تاثیر مخلوط‌های بیواتانول– بنزین بر آلاینده‌های اگزوز یک موتور اشتعال جرقه‌ای

مصطفی کیانی ده‌کیانی[۱]
دانشکده مهندسی کشاورزی
دانشگاه شهید چمران اهواز

فتح‌اله امی[۲]
دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه تربیت مدرس

برات قبادیان[۳] **و غلامحسن نجفی**[۴]
دانشکده مهندسی کشاورزی
دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۲۰؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۱۱/۱۵)

چکیده

در این مقاله، تاثیر مخلوط سوخت‌های بیواتانول- بنزین بر آلاینده‌های یک موتور اشتعال جرقه‌ای و چهار سیلندر به‌صورت تجربیمورد بررسی قرار گرفت. ابتدا سوخت بنزین خالص با درصدهای مختلف بیواتانول (۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۵ درصد) مخلوط گردید و آلاینده‌های HC، CO، CO_2و NO_X در سرعت‌های مختلف و در دو موقعیت دریچه گاز (باز بودن کامل و نیمه باز) اندازه‌گیری شد. نتایج تجربی نشان داد که با افزایش درصد بیواتانول در مخلوط‌های سوخت و موقعیت قرارگیری دریچه گاز، آلاینده‌های CO و HC کاهش، و CO_2 و NO_X افزایش یافت. همچنین با افزایش سرعت موتور آلاینده‌های CO_2 و HC روند کاهشی، و CO و NO_X روند افزایشی را نشان داد. تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثر متغیر درصد بیواتانول در مخلوط‌های سوخت بر آلاینده‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

واژه‌های کلیدی: موتور اشتعال جرقه‌ای، مخلوط‌های بیواتانول– بنزین، آلاینده‌های اگزوز

Effect of Bioethanol-Gasoline Fuel Blends on an SI Engine Exhaust Emissions

M. Kiani DehKiani
Agricultural Engineering Department
Shaid Chamran University of Ahvaz

F. Ommi
Mechanical Engineering Department
Tarbiat Modares University

B. Ghobadian and G. Najafi
Agricultural Engineering Department
Tarbiat Modares University

(Received: 11/August/2014 ; Accepted: 4/February/2014)

ABSTRACT

In this paper, the effect of bioethanol- gasoline fuel blends on exhaust emissions of a four-cylinder spark ignition (SI) engine was investigated experimentally. Pure gasoline fuel was blended with various percentages of bioethanol (0, 20, 40, 60 and 85%), and the HC, CO, CO_2 and NO_X exhaust emissions were measured at different engine speeds and two throttle valve positions (full throttle and 50% throttle valve).The experimental results showed that as the ratio of bioethanol fuel is increased in the blend, the CO and HC emissions are decreased but CO_2 and NO_X are increased at two throttle valve positions. Also when the speed of engine was increased, the HC and CO_2 emissions were decreased but CO and NO_X emissions were increased. The statistical analysis indicated that the effect of bioethanol percentage in fuel blends on emissions at 5% level was significant.

Keywords: SI Engine, Bioethanol-Gasoline Blends, Exhaust Emissions

۱- استادیار (نویسنده پاسخگو): m.kiani@scu.ac.ir
۲– دانشیار: fommi@modares.ac.ir
۳- دانشیار: ghobadib@modares.ac.ir
٤– دانشیار: nagafi@modares.ac.ir

