

ارزیابی میزان تولید گازهای آلاینده و گلخانه‌ای با استفاده از مخلوط بنزین-اتانول در موتورهای بنزینی

فاطمه بهادری^{۱*} و احسان خورشیدی نازلو^۲

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|--|--|
| دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲ | <p>اتانول یک سوخت تجدیدپذیر و جایگزین است که می‌تواند به عنوان سوخت ترکیبی با دیگر سوخت‌ها به کار رود و راندمان احتراق و ترکیبات گازهای خروجی را بهبود ببخشد. در این مقاله، اشتعال در موتور خودرو با استفاده از مقادیر مختلف مخلوط بنزین - اتانول مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج احتراق بنزین خالص و سوخت‌های ترکیبی از نظر تولید گازهای گلخانه‌ای نظیر کربن دی اکسید و آلاینده‌هایی نظیر کربن منوکسید، اکسیدهای نیتروژن و گوگرد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مخلوط اتانول - بنزین بهبود قابل توجهی در کاهش انتشار گازهای آلاینده آگروز حاوی کربن دی اکسید و اکسیدهای گوگرد دارد. در این میان بالاترین درصد کاهش انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای مربوط به ۹۰ درصد حجمی بنزین و ۱۰ درصد حجمی اتانول می‌باشد که این مقدار کاهش در دور موتورهای مختلف، متفاوت می‌باشد. با افزایش دور موتور، میزان کربن دی اکسید تولیدی با توجه به افزایش مصرف سوخت افزایش می‌یابد؛ با این وجود، میزان انتشار کربن منوکسید با افزایش دور موتور در ابتدا افزایش یافته ولی از دور موتور ۳۰۰۰ rpm به بعد این مقادیر در اثر افزایش دمای موتور کاهش می‌یابد. بنابراین؛ مخلوط سوخت بنزین - اتانول می‌تواند به عنوان مقدمه‌ای برای جایگزینی سوخت فسیلی در موتورهای بنزینی مورد استفاده قرار گیرد.</p> |
| پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۵ | |
| واژگان کلیدی: | |
| مدل‌سازی، بنزین، اتانول، آلاینده‌ها، گازهای گلخانه‌ای. | |

۱-مقدمه

کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی و آلاینده‌های تولید شده در اثر احتراق آنها، منجر به افزایش تقاضا در سراسر جهان برای یافتن و استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر، پاک و سازگار با محیط زیست شده است. در این میان، تقاضای انرژی ناشی از حمل و نقل در سراسر جهان هر سال ۱,۱ درصد رشد می‌نماید [۱]. سوخت‌های تجدیدپذیر مختلفی جهت جایگزینی در موتورهای احتراق داخلی پیشنهاد شده است. در میان سوخت‌های تجدیدپذیر برای موتورهای

احتراق داخلی، اتانول بیشتر از سوخت‌های دیگر مورد توجه قرار گرفته است [۲]. به طوری که امروزه مخلوط اتانول-بنزین به طور گسترده به عنوان یک جایگزین بنزین برای وسایل نقلیه استفاده می‌شود [۳]. اتانول می‌تواند از منابع تجدیدپذیر یا تجدیدنپذیر تولید شود. اتانول تولید شده از منابع تجدیدپذیر، بیو اتانول، از تخمیر الکلی از منابع شونده مبتنی بر زیست توده مانند باقی مانده‌های کشاورزی تولید می‌شود [۴-۱۰]. اتانول اولین بار به عنوان سوخت خودرو در ایالات متحده آمریکا در ۱۹۳۰ پیشنهاد شد، اما به طور گسترده‌ای پس از ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: F.bahadori@che.uut.ac.ir

۱. دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی ارومیه

۲. دانشجوی مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی ارومیه

بسیار کمتر از بنزین معمولی می‌باشد که این امر بر میزان هیدروکربن‌های نسوخته خروجی از اگزوز خودرو تأثیرگذار می‌باشد.

جدول ۱- ترکیب درصد بنزین معمولی [۲۴-۲۶].

