بررسی تجربی تأثیر استفاده از ذرات نانواکسید آهن بر عملکرد و آلایندگی موتور اشتعال جرقه‌ای با سوخت دوگانه بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر و سوخت پایه بنزین

محسن شیرنژاد[۱]، صمد جعفرمدار[۲]، شهرام خلیل آریا[۳]، جواد خیرالهی[۴]

۱ دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲ استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، s.jafarmadar@urmia.ac.ir

۳ استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۴ دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۲۲

چکیده

در پژوهش حاضر برای تعیین مشخصه‌های عملکردی و آلایندگی موتورهای اشتعال جرقه‌ای استفاده از سوختهای ترکیبی بنزین با دی‌متیل‌اتر و نانوکاتالیست اکسید آهن در موتور اشتعال جرقه‌ای با سوخت پایه بنزین مورد مطالعه قرار گرفته است. برای رسیدن به حالت پایداری در مراحل تست‌های تجربی، دمای آب و روغن موتور قبل از هر تست موتور اشتعال جرقه‌ای EF7 در دور موتور ۲۸۰۰rpm در حدود ۱۰ تا ۱۵ دقیقه کارکرده تا قسمت‌های مختلف موتور به حالت پایا برسد. تست‌ها در شرایط بار کامل و دور موتور ۲۸۰۰rpm و بین گشتاورهای ۰ تا ۱۰۰N.m انجام گرفته است. توان خروجی و مصرف سوخت وبژه موتور، با ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر به ترتیب ۵/۲۲ درصد و ۲۸/۲۴ درصد افزایش و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن به ترتیب ۹/۰۴ درصد افزایش ۵/۱۹ درصد کاهش و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن به ترتیب ۱۳/۹۳ درصد افزایش و ۱۱/۰۸ درصد کاهش در مقایسه با سوخت پایه بنزین داشته است. آلاینده‌ها برای سوخت ترکیبی بنزین با نانوذرات اکسید آهن کاهش یافته است.

واژگان کلیدی

سوخت ترکیبی، تست عملکردی، تست آلایندگی، نانواکسید آهن، دی‌متیل‌اتر.

۱. مقدمه

دی‌متیل‌اتر ساده‌ترین اتر آلیفاتیک با فرمول شیمیایی CH_3OCH_3[۱] می‌باشد. این ماده در شرایط محیطی به صورت گازی بی‌رنگ، بی‌بو به شدت آتش‌گیر است. از دی‌متیل‌اتر می‌توان به عنوان پیشران در آئروسل‌ها، پیش ماده در سنتز ترکیبات آلی دیگر مانند دی‌متیل‌سولفات، متیل‌استات و اولفین های سبک، سوخت تمیز برای موتورهای تراکمی- احتراقی [۱] و

توربین‌های گازی، منبع هیدروژن برای کاربرد در پیل های سوختی و همچنین به عنوان حامل هیدروژن استفاده کرد [۱، ۲]. به دلیل شباهت خواص فیزیکی دی‌متیل‌اتر با LPG، این ماده می تواند جایگزین مناسبی برای سوخت LPG باشد. از طرف دیگر دی‌متیل‌اتر به‌دلیل داشتن عدد ستان و مقدار اکسیژن بالا (۳۵٪ وزنی) می‌تواند به عنوان سوخت دیزل مورد استفاده قرار بگیرد. شایان ذکر است که این ماده به دلیل نداشتن پیوند C-C در ساختارش، دوده بسیار کمی در گاز خروجی از موتور دیزل ساطع می کند. همچنین به دلیل غیرسمی بودن دی‌متیل‌اتر، این ماده می‌تواند جایگزین مناسبی برای متانول باشد. دی‌متیل‌اتر در حضور کاتالیست‌های زئولیتی می‌تواند به اولفین‌های سبک و آروماتیک‌ها تبدیل شود [۱-۴]. مصرف دی‌متیل‌اتر در دنیا رو به افزایش می‌باشد روش‌های سنتز کاتالیستی دی‌متیل‌اتر در فاز گازی به دو دسته عمده مستقیم و غیرمستقیم تقسیم بندی می‌شود. در روش مستقیم، گاز سنتز مخلوط CO و H_2 در حضور کاتالیست‌های دوعملگر به دی‌متیل‌اتر تبدیل می‌شود. در روش غیرمستقیم ابتدا گاز سنتز شده در حضور کاتالیست‌های $CuO/ZnO/Al_2O_3$ به متانول تبدیل شده و سپس در مرحله بعد دی‌متیل‌اتر از واکنش آبگیری متانول در حضور کاتالیست‌های جامد-اسیدی به دست می‌آید. شمایی از این دو روش در شکل ۲ نشان داده شده است. در روش غیرمستقیم، هزینه تولید رابطه نزدیکی با بهای متانول دارد. عموما کاتالیست‌های دو عملگر مربوط به سنتز تک مرحله‌ای، ترکیبی از کاتالیست‌های واکنش‌های تولید متانول از گاز سنتز ($CuO/ZnO/Al_2O_3$) و سنتز دی‌متیل‌اتر از آبگیری متانول (کاتالیست‌های جامد-اسیدی) می‌باشند [۲]. سنتز دی‌متیل‌اتر از بیشتر منابع کربنی شامل گاز طبیعی، زغال سنگ، زیست‌توده و حتی CO_2 امکان‌پذیر است، همین موضوع آن را به یک سوخت و خوراک پایدار تبدیل می‌کند. بنابراین تولید آن در ایران با توجه به منابع بزرگ گازی و روشی برای کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 قابل توجه است [۵]. کاتالیست‌های جامد-اسیدی مختلفی مانند گاما-آلومینا، زئولیت های اسیدی، هتروپلی اسیدها و اکسیدهای ترکیبی برای واکنش آب‌گیری متانول در فاز گازی به کار برده شده‌اند. از میان آن‌ها عموما گاما-آلومینا به دلیل قیمت پایین، مساحت سطح بالا، گزینش پذیری بالا نسبت به دی‌متیل‌اتر، طول عمر بسیار خوب، مقاومت مکانیکی و حرارتی بالا، ارجحیت دارد. عیبی که این کاتالیست دارد خاصیت آب دوستی آن می‌باشد. به طوری‌که آب را بسیار قوی‌تر از متانول جذب می‌کند و در نتیجه بخشی از فعالیتش را در طول واکنش از دست می دهد. بنابراین ساخت کاتالیست فعال، گزینش پذیر و پایدار با مقاومت بالا نسبت به آب بسیار مهم می‌باشد [۱، ۲]. در حال حاضر میزان تقريبي حجم ذخاير نفتي جهان به اندازه‌اي است كه چنانچه روند تكيه بر سوخت‌هاي فسيلي ادامه يابد در آينده نزديک، جهان با مشكلات زيادي در موارد زيست محيطي و كمبود مواد اوليه مواجه خواهد شد [۶].