۱- مقدمه

وسایل موتوری سهم زیادی در مصرف سوخت‌های فسیلی و تولید آلودگی‌های زیست محیطی دارند، به‌طوری‌که امروزه در شهرهای پر جمعیت و صنعتی جهان این آلودگی‌ها به مرز هشدار رسیده است. به‌گونه‌ای که سالیانه تعداد زیادی بر اثر این آلودگی‌ها سلامتی خود را از دست داده و گرفتار بیماری‌های تنفسی می‌شوند [۱]. براساس آمار، بیش از ۷۰٪ منواکسیدکربن (CO) و ۱۹٪ دی‌اکسیدکربن (CO_2) دنیا به‌وسیله وسایل موتوری تولید می‌شود (CO_2 تولیدی از هر گالن بنزین ۸ کیلوگرم است) [۲]. در حدود ۷۰۰ میلیون وسیله نقلیه جاده‌ای در جهان وجود دارد. پیش‌بینی می‌شود این تعداد، تا سال ۲۰۳۰ به ۱/۳ میلیارد دستگاه و در سال ۲۰۵۰ به ۲ میلیارد دستگاه افزایش یابد [۳]. این رشد و تولید آلاینده‌های ناشی از آن بر پایداری اکوسیستم‌ها و اقلیم‌ها تاثیر منفی گذاشته تا آنجاکه آینده زندگی بشر را به خطر انداخته است. امروزه منابع جدیدی به‌عنوان سوخت جایگزین سوخت‌های فسیلی در موتورهای درون‌سوز معرفی شده‌اند. یکی از این سوخت‌های با پایه گیاهی بیواتانول می‌باشد که در موتورهای بنزینی به‌صورت مخلوط با دیگر سوخت‌های فسیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷-۴].

تاثیرات حاصل از اضافه نمودن اتانول به بنزین بر عملکرد یک موتور اشتعال جرقه‌ای و آلاینده‌های خروجی آن توسط بایراکتر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌های نشان داد که در مخلوط‌های مختلف از سوخت اتانول، مقدار ۷/۵٪ حجمی اتانول بهترین و مناسب‌ترین مقدار سوخت اتانول است که به بنزین اضافه گردید [۸]. در تحقیق دیگری، تاثیر افزودن اتانول و دی‌متیل‌کربنات (DMC[1]) به بنزین در یک موتور اشتعال جرقه‌ای تک‌سیلندر ارزیابی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که، آلاینده‌های CO و HC سوخت‌های اتانول- بنزین و دی‌متیل‌کربنات- بنزین از بنزین خالص کمتر است. همچنین تاثیر این سوخت‌ها بر آلاینده NO_X چشم‌گیر نیست [۹]. تاثیر اضافه‌کردن MTBE[2] و اتانول بر آلاینده‌های یک موتور اشتعال جرقه‌ای به‌وسیله سانگ و همکاران[3] [۱۰] بررسی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که آلاینده‌های سوخت اتانول کمتر از MTBE می‌باشد. با توجه به پیشینه ذکرشده، انجام تحقیقات در زمینه استفاده از سوخت بیواتانول در موتورهای اشتعال جرقه‌ای امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. از این‌رو در پژوهش منجر به مقاله حاضر، تاثیر مخلوط‌های مختلف بیواتانول و بنزین بر آلاینده‌های (HC، CO، CO_2 و NO_X) یک موتور اشتعال جرقه‌ای در سرعت‌های مختلف و در دو موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز و نیمه‌بازبودن آن مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

۲- موتور و وسایل مورد نیاز

در این تحقیق، یک موتور چهار سیلندر اشتعال تحت آزمایش قرار گرفت. مشخصات موتور تحت آزمایش در جدول **۱** نشان داده شده است. برای بارگذاری، موتور تحت آزمایش به یک دینامومتر هیدرولیکی مدل AWM 50 LC متصل گردید (شکل **۱**). بیواتانول با درصدهای حجمی از ۰ تا ۸۵٪ با بنزین خالص (بدون MTBE) تهیه شده از پالایشگاه اراک مخلوط شد و مخلوط‌های سوخت E0، E20،E40،E60 وE85 به‌دست آمد (E٤ نماد بیواتانول و شماره جلوی آن درصد حجمی بیواتانول در مخلوط‌ها را نشان می‌دهد). جدول **۲**، ویژگی‌های مهم سوخت‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. این ویژگی‌ها در آزمایشگاه و براساس استانداردهای ASTM بررسی گردید. آلاینده‌های خروجی اگزوز با استفاده از آنالایزر پرتابل مدل CAP3200-4GAZ ساخت شرکت CAPELEC اندازه‌گیری شد.

جدول (۱): مشخصات موتور اشتعال جرقه‌ای تحت آزمایش.