| ردیف | گروه | نام ترکیب | کسر جرمی |
|------|------------|----------------------|----------|
| ۱ | هیدروکربنی | ۲-متیل بوتان | ۰.۰۸۷۲ |
| ۲ | هیدروکربنی | ام-زایلین | ۰.۰۵۶۶ |
| ۳ | هیدروکربنی | ۴.۲.۲-تری متیل پنتان | ۰.۰۵۲۲ |
| ۴ | هیدروکربنی | تولون | ۰.۰۴۷۳ |
| ۵ | هیدروکربنی | ۲-متیل پنتان | ۰.۰۳۹۳ |
| ۶ | هیدروکربنی | ان-بوتان | ۰.۳۸۳ |
| ۷ | هیدروکربنی | ۴.۲.۱-تری متیل بنزن | ۰.۰۳۲۶ |
| ۸ | هیدروکربنی | ان-پنتان | ۰.۰۳۱۱ |
| ۹ | هیدروکربنی | ۴.۳.۲-تری متیل پنتان | ۰.۰۲۹۹ |
| ۱۰ | هیدروکربنی | ۳.۳.۲-تری متیل پنتان | ۰.۰۲۸۵ |
| ۱۱ | هیدروکربنی | ۳-متیل پنتان | ۰.۰۲۳۶ |
| ۱۲ | هیدروکربنی | او-زایلین | ۰.۰۲۲۷ |
| ۱۳ | هیدروکربنی | اتیل بنزن | ۰.۰۲۰۰ |
| ۱۴ | هیدروکربنی | بنزن | ۰.۰۱۹۴ |
| ۱۵ | هیدروکربنی | پی-زایلین | ۰.۰۱۷۲ |
| ۱۶ | هیدروکربنی | ۳.۲-دی متیل بوتان | ۰.۰۱۶۶ |
| ۱۷ | هیدروکربنی | ان-هگزان | ۰.۰۱۵۸ |
| ۱۸ | هیدروکربنی | ۱-متیل-۳-اتیل بنزن | ۰.۰۱۵۴ |
| ۱۹ | هیدروکربنی | ۱-متیل-۴-اتیل بنزن | ۰.۰۱۵۴ |
| ۲۰ | هیدروکربنی | ۳-متیل هگزان | ۰.۰۱۳۰ |
| ۲۱ | هیدروکربنی | ۲-متیل هگزان | ۰.۰۱۰۰ |
| ۲۲ | گوگردی | اتیل مرکاپتان | ۰.۰۰۰۵ |
| ۲۳ | گوگردی | دی متیل سولفید | ۰.۰۰۰۵ |
| ۲۴ | گوگردی | کربن دی سولفید | ۰.۰۰۰۷ |
| ۲۵ | گوگردی | ایزو پروپیل مرکاپتان | ۰.۰۰۱۴ |
| ۲۶ | گوگردی | تری بوتیل مرکاپتان | ۰.۰۰۰۵ |
| ۲۷ | گوگردی | ان-پروپیل مرکاپتان | ۰.۰۰۰۲ |
| ۲۸ | گوگردی | متیل اتیل سولفید | ۰.۰۰۰۵ |
| ۲۹ | گوگردی | تیفون | ۰.۰۰۰۶ |
| ۳۰ | گوگردی | سک بوتیل مرکاپتان | ۰.۰۰۹۴ |
| ۳۱ | گوگردی | ان-بوتیل مرکاپتان | ۰.۰۰۰۲ |
| ۳۲ | گوگردی | دی متیل دی سولفید | ۰.۰۰۰۶ |
| ۳۳ | گوگردی | ۲-متیل تیفون | ۰.۰۰۰۵ |
| ۳۴ | گوگردی | ۳-متیل تیفون | ۰.۰۰۰۹ |
| ۳۵ | گوگردی | دی اتیل دی سولفید | ۰.۰۱۱۳ |
| ۳۶ | گوگردی | بنزو تیفون | ۰.۰۰۱۶ |
| ۳۷ | نیترژنی | پیریدین | ۰.۰۰۰۲ |
| ۳۸ | نیترژنی | پیردن | ۰.۰۰۰۲ |
| ۳۹ | نیترژنی | ۲-متیل پیریدین | ۰.۰۰۰۲ |
| ۴۰ | نیترژنی | پیرول | ۰.۰۰۰۴ |
| ۴۱ | نیترژنی | آنیلین | ۰.۰۰۰۴ |
| ۴۲ | نیترژنی | متیل فنیل آنیلین | ۰.۰۰۰۲ |
| ۴۳ | نیترژنی | ان-ان-دی متیل آنیلین | ۰.۰۰۱۷ |
| ۴۴ | نیترژنی | ایندول | ۰.۰۰۰۱ |
| ۴۵ | نیترژنی | کیونولاین | ۰.۰۰۰۱ |
| ۴۶ | نیترژنی | ایزو کیونولاین | ۰.۰۰۰۱ |
| ۴۷ | نیترژنی | آکریدین | ۰.۰۰۰۲ |

$$x_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$$

گرفت [۱۱]. اتانول می‌تواند به صورت خالص یا به عنوان یک افزودنی به بنزین به عنوان سوخت خودرو مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود، اتانول معمولاً به صورت خالص در موتور خودرو مورد استفاده قرار نگرفته و به صورت ترکیبی با بنزین معمولی در جایگاه‌ها به عنوان سوخت خودرو ارائه می‌شود [۱۲]. به عبارت دیگر، محدودیت‌های موتور خودروها باعث می‌شود که تا حداکثر ۱۰ درصد بنزین از اتانول استفاده شود. در این صورت، نیازی به ایجاد تغییر در طراحی موتورهای بنزینی برای استفاده از بنزین اتانولی نخواهد بود. استفاده از مخلوط اتانول با بنزین گشتاور و قدرت خودرو را افزایش داده و تولید گازهای گلخانه‌ای را در مقایسه با سوخت بنزین معمولی به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد [۱۳-۱۸]. علاوه بر این، حضور اتانول در بنزین، باعث بهبود بازده احتراق و بهسوزی بنزین می‌گردد [۱۸ و ۱۹]. عدد اکتان بالای اتانول نسبت به بنزین باعث بهبود کیفیت بنزین می‌شود. علاوه بر این، اتانول یک ترکیب شیمیایی حاوی گروه هیدروکسیل و یک گروه اتیل، متصل به یک اتم کربن ساخته شده است؛ بنابراین، اکسیژن بالا اتانول بازده احتراق بنزین در موتور را می‌تواند بهبود ببخشد [۱۳ و ۲۰].

با توجه به میزان قابل توجه تولید آلاینده‌ها طی احتراق بنزین معمولی [۲۱-۲۳]، در این مقاله اثرات زیست محیطی و میزان تولید آلاینده‌های سمی و گازهای گلخانه‌ای برای بنزین معمولی و بنزین ترکیبی با اتانول (حذف متیل اتیل سرب و جایگزینی آن با اتانول) مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- شبیه‌سازی احتراق در موتور خودرو

در بنزین گروه‌های هیدروکربنی، مواد نیترژنی، مواد گوگردی و فلزات سنگین موجود هستند. بنزین شامل ترکیب‌های مختلفی از عناصر ذکر شده بالغ بر ۲۰۰ ترکیب می‌باشد. برخی از این ترکیبات درصد ناچیزی در بنزین دارند. جدول ۱ ترکیب درصد بنزین را با توجه به ۴۷ ماده اصلی موجود در بنزین معمولی نشان می‌دهد. ترکیبات بسیار جزئی در نزدیک‌ترین ترکیب موجود از نظر مشخصات ادغام شده‌اند.

