مجموعه مقالات نهمین کنفرانس سوخت و احتراق ایران
۱۹ تا ۲۱ بهمن ۱۴۰۰، ایران، شیراز، دانشگاه شیراز
FCCI-2022-XXXX

بررسی عملکرد و آلاینده‌های موتور بنزینی با استفاده از مخلوط سوخت بنزین و الکل‌های زیستی

دنیا خشکنامه[۱]، حسین حاجی‌آقا علیزاده*[۲]، بهداد شدیدی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی گرایش انرژی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، donyakhoshnam777@gmail.com
۲- دانشیار، مهندسی بیوسیستم گرایش طراحی و انرژی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، h-alizade@basu.ac.ir
۳- استادیار، مهندسی بیوسیستم گرایش طراحی و انرژی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، b.shadidi@basu.ir
* نویسنده مخاطب

چکیده

با توجه به اینکه نفت و مشتقات آن منجر به افزایش آلودگی‌های زیست محیطی از جمله CO، CO_2و UHC می شود و بیشتر این آلاینده‌ها هم از طریق و سایل نقلیه به محیط زیست منتقل می‌شوند بنابراین باید به سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر مانند الکل های زیستی (پنتانول، پروپانول،بوتانول، اتانول) روی آورد. لذا در این پژوهش ترکیب سوخت جایگزین به صورت مخلوط پنتانول ،اتانول، پروپانول و بوتانول به بنزین خالص در یک موتور بنزینی چهار سیلندر انجام شد .مخلوط ذکر شده در در صدهای حجمی مختلف تهیه گشت و میزان آلایندگی و عملکرد موتور در سه دور دورانی ۱۴۰۰،۱۲۵۰،۱۱۰۰ دور بر دقیقه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که افزودن سوخت‌های زیستی به بنزین منجر به کاهش آلاینده‌ی CO_2 و UHC می‌شود. در سرعت۱۴۰۰دور بردقیقه مقدار آلاینده‌ی CO به دلیل احتراق ناقص و افزایش اکسیژن ناشی از وجود الکل‌ها به بیشترین حد خود برسد .همچنین افزودن سوخت‌های الکلی به بنزین گشتاور و توان موتور را کاهش داده و مصرف سوخت را در سرعت۱۴۰۰دور بردقیقه افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: آلاینده‌های زیست‌محیطی، انرژی‌های تجدید پذیر، سوخت‌های الکلی، عملکرد موتور.

مقدمه

انرژی، ورودی اصلی صنعت و تکنولوژی است [۱]. بحران کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، مسئله آلودگی محیطزیست، انحصار کشورهای واردکننده نفت و دلایل سیاسی دیگر سبب شده که تقاضا برای جایگزین کردن یک منبع انرژی تجدید پذیر مانند سوخت‌های زیستی (بیودیزل و الکل‌ها)، به‌جای نفت به یک نگرانی جهانی تبدل شود [۳]. با توجه به اینکه نفت و مشتقات آن ۹۴ درصد از نیازهای بخش حمل‌ونقل را برطرف می‌کند و از طرفی هم آلاینده‌های حاصل از مشتقات نفتی (مانند CO، HC و CO2) به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به‌سلامت انسان و محیط اطراف آسیب می‌رسانند، بنابراین به یک سوخت با آلاینده‌ی کمتری نیاز است [۴،۵،۶]، با توجه به اینکه الکل‌ها هنگام احتراق در موتور، در مقایسه با بنزین خالص آلاینده‌های کمتری منتشر می‌کنند، لذا می‌توان از مخلوط سوخت بنزین با هر نوع الکلی (مانند اتانول، پروپانول، بوتانول و پنتانول) که به‌طورکلی باعث بهبود عملکرد موتور و کاهش انتشار آلاینده‌ها می‌شود استفاده کرد [۷،۸،۹]. در پژوهشی، به بررسی میزان آلاینده‌های یک موتور بنزینی پراید با استفاده از ترکیب سوخت نرمال بوتانول با بنزین پرداخته شد. سوخت‌ها با نسبت (۰،۵،۱۰،۱۵،۲۰) درصد حجمی با سوخت بنزین مخلوط شدند. با افزایش درصد نرمال بوتانول در سوخت تا ۲۰ درصد، انتشار آلاینده‌های CO، CO_2 وUHC در موتور کاهش یافت. همچنین افزایش دور موجب کاهش آلاینده‌ی UHC و CO و افزایش آلاینده‌ایCO_2 و گردید [۱۰] در پژوهشی، عملکرد موتور و میزان انتشار آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفت؛ که از ترکیب بنزین با متانول در درصدهای حجمی (۵،۱۰،۱۵) استفاده گردید. نتایج نشان داد که میزان انتشار آلاینده‌های مخلوط سوخت بنزین- متانول نسبت به بنزین خالص کاهش یافته است [۱۱]. پنتانول یکی از سوخت‌های زیستی است که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای می‌تواند به مسئله بحران انرژی و مشکلات زیست‌محیطی کمک کند. افزودن پنتانول به دیزل می‌تواند انتشار آلاینده‌هایی مانند CO و UHC در سرعت کم موتور را کاهش داده و باعث بهبود عملکرد موتور و احتراق آن شود [۱۲]. یکی دیگر از سوخت-های زیستی بوتانول می‌باشد که خواص فیزیکی و شیمیایی آن نزدیک به بنزین است و می‌تواند با بنزین به هر نسبت مخلوط شود [۱۳]. اتانول را می توان با تخمیر مواد خوراکی زیست‌توده مانند ذرت، سورگوم، نیشکر و کاه کشاورزی تولید کرد [۱۴]. پروپانول سوختی زیستی و تجدید پذیر بوده که حتی می‌تواند بهتر از اتانول زیستی باشد چراکه دارای چگالی انرژی بالاتر و جذب کمتر رطوبت می‌باشد [۱۵].