نوع موتور	چهار سیلندر –شانزده سوپاپ
ترتیب احتراق	۱-۳-۴-۲
قطر × کورس پیستون(mm)	۸۰/۶×۸۸
حجم جابجایی (cc)	۱۷۹۶
نسبت تراکم	۱۰
بیشینه گشتاور (N.m@4400 rpm)	۱۳۸
بیشینه توان (kW@ 5500 rpm)	۸۵

1-Dimethyl Carbonate
2- Methyl Tertiary-Butyl Ether
3 -Song

4-Bioethanol

جدول (۲): ویژگی‌های مهم سوخت‌های مورد آزمایش.

پارامترها	بنزین	بیواتانول
وزن ملکولی (kg/kmole)	۱۰۰ -۱۰۵	۴۶
چگالی (g/cm^3)	۰/۷۴۳	۰/۷۹۲
عدد اکتان	۹۴	۱۰۸
نسبت استوکیومتریک هوا به سوخت	۱۴/۶	۹

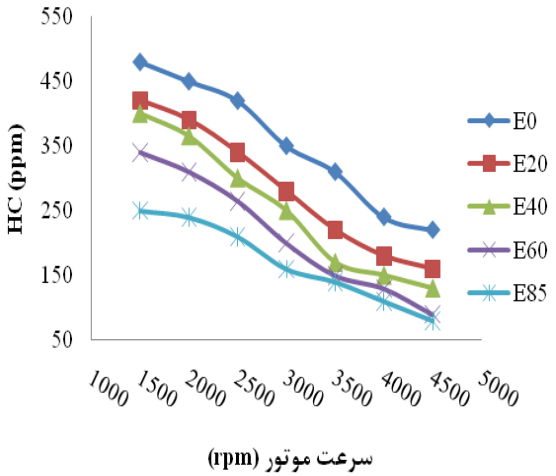
۲-۱- روش آزمایش

بعد از روشن‌شدن موتور و رسیدن آن به حالت پایدار، آزمایش‌ها انجام گرفت. برای انجام آزمایش‌ها ابتدا دریچه گاز موتور در موقعیت بازبودن کامل قرار گرفت. سپس موتور به‌وسیله دینامومتر در سرعت‌های ۴۵۰۰- ۱۵۰۰ دور بر دقیقه (با گام ۵۰۰ دور بر دقیقه) قرار گرفت. آزمایش‌ها با استفاده از سوخت بنزین خالص در سرعت‌های ذکرشده انجام شد. در ادامه با جایگزین‌کردن این سوخت با مخلوط‌سوخت‌های سوخت، آزمایش‌ها تکرار گردید. آلاینده‌ها پس از متصل‌نمودن رابط دستگاه تحلیل‌گر به خروجی اگزوز موتور اندازه‌گیری شد. این آزمایش‌ها برای موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز نیز صورت گرفت. هر آزمایش سه مرتبه تکرار گردید. تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار Stata روی داده‌های به‌دست‌آمده صورت گرفت.

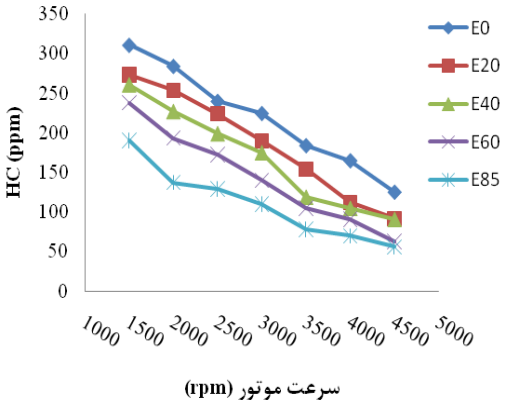
شکل (۱): موتور مورد آزمایش و دینامومتر.