دی‌متیل‌اتر را می‌توان مانند LPG به کار برد. اشتعال این ماده نیز مانند گاز طبیعی است. در این ماده مقدار NO_x و مشتقات سولفور بسیار پایین می‌باشد و کمتر از ppm ۱۵ است. این نشانگر مزیت‌های زیست‌محیطی DME است و به‌عبارتی حالت دوستی با محیط زیست دارد و با H_2O و CO_2 واکنش نشان می‌دهد. نیروگاه‌ها یکی از مهم‌ترین بازارهای مصرف DME[۱] می‌باشند که جایگزینی مناسب برای سوخت های دیزلی هستند. در حال حاضر پیش‌بینی می‌گردد که این سوخت بتواند در یک نیروگاه ۹۰۰ مگاواتی مصرف گردد. تمام انتخاب‌ها برای LPG (گاز فشردهٔ مایع) را می‌توان به DME تغییر داد و به عبارتی در حمل و نقل نیز می‌توان از آن استفاده به عمل آورد. DME یک سوخت پاک است، و کل هزینهٔ سرمایه‌گذاری آن، به خاطر وجود زیرساخت‌های LPG که با اندک تغییراتی قابل استفاده برای DME هستند، بسیارکم است و منابع DME محدود به منطقه و کشور خاصی نیست و ذخایر کوچک گاز طبیعی با هزینهٔ اندکی قابل استفاده برای تولید DME هستند. بنابراین، به نظر می‌رسد که DME سوخت آیندهٔ موترهای دیزلی و نیروگاهها خواهد بود[۷]. دیر زمانی نیست که DME به عنوان سوخت مطرح شده است. نحوه تولید این سوخت بسیار شبیه به متانول است که در آن گاز طبیعی یا بیومس به گاز ترکیبی تبدیل شده و سپس در فرایند سنتز اکسیژنه، DME تولید می‌گردد. حمل و نقل و اقدامات احتیاطی این سوخت مشابه LPG می‌باشد. DME در شرایط محیطی به صورت گاز بوده و در فشاری متوسط (۶ بار) می‌توان آن را به صورت مایع ذخیره کرد [۸]. دی‌متیل اتر در مقایسه با بنزین بسیار گران‌قیمت‌تر است. این سوخت دارای چگالی انرژی معادل ۵۰ درصد گازوئیل است لذا به مخازن سوخت بزرگ بر روی خودرو نیاز دارد. عدد ستان بالای DME نسبت به گازوئیل

آن را برای موتورهای CI بسیار مناسب ساخته است. به‌طوری کلی داده‌های مربوط به انتشار آلاینده‌های خودروهای با سوخت DME نشانگر مقادیر بسیار پایین آنها نسبت به دیگر سوخت‌ها می‌باشد. میزان انتشار CO و HC آن معادل گازوئیل و میزان NO_X و ذرات معلق آن معادل بنزین است. ذخیره DME در خودرو مانند LPG و در فشار ۹ بار می‌باشد. مخزن این سوخت دارای حجمی حدود ۶۶ درصد و وزنی حدود ۴۷ درصد بیشتر از مخزن سوخت بنزین است.

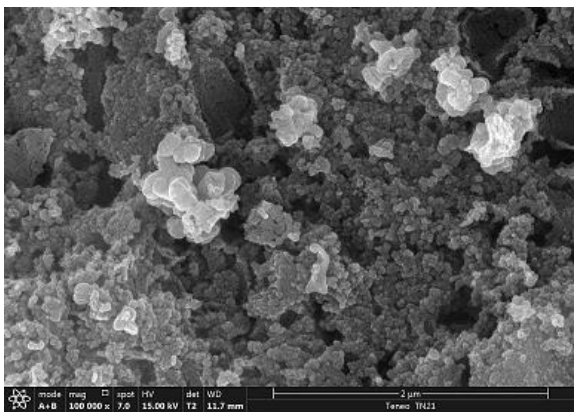
سوخته‌سرایی و همکاران [۹،۱۰] نانو ذرات نقره و نانو ذرات اکسید سریم در ترکیب با دیزل استفاده نموده و گزارش کردند که با ذرات نقره فلزی انتقال حرارت کاهش و تاخیر در احتراق نیز کاهش می‌یابد. و مونواکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب ۲۰٪۵ و ۱۳٪ کاهش می‌یابند. جیانگ و همکاران [۱۱] از یک نمونه موتور دیزل با سوخت ترکیبی ترکیب بیودیزل و دیزل با افزودن نانو ذرات اکسید سرب استفاده نمودند. نتایج تحقیق بیانگر این مطلب است که با ترکیب دیزل با بیودیزل و نانواکسید سریم فرآیند احتراق مخلوط بهبود می‌یابد. کاتالیستی عمل کردن نانو ذرات سبب بهبود عملکرد موتور با افزایش قدرت ترمز می‌شود. نانوذرات افزودنی به سوخت سبب بهبود فرآیند احتراق به دلیل اکسیداسیون بهتر سوخت می‌شود [۱۲،۱۳]. اتفاقی و همکاران [۱۴] با ترکیب بیو نانو تحقیقی در راستای بهبود عملکرد و کاهش آلاینده‌ها انجام داده‌اند. نتایج نشان داده که که با سوخت B15 با ۵٪ آب و ۶۰ ppm کربن نقطه کوانتومی،باعث ۲۱٪ افزایش قدرت موتور در مقایسه با سوخت B15 می‌شود.

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تأثیر استفاده از سوخت فسیلی در ترکیب با سوخت بنیان الکلی به همراه نانوکاتالیست فلزات مختلف می‌باشد.. نانوکاتالیست‌ها قابلیت افزوده شدن به سوخت مایع به صورت افزودنی همگن شده با سوخت مایع و سوختهای جامد به شکل ماده افزوده شده تشکیل دهنده سوخت جامد قابل استفاده می‌باشد. با توجه به کاتالیستی عمل کردن و اثر اکسیداسیون نانو افزودنی‌ها و بهبود عملکرد احتراقی، نانوکاتالیست اکسیدفلزات بعنوان مواد تشکیل دهنده افزوده شده به سوخت موشک‌ها و پهپادها قابل استفاده می‌باشد. در هر دو شکل ماده افزوده شده به سوخت مایع و ماده افزوده شده تشکیل دهنده سوخت جامد، نتایج قابل قبولی برای عملکرد احتراقی موتور اعم از موتور احتراق داخلی و موتور کاربردهای هوایی قابل حصول بوده است. کما اینکه در نسل جدید سوختهای موشک ها و جت‌ها از نانوکاتالیست اکسید فلزاتی مانند اکسیدآلومینیوم بعنوان مواد تشکیل‌دهنده استفاده می‌شود [۱۵].