جدول ۲ مشخصات و خواص بنزین و اتانول را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود درصد جرمی اکسیژن برای بنزین معمولی صفر است. همچنین فشار بخار اتانول

در تولید آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای از پنج نوع سوخت به شرح زیر استفاده شد: ۱- بنزین معمولی، ۲- ترکیب ۹۸ درصد حجمی بنزین و ۲ درصد حجمی اتانول، ۳- ترکیب ۹۴ درصد حجمی بنزین و ۶ درصد اتانول حجمی و ۴- ترکیب ۹۲ درصد حجمی بنزین و ۸ درصد اتانول حجمی و ۵- ترکیب ۹۰ درصد حجمی بنزین و ۱۰ درصد اتانول حجمی. به منظور تأیید درستی نتایج، میزان تولید کربن دی اکسید در دور موتورهای مختلف با نتایج تجربی الفاسخانی^۲ [۱۷] مقایسه شد و همان‌گونه که شکل (۲) نشان می‌دهد، نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی سازگاری دارد و می‌توان نتایج را به ترکیبات دیگر از جمله ترکیب-های مختلف بنزین و اتانول تعمیم داد.

شکل (۲) میزان کربن دی اکسید تولید شده با پنج ترکیب مختلف بنزین و اتانول در دور موتورهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تولید کربن دی اکسید در احتراق بنزین معمولی درون موتور بیشتر از بنزین اتانولی با ترکیب درصدهای متفاوت می‌باشد. این امر می‌تواند ناشی از کاهش مصرف سوخت در حضور اتانول باشد [۱] و [۲]. همچنین مقایسه نتایج میزان کربن دی اکسید تولیدی در اثر احتراق بنزین بدون اتانول با نتایج آزمایشگاهی انطباق قابل قبول نتایج شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

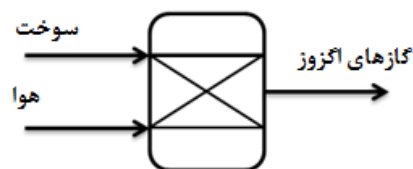
شکل (۳) میزان کربن مونوکسید تولید شده با سوخت‌های انتخاب شده در دور موتورهای مختلف نشان می‌دهد. یکی از دلایل کاهش تولید کربن مونوکسید در حضور اتانول، اکسیژن موجود در ترکیب اتانول می‌باشد که باعث بهبود فرایند احتراق می‌گردد [۱] و [۲]. علاوه بر این، گرمای نهان تبخیر اتانول بالاتر از بنزین معمولی می‌باشد. در نتیجه بنزین سریعتر از اتانول تبخیر شده و به دلیل جذب گرمای نهان تبخیر، دمای شعله را کاهش داده و تولید کربن مونوکسید در اثر احتراق ناقص افزایش می‌یابد. مشخص است که با افزایش دور موتور سوخت بیشتری وارد موتور شده و دمای موتور افزایش می‌یابد که این امر باعث کاهش تولید کربن مونوکسید می‌گردد. شکل (۴) میزان اکسیدهای نیتروژن تولیدی را با توجه به احتراق درصدهای مختلف اتانول اضافه شده به بنزین نشان می‌دهد. منبع نیتروژن موجود در گازهای آگزوز، ترکیبات نیتروژن‌دار بنزین و نیتروژن موجود در هوای ورودی به موتور می‌باشد.

در عمل اتانول حاوی ترکیبات و ناخالصی‌هایی می‌باشد که در تولید آلاینده‌ها سهیم می‌باشند؛ با این وجود، در این شبیه‌سازی، اتانول افزوده شده به بنزین خالص فرض شده است.

جدول ۲- مقایسه مشخصات بنزین و اتانول [۱۶ و ۲۷]

| مشخصات | بنزین | اتانول |
|---|-----------|---------|
| درصد جرمی کربن | ۸۷/۴ | ۵۲/۲ |
| درصد جرمی اکسیژن | ۰ | ۳۴/۷ |
| چگالی | ۷۵۰-۷۶۰ | ۷۸۵-۸۱۰ |
| ضریب استوکیومتری نسبت هوا-سوخت | ۱۴/۲-۱۵/۰ | ۹/۰ |
| ویسکوزیته سینماتیک (mm ² /s) | ۰/۵ | ۱/۳ |
| فشار بخار رید (RVP) (KPa) | ۵۳-۶۰ | ۱۷ |
| عدد اکتان | ۹۱-۱۰۰ | ۱۱۰ |
| گرمای نهان تبخیر (KJ/Kg) | ۳۸۰-۴۰۰ | ۹۱۰ |

در این مقاله، موتور خودرو با استفاده از نرم افزار Aspen HYSYS شبیه‌سازی شده است. برای پیش‌بینی رفتار ترمودینامیکی مخلوط از معادله ترمودینامیکی BK10^۱ استفاده شده است. این معادله ترمودینامیکی برای سیستم-های هیدروکربنی کاربرد دارد [۲۸]. هوای مورد نیاز برای فرایند احتراق ۰/۲۱ درصد اکسیژن و ۰/۷۹ درصد نیتروژن در نظر گرفته شده است. شکل (۱) شمای موتور شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار را نشان می‌دهد. در این راکتور، با توجه به ترکیبات موجود در بنزین ۵۰ واکنش (جدول ۳) شامل احتراق کامل و ناقص هیدروکربن‌ها اتفاق می‌افتد. در صورتی که به بنزین اتانول اضافه گردد، واکنش ۵۱ که واکنش احتراق اتانول می‌باشد نیز درون موتور روی خواهد داد (جدول ۳).