۳-آلاینده هیدروکربن‌ها نسوخته

شکل‌های ۳-۲ مقدار هیدروکربن (HC) را برای سوخت‌های مختلف در دو موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز و نیمه‌باز نشان می‌دهند. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، با افزایش درصد بیواتانول در مخلوط سوخت‌ها آلاینده HC کاهش می‌یابد. میانگین این کاهش در موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز برای سوخت‌های E85، E60، E40 و E20 نسبت به سوخت E0 به‌ترتیب ۵۱/۸۲، ۳۹/۸۸، ۲۸/۵۴ و ۱۹/۴۳ به‌دست آمد و برای موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز به‌ترتیب ۴۹/۷۷، ۳۴/۶۵، ۲۳/۳۴ و ۱۵/۴۰ درصد به‌دست آمد. براساس نتایج با افزایش مقدار بیواتانول در مخلوط‌های سوخت، مقدار آلاینده HC کاهش می‌یابد. دلیل این امر این است که، سوخت بیواتانول در ساختار شیمیایی خود (C_2H_5OH) دارای یک اتم اکسیژن است و این اتم باعث بهبودیافتن و کامل‌ترشدن فرآیند احتراق می‌شود. یافته دیگری که از این شکل‌ها منتج می‌شود کاهش آلاینده HC با افزایش سرعت موتور است. دلیل احتمالی این پدیده این است که با افزایش سرعت موتور دمای محفظه احتراق نیز افزایش می‌یابد. این افزایش دما باعث به تاخیرافتادن خاموشی شعله در هنگام رسیدن به دیواره‌های سیلندر می‌شود. همچنین این افزایش دما باعث به‌وجود آمدن پس‌واکنش‌ها در گازهای خروجی و درنتیجه اکسیدشدن هیدروکربن‌ها می‌شود. همچنین تحلیل آماری بر روی داده‌ها انجام گرفت. نتایج این تحلیل نشان داد که اثر متغیر درصد بیواتانول در ترکیبات بر آلاینده HC در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. روند نتایج این تحقیق با نتایج به‌دست‌آمده توسط اسچیفتر و همکاران و تنگرون و زهو مشابه می‌باشد [۱۲-۱۱].



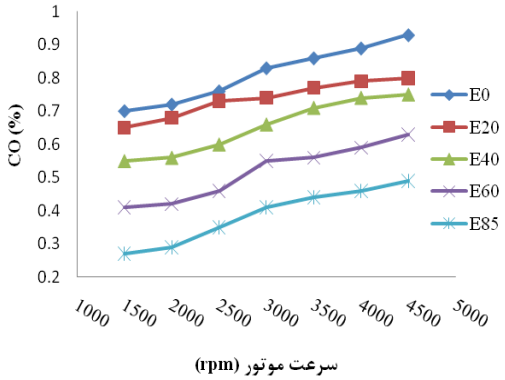
شکل (۲): تاثیر مخلوط سوخت‌های بیواتانول- بنزین بر آلاینده HC در دورهای مختلف موتور و باز بودن کامل دریچه گاز.



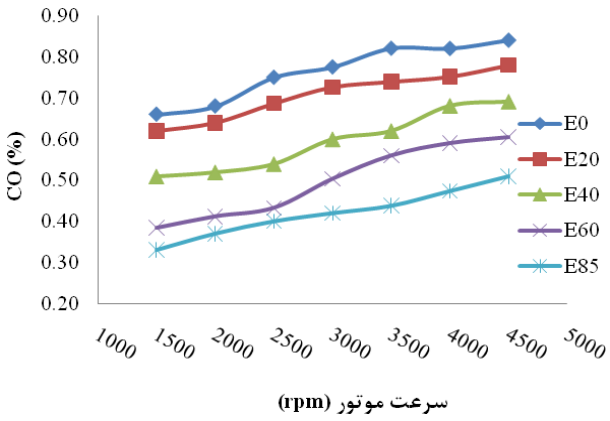
شکل (۳): تاثیر مخلوط سوخت‌های بیواتانول- بنزین بر آلاینده HC در دورهای مختلف موتور و موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز.

