یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

بررسی تأثیر استفاده از سوخت نرمال بوتانول و بنزین بر میزان آلایندگی موتور اشتعال جرقه‌ای

جلال شریفی[۱]، علی نجات لرستانی*[۲]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه

[۲] دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، (lorestani@razi.ac.ir)

چکیده

بررسی میزان آلایندگی یک ترکیب سوخت جایگزین از نرمال بوتانول و بنزین به عنوان سوخت پایه با هدف کاهش آلاینده‌ها در موتور بنزینی پراید با سیستم سوخت رسانی زیمنس انجام گرفت. سوخت‌های بانسبت Bu15،Bu10،Bu5،Bu0 و Bu20 استفاده شدند.تاثیر این مخلوط‌های سوختی بر بنزین پایه و آلایندگی موتور مورد تحلیل و بررسی قرارگرفت. موتور در دورهای ۱۰۰۰، ۲۰۰۰و۳۰۰۰ دور بر دقیقه تنظیم شد. هر آزمایش در سه تکرار انجام شد. از دستگاه تست پنج گاز SPX FRANCE جهت اندازه‌گیری آلاینده‌ها استفاده شد. اثر تیمارهای نوع سوخت و دور موتور بر آلاینده‌های خروجی اگزوز مورد بررسی قرار گرفت.از نرم افزار SPSS 20 و آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت. نتایج نشان داد که در اثر نوع سوخت، مقادیر آلاینده‌های UHC و NO_X در سطح ۵درصد اختلاف معنی‌داری دارند. اما مقادیر آلاینده‌های CO و CO_2 در سطح ۵درصد اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین اثر دور موتور بر تمامی صفات مورد بررسی بجز آلاینده‌ی NO_X در سطح ۵درصد معنی‌دار بود و اثرات متقابل سوخت و دور موتور بر هیچکدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد. با افزایش درصد نرمال بوتانول در سوخت، آلاینده‌های CO و CO_2 در ترکیب سوخت ۲۰ درصد نرمال بوتانول کاهش یافت و آلاینده‌ی UHC به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرد. اما آلاینده NO_X رفتار نامنظمی از خود نشان داد و افزایش یافت. همچنین افزایش دور موجب کاهش آلاینده‌ی UHC و CO و افزایش آلاینده‌های CO_2 و NO_X شد.

کلمات کلیدی: موتور اشتعال جرقه ای، نرمال بوتانول، هیدروکربن های نسوخته، مونواکسیدکربن، دی اکسیدکربن.

Investigation the effect of normal butanol fuel and gasoline on spark ignition's engine emissions

Jalal Sharifi[1] , Ali Nejat Lorestani[2*]

1- MSc.Graduate Student of Mechanical Engineering of Biosystem, Razi University, Kermanshah

2- Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Razi University, Kermanshah, lorestani@razi.ac.ir

ABSTRACT

Investigation of emissions of an alternative compound fuel of normal butanol and gasoline as a fuel base with the aim of reducing emissions in the Pride gasoline engine with the Siemens's fuel system was done. Fuel ratio of Bu0, Bu5 ,Bu10, Bu15 and Bu20 were used. The impact of these fuel blends on the base gasoline engine and emissions were analyzed. Engine in speed of 1000, 2000 and 3000 rpm was set. Each experiment was performed in triplicate, SPX FRANCE five gas test devices were used to measure emissions. The effects of treatments, fuel and engine revolution exhaust pollutants were examined. The SPSS 20 software with factorial experiment in a completely randomized design was used for data analysis. Comparison of means by Duncan's multiple range tests was performed. The results showed that the type of fuel, HC and NO_X emissions values at 5% significant differences. But the amounts of CO and CO_2 emissions are not significantly different at 5% level. The effect of engine revolution on all traits except emissions of NO_X Significant at the 5% level and the interactions between fuel and engine revolution none of the traits

* نویسنده مسئول: علی نجات لرستانی، دانشیار دانشگاه رازی، تلفن: ۰۸۳۳۸۳۲۴۸۲۰، نمابر: ۰۸۳۳۸۳۲۱۰۸۳، رایانامه: Lorestani@razi.ac.ir

were not significant. With the percentage of butanol fuel, emissions of CO and CO_2 at butanol fuel 20 percent in fuel composition and emissions of UHC the substantially reduced. But NO_X pollutants showed erratic behavior and increased. With Increasing the revolution, were reduced the UHC and CO emissions and were increased in pollutants CO_2 and NO_X.

Keywords: Spark ignition engine, normal butanol, unburned hydrocarbons, carbon monoxide, carbon dioxide.

۱- مقدمه

در قرن ۲۱، بحران انرژی و حفاظت از محیط زیست دو مورد از بزرگترین چالش‌های پیش رو هستند. با توجه به کمبود منابع نفت و آلودگی هوا، بایستی به دنبال سوخت‌های جایگزین و پاک برای موتورهای احتراق داخلی بود. سوخت‌های زیستی را می‌توان از محصولات کشاورزی تولید کرد و به عنوان سوختهای جایگزین در نظر گرفته شده است. در حال‌حاضر، سوخت‌های زیستی مشترک شامل متانول، اتانول، بوتانول، بیودیزل، بیوگاز و هیدروژن زیستی هستند. بوتانول به عنوان یک جزء سوخت‌های زیستی آینده پیشنهاد شده است(Feng et al., 2015). بوتانول یکی از انواع الکل‌های نوع اول، دارای مزایای بیشتری نسبت به اتانول و متانول به عنوان سوخت جایگزین برای موتورهای احتراق داخلی است. چون‌که، بسیاری از خواص سوخت بوتانول به سوخت‌های فسیلی نزدیک تر است. بوتانول دارای ویسکوزیته بالاتر و دمای خود اشتعالی کمتر از متانول و اتانول می‌باشد. همچنین بوتانول کمتر خورنده می‌باشد و محتوای انرژی بوتانول بالاتر از اتانول و متانول است(Chen et al., 2013; Szwaja & Naber, 2010).