شکل ۱- شمای موتور شبیه‌سازی شده

۳- نتایج و بحث

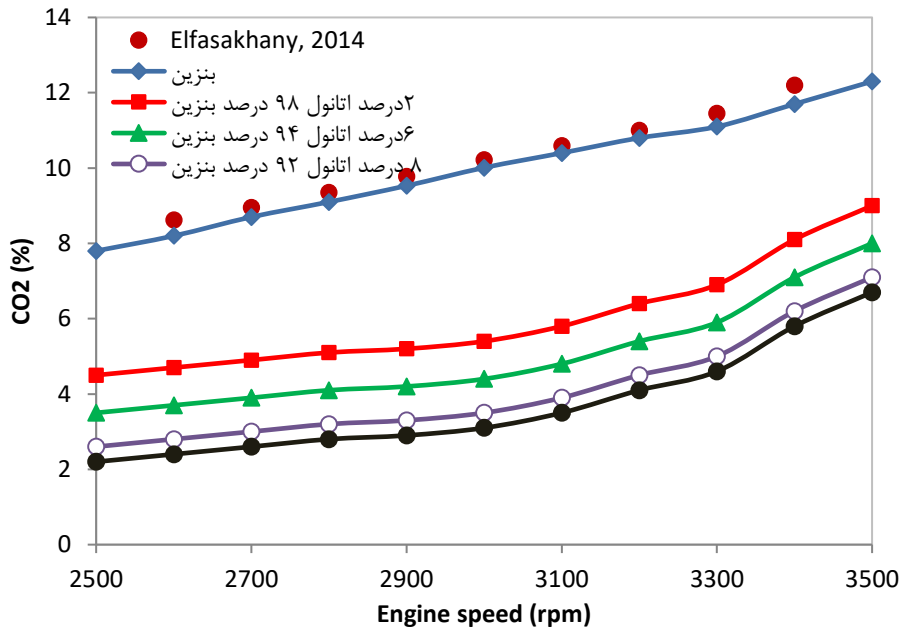
به منظور بررسی تأثیر مخلوط‌های مختلف اتانول و بنزین