۳-۱- آلاینده منواکسیدکربن

تاثیر افزودن بیواتانول بر آلاینده منواکسیدکربن (CO) در سرعت‌های مختلف و در دو موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز و نیمه‌بازبودن آن به‌ترتیب در شکل‌های **۵-۴** نشان داده شده است. پر واضح است که با افزایش درصد بیواتانول در مخلوط‌های سوخت آلاینده CO کاهش می‌یابد. مقدار میانگین این کاهش در موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز برای سوخت‌های E85، E60، E40 و E20 نسبت به سوخت E0 به‌ترتیب ۵۲/۳۷، ۳۶/۳۸، ۱۹/۶۸ و ۹/۳۱ درصد به‌دست آمد و برای موقعیت نیمه‌باز بودن دریچه گاز به‌ترتیب ۴۴/۹۶، ۳۴/۷۷، ۲۲/۱۴ و ۷/۴۶ درصد کاهش نشان داد. نتایج این تحقیق نشان داد که در همه موقعیت‌های دریچه گاز و سرعت‌های مختلف موتور سوخت‌های که مقدار بیواتانول بیشتری دارند، مقدار آلاینده CO کمتری تولید می‌کنند. دلیل اصلی تولید آلاینده CO کمبود اکسیژن در فرآیند احتراق است. سوخت‌هایی که دارای درصد بیواتانول بیشتری هستند به دلیل این که مقدار هوا به سوخت استوکیومتریک سوخت بیواتانول ۹ است و برای سوخت بنزین ۱۴/۶ است اکسیژن بیشتری برای احتراق در اختیار دارند، بنابراین میزان آلاینده CO کمتری تولید می‌کنند [۱۳]. همچنین براساس شکل‌های نشان داده‌شده با افزایش سرعت موتور در همه مخلوط‌های سوخت به‌دلیل فرصت کم فرآیند احتراق مقدار آلاینده CO افزایش می‌یابد. تحلیل آماری انجام‌شده بر روی داده‌ها نشان داد که افزایش درصد بیواتانول در ترکیبات بر آلاینده HC در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.



شکل (۴): تاثیر مخلوط سوخت‌های بیواتانول- بنزین بر آلاینده CO در دورهای مختلف موتور و بازبودن کامل دریچه گاز.



شکل (۵): تاثیر مخلوط سوخت‌های بیواتانول- بنزین بر آلاینده CO در دورهای مختلف موتور و موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز.

۳-۲- آلاینده دی‌اکسیدکربن

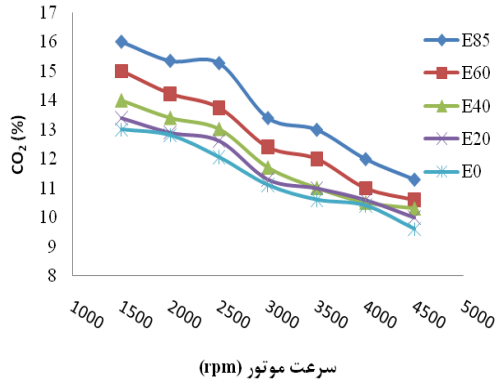
شکل‌های **۷-۶** مقدار دی‌اکسیدکربن (CO_2) را برحسب سرعت موتور برای بنزین خالص و مخلوط‌های بیواتانول- بنزین در دو موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز و نیمه‌بازبودن آن را به ترتیب نشان می‌دهد. براساس این نمودارها، با افزایش درصد بیواتانول در مخلوط‌های سوخت آلاینده CO_2 نیز افزایش می‌یابد. مقدار

میانگین این افزایش در موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز برای سوخت‌های E85، E60، E40 و E20 نسبت به سوخت E0 به‌ترتیب ۲۱/۰۸، ۱۱/۸۳، ۵/۴۹ و ۲/۸۵ درصد بوده است و برای موقعیت نیمه باز بودن دریچه گاز به‌ترتیب ۲۲/۴۶، ۱۲/۱۶، ۵/۱۹ و ۲/۶۴ درصد بود. تغییرات دی‌اکسیدکربن با افزایش مقدار بیواتانول در سوخت‌ها عکس تغییرات منواکسیدکربن می‌باشد. هرچه احتراق به‌سمت کامل‌شدن پیش رود، مقدار CO_2 تولیدی افزایش می‌یابد. سوخت بیواتانول دارای حدود ۳۵ درصد اکسیژن می‌باشد که نقش مهمی در کامل‌شدن فرآیند احتراق بازی می‌کند. بنابراین با افزایش مقدار بیواتانول در مخلوط‌های سوخت، احتراق به‌سمت کامل شدن پیش می‌رود و درنتیجه آن آلاینده دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد [۱۴]. از آنجایی‌که دی‌اکسیدکربن گاز گلخانه‌ای بوده و افزایش آن برای محیط زیست مناسب نمی‌باشد، بنابراین این افزایش در میزان دی‌اکسیدکربن مطلوب نیست. اما با توجه به اینکه منبع تولید سوخت بیواتانول گیاهان و بقایای آنها می‌باشد، گاز تولیدی به‌وسیله این گیاهان مصرف می‌شود و به‌صورت عملی چیزی به گازهای گلخانه‌ای و محیط زیست اضافه نمی‌شود. همچنین براساس نتایج به‌دست‌آمده، با افزایش سرعت موتور میزان آلاینده CO_2 کاهش می‌یابد که دلیل این امر زمان کم احتراق در دورهای بالای موتور می‌باشد. همچنین تحلیل آماری بر روی داده‌ها انجام گرفت. نتایج این تحلیل نشان داد که اثر متغیر درصد بیواتانول در ترکیبات بر آلاینده HC در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