افزودن الکل های زیستی مانند پروپانول، پنتانول و بوتانول به دیزل و بیودیزل باعث کاهش انتشار UHC ولی باعث افزایش میزان مونوکسید کربن می‌شود [۱۶]. در الکل‌های ذکر شده چون تعداد کربن‌های الکل‌ها بالاست می‌توان راحت‌تر آن را با دیزل و بیودیزل و بنزین ترکیب کرد. با افزایش کربن در الکل‌ها درصد جرمی اکسیژن کاهش می‌یابد در حالی عدد ستان چگالی و ارزش حرارتی افزایش می یابد [۱۷]. با توجه به تعداد کربن ها در ساختار الکل ها مانند پرو پانول (C_3H_7OH) و بو تانول (C_4H_9OH) و پنتانول ($C_5H_{11}OH$) دارای عدد ستان و ارزش حرارتی ویسکوزیته بالاتری هستند در حالی گرمای نهان تبخیر کمتری دارند و ازآنجاکه الکل‌های بالا حلالیت پذیری خوبی هستند می‌توان آن‌ها را با گازوئیل و بنزین و بیودیزل مخلوط کرد [۱۸]. در این پژوهش، بر اساس چالش‌های عنوان‌شده در مورد کمبود سوخت‌های فسیلی و مشکلات زیست‌محیطی، عملکرد و میزان انتشار آلاینده‌های یک موتور بنزینی با استفاده از مخلوط‌های سوخت بنزین- الکل (شامل: اتانول، پروپانول، بوتانول و پنتانول با در صدهای متفاوت) بررسی و با سوخت بنزین خالص مقایسه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

تهیه‌ی سوخت‌های آزمایش

بنزین مورد استفاده در این آزمایش از جایگاه سوخت دانشگاه در شهر همدان به مقدار هشت لیتر تهیه شد. الکل‌های آزمایش موردنظر که شامل اتانول، پروپانول، بوتانول و پنتانول با درصد خلوص٪ ۹۹،۶ بود تهیه گردید و مخلوط سوخت الکل و بنزین در آزمایشگاه انرژی‌های تجدید پذیر دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا تهیه شد. الکل‌ها با درصدهای حجمی مختلف با بنزین در حجم یک لیتر مخلوط شدند و در بطری‌های یک لیتری نگه‌داری شدند. G نماد بنزین، E نماد اتانول، Pn نماد پنتانول، Pr نماد پروپانول، B نماد بوتانول را مشخص می‌کند که به‌این‌ترتیب مخلوط شماره ۱ شامل ($Pn_{10}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{60}$)، مخلوط شماره ۲

($Pn_{15}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{55}$) و مخلوط شماره ۳ ($Pn_{20}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{50}$) می‌باشد که روند افزایش پنتانول با ثابت بودن درصد سایر الکل‌ها در نظر گرفته شد (جدول ۱).