در مقایسه با سوخت‌های معمولی، بوتانول دارای خواص سوخت بسیار عالی‌تر و عملکرد زیست محیطی بهتر مانند محتوای اکسیژن بیشتر و حرارت بالاتر از تبخیر است(Chen et al., 2014). علاوه بر این، بوتانول را می توان ازمنابع تجدیدپذیر مانند فیبر ذرت، کاه گندم، دانه‌های خشک تقطیرشده با حلال (DDGS)، ذرت علوفه‌ای، علف، کاه جو و سایر مواد گیاهی استخراج کرد(Qureshi et al., 2008).

با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی برتر آن، بوتانول تبدیل به یک سوخت تجدید پذیر مبتنی بر زیست توده بسیار رقابتی برای موتورهای احتراق داخلی و یا مکمل بنزین شده است. خواص بنزین معمولی، متانول، اتانول و بوتانول در جدول ۱ نشان داده شده است.

گو و همکاران یک آزمایش در مورد تزریق مستقیم سوخت موتور اشتعال جرقه‌ای(SI) با ترکیب بنزین و نرمال بوتانول در زمان‌های مختلف جرقه و بازخورانی گاز اگزوز (EGR) را انجام دادند. مشخص شد که جلو بردن زمان جرقه برخی از خروجی‌های ویژه موتور ازجمله، HC و خروجی‌های NO_X و غلظت تعداد ذرات را افزایش می‌دهد. در حالی که انتشار آلاینده CO را کاهش می دهد. آنان دریافتند که EGR می‌تواند خروجی‌های NO_X خاص موتور و غلظت تعداد ذرات را به طور همزمان در موتور اشتعال جرقه‌ای با ترکیب بنزین و نرمال بوتانول کاهش دهد(Gu et al., 2012).

در تحقیقی دیگر، دو ترکیب سوخت‌های مختلف حاوی (۱۰٪ و ۱۵٪ حجمی) از بوتانول در بنزین مورد مطالعه قرار گرفت، آزمایش با استفاده از یک دینامومتر بر روی موتور بدون پوشش و موتور پوشش داده شده با لایه سرامیک انجام شد. نتایج به وضوح نشان داد که ترکیب موتور با پوشش سرامیک و مخلوط سوخت بوتانول و بنزین دارای پتانسیل برای بهبود عملکرد موتور می‌باشد(Mittal et al., 2013).

همچنین در مطالعه‌ای دیگر اثر زمان پاشش بر روی یک موتور SI با استفاده از تزریق دوگانه نرمال بوتانول و بنزین در دریچه ورودی مورد مطالعه قرارگرفت. نتایج نشان داد که تزریق دوگانه، نرمال بوتانول می‌تواند در موقعیت‌های بالاتر از دریچه گاز جهت عملکرد خوب وگازهای گلخانه‌ای کمتر مورد استفاده قرارگیرد. آنها دریافتند که زمان تزریق به طور عمده درانتشار HC، و توقف تدریجی پاشش، و مقدار کمی در تولید گازهای گلخانه‌ای تاثیر گذار است(Venugopal & Ramesh, 2014).

دوغان، تأثیر مخلوط سوخت نرمال بوتانول- دیزل (به عنوان یک افزودنی اکسیژن‌دار برای سوخت دیزل) بر عملکرد موتور و گازهای خروجی اگزوز در یک موتور دیزل کوچک را مورد بررسی قرار داد. برای این هدف پنج آزمون سوخت، Bu5(شامل ۵٪ نرمال بوتانول و ۹۵٪ سوخت دیزل بر اساس حجم) Bu10، Bu15، Bu20 و سوخت دیزل خالص، برای تست در یک موتور دیزل تهیه شد. آزمون در یک تک سیلندر، چهار زمانه، اصلاح نشده، با تنفس طبیعی تزریق مستقیم و موتور دیزل با سرعت بالا در سرعت ثابت موتور (2600 rpm) و چهار بار مختلف موتور با استفاده از پنج مخلوط سوخت مورد آزمایش انجام شد. نتایج آزمون تجربی نشان داد که کدورت دوده، اکسید نیتروژن، و انتشار مونوکسیدکربن کاهش می‌یابد در حالی که انتشار هیدروکربن، مربوط به افزایش مقدار نرمال بوتانول در مخلوط سوخت افزایش یافته است. علاوه بر این، با افزایش مقدار نرمال بوتانول در مخلوط سوخت، مصرف سوخت ویژه‌ی ترمزی و بازده حرارتی ترمزی افزایش می‌یابد. همچنین، دمای گاز خروجی اگزوز با افزایش

[1]-Spark Ignition(SI)

محتوای نرمال بوتانول در مخلوط سوخت کاهش پیدا می‌کند(Dog˘an, 2011).

جدول ۱- خواص بنزین معمولی، متانول، اتانول و نرمال بوتانول(Feng et al., 2015)

Table 1. Properties of regular gasoline, methanol, ethanol and butanol(Feng et al., 2015)

ویژگی	بنزین	متانول	اتانول	n - بوتانول
فرمول شیمیایی	C_4-C_{12}	CH_3OH	C_2H_5OH	C_4H_9OH
وزن ملکولی (گرم/ مول)	105 -100	32	46	74
کاهش ارزش حرارتی[1](MJ/kg)	42.1	20.1	26.8	33.1
چگالی(kg/m^3 در 20°C)	760-720	792	790	810
عدد اکتان (R+M)/2	94-86	98.6	99.1	89
دمای جوش (°C)	275-25	64.5	78.3	118
گرمای نهان تبخیر (kj/kg25°)	500-380	1178	904	716
دمای خود اشتعالی (°C)	257	465	422	343
نسبت استوکیومتری هوا به سوخت	14.7	6.4	9	11.2
سرعت شعله آرام (cm/s)[b,a]	51	68	63	58.5
دمای شعله آدیاباتیک (k°)	2370	1890	2310	2340

[a] T=325 K و P=100 KPa در مخلوط استوکیومتری

[b] در اینجا بنزین توسط ایزواکتان نشان داده شد.

