y., Huang Z., Miao H., Jiang D., Zeng K., Liu B. and Wang X., "*Effect of the addition of diglyme in diesel fuel on combustion and emissions in a compression-ignition engine*", Energy Fuels, Vol. 21, pp. 2573-2583, 2007.

Archive of SID

www.SID.ir

[16]. Zhang Q., Li W., Lin D.Ch., He N. and Duan Y., "*Influence of nitromethane concentration on ignition energy and explosion parameters in gaseous nitromethane/air mixtures*," J. Hazard. Mater., Vol. 185, pp. 756-762, 2011.

[17]. Guru M., Karakaya U., Altiparmak D. and Alicilar A., "*Improvement of diesel fuel properties by using additives*," Energy Convers. Manage, Vol. 43, pp. 1021-1025, 2002.

[18]. Sezar I., "*Thermodynamic, performance and emission investigation of a diesel engine running on dimethyl ether and diethyl ether*," Int. J. Therm. Sci., Vol. 50, pp. 1594-1603, 2011.

Archive of SID

www.SID.ir