جدول شماره ۱- مخلوط‌های تهیه‌شده

نوع مخلوط	پنتانول	پروپانول	بوتانول	اتانول	بنزین
مخلوط ۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶۰
مخلوط ۲	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۵۵
مخلوط ۳	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۵۰

موتور مورد آزمایش

پس از تهیه‌ی مخلوط های سوخت، آزمایش‌های موردنظر بر روی موتور چهار سیلندر بنزینی کوپله شده به دینامومتر، ساخت کارخانه‌ی فورد، در ۳ سرعت مختلف ۱۱۰۰،۱۲۵۰،۱۴۰۰ rpm انجام شد (شکل ۱). جهت اندازه‌گیری پارامترهای گشتاور و توان از دینامومتر PLINT ساخت کشور آلمان موجود در آزمایشگاه ترمودینامیک دانشکده‌ی مهندسی دانشگاه بوعلی سینا همدان استفاده شد، همچنین جهت بررسی و اندازه‌گیری آلاینده‌های خروجی از آلاینده سنج AIRREX مدل HG-550 ساخت کشور کره استفاده گردید (شکل ۲).

شکل ۱-دینامومتر کوپله شده با موتور

شکل ۲-دستگاه آلاینده سنج

نحوه انجام آزمایش

پس از تهیه‌ی مخلوط‌های سوخت و انتقال آن به آزمایشگاه، مقدار سه لیتر بنزین خالص را در مخزن سوخت موتور از قبل روشن شده ریختیم تا موتور به مدت ۱۵ دقیقه روش بماند و بنزین در آن گردش کند. سپس پراپ آلاینده سنج را در خروجی اگزوز موتور قرار داده و توسط آن میزان آلاینده‌های خروجی اگزوز را اندازه‌گیری کردیم، به این صورت که بعد از گذشت ۱۲۰ ثانیه از قرار دادن پراپ در اگزوز، دستگاه آلاینده سنج شروع به اندازه‌گیری می‌کند. داده‌های مربوط به عملکرد موتور که شامل گشتاور، دمای آب خروجی و ورودی موتور و همچنین دمای اگزوز موتور می‌باشد بر روی نمایشگر دینامومتر قابل روئیت بود (شکل ۳). در مراحل بعد دور موتور را افزایش داده و در هر سری داده‌های جدیدی به دست آمد.

شکل ۳-استند خروجی داده‌های مربوط به عملکرد موتور

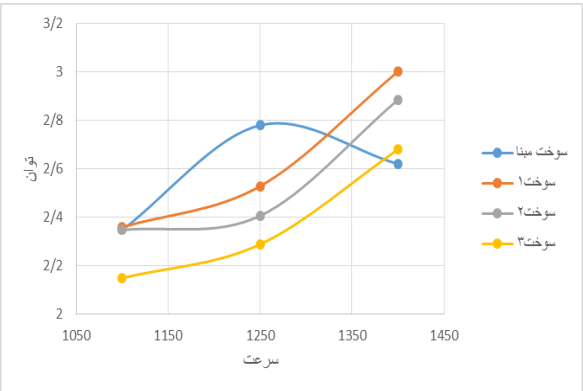
سپس بنزین خالص باقی‌مانده در مخزن موتور تخلیه شده و مخلوط ۱ (طبق جدول ۱) را به مخزن اضافه کرده و مراحل بالا را برای اندازه‌گیری آلاینده‌ها و عملکرد موتور تکرار کردیم.

نتایج و بحث

بعد از پایداری شرایط کاری موتور برای هر آزمایش، توان، گشتاور، مصرف سوخت و آلاینده‌های اگزوز مانند CO_2،CO و HC اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شدند آزمایش‌ها در سه تکرار و تحلیل آن‌ها با نرم‌افزار excle2013 انجام شد.