در مطالعه‌ای دیگر، برای بررسی مکانیزم تشکیل NO (نیتریک اکسید) و دوده در شرایط مختلف شتاب برای موتورهای دیزل توربو شارژ، سه ترکیب سوخت (۳۰٪ بیودیزل، ۲۵٪ نرمال بوتانول و سوخت دیزل بر مبنای حجم) مورد آزمایش قرار گرفتند، و گزارش شد که انتشار دوده در زمان استفاده از مخلوط ۲۵٪ نرمال بوتانول و سوخت دیزل کاهش بیشتری یافته است(Rakopoulos et al., 2010). بعلاوه در بسیاری از مطالعات هنگامی که از بوتانول به عنوان سوخت موتور SI استفاده می‌شود فقط بر گازهای مضر معمولی خروجی اگزوز (CO، HC و NOx) متمرکز شده، اگر چه CO_2 یک گاز، غیر سمی است که به عنوان آلاینده موتور طبقه بندی نشده، اما آن یکی از مواد گلخانه‌ای افزایش دهنده دمای جهانی است(Navarro et al., 2013). در تحقیقی دیگر توماس و همکاران اثر نسبت تراکم بر عملکرد و آلایندگی موتور SI با ترکیب سوخت بنزین و نرمال بوتانول در بارهای مختلف را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. آزمایش‌ها برروی یک موتور تک سیلندر با سه نسبت تراکم(۱۰: ۱ و CR= 1:7 1:8.5 ,) مختلف با مخلوط سوخت حجمی ۲۰٪ نرمال بوتانول (B20) و بنزین انجام شد. نتایج نشان داد که در تمام بارهای موتور بازده حرارتی ترمزی افزایش می‌یابد و استفاده از سوخت‌های الکلی مانند نرمال بوتانول در واقع موجب بهبود عملکرد و کاهش آلایندگی موتور در نسبت‌های تراکم بالاتر می‌شود(Thomas et al., 2016). در پژوهشی دیگر نیز احتراق و آلایندگی موتورسیکلت با مخلوط سوخت بوتانول و بنزین مورد مطالعه و بررسی قرارگرفت. آنها به این نتیجه رسیدند که ترکیب بوتانول و بنزین موجب مقاومت بالاتر در برابر ضربه با به جلو بردن زمان جرقه در موتورهای اشتعال جرقه‌ای شده، که این امر منجر به احتراق بهتر می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که با نسبت ۳۵٪ حجم بوتانول و بنزین پایه همراه با بهینه سازی زمان جرقه، قدرت موتور، گشتاور، مصرف ویژه سوخت ترمزی و انتشار آلاینده‌های HC و CO بهتر از بنزین خالص در بار کامل می‌باشد. اما آلاینده‌های NOx وCO_2 بالاتر از سطح اصلی بنزین خالص است(Feng et al., 2015).

[1]- Lower heating value

اهداف این مطالعه معرفی ترکیب نرمال بوتانول و بنزین به عنوان یک منبع سوختی جدید با منشأ شیمیایی، و بررسی تاثیر سوخت نرمال بوتانول بر تولید گازهای گلخانه‌ای در جهت کاهش آلایندگی موتور اشتعال جرقه‌ای چهارزمانه و به دست آوردن ترکیب بهینه نرمال بوتانول با بنزین می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موتور و وسایل مورد نیاز

موتور استفاده شده در این تحقیق موتور بنزینی مدل M13NI یا موتور پراید انژکتوری با سیستم سوخت‌رسانی زیمنس است. مشخصات فنی موتور استفاده شده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- مشخصات موتور مورد آزمایش

Table 2. Engine specification that was used for test

نوع موتور	چهار سیلندر- هشت سوپاپ
ترتیب احتراق	1342
قطر × کورس پیستون (mm)	83.6 × 71
حجم جابه جایی (cc)	1323
نسبت تراکم	9.7
حداکثر گشتاور (Nm)	103.3نیوتن متر در2800 دور بر دقیقه
حداکثر سرعت (rpm)	5500

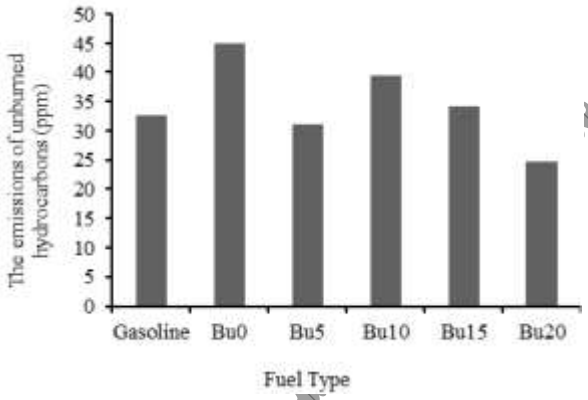
در این تحقیق میزان ۱۰ لیتر بوتانول ($C_4H_{10}O$)، با درجه خلوص ۹۹٪ از مجتمع صنایع شیمیایی و دارویی کیان کاوه ساوه تهیه شد. بنزین معمولی به میزان ۲۰ لیتر از جایگاه پمپ بنزین تهیه گردید. همچنین ۳۰ لیتر بنزین پایه (بدون MTBE) از پالایشگاه نفت کرمانشاه تهیه شد. دلیل استفاده از بنزین پایه امکان سنجی جایگزینی نرمال بوتانول با مکمل MTBE است. برای تهیه‌ی نسبت‌های مختلف سوخت بنزین – نرمال بوتانول از یک بشر مدرج ۳۰۰۰ cc با دقت ۵۰ cc و یک مزور ۱۰۰cc با دقت ۱ cc استفاده شد. سوخت‌های با نسبت Bu0،Bu5،Bu10، Bu15 و Bu20 تهیه شدند.(BuX، نماد Bu معرف سوخت بوتانول و نماد X معرف درصد بوتانول ترکیبی با سوخت بنزین است) مخلوط‌ها به صورت آماده در ظروف ۴ لیتری نگه‌داری شدند. قبل از انجام آزمایش مربوط به هر نوع سوخت، باک موتور به طور کامل تخلیه و پس از حصول اطمینان از خالی شدن کامل، با سوخت مورد آزمایش بعدی پر می‌شد. ظرفیت باک موتور ۴ لیتر بود. دستگاه تست پنج گاز SPX مدل۴۰۲ -E Gas ساخت کشور فرانسه جهت آنالیز گازهای خروجی از موتور مورد استفاده قرار گرفت. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری گازهای UHC، NOx، CO، CO_2 و O2 است.