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. نحوه سنتز و همگن کردن نانواکسید آهن

پنجاه میلی لیتر محلول 1mol/l از $Fe2+$ و 2mol/l از $Fe3+$ با دو لیتر آب مقطر در دو ظرف تهیه شده و سپس محلول به یک بطری ۲۵۰ میلی لیتری با هم منتقل شده است. هنگامی که محلول تا رسیدن به دمای ۸۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود (۲۵٪ وزنی) NH_4OH[۲] به صورت قطره ای تحت حفاظت آرگون و تکان دادن مکانیکی شدید قرار می‌گیرد تا به pH ۱۰ تا ۱۱ برسد. به محض افزودن محلول پایه به NH_4OH ، محلول بلافاصله سیاه شده و نشان دهنده تشکیل اکسید آهن در سیستم است. محلول در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد برای ۱ ساعت حرارت داده شده است و سپس پودر رسوب شده توسط جداساز مغناطیسی جمع آوری شده است. نانوذرات مغناطیسی به دست آمده به مدت پنج بار بلافاصله با آب دیونیزه شده و سپس به مدت سه بار با دی کلرو متان شسته شدند. محصول نهایی که ذرات نانواکسید آهن می‌باشد تحت خلأ در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد خشک شده است. ساختار الکترونیکی ذرات نانواکسید آهن در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. ساختار الکترونیکی ذرات نانواکسید آهن

شکل ۲ حمام التراسونیک بکار برده شده برای همگن‌سازی سوخت پایه بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر و بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر و نانوذرات افزودنی اکسید آهن می‌باشد. در کار حاضر نانواکسید آهن سنتز شده و ساختار الکترونیکی نانوذره مذکور

تعیین شده است. حمام التراسونیک در هر مرحله از بررسی‌های تجربی برای همگن نمودن سوخت ترکیبی بکار برده شده است دینامومتر ادی‌کارنت و موتور اشتعال جرقه‌ای جهت تعیین مشخصه‌های عملکردی موتور EF7 نظیر توان و مصرف سوخت ویژه از دینامومتر ادی‌کارنت استفاده شده و برای مشخص نمودن مشخصه‌های آلایندگی موتور نظیر اکسیدهای نیتروژن، مونواکسید کربن و هیدروکربنهای نسوخته از دستگاه آنالایزر گاز خروجی AVL جهت تعیین میزان گازهای خروجی از اگزوز استفاده شده است.

جدول ۱. نحوه گردآوری داده‌ها

مد کاری	سوخت‌ها	شرایط کاری موتور
بنزین	سوخت پایه بنزین	سرعت۲۸۰۰rpm، بار کامل، گشتاورهای۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ N.m
سوخت ترکیبی	بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر	سرعت۲۸۰۰rpm، بار کامل، گشتاورهای۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ N.m
سوخت ترکیبی با نانوافزودنی	بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ ppm نانواکسید آهن	سرعت۲۸۰۰rpm، بار کامل، گشتاورهای۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ N.m
سوخت ترکیبی با نانوافزودنی	بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm نانواکسید آهن	سرعت۲۸۰۰rpm، بار کامل، گشتاورهای۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ N.m

شکل ۲. حمام التراسونیک جهت همگن سازی سوخت

۲-۲. موتور موورد مطالعه و نحوه گردآوری داده‌ها

موتور مورد مطالعه در تحقیق موتور EF7 و تست‌های تجربی برای سوخت پایه بنزین، بنزین در ترکیب با دی‌متیل‌اتر و بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر و افزودنی نانواکسید آهن با غلظتهای متفاوت در چهار مرحله و هر مرحله چهار بار تکرار صورت گرفته است. داده‌های تجربی در شرایط کاری بار کامل و سرعت ۲۸۰۰rpm موتور و در گشتاورهای ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵و ۱۰۰N.m استخراج شده‌اند. تست‌های تجربی برای سوخت پایه و سه محلول ترکیبی در چهار مرحله تکرار شده‌اند. داده‌های به‌دست آمده دسته‌بندی شده و ۸۰ درصد از داده‌هایی که خطای آنها کمتر از ۰/۰۲ (۲درصد) بودند انتخاب و باقی داده‌های غیر منطقی با خطای بیشتر حذف گردید. از بین داده‌های باقیمانده بهترین داده‌ها بعنوان داده‌های مورد قبول برای تست‌های تجربی انتخاب شده‌اند. مشخصات فیزیکی موتور اشتعال جرقه‌ای EF7 بکار برده شده جهت انجام تست‌های تجربی و همچنین شرایط استاندارد محیط تست در حالت مرجع در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است [۱۶].

جدول ۲. مشخصات موتور اشتعال جرقه‌ای EF7

عناوین	مقادیر
حجم موتور به سی‌سی	۱۶۵۰ سی سی
تعداد سیلندر و سوپاپ	۴ سیلندر ۱۶ سوپاپ
توان (کیلووات)	۸۴ کیلو وات در دور موتور ۶۰۰۰ دور بر دقیقه
گشتاور (نیوتن متر)	۱۵۶ نیوتن متر در دور موتور۳۵۰۰- ۴۰۰۰ دور بر دقیقه
سوخت پایه	بنزین بدون سرب با عدد اکتان ۹۵
حجم محفظه احتراق	$۳۶/۲ \pm ۰/۵ cm^3$
کورس پیستون	۸۵ میلی‌متر
اندازه قطر داخلی سیلندر	۷۸/۶ میلی‌متر
نسبت کورس پیستون به قطر داخلی سیلندر	/۹۱۶
نسبت تراکم	۱۱
سیستم تزریق	انژکتوری پاشش چند نقطه‌ای مرحله‌ای