توان موتور

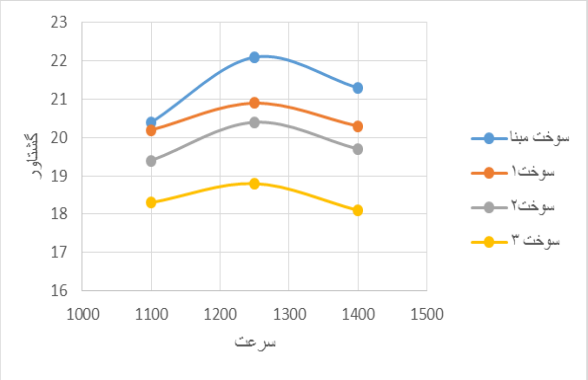
نتایج تجربی توان موتور با استفاده از مخلوط‌های سوخت بنزین و الکل‌های مختلف با افزایش درصد پنتانول در شکل ۱ نشان داده شده است. روند تغییرات توان موتور در سرعت‌های مختلف به این صورت است که در همه‌ی مخلوط‌های سوخت به‌جز سوخت مبنا با افزایش سرعت مقدار توان موتور بیشتر شده و این با روند افزایش پنتانول نسبت عکس دارد یعنی با افزایش درصد پنتانول مقدار توان کاهش‌یافته است. نتایج نشان داد حداکثر توان موتور۳،۰۰۳ کیلووات در سوخت یک در دور ۱۴۰۰ است. پژوهشگران قبلی گزارش کردند که توان موتور هنگام استفاده از مخلوط بنزین الکل کاهش می‌یابد زیرا الکل‌ها دارای اکسیژن اضافی در ساختار خود هستند که موجب احتراق بهتر موتور می‌شود در این پژوهش افزایش توان موتور می‌تواند به دلیل محتوای اکسیژن بالای الکل‌ها باشد[۱۹].



شکل ۱-توان برحسب سرعت

گشتاور موتور

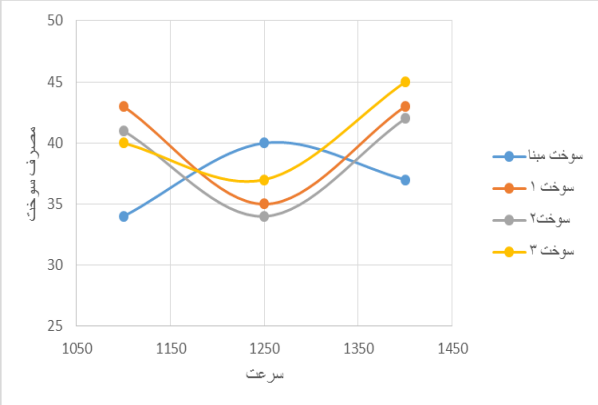
همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده‌شده است، گشتاور موتور با سوخت مبنا (بنزین خالص) بالاتر از سایر مخلوط‌های سوخت است. و هرچقدر میزان درصد پنتانول در سوخت افزایش پیدا کند گشتاور طبق نمودار کاهش پیدا می‌کند. بالاترین گشتاور مربوط به بنزین خالص در سرعت ۱۲۵۰ دور بر دقیقه است. افزودن سوخت‌های الکلی به بنزین منجر به کاهش گشتاور می‌شود [۱۴].



شکل ۲- گشتاور برحسب سرعت

مصرف سوخت موتور

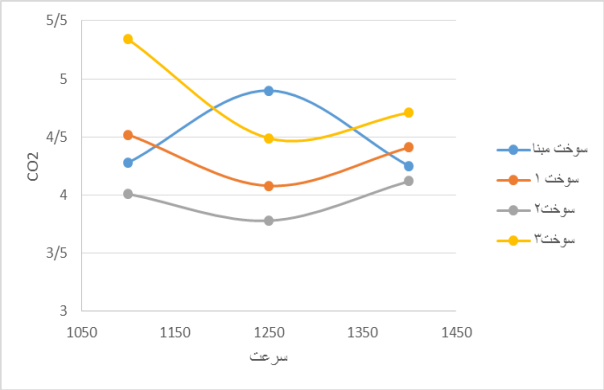
طبق شکل ۳ مصرف سوخت، سوخت مبنا با افزایش سرعت تا دور ۱۲۵۰ افزایش و از آن به بعد تا دور ۱۴۰۰ کاهش می‌یابد و بالاترین نقطه‌ی نمودار مربوط به سوخت مبنا در دور ۱۲۵۰ می‌باشد. با افزایش درصد پنتانول در سوخت ۱، ۲ و ۳ مصرف سوخت در دور ۱۱۰۰ کاهش پیداکرده و در دور ۱۲۵۰ به کمترین مقدار خود رسیده است و پس‌ازآن مصرف سوخت به‌طور قابل‌توجهی افزایش‌یافته است. افزودن سوخت‌های الکلی به بنزین باعث افزایش مصرف سوخت می‌شود و هرچه نسبت الکل بیشتر شود (مانند سوخت ۳) مصرف سوخت بالاتر است [۱۹]؛ بنابراین توصیه می‌شود در سرعت‌های بالا از نسبت بالایی از سوخت‌های الکلی استفاده نکنید [۲۱].