۲-۲- روش آزمایش

پس از پر کردن باک موتور با سوخت مورد آزمایش، موتور روشن شد و بعد از اینکه به حالت پایدار رسید (۱۵ تا ۲۰ دقیقه بعد از روشن شدن) داده برداری انجام گرفت. برای قرار دادن موتور در دورهای ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور در دقیقه از یک گاز دستی که به این منظور طراحی گردید، استفاده شد. موتور در حالت جعبه دنده خلاص یعنی بدون بار مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور تعیین درستی نتایج به دست آمده، از علم آمار کمک گرفته شد. جهت آماده سازی و تحلیل داده‌ها به ترتیب از نرم افزار Excel 2007 و نرم افزار آماریSPSS نسخه ۲۰ استفاده شد. تحلیل داده‌ها با روش آماری آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق، اثر تیمارهای نوع سوخت و دور موتور برآلایندگی بررسی شد. "شکل ۱" نمودار نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین‌های اثر نوع سوخت بر هیدروکربن‌های نسوخته را نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده نمود که به طور کلی با افزایش درصد نرمال بوتانول مقادیر هیدروکربن‌های نسوخته نسبت به بنزین معمولی با وجود افزایش در مخلوط های Bu10 و Bu15 در نهایت در مخلوط Bu20 کاهش می-یابد. همان گونه که از نمودار پیداست در سوخت با نرمال بوتانول ٪۲۰ مقدار هیدروکربن‌های نسوخته ٪۲۳,۸ نسبت به سوخت بنزین معمولی کاهش یافته است. فنگ و همکاران نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. با افزایش نسبت مخلوط بوتانول به دلیل راندمان حرارتی بالاتر و محتوای اکسیژن بیشتر، فرآیند احتراق کامل‌تر با رسیدن به پارامترهای عملیاتی بهینه، بیشتر می‌شود و در نتیجه آلایندگی UHC کاهش می یابد(Feng et al., 2015). کمترین مقدار آلاینده هیدروکربن‌های نسوخته با میانگین 24.8889 ppm مربوط به سوخت با نرمال بوتانول 20% است. و همچنین بیشترین مقدار هیدروکربن‌های نسوخته مربوط به بنزین پایه و سوخت با نرمال بوتانول 10% (به ترتیب با میانگین 45 و39.44 ppm) می‌باشد.

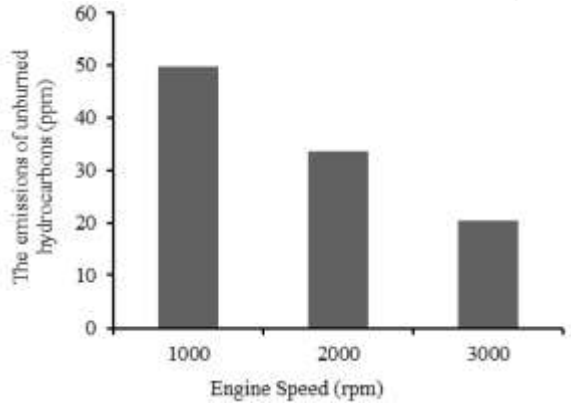


شکل ۱- نمودار میزان آلاینده ی هیدروکربن های نسوخته به ازای تغییر نوع سوخت

Figure 1. Chart of the emissions of unburned hydrocarbons versus changing the type of fuel

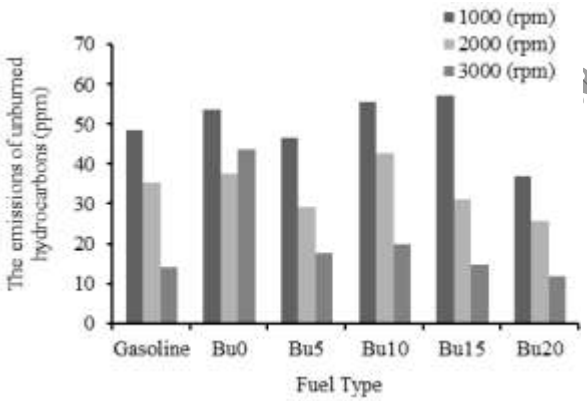
"شکل ۲" نمودار نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین‌های اثر دور موتور بر مقادیر هیدروکربن‌های نسوخته را نشان می-دهد. با توجه به نمودار تغییر دور موتور در تمامی موارد اثر معنی داری بر مقادیر هیدروکربن‌های نسوخته داشته است. به طوری که با افزایش دور موتور از ۱۰۰۰ به ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مقدار ٪۵۹,۲ هیدروکربن‌های نسوخته کاهش یافته‌اند. فنگ و همکاران (۲۰۱۵) و ویلیامز و همکاران (۲۰۰۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. با افزایش بار موتور، نرخ آزاد شدن گرما سریع‌تر و بازده حرارتی موتور افزایش می‌یابد، درنتیجه موجب کاهش آلاینده هیدروکربن‌های نسوخته می‌شود. با افزایش دمای موتور در دورهای بالا دمای گازهای ورودی به موتور نیز افزایش می‌یابد که تأثیر به‌سزایی در کاهش آلاینده UHC دارد(Williams et al., 2009; Feng, et al., 2015).