جدول ۳. شرایط استاندارد محیط تست

فشار مرجع ۱/۰۱۳۲۵بار	دمای مرجع ۲۹۸/۱۵ درجه کلوین
ماده	درصد مولی
نیتروژن	۰/۷۵۶
اکسیژن	۰/۲۰۳۵
آب	۰/۰۳۰۳
دی‌اکسید کربن	۰/۰۰۰۳
دیگر مواد	۰/۰۰۹۲

۲-۳. نحوه اتصال موتور EF7 به دینامومتر و دستگاه آلاینده‌سنج و روابط فیزیکی توان و مصرف سوخت

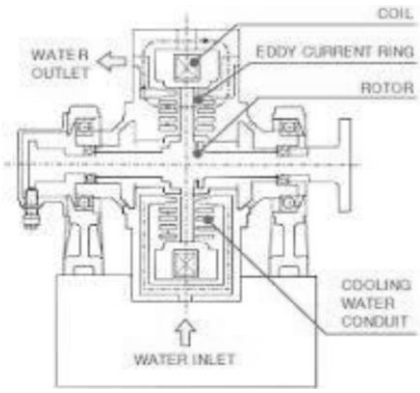
برای اندازه‌گیری قدرت و گشتاور موتور گردنده و یا میزان نیروی مورد نیاز برای چرخش مکانیزم دستگاه دینامومتر استفاده گردیده است. دینامومتر ادی‌کارنت ۱۹۰ کیلووات دینامومتر جذبی می‌باشد. در دینامومتر دو قسمت اصلی وجود دارد یک قسمت روتور و محور مرکزی نامیده می‌شود که با کوپلینگ به موتور متصل است. قسمت دوم استاتور و یا بدنه ثابت نام دارد که کاملاً معلق بوده و به وسیله بازو مشخص به نیروسنج وصل می‌گردد. با استفاده از یک سیال واسط و یا نیروی ترمزی الکترومغناطیسی، روتور توسط استاتور نگه داشته می‌شود و نیروی عکس‌العمل استاتور با استفاده از نیروسنج اندازه‌گیری می‌شود. کالیبراسیون دینامومتر با وزنه‌های کالیبراسیون مورد تأیید آزمایشگاه شرکت گاز صورت گرفته است. دینامومتر جذبی مورد استفاده بر اساس قانون جریان گردابه‌ای یا جریان فوکو کار می‌کند در این دینامومتر قسمت استاتور سیم‌پیچی شده است و بوسیله برق تحریک می‌گردد و تولید میدان مغناطیسی می‌نماید. روتور بصورت پره‌ای ساخته شده است. با چرخش روتور پره‌ای در میدان مغناطیسی بوجود آمده توسط استاتور، تغییرات شار مغناطیسی بوجود امده طبق قانون لنز با قطب‌های اصلی مخالفت نموده و مانند نیروی ترمزی عمل می‌نماید. نیروی ترمزی باعث تولید حرارت در سیم‌پیچ شده و توسط سیال خنک‌کاری آب (دینامومتر آب خنک) به بیرون از دینامومتر منتقل می‌گردد. روتور و تکیه‌گاه بلبرینگی آن بر اساس اتصال مخروجی بهم متصل شده‌اند تا علاوه بر قدرت بالای انتقال نیرو از نظر بالانس دینامیکی نیز هم محوری بسیار خوبی داشته باشند. در شکل ۳ و ۴ استند موتور روی دینامومتر و نحوه خنک‌کاری دینامومتر نشان داده شده است. شماتیک موتور کوپلینگ شده به دینامومتر در شکل ۵ نشان داده شده است. سنسورهای دمای در آزمایشگاه شرکت گاز جهت اندازه‌گیری دمای سیال آب ورودی و خروجی، گاز ورودی کالیبره شده است. شماتیک شکل ۵ نحوه اتصال اجزای تست به موتور را نشان می‌دهد. دستگاه آلاینده‌سنج جهت آنالیز گازهای خروجی استفاده و در هر مرحله از تست جهت رعایت دقت اندازه‌گیری‌ها کالیبراسیون اتوماتیک دستگاه انجام گرفته شده و شماتیک آلاینده‌سنج در شکل ۶ نشان داده شده است. جهت اندازه‌گیری دبی جرمی سوخت لودسل به باک سوخت متصل شده است.

توان ترمزی موتور اشتعال و مصرف سوخت ویژه از مشخصه‌های عملکردی موتور ترمزی می‌باشند مصرف سوخت ویژه[۳] و توان ترمزی[۴] به ترتیب از روابط (۱) و (۲) به دست می‌آیند [۲۱].

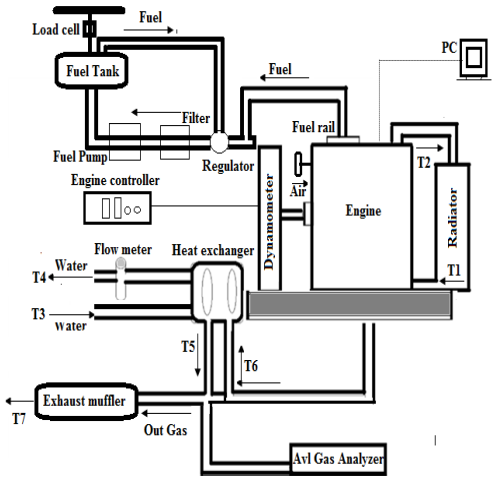
$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{BP} \quad (۱)$$

$$BP = \frac{2\pi NT}{60000} \quad (۲)$$

شکل ۳. استند موتور بر روی دینامومتر همزمان با کالیبراسیون دینامومتر



شکل ۴. نحوه خنک‌کاری دینامومتر



شکل ۵. شماتیک اتصال اجزای تست به موتور

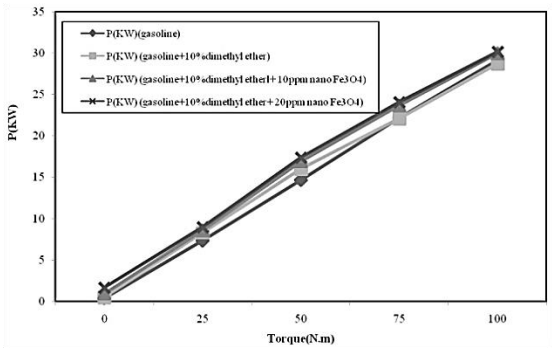
شکل ۶. دستگاه آلاینده سنج

۲-۴. بحث و بررسی نتایج

۲-۴-۱. تأثیر استفاده از سوخت ترکیبی بنزین با دی متیل‌اتر و افزودنی نانو کاتالیست اکسید آهن بر توان موتور اشتعال جرقه‌ای

با افزودن دی‌متیل اتر به سوخت بنزینی توان موتور افزایش می‌یابد اضافه نمودن دی متیل اترفشرده به شکل مایع به بنزین، گرچه تغییر محسوسی در زمان شروع احتراق روی نمی دهد اما فشار ماکزیمم درون سیلندر افزایش چشمگیری می یابد. افزایش فشار ناشی از افزایش دی متیل اتر سبب افزایش کار و توان موتور می شود. نانوکاتالیست اکسید آهن با خاصیت کاتالیستی که دارد و با وجود اکسیژن موجود در ساختار شیمیایی‌اش با افزوده شدن به سوخت ترکیبی سبب اکسایش کامل سوخت شده و آلاینده‌ها را کاهش می‌دهد. ذرات نانو اکسید آهن باعث بهتر سوختن سوخت شده و توان موتور را افزایش می‌دهد.