۳-۳- آلاینده اکسیدهای نیتروژن

تاثیر افزودن بیواتانول بر آلاینده اکسیدهای نیتروژن (NO_X) در سرعت‌های مختلف و در دو موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز و نیمه‌بازبودن آن به‌ترتیب در شکل‌های **۵-۴** نشان داده شده است. براساس این شکل‌ها، با افزایش مقدار بیواتانول در مخلوط سوخت‌ها مقدار آلاینده NO_X افزایش می‌یابد. میانگین این افزایش در موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز برای سوخت‌های E85، E60، E40 و E20 نسبت به سوخت E0 به‌ترتیب ۶۲/۹۲، ۵۰/۶۲، ۳۹/۳۹ و ۹/۰۹ درصد به‌دست آمد و برای موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز به‌ترتیب ۶۰/۹۵، ۵۲/۳۸، ۳۸/۱۹ و ۸/۷۸ افزایش نشان داد. دلیل این امر این است که با افزایش درصد حجمی بیواتانول در بنزین، دمای احتراق درون سیلندر که عامل اصلی تولید NO_X می‌باشد، افزایش می‌یابد.

همچنین با توجه به شکل‌ها با افزایش سرعت موتور به‌دلیل افزایش دمای احتراق تولید آلاینده NO_X نیز افزایش می‌یابد. تحلیل آماری نشان داد که اثر متغیر افزایش درصد بیواتانول در مخلوط‌های سوخت‌بر آلاینده NO_X در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. نتایج این تحقیق با نتایج گزارش‌شده توسط اسچیفتر و همکاران[1] مشابه می‌باشد [۱۵]. همچنین محققان دیگر نتایجی برخلاف نتایج این پژوهش ارائه دادند [۱۶]. نتایج تحقیق ملو و همکاران[1] نشان داد که مقدار اتانول در تشکیل مقدار NO_x تاثیری ندارد [۱۷].

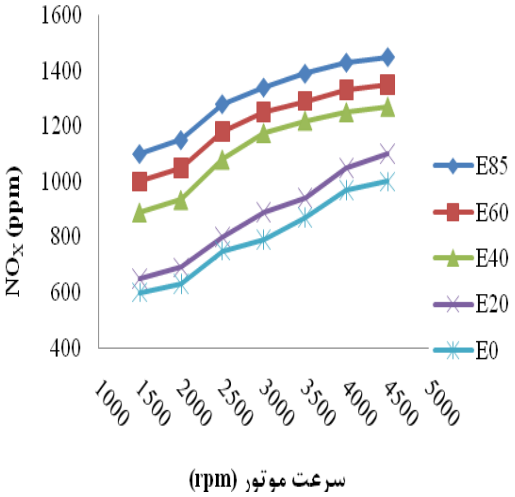


نمودار (۶): تاثیر مخلوط سوخت‌های بیواتانول- بنزین بر آلاینده CO_2 در دورهای مختلف موتور و بازبودن کامل دریچه گاز.