شکل ۳-مصرف سوخت برحسب سرعت

آلاینده‌ی CO2

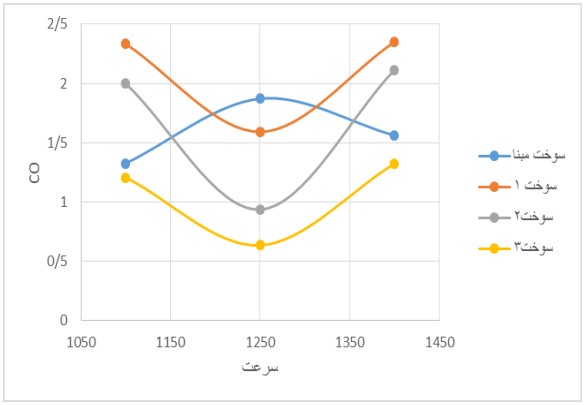
روند انتشار آلاینده‌ی CO2 در سوخت مبنا با افزایش سرعت از ۱۱۰۰ تا ۱۲۵۰ افزایش و پس‌ازآن کاهش می‌یابد. در سوخت ۱ و ۲ با افزایش سرعت تا ۱۲۵۰ میزان انتشار CO_2 کاهش‌یافته و با افزایش سرعت افزایش می‌شود اما سوخت ۳ به دلیل درصد بالای پنتانول در سرعت ۱۱۰۰ دارای بیشترین میزان انتشار CO_2 می‌باشد. تیان زد و همکاران نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. در مقایسه با بنزین خالص، مخلوط الکل-بنزین می‌تواند انتشار CO_2 را در اکثر شرایط عملیاتی به دلیل افزایش اکسیژن کاهش دهد [19]. با زیاد کردن دور موتور مقدار گاز دی‌اکسید کربن خروجی زیاد می‌شود به‌طورکلی با افزایش دور موتور میزان اکسیدا سیون گاز مونوکسید کربن و تبدیل آن به دی اکسیدکربن افزایش می‌یابد (شکل ۴) [۲۱].



شکل ۴- دی‌اکسید کربن برحسب سرعت

آلاینده‌ی CO

با توجه به شکل ۵، در سوخت مبنا با افزایش سرعت میزان آلاینده‌ی CO افزایش پیداکرده و پس از دور ۱۲۵۰ کاهش می‌یابد، به ترتیب افزایش درصد پنتانول مقدار آلاینده‌ی CO در سرعت ۱۱۰۰ تا ۱۲۵۰ کاهش می‌یابد و پس‌ازآن به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. مطالعات قبلی به این نتیجه رسیدند که با افزودن الکل‌ها به بنزین به دلیل افزایش اکسیژن مقدار CO افزایش می‌یابد. یکی دیگر از دلایل افزایش CO می‌تواند کمتر شدن مدت‌زمان احتراق مخلوط‌های بنزین و الکل باشد [۲۲،۲۳،۲۴].