شکل ۷ نمودار توان بر حسب گشتاور برای سوخت پایه بنزینی، بنزین با ۱۰ درصد دی‌متیل اتر، پایه در ترکیب با ۱۰ درصد دی‌متیل اتر و افزودنی نانوکاتالیست اکسید آهن را نشان می‌دهد. نتایج کار تجربی حاضر که در دور موتور ۲۸۰۰ rpm و در حالت بار کامل در پنج گشتاور ۱۰۰N.m ،۷۵ ،۵۰ ،۲۵ ،۰ با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۵/۲۲ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۹/۰۴ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۳/۹۳ درصد توان موتور در مقایسه با سوخت پایه بنزین افزایش یافته است.

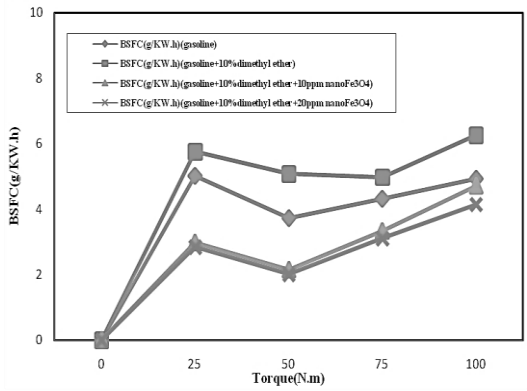


شکل ۷. تأثیر استفاده از سوخت بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر و افزودنی نانواکسید آهن بر توان خروجی

۲-۴-۲. تأثیر استفاده از سوخت ترکیبی بنزین با دی‌متیل-اتر و افزودنی نانو کاتالیست اکسید آهن بر مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور اشتعال جرقه‌ای

با افزودن دی‌متیل اتر به سوخت بنزین عدد اکتان سوخت بالاتر می‌رود اما چون ارزش حرارتی دی‌متیل بدلیل وجود اکسیژن در ساختار شیمیایی آن کمتر از بنزین می‌باشد، بنابراین در هر مرحله برای رسیدن به یک گشتاور معین در یک دور موتور در حالت بار کامل نیاز به سوخت بیشتری در زمان ترکیب با دی‌متیل‌اتر نسبت به حالت پایه بنزین دارد. با افزودن نانوکاتالیست اکسید آهن به سوخت ترکیبی بنزین و دی‌متیل‌اتر مصرف سوخت ویژه کاهش می‌یابد. ذرات نانواکسید آهن با خاصیت کاتالیستی باعث مخلوط شدن بهتر سوخت و هوا شده و بنابر این مصرف سوخت ویژه را کاهش می‌دهند. با بهتر مخلوط شدن سوخت و هوا، احتراق کامل‌تر شده و میزان مصرف سوخت کاهش می‌یابد.

شکل ۸ منحنی مصرف سوخت ویژه ترمزی بر حسب گشتاور برای سوخت حالت پایه بنزینی، بنزین در ترکیب با ۱۰ درصد دی‌متیل اتر، پایه در ترکیب با ۱۰ درصد دی‌متیل اتر و افزودنی نانوکاتالیست اکسید آهن را نشان میدهد. نتایج کار حاضر نشان می‌دهد که در دور موتور ۲۸۰۰ rpm و در حالت بار در پنج گشتاور ۱۰۰N.m ،۷۵ ،۵۰ ،۲۵ ،۰ با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل‌اتر ۲۸/۲۴ درصد نسبت به سوخت پایه بنزین افزایش و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل‌اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۵/۱۹ درصد و بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل‌اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۱/۰۸ درصد مصرف سوخت ویژه موتور در مقایسه با سوخت پایه بنزین کاهش یافته است.

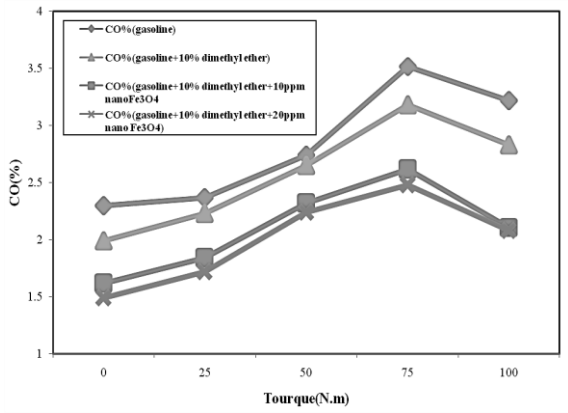


شکل ۸ تأثیر استفاده از بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر و افزودنی نانواکسید آهن بر مصرف سوخت ویژه موتور

۲-۴-۳. تأثیر استفاده از سوخت ترکیبی بنزین با دی‌متیل‌اتر و افزودنی نانو کاتالیست اکسید آهن بر آلاینده خروجی مونواکسید کربن

با توجه به اینکه دی‌متیل اتر دارای اکسیژن بیشتری نسبت به سوخت پایه بنزین می‌باشد و یا تعداد اتم‌های کربن نسبت به اکسیژن در سوخت ترکیب با دی‌متیل اتر کمتر است و از سوی دیگر دی‌متیل اتر پیوند دو اتم کربن C-C بطور مستقیم را ندارد سبب کاهش الاینده مونواکسید کربن می‌شود گرچه این میزان برای ترکیب بنزین با دی‌متیل اتر در حد قابل توجهی نمی‌باشد. با افزودن نانواکسید آهن با توجه به وجود اکسیژن در ساختارنانواکسید آهن مونواکسید کربن نسبت به سوخت پایه بنزین کاهش می‌یابد. ذرات نانوکاتالیست اکسید آهن افزوده شده به سوخت ترکیبی سبب اکسیداسیون کامل‌تر سوخت شده و به تبع آن مونواکسید کربن کاهش می‌یابد. آلاینده مونواکسید کربن در حالت ترکیب بنزین با دی‌متیل اتر و بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر با افزودنی نانواکسید آهن در مقایسه با بنزین خالص کاهش می‌یابد.