"شکل ۳" نمودار نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن اثرات متقابل نوع سوخت و دور موتور بر مقادیر هیدروکربن‌های نسوخته را نشان می‌دهد. همان طور که از نمودار مشاهده می‌شود در دور موتور۱۰۰۰ rpm ، بیشترین آلایندگی در سوخت ٪۱۵ بوتانول و کمترین آلایندگی مربوط به سوخت با ٪۲۰ بوتانول است. در دور rpm 2000 ، بیشترین آلایندگی مربوط به سوخت با ٪۱۰ بوتانول و کمترین آلایندگی مربوط به سوخت با ٪۲۰ بوتانول می‌باشد. و در دور موتور rpm 3000 ، بیشترین آلایندگی مربوط به بنزین پایه و کمترین آلایندگی مربوط به سوخت ٪۲۰ بوتانول به دست آمد. بنابراین سوخت ٪۱۵ بوتانول در دور موتور1000 rpm ، بیشترین آلایندگی و سوخت با ٪۲۰ بوتانول در دور موتور 3000 rpm ، کمترین میزان آلاینده‌ی هیدروکربن نسوخته را در رابطه با اثر نوع سوخت و دور موتور داشتند.



شکل ۲- نمودار میزان آلاینده هیدروکربن های نسوخته به ازای دور موتور

Figure 2. chart of the emissions of unburned hydrocarbons for engine Speed

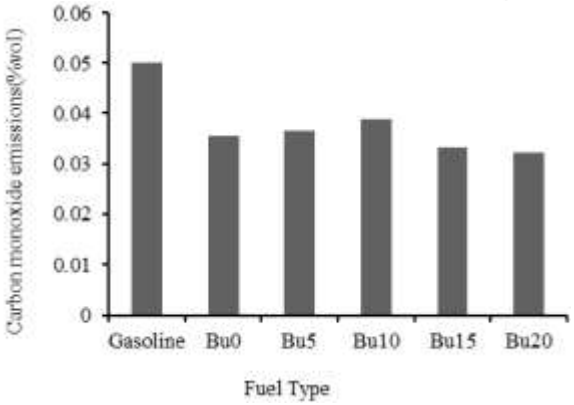


شکل ۳- نمودار میزان آلاینده هیدروکربن‌های نسوخته به ازای تغییر نوع سوخت و دور موتور

Figure 3. chart of the unburned hydrocarbons's emissions for changing the type of fuel and engine speed

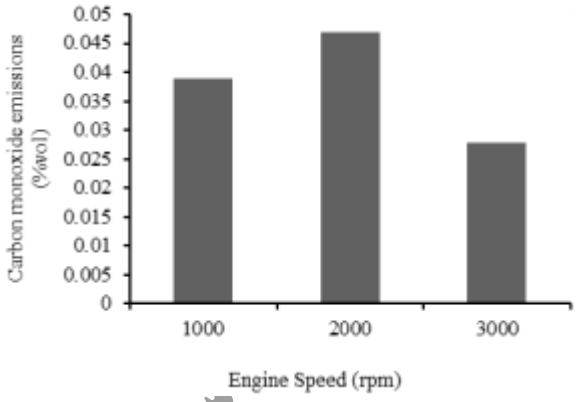
"شکل ۴" نمودار نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین اثر نوع سوخت بر مونوکسیدکربن را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار می‌توان مشاهده کرد که با افزایش درصد بوتانول در سوخت میزان آلاینده CO نسبت به بنزین معمولی کاهش می‌یابد. دوغان و فنگ و همکاران نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. با افزایش درصد بوتانول در سوخت بنزین، با توجه به محتوای اکسیژن نرمال بوتانول احتراق به صورت کامل‌تر صورت می‌گیرد و موجب کاهش آلاینده CO می‌شود(Dog˘an, 2011; Feng et al., 2015) بیشترین مقدار CO با میانگین ۰،۰۵مربوط به سوخت بنزین معمولی و کمترین مقدار آلاینده‌ی مونوکسیدکربن با میانگین ۰،۰۳۲ مربوط به سوخت ٪۲۰ بوتانول می‌باشد. که حاکی از کاهش ۳۶ درصدی مونوکسیدکربن با سوخت ٪۲۰ بوتانول نسبت به بنزین معمولی است.

"شکل ۵" نمودار نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن مربوط به اثر دور موتور بر میزان آلاینده مونوکسیدکربن را نشان می‌دهد مشاهده می‌شود که پس از افزایش میزان آلاینده CO در دور موتور ۲۰۰۰ rpm در نهایت به کمترین میزان خود در دور موتور ۳۰۰۰ rpm می‌رسد. به طوری که میزان آلاینده مونوکسیدکربن ۲۸،۵ درصد نسبت به دور موتور 1000 rpm کاهش می‌یابد. در دورهای ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ دور بر دقیقه بین مقادیر آلاینده CO اختلاف معنی داری مشاهده نشد، که ویلیامز و همکاران (۲۰۰۹) نیز نتایج مشابهی را ارائه کردند.