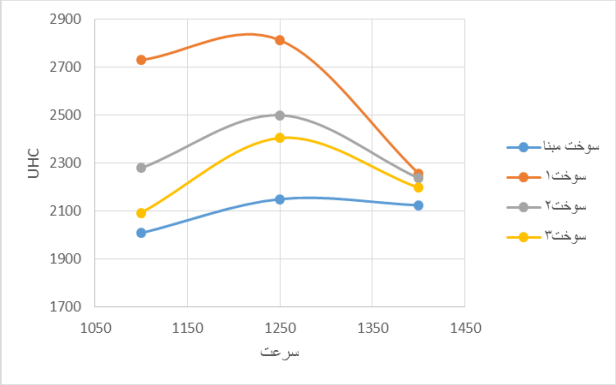


شکل ۵-مونوکسید کربن برحسب سرعت

آلاینده‌ی UHC

آلاینده‌ی UHC در بنزین خالص با افزایش سرعت به آرامی افزایش و دارای کمترین مقدار می‌باشد. همچنین با افزایش درصد پنتانول میزان آلاینده‌ی UHC تا دور ۱۲۵۰ افزایش پیداکرده و بعدازآن روند کاهشی می‌شود (شکل ۶). نیتیاناندان و همکاران به این نتیجه رسیدند که انتشار UHC در وهله‌ی اول تحت تأثیر کیفیت احتراق قرار می‌گیرد و میزان اکسیژن موجود در الکل‌ها کیفیت احتراق را بهبود می‌بخشد بنابراین میزان آلاینده‌ی UHC روند کاهشی پیدا می‌کند [۲۵]؛ اما تیان زد و همکاران به این نتیجه رسیدند

که افزودن سوخت‌های الکلی به بنزین منجر به انتشار بیشتر آلاینده‌ی UHC می‌شود [۲۰].



شکل ۶-هیدروکربن‌های نسوخته برحسب سرعت

نتیجه‌گیری

در این مقاله، عملکرد موتور و انتشار آلاینده‌های یک موتور بنزینی تجزیه و تحلیل شد. با تجزیه و تحلیل اثرات بنزین خالص، ($Pn_{10}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{60}$)، ($Pn_{15}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{55}$) و ($Pn_{20}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{50}$) بر روی عملکرد و آلاینده‌های موتور نتایج زیر حاصل شد:

۱- در مقایسه با بنزین خالص، هرچقدر درصد پنتانول موجود در سوخت الکل-بنزین را افزایش دهیم از توان موتور آزمایشی کاسته شده و با افزایش دور موتور توان بالا می‌رود.

۲- با افزودن الکل‌ها به بنزین گشتاور موتور کاهش پیدا کرده و بالاترین گشتاور مربوط به بنزین خالص در دور ۱۲۵۰ می‌باشد.

۳- ازنظر مصرف سوخت موتور افزودن سوخت‌های الکلی به بنزین در دورهای بالا می‌تواند مصرف سوخت را افزایش دهد.

۴- از جهت میزان انتشار آلاینده‌ها، در مقایسه با بنزین خالص مخلوط الکل بنزین می‌تواند انتشار CO در سوخت‌های ($Pn_{10}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{60}$) و ($Pn_{15}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{55}$) را کاهش دهد، روند کاهش CO به ترتیب زیر می‌باشد:

$Pn_{20}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{50} > Pn_{10}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{60} > Pn_{20}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{50}$

۵- میزان CO تولیدی حاصل از سوخت الکل_بنزین نسبت به بنزین خالص روند کاهشی را تا دور ۱۲۵۰ طی می‌کند و در دور ۱۴۰۰ سوخت $Pn_{10}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{60}$ دارای بیشترین مقدار خود است.

۶- ازنظر انتشار UHC در مخلوط الکل بنزین نسبت به بنزین خالص در دورهای ابتدایی موتور میزان انتشار UHCبالاست و با افزایش سرعت از این میزان کاسته می‌شود و در دور ۱۲۵۰ در سوخت $Pn_{10}Pr_{10}B_{10}E_{10}G_{60}$ بالاترین میزان UHCرادارایم.

مراجع

۱. شدیدی، ب. (۱۳۹۰). ارزیابی عملکرد و آلاینده‌های موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیب سوخت دیزل-اتانول. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۲. شریفی، ج. و لرستانی، ع. (۱۳۹۷)."بررسی تأثیر استفاده از سوخت نرمال بوتانول و بنزین بر میزان آلایندگی موتور اشتعال جرقه‌ای". یازدهمین کنگره-ی ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران، همدان، ایران.