شکل ۹ منحنی آلاینده مونواکسید کربن بر حسب گشتاور برای ترکیب بنزین با دی‌متیل اتر و بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر با افزودنی نانواکسید آهن را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل نیز برمی‌آید مونواکسید کربن در حالت بار کامل افزایش می‌یابد قبل از گشتاور ۷۵N.m که هنوز تایمینگ سوپاپ هوای ورودی باز نشده مونواکسید کربن افزایش می‌یابد اما در گشتاور ۷۵N.m با بکار افتادن شدن تایمینگ سوپاپ هوای ورودی و ورود هوای اضافی فرآیند احتراق کامل شده و سپس مونواکسیدکربن کاهش می‌یابد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که در دور موتور ۲۸۰۰rpm و در حالت بار کامل در پنج گشتاور ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰N.m با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۴/۵۹ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۴/۱۳ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۹/۵۸ درصد، آلاینده مونواکسید کربن در موتور نسبت به سوخت پایه بنزین کاهش یافته است. این میزان کاهش برای مونواکسیدکربن در حالت ترکیب دی‌متیل اتر با سوخت پایه مقدار کمی می‌باشد اما با استفاده از سوخت ترکیبی پایه با دی‌متیل اتر و افزودنی نانوکاتالیست اکسید آهن با غلظت‌های متفاوت مقدار قابل قبولی می‌باشد.

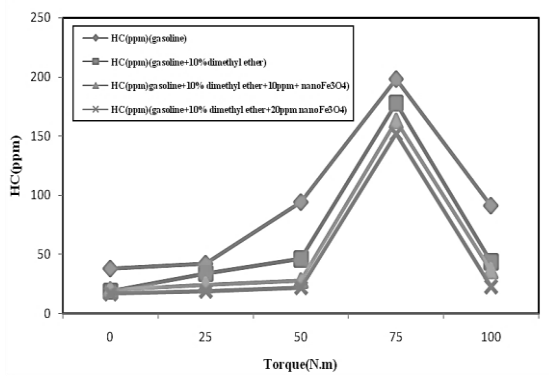


شکل ۹. تأثیر استفاده از بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر و افزودنی نانواکسید آهن بر میزان مونواکسید کربن خروجی.

۲-۴-۴. تأثیر سوخت ترکیبی بنزین با دی‌متیل‌اتر و بنزین در ترکیب با دی‌متیل‌اتر و افزودنی نانو کاتالیست اکسید آهن بر آلاینده خروجی هیدروکربنهای نسوخته

پیوند های بین مولکولی در ساختار اترها از جمله دی‌متیل اتر با انرژی فعال‌سازی نسبتا کمتری شکسته و مولکول به رادیکال تبدیل می‌شود. این ویژگی موجب بهبود عملکرد احتراقی این سوخت‌ها می‌شود. در نتیجه برخلاف LPG و CNG و الکل‌ها برای شروع واکنش احتراقی نیاز به جرقه ندارند. زمان تاخیر در محفظه احتراق کمتر شده و لذا میزان انباشته شدن سوخت نیز کمتر می‌شود، این مسئله باعث شده تا فشار ماکزیمم سیکل کمتر و نتیجتا میدان‌های حرارتی بالا ناشی از افزایش ناگهانی فشار که باعث اثرات منفی بر فاکتورهای گروه سیلندر و پیستون و خصوصا تولید آلاینده‌ها می‌شود، کمتر شود. به همین دلایل میزان

آزادسازی گرما در طی فرایند احتراق در موتور کاهش می‌یابد و نیز کاهش پدیده کوبش (nocking) و ضربه‌های مداوم وارد بر موتور و نیز کاهش سرو صدای موتور در محفظه احتراق را سبب شده و میزان هیدروکربنهای تولید شده نسبت ه سوخت حالت پایه کاهش می‌دهد. نانو ذرات اکسیدآهن سبب سوختن بهتر سوخت می‌شود. انرژی فعال سازی ایجاد شده توسط ذرات نانواکسید آهن، با سوزاندن رسوبات کربن در سیلندر مانع از رسوب گذاری بر روی دیواره سیلندر شده و این امر دلیل کاهش هیدروکربن‌های نسوخته با استفاده از نانوکاتالیست اکسید آهن می‌باشد. بنابر این با افزایش دی‌متیل‌اتر و نانوکاتالیست اکسید آهن هیدروکربنهای نسوخته کاهش می‌یابد. شکل ۱۰ نمودار آلاینده هیدروکربن‌های بر حسب گشتاور برای سوخت حالت پایه و ترکیبی را نشان می‌دهد. آلاینده هیدروکربن‌های نسوخته در حالت بار کامل افزایش می‌یابد قبل از گشتاور ۷۵N.m یعنی تا زمانی که تایمینگ سوپاپ هوای ورودی باز نشده هیدروکربنهای نسوخته بدلیل کمبود میزان هوا افزایش یافته و اکسیداسیون هیدرکربنها کاهش می‌یابد اما در گشتاور ۷۵N.m که با باز شدن تایمینگ سوپاپ هوای ورودی و ورود هوای اضافی فرآیند احتراق کامل شده و سپس هیدروکربنهای نسوخته کاهش می‌یابد.

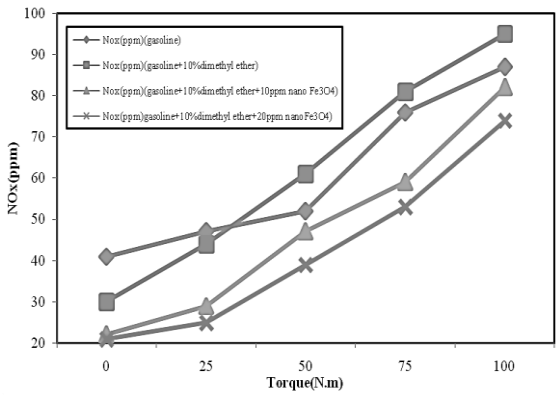


شکل ۱۰. تأثیر استفاده از بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر و افزودنی نانواکسید آهن بر میزان آلاینده خروجی هیدروکربنهای نسوخته

نتایج نشان می‌دهد که در دور موتور ۲۸۰۰rpm و در حالت بار کامل در پنج گشتاور ۱۰۰N.m ،۷۵ ،۵۰ ،۲۵ ،۰ با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۳۳/۱۲ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۴۱/۷۲ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۴۹/۸۹ درصد، آلاینده هیدروکربنهای نسوخته در موتور نسبت به سوخت پایه بنزین کاهش یافته است که این مقدار کاهش با نانوکاتالیست اکسید آهن چشمگیر می‌باشد.