شکل ۴- نمودار میزان آلاینده ی مونوکسیدکربن به ازای انواع مختلف سوخت

Figure 4. Chart of carbon monoxide's emissions for various Fuel types

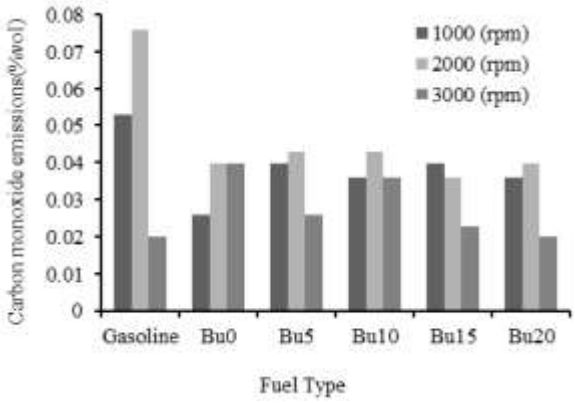


شکل ۵- نمودار میزان آلاینده مونوکسیدکربن به ازای تغییر دور موتور

Figure 5. graph of the carbon monoxide's emissions for changes in engine speed

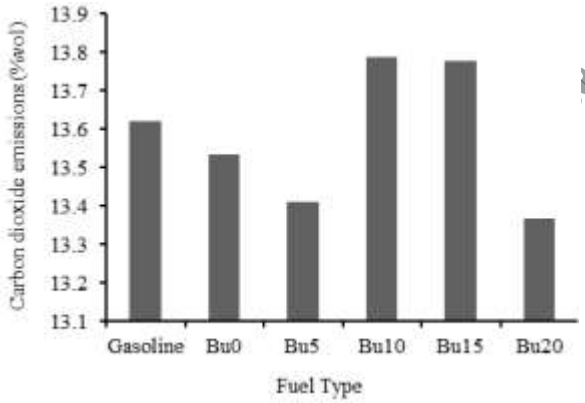
"شکل ۶" نمودار اثرات متقابل نوع سوخت و دور موتور بر میزان آلاینده مونوکسیدکربن با توجه به نتایج آزمون دانکن را نشان می‌دهد. در تمامی دورهای موتور با افزایش درصد نرمال بوتانول در سوخت ورودی تغییرات نامنظمی در مقدار آلاینده‌ی مونوکسیدکربن خروجی اگزوز مشاهده می‌شود. که می‌تواند دلایل مختلفی ازجمله سرد بودن موتور در دورهای پایین‌تر نسبت به دورهای بالا و در نتیجه اکسیداسیون بهتر گاز CO در دمای بالاتر باشد. بیشترین مقدار مونوکسیدکربن مربوط به سوخت بنزین معمولی در دور موتور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه است. و کمترین مقدار مونوکسیدکربن مربوط به بنزین معمولی و ترکیب سوخت ٪۲۰ بوتانول در دور موتور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد.

"شکل ۷" بیانگر میزان تغییرات آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن نسبت به نوع سوخت با توجه به آزمون دانکن است. همان طور که مشاهده می‌شود، با افزایش درصد نرمال بوتانول در سوخت میزان آلاینده‌ی CO_2 پس از طی سیر نزولی تا مخلوط ۵ درصد بوتانول به بیشترین مقدار خود در مخلوط‌های ۱۰ و ۱۵ درصد بوتانول می‌رسد و در نهایت در مخلوط ۲۰ درصد بوتانول بیشترین کاهش را دارد. تغییرات برای سوخت‌های بنزین معمولی، بنزین پایه و ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد نرمال بوتانول در سطح ۵ درصد معنی دار نبود.



شکل ۶- نمودار میزان آلاینده مونوکسیدکربن به ازای تغییر نوع سوخت و دور موتور

Figure 6. Graph of the carbon monoxide's emissions for various fuel types and engine speeds

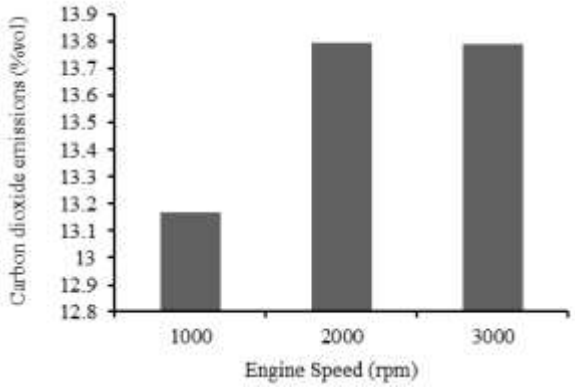


شکل ۷- نمودار میزان آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن به ازای تغییر نوع سوخت

Figure 7. Graph of the carbon dioxide's emissions for various fuel types

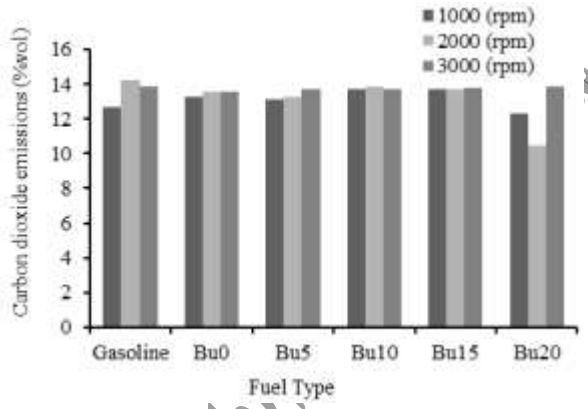
"شکل ۸" نمودار نتایج آزمون دانکن در مورد اثر دور موتور بر میزان آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن را نشان می‌دهد. پیداست با زیاد شدن دور موتور مقدار گاز دی‌اکسیدکربن خروجی افزایش پیدا می‌کند. به طور کلی با زیاد شدن دور موتور میزان اکسیداسیون گاز CO و تبدیل آن به گاز دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد، که این می‌تواند به دلیل سوختن کامل‌تر سوخت در اتاق احتراق در اثر افزایش دما باشد. بیشترین مقدار دی-اکسیدکربن با مقدار متوسط ۱۳,۸ مربوط به دورهای موتور ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به صورت مشترک و کمترین مقدار با میانگین ۱۳,۱۶ مربوط به دور موتور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه است.