^۲ Elfasakhany

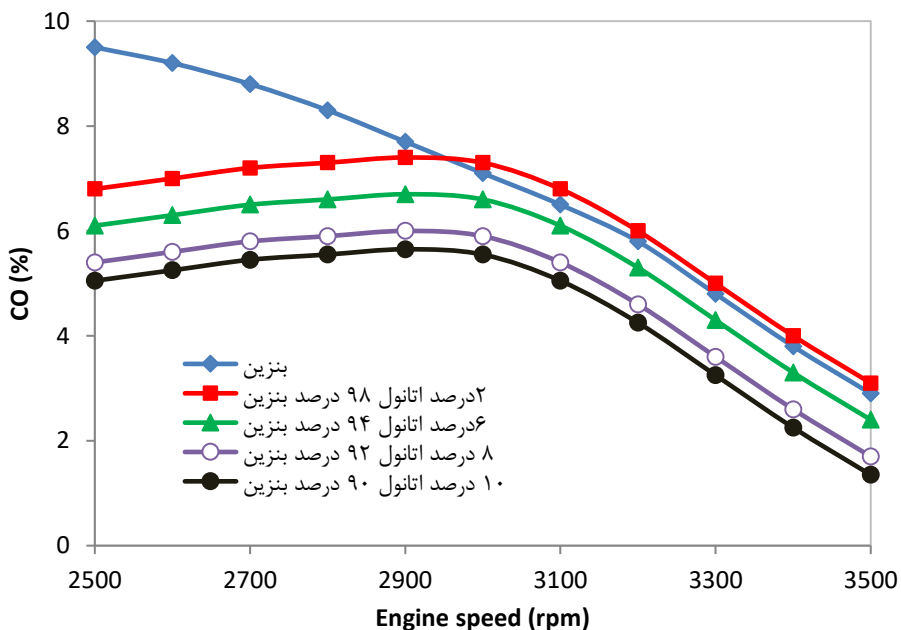
^۱ Braun K10

جدول ۳- واکنش‌های کامل و ناقص انجام شده درون موتور

| | | |
|---|---|----|
| 2-Methylbutane + 8 O ₂ → 5 CO ₂ + 6 H ₂ O | 2-Methylbutane + 5.5 O ₂ → 5 CO + 6 H ₂ O | ۱ |
| M-xylene + 10.5 O ₂ → 8 CO ₂ + 5 H ₂ O | M-xylene + 6.5 O ₂ → 8 CO + 5 H ₂ O | ۲ |
| 2,2,4-Trimethylpentane + 12.5 O ₂ → 8 CO ₂ + 9 H ₂ O | 2,2,4-Trimethylpentane + 8.5 O ₂ → 8 CO + 9 H ₂ O | ۳ |
| Toluene + 9 O ₂ → 7 CO ₂ + 4 H ₂ O | Toluene + 5.5 O ₂ → 7 CO + 4 H ₂ O | ۴ |
| O-Xylene + 10.5 O ₂ → 8 CO ₂ + 5 H ₂ O | O-Xylene + 6.5 O ₂ → 8 CO + 5 H ₂ O | ۵ |
| P-Xylene + 10.5 O ₂ → 8 CO ₂ + 5 H ₂ O | P-Xylene + 6.5 O ₂ → 8 CO + 5 H ₂ O | ۶ |
| N-Butane+ 6.5 O ₂ → 4 CO ₂ + 5 H ₂ O | N-Butane+4.5 O ₂ → 4 CO + 5 H ₂ O | ۷ |
| 1,2,4-Trimethylbenzene+ 16.5 O ₂ → 12 CO ₂ + 9 H ₂ O | 1,2,4-Trimethylbenzene+ 10.5 O ₂ → 12 CO + 9 H ₂ O | ۸ |
| N-Pentane + 8 O ₂ → 5 CO ₂ + 6 H ₂ O | N-Pentane + 5.5 O ₂ → 5 CO + 6 H ₂ O | ۹ |
| 2,3,4-Trimethylpentane + 12.5 O ₂ → 8 CO ₂ + 9 H ₂ O | 2,3,4-Trimethylpentane + 8.5 O ₂ → 8 CO + 9 H ₂ O | ۱۰ |
| 2,3,3-Trimethylpentane + 12.5 O ₂ → 8 CO ₂ + 9 H ₂ O | 2,3,3-Trimethylpentane + 8.5 O ₂ → 8 CO + 9 H ₂ O | ۱۱ |
| 3-Methylpentane + 9.5 O ₂ → 6 CO ₂ + 7 H ₂ O | 3-Methylpentane + 6.5 O ₂ → 6 CO + 7 H ₂ O | ۱۲ |
| Ethyl benzene+ 10.5 O ₂ → 8 CO ₂ + 5 H ₂ O | Ethyl benzene+ 6.5 O ₂ → 8 CO + 5 H ₂ O | ۱۳ |
| benzene+ 7.5 O ₂ → 6 CO ₂ + 3 H ₂ O | benzene+ 4.5 O ₂ → 6 CO + 3 H ₂ O | ۱۴ |
| 2,3-Dimethylbutane+9.5 O ₂ → 6 CO ₂ + 7 H ₂ O | 2,3-Dimethylbutane+ 6.5 O ₂ → 6 CO + 7 H ₂ O | ۱۵ |
| N-Hexane+ 9.5 O ₂ → 6 CO ₂ + 7 H ₂ O | N-Hexane+ 6.5 O ₂ → 6 CO + 7 H ₂ O | ۱۶ |
| 1-Methyl-3-Ethylbenzene+ 12 O ₂ → 9 CO ₂ + 6 H ₂ O | 1-Methyl-3-Ethylbenzene+ 7.5 O ₂ → 9 CO + 6 H ₂ O | ۱۷ |
| 1-Methyl-4-Ethylbenzene + 12 O ₂ → 9 CO ₂ + 6 H ₂ O | 1-Methyl-4-Ethylbenzene + 7.5 O ₂ → 9 CO + 6 H ₂ O | ۱۸ |
| 3-Methyl hexane+ 11 O ₂ → 7 CO ₂ + 8 H ₂ O | 3-Methyl hexane+ 7.5 O ₂ → 7 CO + 8 H ₂ O | ۱۹ |
| 3-Methyl hexane+ 11 O ₂ → 7 CO ₂ + 8 H ₂ O | 3-Methyl hexane+ 7.5 O ₂ → 7 CO + 8 H ₂ O | ۲۰ |
| 2-Methylpentane+ 5.9 O ₂ → ۶ CO ₂ + 7 H ₂ O | 2-Methylpentane+ 6.5 O ₂ → 6 CO + 7 H ₂ O | ۲۱ |
| Ethyl mercaptan+ 5.4 O ₂ → 2 CO ₂ + 3 H ₂ O + SO ₂ | Ethyl mercaptan+ 3.5 O ₂ → 2 CO + 3H ₂ O + SO ₂ | ۲۲ |
| Dimethyl sulfide+ 5.4 O ₂ → 2 CO ₂ + 3 H ₂ O + SO ₂ | Dimethyl sulfide+ 3.5 O ₂ → 2 CO + 3 H ₂ O + SO ₂ | ۲۳ |
| Carbon disulfide+ 3 O ₂ → CO ₂ + 2 SO ₂ | Carbon disulfide+ 2.5 O ₂ → CO + 2 SO ₂ | ۲۴ |
| Isopropyl mercaptan+ 6 O ₂ → 3 CO ₂ +4 H ₂ O + SO ₂ | Isopropyl mercaptan+ 4.5 O ₂ → 3 CO +4 H ₂ O + SO ₂ | ۲۵ |
| T-butyl mercaptan+ 7.5 O ₂ → 4 CO ₂ +5 H ₂ O + SO ₂ | T-butyl mercaptan+ 5.5 O ₂ → 4 CO +5 H ₂ O + SO ₂ | ۲۶ |
| N-propyl mercaptan+ 6 O ₂ → 3 CO ₂ +4 H ₂ O + SO ₂ | N-propyl mercaptan+ 4.5 O ₂ → 3 CO +4 H ₂ O + SO ₂ | ۲۷ |
| Methylethyl sulfide+ 6 O ₂ → 3 CO ₂ +4 H ₂ O + SO ₂ | Methylethyl sulfide+ 4.5 O ₂ → 3 CO +4 H ₂ O + SO ₂ | ۲۸ |
| Thiophene+ 6 O ₂ → 4 CO ₂ +2 H ₂ O + SO ₂ | Thiophene+ 4 O ₂ → 4 CO +2 H ₂ O + SO ₂ | ۲۹ |
| Sec-butyl mercaptan + 7.5 O ₂ → 4 CO ₂ +5 H ₂ O + SO ₂ | Sec-butyl mercaptan + 5.5 O ₂ → 4 CO +5 H ₂ O + SO ₂ | ۳۰ |
| N-butyl mercaptan+ 7.5 O ₂ → 4 CO ₂ +5 H ₂ O + SO ₂ | N-butyl mercaptan+ 5.5 O ₂ → 4 CO +5 H ₂ O + SO ₂ | ۳۱ |
| Dimethyl disulfide + 5.5 O ₂ → 2 CO ₂ +3 H ₂ O + 2 SO ₂ | Dimethyl disulfide + 4.5 O ₂ → 2 CO +3 H ₂ O + 2 SO ₂ | ۳۲ |
| 2-methyl thiophene+ 7.5 O ₂ → 5 CO ₂ +3 H ₂ O + SO ₂ | 2-methyl thiophene+ 5 O ₂ → 5 CO +3 H ₂ O + SO ₂ | ۳۳ |
| 3-methyl thiophene + 7.5 O ₂ → 5 CO ₂ +3 H ₂ O + SO ₂ | 3-methyl thiophene + 5 O ₂ → 5 CO +3 H ₂ O + SO ₂ | ۳۴ |
| Diethyl disulfide+ 8.5 O ₂ → 4 CO ₂ +5 H ₂ O + 2 SO ₂ | Diethyl disulfide+ 6.5 O ₂ → 4 CO +5 H ₂ O + 2 SO ₂ | ۳۵ |
| Benzo(b)thiophene+ 10.5 O ₂ → 8 CO ₂ +3 H ₂ O + SO ₂ | Benzo(b)thiophene+ 6.5 O ₂ → 8 CO +3 H ₂ O + SO ₂ | ۳۶ |
| Pyridine+ 8.75 O ₂ → 5 CO ₂ +5.5 H ₂ O + NO ₂ | Pyridine+ 6.25 O ₂ → 5 CO +5.5 H ₂ O + NO ₂ | ۳۷ |
| Piperdine + 8.75 O ₂ → 5 CO ₂ +5.5 H ₂ O + NO ₂ | Piperdine + 6.25 O ₂ → 5 CO +5.5 H ₂ O + NO ₂ | ۳۸ |
| 2-Methyl pyridine+ 8.75 O ₂ → 6 CO ₂ +3.5 H ₂ O + NO ₂ | 2-Methyl pyridine+ 5.75 O ₂ → 6 CO +3.5 H ₂ O + NO ₂ | ۳۹ |
| Pyrrrole+ 6.25 O ₂ → 4 CO ₂ +2.5 H ₂ O + NO ₂ | Pyrrrole+ 4.25 O ₂ → 4 CO +2.5 H ₂ O + NO ₂ | ۴۰ |
| Aniline+ 8.75 O ₂ → 6 CO ₂ +3.5 H ₂ O + NO ₂ | Aniline+ 5.75 O ₂ → 6 CO +3.5 H ₂ O + NO ₂ | ۴۱ |
| Methylphenylamine+ 10.25 O ₂ → 7 CO ₂ +4.5 H ₂ O + NO ₂ | Methylphenylamine+ 6.75 O ₂ → 7 CO +4.5 H ₂ O + NO ₂ | ۴۲ |
| N,N-DimethylAniline+ 11.75 O ₂ → 8 CO ₂ +5.5 H ₂ O + NO ₂ | N,N-DimethylAniline+ 7.75 O ₂ → 8 CO +5.5 H ₂ O + NO ₂ | ۴۳ |
| Indole+ 10.75 O ₂ → 8 CO ₂ +3.5 H ₂ O + NO ₂ | Indole+ 6.75 O ₂ → 8 CO +3.5 H ₂ O + NO ₂ | ۴۴ |
| Quinoline+ 11.75 O ₂ → 9 CO ₂ +3.5 H ₂ O + NO ₂ | Quinoline+ 7.25 O ₂ → 9 CO +3.5 H ₂ O + NO ₂ | ۴۵ |
| Isoquinoline+ 11.75 O ₂ → 9 CO ₂ +3.5 H ₂ O + NO ₂ | Isoquinoline+ 7.25 O ₂ → 9 CO +3.5 H ₂ O + NO ₂ | ۴۶ |
| Acridine+ 16.25 O ₂ → 13 CO ₂ +4.5 H ₂ O + NO ₂ | Acridine+ 9.75 O ₂ → 13 CO +4.5 H ₂ O + NO ₂ | ۴۷ |
| CO + 0.5 O ₂ → CO ₂ | | ۴۸ |
| NO + 0.5 O ₂ → NO ₂ | | ۴۹ |
| SO ₃ → 0.5 O ₂ + SO ₂ | | ۵۰ |
| C ₂ H ₅ OH + 3O ₂ →2CO ₂ + 3H ₂ O | C ₂ H ₅ OH + 2O ₂ →2CO + 3H ₂ O | ۵۱ |