۲-۴-۵. تأثیر استفاده از سوخت ترکیبی بنزین با دی‌متیل‌اتر و بنزین در ترکیب با دی‌متیل‌اتر و افزودنی نانو کاتالیست اکسید آهن بر آلاینده خروجی اکسیدهای نیتروژن

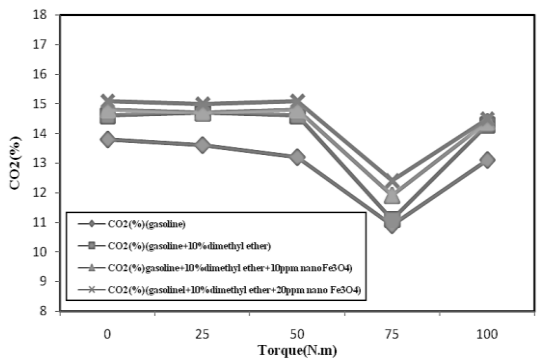
با افزودن دی‌متیل‌اتر به سوخت پایه بنزینی دی‌متیل‌اتر سبب آوانس جرقه شده که این نیز سبب افزایش دما شده و در نتیجه اکسیدهای نیتروژن افزایش می‌یابد. که البته این افزایش چندان چشمگیر نمی‌باشد. ذرات نانو اکسید آهن در سوخت ترکیبی بنزین با دی‌متیل اتر، بصورت کاتالیزور اکسیژن عمل کرده و اکسیژن را برای کاهش دادن اکسیدهای نیتروژن، جذب می‌کند. شکل ۱۱ منحنی آلاینده اکسیدهای نیتروژن بر حسب گشتاور برای سوخت حالت پایه و ترکیبی را نشان می‌دهد. آلاینده اکسیدهای نیتروژن با افزودن دی‌متیل اتر افزایش می‌یابد و با افزودن نانوکاتالیست‌ها آلاینده اکسیدهای نیتروژن کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که در دور موتور ۲۸۰۰rpm و در حالت بار کامل در پنج گشتاور ۱۰۰N.m ،۷۵ ،۵۰ ،۲۵ ،۰ با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۱۲/۵۴ درصد نسبت به سوخت پایه بنزینی افزایش و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصددی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۲۳/۴۳ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۳۲/۳۴ درصد، آلاینده اکسیدهای نیتروژن در موتور نسبت به سوخت پایه بنزین کاهش یافته است.



شکل ۱۱. تأثیر استفاده از بنزین در ترکیب با دی‌متیل اتر و افزودنی نانواکسید آهن بر میزان آلاینده خروجی اکسیدهای نیتروژن

۲-۴-۶. تأثیر استفاده از سوخت ترکیبی بنزین با دی‌متیل‌اتر و بنزین در ترکیب با دی‌متیل‌اتر و افزودنی نانو کاتالیست اکسید آهن بر میزان دی‌اکسیدکربن خروجی

با توجه به اینکه دی‌متیل اتر دارای اکسیژن در ساختار خود می‌باشد بنابر این سبب احتراق و اکسیداسیون کامل‌تر بنزین شده و دی‌اکسید کربن با سوخت ترکیبی بنزین با دی‌متیل‌اتر افزایش می‌یابد. ذرات نانواکسید آهن افزوده شده نیز در ساختار شیمیایی‌اش دارای اکسیژن بوده که سبب اکسیداسیون کامل‌تر سوخت شده و به تبع آن دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. شکل ۱۲ نمودار دی‌اکسیدکربن بر حسب گشتاور برای سوخت حالت پایه و ترکیبی را نشان می‌دهد. قبل از گشتاور ۷۵N.m یعنی زمانی که تایمینگ سوپاپ هوای ورودی باز نشده دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد اما در گشتاور ۷۵N.m با باز شدن تایمینگ سوپاپ هوای ورودی با ورود هوای اضافی و کامل شدن احتراق دی‌اکسید کربن به دلیل اکسیداسیون بهتر افزایش می‌یابد. در دور موتور ۲۸۰۰rpm و در حالت بار کامل در پنج گشتاور ۷۵، ۱۰۰N.m ۰، ۲۵، ۵۰، با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۷/۲۸ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۹/۲۹ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۱/۶۱ درصد، دی‌اکسید کربن در موتور نسبت به سوخت پایه بنزین افزایش یافته است.



شکل ۱۲. تأثیر استفاده از بنزین در ترکیب با دی‌متیل اترو افزودنی نانواکسید آهن بر میزان دی‌اکسید کربن خروجی

۳. نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر تأثیر استفاده از سوخت ترکیبی بنزین با دی‌متیل اتر و افزودنی نانوکاتالیست اکسید آهن بر عملکرد و آلایندگی موتور اشتعال جرقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نانوکاتالیست‌های اکسید فلزات قابلیت افزوده شدن به سوخت‌های مایع به صورت افزودنی همگن شده با سوخت مایع و سوختهای جامد به شکل ماده افزوده شده تشکیل دهنده سوخت جامد قابل استفاده می‌باشد. با کاتالیستی عمل کردن و نقش اکسیداسیون نانو افزودنی‌ها و بهبود عملکرد احتراقی، نانوکاتالیست اکسیدفلزات بعنوان مواد تشکیل دهنده افزوده شده به سوخت موشک‌ها و پهپادها نیز قابل استفاده می‌باشد. در هر دو حالت نانوکاتالیست افزوده شده به سوخت مایع و یا ماده افزوده شده تشکیل دهنده سوخت جامد، نتایج خوبی برای عملکرد احتراقی موتور اعم از موتور احتراق داخلی و موتور کاربردهای هوایی قابل حصول بوده است. نتایج تجربی حاصل از سوخت ترکیبی با نانوکاتالیست اکسید آهن در موتور اشتعال جرقه‌ای بشرح زیر می‌باشد:

۱. با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۵/۲۲ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۹/۰۴ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۳/۹۳ درصد توان موتور در مقایسه با سوخت پایه بنزین افزایش یافته است.