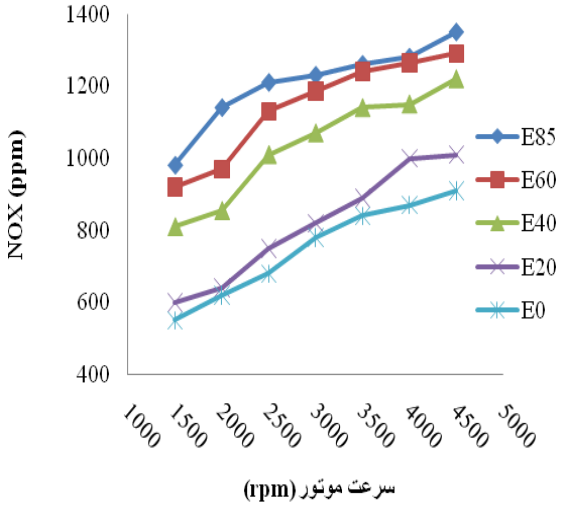
شکل (۷): تاثیر مخلوط سوخت‌های بیواتانول- بنزین بر آلاینده CO_2 در دورهای مختلف موتور و موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز.

1- Schifter

1- Melo



شکل (۸): تاثیر مخلوط سوخت‌های بیواتانول- بنزین بر آلاینده NO_x در دورهای مختلف موتور و بازبودن کامل دریچه گاز.



شکل (۹): تاثیر مخلوط سوخت‌های بیواتانول- بنزین بر آلاینده NO_X در دورهای مختلف موتور وموقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق عبارتند از:

۱- با افزایش درصد بیواتانول در مخلوط‌های سوخت آلاینده، HC کاهش یافت. میانگین این کاهش در موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز برای سوخت‌های E85، E60، E40 و E20 نسبت به سوخت E0 به‌ترتیب ۲۸/۵۴، ۳۹/۸۸، ۵۱/۸۲ و ۱۹/۴۳ بوده است و برای موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز به‌ترتیب ۴۹/۷۷، ۳۴/۶۵، ۲۳/۳۴ و ۱۵/۴۰ درصد به‌دست آمد.

۲- آلاینده CO با افزایش درصد بیواتانول در مخلوط‌های سوخت کاهش یافت. مقدار میانگین این کاهش در موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز برای سوخت‌های E85، E60، E40 و E20 نسبت به سوخت E0 به‌ترتیب ۵۲/۳۷، ۳۶/۳۸، ۱۹/۶۸ و ۹/۳۱ درصد به‌دست آمد و برای موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز به‌ترتیب ۴۴/۹۶، ۳۴/۷۷، ۲۲/۱۴ و ۷/۴۶ درصد کاهش نشان داد،

۳- با افزایش درصد بیواتانول در مخلوط‌های سوخت آلاینده CO_2 افزایش یافت. میانگین این افزایش در موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز برای سوخت‌های E85، E60، E40 و E20 نسبت به سوخت E0 به‌ترتیب ۲۱/۰۸، ۱۱/۸۳، ۵/۴۹ و ۲/۸۵ درصد بوده و برای موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز به‌ترتیب ۲۲/۴۶، ۱۲/۱۶، ۵/۱۹ و ۲/۶۴ درصد افزایش نشان داد،

۴-آلاینده NO_X با افزایش مقدار بیواتانول در مخلوط سوخت‌ها افزایش یافت. میانگین این افزایش در موقعیت بازبودن کامل دریچه گاز برای سوخت‌های E85، E60، E40 و E20 نسبت به سوخت E0 به‌ترتیب ۶۲/۹۲، ۵۰/۶۲، ۳۹/۳۹ و ۹/۰۹ درصد به‌دست آمد و برای موقعیت نیمه‌بازبودن دریچه گاز به‌ترتیب ۶۰/۹۵، ۵۲/۳۸، ۳۸/۱۹ و ۸/۷۸ افزایش نشان داد و

۵- نتایج تحلیل آماری بر روی داده‌ها نشان داد که اثر درصد بیواتانول در مخلوط‌های سوخت بر آلاینده‌ها، در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

۵- مراجع

1. Roy, M. “Planning for Sustainable Urbanization in Fast Growing Cities: Mitigation and Adaptation Issues Addressed in Dhaka, Bangladesh”, Habitat Int., Vol. 33, No. 3, pp. 276-286, 2009.
2. Goldemberg, J. “Environmental and Ecological Dimensions of Biofuels. In "Proceeding of the Conference on the Ecological Dimensions of Biofuels”, Washington DC, March 10, 2008.
3. Balat, M. and Balat, H. “Recent Trends in Global Production and Utilization of Bio-Ethanol Fuel”, Appl. Energy, Vol. 86, No. 11, pp. 2273-2282, 2006.
4. Agarwal, A.K. “Biofuels (Alcohols and Biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines”, Prog. Energy Combust., Vol. 33, No. 3, pp. 233-271, 2007.