"شکل ۹" نمودار نتایج آزمون دانکن اثر تغییر نوع سوخت و دور موتور بر میزان آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن را نشان می‌دهد. پیداست در دورهای موتور۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ دور بردقیقه با توجه به وجود نوسان در میزان آلایندگی مخلوط‌های مختلف، به صورت تقریبی مقدار آلاینده CO_2 در مخلوط ٪۲۰ بوتانول کاهش می‌یابد. اما در دور موتور3000 rpm میزان آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن در بنزین معمولی و مخلوط نرمال بوتانول ٪۲۰ با هم برابر است. بنابراین بیشترین مقدار دی‌اکسیدکربن با مقدار میانگین ۱۴,۲ مربوط به بنزین معمولی در دور ۲۰۰۰ rpm و کمترین مقدار آن با میانگین ۱۰,۵ مربوط به سوخت ٪۲۰ نرمال بوتانول در دور موتور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد.



شکل ۸- نمودار میزان آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن به ازای دور موتور

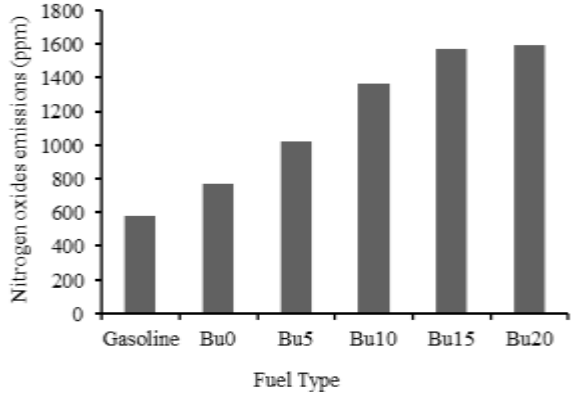
Figure 8. chart of the emissions of carbon dioxide versus engine speed (rpm)



شکل ۹- نمودار میزان آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن به ازای تغییر نوع سوخت و دور موتور

Figure 9. Chart of the emissions of carbon dioxide for changes in fuel type and engine speed

"شکل ۱۰" نمودار نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن در مورد اثر نوع سوخت بر میزان آلاینده‌ی اکسیدهای نیتروژن را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که آلاینده NOx به طور کلی با افزایش درصد نرمال بوتانول در سوخت بیشتر می‌شود. بنابراین بیشترین افزایش مربوط به سوخت ۲۰٪ بوتانول با مقدار میانگین ۱۵۹۷٫۴ ppm و کمترین آلایندگی مربوط به بنزین معمولی با مقدار ۴۹۰٫۷ ppm است.

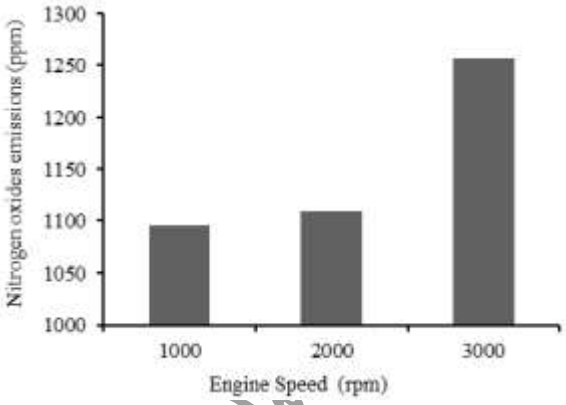


شکل ۱۰- نمودار میزان آلاینده‌ی اکسیدهای نیتروژن به ازای نوع سوخت

Figure 10. Chart of the emissions of nitrogen oxides versus type of fuel

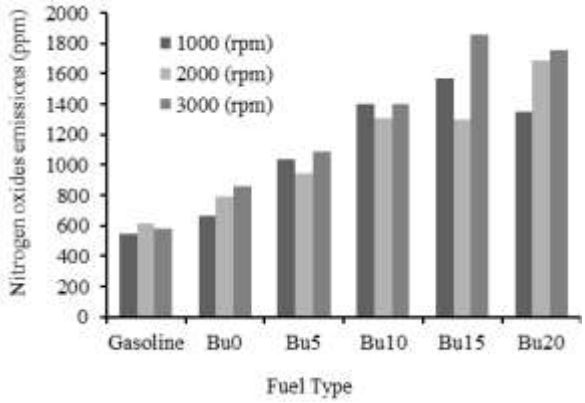
"شکل ۱۱" نمودار نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن در مورد اثر دور موتور بر میزان آلاینده‌ی اکسیدهای نیتروژن را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود به طور کلی با زیاد شدن دور موتور مقدار گاز اکسیدهای نیتروژن خروجی افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار اکسیدهای نیتروژن با مقدار میانگین ۱۲۵۶ ppm مربوط به دور موتور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه و کمترین مقدار با میانگین ۱۰۹۶ ppm در دور موتور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه مشاهده گردید. فنگ و همکاران با مطالعه بر روی موتور سیکلت اشتعال جرقه ای در دورهای ۶۵۰۰۰ و ۸۵۰۰ دور بر دقیقه با نسبت های ۳۰ و ۳۵ درصد بوتانول به نتایج مشابهی رسیدند. آزمایشات آنها با افزایش آلاینده‌ی اکسیدهای نیتروژن نسبت به افزایش دور موتور همراه بود(Feng et al., 2015).

"شکل ۱۲" نمودار نتایج آزمون دانکن اثرات متقابل نوع سوخت و دور موتور بر آلاینده‌ی اکسیدهای نیتروژن را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که کمترین و بیشترین آلاینده‌ی NOx در همه‌ی دور موتورها به ترتیب به سوخت‌های بنزین معمولی و ۲۰٪ بوتانول مربوط می‌شود. کمترین و بیشترین میزان آلاینده اکسیدهای نیتروژن در رابطه با اثر نوع سوخت و دور موتور به ترتیب در دور 1000 در سوخت بنزین معمولی و دور 3000 در سوخت با 20% نرمال بوتانول رخ داده است.