3. Inokuma, K., Liao, J. C., Okamoto, M., and Hanai, T. (2010). “Improvement of isopropanol production by metabolically engineered Escherichia coli using gas stripping”. Journal of bioscience and bioengineering, 110(6), 696-701.
4. Wu, C.W., Chen, R.H., Pu, J.Y., and Lin, T.H. (2004). “the influence of air–fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline-blended fuels”. Atmospheric Environment, 38(40), 7093-7100.
5. Ozsezen, A. N., and Canakci, M. (2011). “Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle”. Energy, 36(5), 2747-2752.
6. Li, G., Eisele, M., Lee, H., Hwang, Y., and Radermacher, R. (2014). “Experimental investigation of energy and exergy performance of secondary loop automotive air-conditioning systems using low-GWP (global warming potential)”. refrigerants. Energy, 68, 819-831.
7. Zhou, F., Fu, J., Ke, W., Liu, J., Yuan, Z., and Luo, B. (2017). “Effects of lean combustion coupling with intake tumble on economy and emission performance of gasoline engine”. Energy, 133, 366-379.
8. Balki, M. K., Saying, C., and Canakci, M. (2014). “The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine”. Fuel, 115, 901-906.
9. Lliev, S. (2015). “A comparison of ethanol and methanol blending with gasoline using a 1-D engine model”. Procedia Engineering, 100, 1013-1022.
10. Kukharonak, H., Ivashko, V., Pukalskas, S., Rimkus, A., and Matijošius, J. (2017). “Operation of a Spark-ignition Engine on Mixtures of Petrol and N-butanol. Procedia Engineering”. 187, 588-598.
11. Mishra, P. C., Gupta, A., Kumar, A., and Bose, A. (2020). “Methanol and petrol blended alternate fuel for future sustainable engine: A performance and emission analysis”. Measurement, 155, 107519.
12. Li, L., Wang, J., Wang, Z., and Xiao, J. (2015). “Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel/biodiesel/pentanol fuel blends”. Fuel, 156, 211-218.
13. Deng, B., Fu, J., Zhang, D., Yang, J., Feng, R., Liu, J., ... and Liu, X. (2013). “The heat release analysis of bio-butanol/gasoline blends on a high speed SI (spark ignition) engine”. Energy, 60, 230-241.
14. Li, Y., Gong, J., Deng, Y., Yuan, W., Fu, J., and Zhang, B. (2017). “Experimental comparative study on combustion, performance and emissions characteristics of methanol, ethanol and butanol in a spark ignition engine”. Applied Thermal Engineering, 115, 53-63.
15. Ammar, E. M., Wang, Z., and Yang, S. T. (2013). “Metabolic engineering of Propionibacterium freudenreichii for n-propanol production”. Applied

microbiology and biotechnology, 97(10), 4677-4690.
16. Kumar, S., Cho, J. H., Park, J., and Moon, I. (2013). “Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 46-72.
17. Shahir, N. S., Masjuki, N. H., Kalam, M. A., Imran, A., and Ashraful, A. M. (2015). “Performance and emission assessment of diesel–biodiesel–ethanol/bioethanol blend as a fuel in diesel engines: A review”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 48, 62-78.
18. Weerachanchai, P., Tangsathitkulchai, C., and Tangsathitkulchai, M. (2009). “Phase behaviors and fuel properties of bio-oil-diesel-alcohol blends”. World Academy of Science, Engineering and Technology, 56, 387-393.
19. Wang, C., Li, Y., Xu, C., Badawy, T., Sahu, A., and Jiang, C. (2019). “Methanol as an octane booster for gasoline fuels”. Fuel, 248, 76-84.
20. Tian, Z., Zhen, X., Wang, Y., Liu, D., and Li, X. (2020). “Comparative study on combustion and emission characteristics of methanol, ethanol and butanol fuel in TISI engine”. Fuel, 259, 116199.
21. Qi, D. H., and Lee, C. F. (2016). “Combustion and emissions behaviour for ethanol–gasoline-blended fuels in a multipoint electronic fuel injection engine”. International Journal of Sustainable Energy, 35(4), 323-338.
22. Zhang, J., Nithyanandan, K., Li, Y., Lee, C. F., and Huang, Z. (2015). “Comparative study of high-alcohol-content gasoline blends in an SI engine (No. 2015-01-0891)”. SAE Technical Paper.
23. Nakata, K., Utsumi, S., Ota, A., Kawatake, K., Kawai, T., and Tsunooka, T. (2006). “The effect of ethanol fuel on a spark ignition engine (No. 2006-01-3380)”. SAE Technical Paper.
24. Can, Ö., Celikten, I., and Usta, N. (2004). “Effects of ethanol addition on performance and emissions of a turbocharged indirect injection diesel engine running at different injection pressures”. Energy conversion and Management, 45(15-16), 2429-2440.
25. Nithyanandan, K., Wu, H., Huo, M., and Lee, C. F. (2014). “A preliminary investigation of the performance and emissions of a port-fuel injected si engine fueled with acetone-butanol-ethanol (ABE) and gasoline (No. 2014-01-1459)”. SAE Technical Paper.