شکل ۲- میزان کربن دی اکسید تولیدی در ترکیب‌های مختلف بنزین با توجه به دور موتور



شکل ۳- میزان کربن مونو اکسید تولیدی در ترکیب‌های مختلف بنزین با توجه به دور موتور

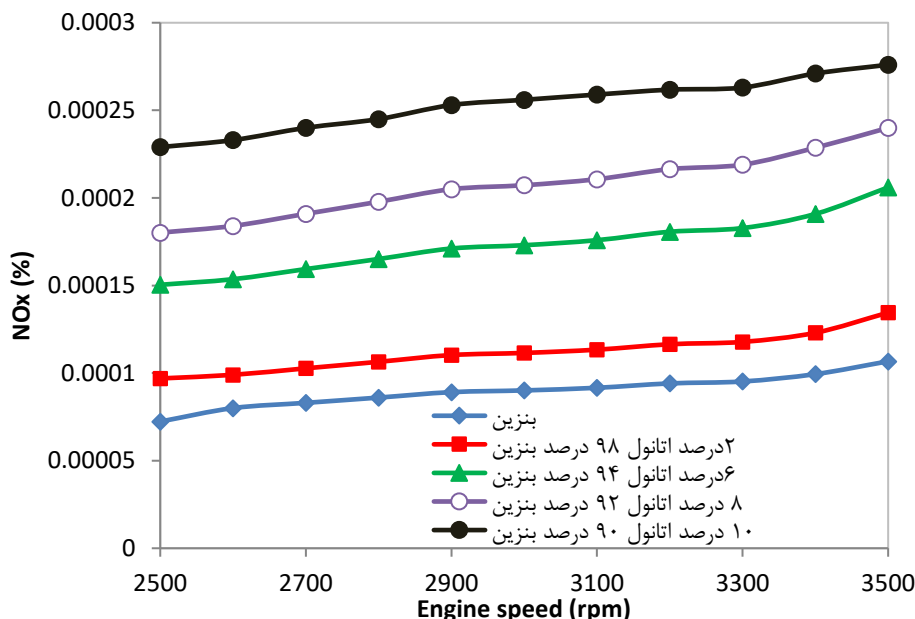
درصدهای مختلف اتانول ترکیب شده با بنزین نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، حضور اتانول باعث می‌شود تولید اکسیدهای نیتروژن افزایش یابد. این امر ناشی از افزایش دمای موتور ناشی از احتراق اتانول به همراه بنزین باشد. همچنین به علت تبخیر سریعتر بنزین نسبت به اتانول، دمای شعله بنزین بدون اتانول کمتر می‌باشد. مقایسه نمودارهای حاوی درصدهای متفاوت اتانول- بنزین نشان می‌دهد که افزایش میزان اتانول در بنزین، تولید

احتراق ترکیبات نیتروژنی موجود در بنزین، اجتناب ناپذیر می‌باشد؛ با این وجود؛ میزان اکسیدهای نیتروژن موجود در گازهای احتراقی، حاکی از واکنش نیتروژن با اکسیژن درون موتور می‌باشد. با توجه به اینکه انرژی فعال‌سازی واکنش نیتروژن با اکسیژن نسبت به ترکیبات موجود در بنزین بالاتر می‌باشد، میزان تولید این آلاینده‌ها در دماهای بالاتر، بیشتر می‌باشد [۲۹].