5. Park, C., Choi, Y., Kim, C., Oh, S., Lim, G. and Moriyoshi, Y. "Performance and Exhaust Emission Characteristics of a Spark Ignition Engine Using Ethanol and Ethanol-Reformed Gas", Fuel, Vol. 89, No. 8, pp. 2118–2125, 2010.
6. Yang, H.H., Liu, T.C., Chang, C.F. and Lee, E. "Effects of Ethanol-Blended Gasoline on Emissions of Regulated Air Pollutants and Carbonyls from Motorcycles", Appl. Energy, Vol. 89, No. 1, pp. 281–286, 2012.
7. Topgul, T., Yucesu, H.S., Cinar, C. and Koca, A. "The Effects of Ethanol–Unleaded Gasoline Blends and Ignition Timing on Engine Performance and Exhaust Emissions", Renew. Energy, Vol. 31, No.15, pp. 2534–2542, 2006.
8. Bayraktar, H. "Experimental and Theoretical Investigation of Using Gasoline– Ethanol Blends in Spark-Ignition Engines", Renew. Energy, Vol. 30, No. 11, pp. 1733–47, 2005.
9. Wen, B., Xin, C.Y. and Yang S.C. "The Effect of Adding Dimethyl Carbonate (DMC) and Ethanol to Unleaded Gasoline on Exhaust Emission", Appl. Energy, Vol. 87, No. 1, pp. 115–121, 2010.
10. Song, C.L., Zhang, W.M., Pei, Y.Q., Fan, G.H. and Xu, G.P. "Comparative Effects of MTBE and Ethanol Additions into Gasoline on Exhaust Emissions", Atmos Environ, Vol. 40, No. 11, pp. 1957–1970, 2006.
11. Schifter, I., Diaz, L., Gómez, J.P. and Gonzalez, U. "Combustion Characterization in a Single Cylinder Engine with Mid-Level Hydrated Ethanol–Gasoline Blended Fuels", Fuel, Vol. 103, pp. 292-29, 2013.
12. Tongroon, M. and Zhao. H. "Combustion and Emission Characteristics of Alcohol Fuels in a CAI Engine", Fuel, Vol. 104, pp. 386-397, 2012.
13. Ciniviz, M. "Investigation on Vehicle Using Gasoline-Bioethanol Blended Fuels", Int. J. Automat. Eng. Technol., Vol. 1, No. 2, pp. 32-39, 2012.
14. Yoon, S., Ha, S., Roh, H. and Lee, C. "Effect of Bioethanol as an Alternative Fuel on the Emissions Reduction Characteristics and Combustion Stability in a Spark Ignition Engine. Proceedings of the Institution of Mech. Eng.", Part D: J. Automat. Eng., Vol. 223, No. 7, pp. 941-951, 2009.
15. Schifter, I., Diaz, L., Rodriguez, R., Gómez, J.P. and Gonzalez, U. "Combustion and Emissions Behavior for Ethanol–Gasoline Blends in a Single Cylinder Engine", Fuel, Vol. 90, No. 12, pp. 3586-3592, 2011.
16. Celik, M.B. "Experimental Determination of Suitable Ethanol–Gasoline Blend Rate at High Compression Ratio for Gasoline Engine", Appl. Therm. Eng., Vol. 28, No. 5, pp. 396-404, 2008.
17. Melo, T.C.C.D., Machado, G.B., Belchior, C.R.P., Colaço, M.J., Barros, J.E.M., De Oliveira, E.J. and De Oliveira, D.G. "Hydrous Ethanol–Gasoline Blends Combustion and Emission Investigations on a Flex-Fuel Engine", Fuel, Vol. 97, pp. 796-804, 2012.