شکل ۱۱- نمودار میزان آلاینده‌ی اکسیدهای نیتروژن به ازای دور موتور

Figure 11. Graph of the NOx emissions for engine speed



شکل ۱۲- نمودار میزان آلاینده‌ی اکسیدهای نیتروژن به ازای تغییر نوع سوخت و دور موتور

Figure 12. Chart of the nitrogen oxides's emissions versus changing the type of fuel and engine speed

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر نسبت‌های مختلف سوخت نرمال بوتانول در دور موتورهای مختلف بر آلایندگی موتور اشتعال جرقه ای پراید مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان آلاینده هیدروکربن‌های نسوخته به ازای تغییر نوع سوخت روندی متغیر داشته و کمترین آلایندگی مربوط به نرمال بوتانول ۲۰٪ است. با افزایش دور موتور میزان آلاینده‌ی UHC روندی کاهشی را نشان می¬دهد. همچنین در بررسی اثر متقابل نوع سوخت و دور موتور بر میزان آلایندگی UHC نتایج برای مخلوطهای مختلف متغیر است. اما در دورهای موتور ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه

کمترین میزان آلایندگی را مخلوط سوخت نرمال بوتانول ٪۲۰ دارد. میزان آلاینده‌ی مونوکسیدکربن نسبت به بنزین معمولی در تمامی مخلوط‌ها کاهشی بوده و کمترین آلایندگی را مخلوط سوخت نرمال بوتانول ٪۲۰ دارد. بیشترین آلایندگی CO در دور موتور ۲۰۰۰ rpm و کمترین آلایندگی در دور موتور ۳۰۰۰ rpmمشاهده می‌شود. در اثر متقابل نوع سوخت و دور موتور برمیزان آلایندگی CO ، کمترین آلایندگی را سوخت-های بنزین معمولی و مخلوط سوخت نرمال بوتانول ٪۲۰ دارند. میزان آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن در مخلوط نرمال بوتانول ٪۲۰ بیشترین کاهش را نشان می‌دهد. با افزایش دور موتور به دلیل افزایش دما و درنتیجه اکسیداسیون بهتر گاز CO میزان آلاینده‌ی CO_2 افزایش می‌یابد. همچنین میزان آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن به ازای تغییر نوع سوخت و دور موتور تغییراتی بسیار نزدیک به هم داشته و کمترین میزان آلاینده‌ی CO_2 مربوط به مخلوط سوخت نرمال بوتانول ٪۲۰ در دور موتور 2000 rpm می‌باشد. اما آلاینده NOx رفتار نامنظمی از خود نشان داد و در تمام آزمایش‌ها روندی افزایشی داشت. در نتیجه مخلوط نرمال بوتانول ٪۲۰ بهترین ترکیب جهت کاهش آلاینده‌های UHC، CO و CO_2 شناخته شد. پیشنهاد می‌شود جهت کاهش آلاینده‌ی NOx از بازخورانی گازهای خروجی اگزوز استفاده شود.

۵- مراجع

Chen, Z., Wu, Z ., Liu, J., & Lee, C. (2014). Combustion and emissions characteristics of high n-butanol/diesel ratio blend in a heavy-duty diesel engine and EGR impact. *Energy Conversion and Management, 78*, 787-795.

Chen, Z., Liu, J., Wu, Z., & Lee, C. (2013). Effects of port fuel injection (PFI)of n-butanol and EGR on combustion and emissions of a direct injection diesel engine. *Energy Conversion and Management, 76*, 725-731.

Dog˘an, O. (2011). The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions. *Fuel, 90(7)*, 2467-2472.

Feng, R., Fu, J., Yang, J., Wang, Y., Li, Y., Deng, B., Liu, J., & Zhang, D. (2015). Combustion and emissions study on motorcycle engine fueled with butanol-gasoline blend. *Renewable Energy, 81*, 113-122.

Gu, X., Huang, Z., Cai, J., Gong, J., Wu, X., & Lee, C. (2012). Emission characteristics of a spark-ignition engine fuelled with gasoline-n-butanol blends in combination with EGR. *Fuel, 93*, 611-617.

Mittal, N., Athony, R. L., Bansal, R., & Kumar, C. R. (2013). Study of performance and emission characteristics of a partially coated LHR SI engine blended with n-butanol and gasoline. *Alexandria Engineering Journal, 52(3)*, 285-293.

Navarro, E., Leo, T. J., & Corral, R. (2013). CO_2 emissions from a spark ignition engine Operation on natural gas-hydrogen blends (HCNG). *Applied Energy, 101*, 112-120.

Qureshi, N., Saha, B. C., Hector, R. E., Hughes, S. R., & Cotta, M. A. (2008). Butanol production from wheat straw by simultaneous saccharification and fermentation using clostridium beijerinckii: part I-Batch fermentation. *Biomass and Bioenergy, 32(2)*, 168-175.

Rakopoulos, C. D., Dimaratos, A. M., Giakoumis, E. G., & Rakopoulos, D. C. (2010). Investigating the emissions during acceleration of a turbocharged diesel engine operating with bio-diesel or n-butanol diesel fuel blends. *Energy, 35(12)*, 5173-5184.

Szwaja, S., & Naber, J. D. (2010). Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine. *Fuel, 89(7)*, 1573-1582.

Thomas, R., Sreesankaranb, M., Jaidic, J., Paulb, D. M., & Manjunath, P. (2016). Experimental evaluation of the effect of compression ratio on performance and emission of SI engine fuelled with gasoline and n-butanol blend at different loads. *Perspectives in Science, 8*, 743-746.

Venugopal, T., & Ramesh, A. (2014). Experimental studies on the effect of injection timing in a SI engine using dual injection of n-butanol and gasoline in the intake port. *Fuel, 115*, 295-305.

Williams, J., Goodfellow, C., Lance, D., Ota, A., Nakata, K., Kawatake, K., & Bunting, W. (2009). Impact of butanol and other bio-components on the thermal efficiency of prototype and conventional engines. *SAE Technical Paper*, 2009-01-1908, DOI: 10.4271/2009-01-1908.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون کشاورزی ایران