شکل (۴) اکسیدهای نیتروژن تولیدی را در حضور

نظیر بهبود سیستم خنک کاری موتور خودرو در نظر گرفت.

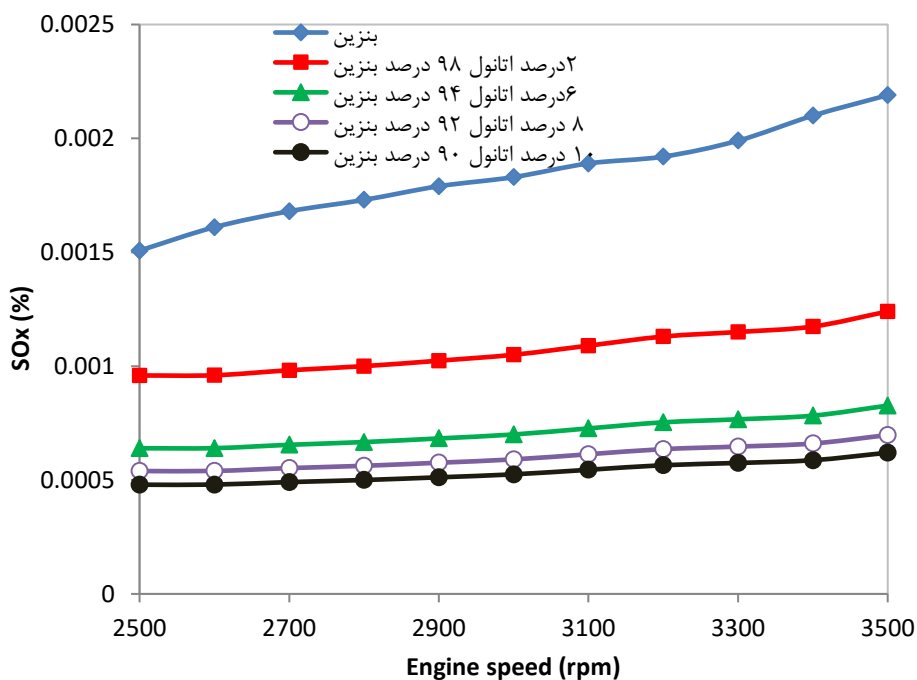
اکسیدهای نیتروژن را افزایش می‌دهد. بنابراین برای کنترل تولید آلاینده‌های فوق در حضور اتانول، باید راهکارهایی



شکل ۴- میزان اکسیدهای نیتروژن تولیدی در ترکیب‌های مختلف بنزین با توجه به دور موتور

در بنزین است؛ با افزایش مصرف بنزین، میزان تولید آلاینده‌های حاوی گوگرد افزایش می‌یابد. بنابراین افزودن اتانول که عاری از ترکیبات گوگردی می‌باشد به بنزین باعث کاهش تولید آلاینده‌های گوگردی می‌شود که این امر با افزایش میزان اتانول افزایش می‌یابد. در تمام سوخت‌های مورد بررسی، با افزایش دور موتور، میزان تولید اکسیدهای گوگرد افزایش می‌یابد.

شکل (۵) میزان تولید اکسیدهای گوگرد را با توجه به احتراق درصد‌های مختلف اتانول اضافه شده به بنزین نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار تولید اکسیدهای گوگرد برای احتراق بنزین بدون اتانول می‌باشد. دلیل این امر حضور ترکیبات گوگردی در بنزین می‌باشد که در اثر احتراق تولید اکسیدهای گوگرد می‌نماید. با توجه به اینکه تنها منبع گوگرد، ترکیبات گوگردی موجود



شکل ۵- میزان اکسیدهای گوگرد تولیدی در ترکیب‌های مختلف بنزین با توجه به دور موتور

۴- نتیجه‌گیری

چهار سوخت ترکیبی بنزین و اتانول از نظر میزان تولید آلاینده‌ها مقایسه گردیده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که افزایش میزان اتانول در بنزین، میزان تولید کربن دی‌اکسید و اکسیدهای گوگرد را کاهش می‌دهد که بالاترین درصد کاهش انتشار گلخانه‌ای مربوط به ۹۰ درصد حجمی بنزین و ۱۰ درصد حجمی اتانول می‌باشد. همچنین مشاهده شد میزان انتشار کربن مونوکسید با افزایش دور موتور در ابتدا افزایش یافته ولی از دور موتور ۳۰۰۰ rpm به بعد این مقدار در اثر افزایش دمای موتور کاهش می‌یابد. بنابراین، اتانول می‌تواند به عنوان یک افزودنی پاک و تجدیدپذیر در موتورهای بنزینی مورد استفاده قرار گیرد.

کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی، عزم جهانی برای یافتن و استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر را افزایش داده است. علاوه بر این؛ افزایش خودرو در مناطق شهری منجر به ورود گازهای آگروز به محیط زیست و کاهش کیفیت هوا شده است. یکی از سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر که امروزه مورد توجه قرار گرفته است، اتانول می‌باشد. اتانول به دلیل افزایش عدد اکتان بنزین می‌تواند به طور گسترده‌ای به عنوان سوخت جایگزین در خودروها و حتی صنایع مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله احتراق بنزین با احتراق

مراجع

- [1] International Energy Outlook 2040, 2013.
- [2] S.A. Shahir, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, A. Imran, A.M. Ashraful, "Experimental investigation on the behavior of a direct injection diesel engine fueled with Karanja methyl ester-biogas dual fuel at different injection timings", *Renew Sustain Energy Rev*, Vol. 48, No. 1, 2015, pp. 62–66.
- [3] M. Balat, H. Balat, *Progress in bioethanol processing Appl Energy*, Vol. 86, 2009, pp. 2273–2284.
- [4] A.C. Hansen, D.C. Kyritsis, C.F. Lee, *Characteristics of biofuels and renewable fuel standards*, John Wiley, New York, 2009.
- [5] T. Eseji, N. Qureshi, H.P. Blaschek, "Production of acetone butanole ethanol (ABE) in a continuous flow bioreactor using degermed corn and clostridium", *Process Biochemistry*, Vol. 42, 2007, pp. 34–40.
- [6] A.W. Bhutto, K. Harijan, K. Qureshi, A. Bazmi, A. Bahadori, "Perspectives for the production of ethanol from lignocellulosic feedstock e a case study", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 95, 2015, pp. 184–189.
- [7] N.F. Tehrani, J.S. Aznar, Y. Kiros, "Coffee extract residue for production of ethanol and activated carbons", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 91, 2015, pp. 64–71.
- [8] H. Karlsson, P. Borjesson, P.A. Hansson, S. Ahlgren, "Ethanol production in biorefineries using lignocellulosic feedstock e GHG performance, energy balance and implications of life cycle calculation methodology", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 83, 2014, pp. 420–427.
- [9] B. Neupane, A. Halog, R.J. Lilieholm, "Environmental sustainability of wood derived ethanol: a life cycle evaluation of resource intensity and emissions in Maine", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 44, 2013, pp. 77–83.
- [10] C.L.F. Cavalett, E. Ortega, "Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, 2010, pp. 77–82.
- [11] A.K. Agarwal, "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 33, No. 3, 2007, pp. 233–271.
- [12] F.N. Alasfour, "Nox emission from a spark ignition engine using 30% isobutanol/ gasoline blend: Part 1e preheating inlet air", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 18, 1998, pp. 245–251.
- [13] H.S. Yucesu, T. Topgul, C. Cinar, M. Okur, "Effect of ethanol gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26, 2006, pp. 2272–2279.
- [14] G. Najafi, B. Ghobadian, T. Tavakoli, D.R. Buttsworth, T.F. Yusaf, M. Faizollahnejad, "Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network", *Applied Energy*, Vol. 86, No. 5, 2009, pp. 630–639.
- [15] M. Koç, Y. Sekmen, T. Topgul, H.S. Yucesu, "The effects of ethanol unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark ignition engine", *Renew Energy*, Vol. 34, 2009, pp. 2101–2109.

- [16] C. Park, Y. Choi, C. Kim, O. Seungmook, G. Lim, Y. Moriyoshi, "Performance and exhaust emission characteristics of a spark ignition engine using ethanol and ethanol reformed gas", *Fuel*, Vol. 89, 2010, pp. 2118–2125.
- [17] A. Elfasakhany, "Engine performance evaluation and pollutant emissions analysis using ternary bio-ethanol iso-butanol gasoline blends in gasoline engines", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 4, 2014, pp. 608–614.
- [18] M. Al-Hasan, "Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission", *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, No. 9, 2003, pp. 1547–1561.
- [19] C.W. Wua, R.H. Chen, J.Y. Pu, T.H. Lina, "The influence of air-fuel ratio on engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol gasoline blended fuels", *Atmospheric Environment*, Vol. 38, No. 4, 2004, pp. 7093–7100.
- [20] L.W. Jia, M.Q. Shen, J. Wang, M.Q. Lin, "Influence of ethanol-gasoline blended fuel on emission characteristics from a four-stroke motorcycle engine", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 123, Nos. 1–3, 2005, pp. 29–34.
- [۲۱] ق. حیدری نژاد، ام. جدیدی، "شبیه سازی نحوه پخش آلودگی در پشت یک ساختمان با استفاده از یک روش RANS-LES"، *مجله مدل سازی در مهندسی، سال پانزدهم، شماره ۴۹، تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۷–۲۷.*
- [۲۲] غ. شفابخش، ف. شاه حسینی، "آنالیز حساسیت مصرف سوخت در حمل و نقل جاده ای نسبت به عوامل هندسی مسیر"، *مجله مدل سازی در مهندسی، سال سیزدهم، شماره ۴۲، پاییز ۱۳۹۴، صفحه ۵۳–۶۴.*
- [۲۳] ر. صباغ، ن. رهبر، "بررسی تأثیر شکل هندسی بر بیشینه دمای جداره ی نوک فلر و توزیع آلاینده های خروجی آن"، *مجله مدل سازی در مهندسی، سال سیزدهم، شماره ۴۰، بهار ۱۳۹۴، صفحه ۴۳–۵۷.*
- [24] Groundwater management review, 1990, 167.
- [25] W. Liu, M. Morales, Comparison of ethanol and butanol as additives in soybean biodiesel using a constant volume combustion chamber, Agilent technologies Co. Ltd, Shanghai, 2008.
- [26] Birbal Chawla, speciation of nitrogen compounds in gasoline and disel range process stream by capillary column gas chromatography with chemiluminescence detection, mobil technology company, paulsboro technical center, paulsboro, newjersy, 2000.
- [27] B.M. Masum, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, Rizwanul I.M. Fattah, S.M. Palash, M.J. "Abedin, Effect of ethanol–gasoline blend on NOx emission in SI engine", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 24, 2013, pp.209–222.
- [28] Modeling petroleum processes with Aspen plus, MY-Tech Inc., 1999.
- [29] F. Bahadori, Kh. Mirza, A.R. Behroozsarand, S. Rezvantalab, "Investigation of porosity effects in the emission of pollutants in porous burners", *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, Vol 50, 2015, pp. 171–178.