۲. با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل‌اتر ۲۸/۲۴ درصد نسبت به سوخت پایه بنزین افزایش و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل‌اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۵/۱۹ درصد و بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل‌اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۱/۰۸ درصد مصرف سوخت ویژه موتور در مقایسه با سوخت پایه بنزین کاهش یافته است.

۳. با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۴/۵۹ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۴/۱۳ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۹/۵۸ درصد، آلاینده مونواکسید کربن در موتور نسبت به سوخت پایه بنزین کاهش یافته است. این میزان کاهش برای مونواکسیدکربن با ترکیب دی‌متیل اتر مقدار کمی می‌باشد اما با استفاده از نانوکاتالیست اکسید آهن مقدار قابل قبولی می‌باشد.

۴. با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۳۳/۱۲ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۴۱/۷۲ درصد و در حالت بنزین

در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۴۹/۸۹ درصد، آلاینده هیدروکربنهای نسوخته در موتور نسبت به سوخت پایه بنزین کاهش یافته است که میزان کاهش با نانوکاتالیست‌ها میزان قابل توجهی می‌باشد.

۵. با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۱۲/۵۴ درصد نسبت به سوخت پایه بنزینی افزایش و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصددی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۲۳/۴۳ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۳۲/۳۴ درصد، آلاینده اکسیدهای نیتروژن در موتور نسبت به سوخت پایه بنزین کاهش یافته است.

۶. با استفاده از ترکیب بنزین با ده درصد دی‌متیل اتر ۷/۲۸ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۱۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۹/۲۹ درصد و در حالت بنزین در ترکیب با ده درصد دی‌متیل اتر و ۲۰ppm افزودنی نانواکسید آهن ۱۱/۶۱ درصد، دی‌اکسید کربن در موتور نسبت به سوخت پایه بنزین افزایش یافته است.

۴. تقدیر و تشکر و پیوست‌ها

از زحمات دکتر علی اکبری و گروه نانوشیمی دانشگاه مراغه نهایت تقدیر و تشکر را دارم.

۶. مآخذ

[1] S.S. Akarmazyan, Methanol dehydration to dimethylether over Al2O3 catalysts. Applied Catalysis B: Environmental, Vol. 45, pp. 136-148, 2014.

[2] J. Sun, Catalysis chemistry of dimethyl ether synthesis. ACS Catalysis, vol. 4, No. 10, pp. 3346-3356, 2014.

[3] A.I. Osman, Effect of precursor on the performance of alumina for the dehydration of methanol to dimethyl ether. Applied Catalysis B: Environmental, vol. 127, pp. 307-315, 2012.

[4] K.C. Tokay, T. Dogu, G. Dogu, Dimethyl ether synthesis over alumina based catalysts. Chemical Engineering Journal, vol. 184, pp. 278-285, 2012.

[5] S. Sahebdolfar ، F. Tahriri Zanganeh, Chemistry C1 and natural gas conversions, National Petrochemical Company, 2010.

[6] G. Valentino, F.E. Corcione, S. E. Iannuzzi, S. Serra, Experimental study on performance and emissions of a high speed diesel engine fuelled with n-butanol diesel blends under premixed low temperature combustion. Istituto Motori, CNR, Napoli, Italy Università di Cagliari, Cagliari, Italy.

[7] A. Momini, N. Abbaszaddeh, Technical and economical investigation effect of DME as fuel in diesel engine in future, Automotive sales development.2003.

[8] L. savadkoohi, M. Rajabiani, A. Hadizadeh, M. Farhoumand, S. Savadkoohi, Comparison of fuel performance of DME dimethyl ether extracted from NG natural gas in diesel and automobile engines from the perspective of energy efficiency balance from well to wheel International Conference on Research and Development Centers (Globalization of Research and Development, 2007.

[9] H.S. Saraee, S. Jafarmadar, H. Taghavifar, S.J. Ashrafi, Reduction of emissions and fuel consumption in a compression ignition engine using nanoparticles. International journal of environmental science and technology, Vol. 12No. 7, pp.2245-2252, 2015.

[10] H.S. Saraee, H. Taghavifar, S. Jafarmadar, Experimental and numerical consideration of the effect of CeO2 nanoparticles on diesel engine performance and exhaust emission with the aid of artificial neural network. Applied Thermal Engineering, Vol. 113, pp.663-672, 2017.

[11] E.Jiaqiang, Z. Zhang, J. Chen, M. Pham, X. Zhao, Q. Peng B., Zhang, Z.Yin, Performance and emission evaluation of a marine diesel engine fueled by water biodiesel-diesel emulsion blends with a fuel additive of a cerium oxide nanoparticle. Energy Conversion and Management, Vol. 169, pp.194-205, 2018.

[12] P.C. Shukla, T. Gupta, N.K .Labhasetwar, R. Khobaragade, N.K. Gupta, A.K. Agarwal, Effectiveness of non-noble metal based diesel oxidation catalysts on particle number emissions from diesel and biodiesel exhaust. Science of the Total Environment, Vol 574, pp.1512-1520, 2017.

[13] V. Saxena, N.Kumar, V.K. Saxena, A comprehensive review on combustion and stability aspects of metal nanoparticles and its additive effect on diesel and biodiesel fuelled CI engine. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 70, pp.563-588, 2017.

[14] E. Ettefaghi, B. Ghobadian, A.Rashidi, G. Najafi, M.H. Khoshtaghaza, M. Rashtchi, S. Sadeghian, A novel bio-nano emulsion fuel based on biodegradable nanoparticles to improve diesel engines performance and reduce exhaust

emissions. Renewable Energy, Vol. 125, pp.64-72, 2018.

[15] S. Zeinali Heris Saied, A. Okhovat, M.M. Baktash, Analysis on the effects of Nano-Aluminium on rocket propellants,, Itanian chemical engineering journal, Vol. 10, No. 57, pp. 65-73, 2011.

[16] BB. Sahoo, UK. Saha, N. Sahoo, Diagnosing the effects of pilot fuel quality on exergy terms in a biogas run dual fuel diesel engine. Exergy, Vol.10, pp. 77-93, 2012.

پی‌نوشت

Title: Experimental investigation the effect of Fe_3O_4 nanoparticle on the performance and emission of SI gasoline fueled with mixture of dimethyl ether and gasoline

1 . Dimethyl ether

2 . Ammonium hydro oxide

3 . Brake specific fuel consumption

4 . BrakePower