**بررسی عددی تاثیر پاشش آمونیاک بر عملکرد موتور اشتعال جرقه ای با سوخت E85**

وحید هنرمند1، رضا دوست محمدیان2، فرهاد سالک3، سید وحید حسینی4\*، میثم بابائی5

|  |  |
| --- | --- |
| 1دانشجوی کارشناسی دپارتمان مهندسی مکانیک دانشکده منتظری دانشگاه فنی و حرفه­ای استان خراسان رضوی | vahidhonarmand77@gmail.com |
| 2دانشجوی کارشناسی دپارتمان مهندسی مکانیک دانشکده منتظری دانشگاه فنی و حرفه­ای استان خراسان رضوی | irezadm@gmail.com |
| 3استاد مدعو دپارتمان مهندسی مکانیک دانشکده منتظری دانشگاه فنی و حرفه­ای استان خراسان رضوی | mirfarhadsalek@gmail.com |
| 4\*عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود | v\_hosseini@shahroodut.ac.ir |
| 5عضو هیات علمی دانشکده علوم، مهندسی و محیط زیست دانشگاه سالفورد انگلستان | m.babaie@salford.ac.uk |

# چكيده

یکی از مشکلات عمده سیستم حمل و نقل کل دنیا، تولید آلاینده­های خطرناک و گازهای گلخانه­ای توسط خودروها می­باشد. یکی از این آلاینده­ها که برای سلامتی انسان بسیار مضر است، اکسیدهای نیتروژن هستند. استفاده از سوخت­های زیستی در خودروها بدلیل کاهش قابل توجه مصرف سوخت فسیلی و دی اکسیدکربن توسط آن­ها، مورد توجه زیادی قرار گرفته­اند. از طرفی، استفاده از سوخت­های زیستی و افزودن اتانول به بنزین مصرفی خودرو، باعث افزایش نرخ تولید آلاینده اکسید نیتروژن توسط موتور خواهد شد. یکی از راه­های غلبه بر مشکل ازدیاد تولید اکسید نیتروژن در موتور، پاشش سوخت کمکی مثل آمونیاک به منظور کنترل آن می­باشد. در این مقاله، مطالعه عددی بر روی تاثیر پاشش آمونیاک بر میزان آلاینده اکسید نیتروژن تولیدی و عملکرد موتور EF7 دارای سوخت پایه E85 انجام گرفته است. در ابتدا موتور EF7 در نرم افزار AVL BOOST مدلسازی شده و در سرعت 6000 دور بر دقیقه تمام بار، مدل حل شده و نتایج با داده­های آزمایشگاهی به منظور صحه­گذاری مقایسه گردیده است. سپس آمونیاک با درصدهای پاشش 5 درصد و 10 درصد در موتور با سوخت پایه E85 تزریق شده و نتایج مورد بحث قرار گرفته است. براساس نتایج بدست آمده، با تغییر سوخت موتور از بنزین به E85، توان و نرخ تولید اکسید نیتروژن توسط موتور به ترتیب به مقدار 6 درصد و 140 درصد، افزایش یافته و مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور نیز حدود 33 درصد کاهش یافته است. با پاشش آمونیاک به عنوان سوخت کمکی در موتور به سوخت پایه E85، با نسبت پاشش حداکثر 10 درصد، توان موتور حداکثر 6.2 درصد کاهش و مصرف سوخت ویژه ترمزی 15 درصد افزایش داشته است. افزایش آلاینده اکسید نیتروژن حاصل از تغییر سوخت از بنزین به E85، با پاشش آمونیاک تا 10 درصد، کاملا جبران شده و حتی نسبت به حالت بنزین سوز، 60 درصد کاهش تولید اکسید نیتروژن مشاهده گردیده است.

**کليدواژه­ها:** سوخت­های زیستی، اکسید نیتروژن، اتانول، سوخت کمکی، آمونیاک

**Numerical investigation of the impacts of ammonia injection on the performance of the spark ignition engine fueled by E85**

**Vahid Honarmand1\*, Reza Doost Mohammadian2, Farhad Salek3, Seyyed Vahid Hosseini4\***

**, Meisam Babaie5**

|  |  |
| --- | --- |
| 1BSc Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Montazeri, Khorasan Razavi Branch, Technical and Vocational University | vahidhonarmand77@gmail.com |
| 2BSc Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Montazeri, Khorasan Razavi Branch, Technical and Vocational University | irezadm@gmail.com |
| 3Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Montazeri, Khorasan Razavi Branch, Technical and Vocational University | mirfarhadsalek@gmail.com |
| 4\*Assistant Professor, Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering, Shahrood University of Technology | v\_hosseini@shahroodut.ac.ir |
| 5Lecturer, School of Science, Engineering and Environment, University of Salford | m.babaie@salford.ac.uk |

**Abstract**

One of the main problems of transportation systems in all around the world, is generation of hazardous emissions and greenhouse gases by vehicles. The nitrogen oxide is one of the mentioned hazardous emissions inhaling of which imposes negative impacts on human health. On of the main solutions of this obstacle is using biofuels the consumption of which in vehicles results in decrease of carbon dioxide and fossil fuels consumption reduction. On the other hand, employment of biofuels such as ethanol and blending it with gasoline leads to increment of engine nitrogen oxide generation rate. For dealing with such obstacle, employment of auxiliary fuels such as ammonia is recommended for controlling the NOx production. In this paper, a numerical study is performed on investigating the effects of ammonia injection to engine the main fuel of which is E85, on its NOx production and performance. At first, the EF7 engine has been modeled in AVL BOOST software at 6000 RPM and full load conditions. After that, the results of numerical analysis in AVL BOOST is compared with the output data from experimental analysis of engine for validation of AVL model. The ammonia is injected to biofueled engine by 5% and 10% injection ratios. Based on the results, by shifting the engine main fuel from gasoline to E85, engine power and NOx generation rate increased significantly by 6% and 140%, respectively, and engine BSFC decreased by nearly 33%. Injection of ammonia as auxiliary fuel up to 10% resulted in decrement of engine power up to 6.2% and increase of BSFC to 15%. The NOx generation increase due to shifting engine main fuel from gasoline to E85, was fully compensated by injection of ammonia up to 10%. In addition, the NOx generation of biofueled engine decreased by 60% compared to gasoline fueling mode.

**Keywords:** Biofuel, nitrogen oxide, ethanol, auxiliary fuel, ammonia

**مقدمه**

میزان انتشار و تولید گازهای گلخانه­ای سالانه در حال افزایش است و دانشمندان همواره به دنبال یافتن راه حل برای غلبه بر این مشکل هستند (1). انتشار آلاینده­های خطرناکی نظیر اکسید نیتروژن [[1]](#footnote-1)و مونوکسید کربن [[2]](#footnote-2)مستقیماً بر سلامت انسان تأثیر می­گذارد و افزایش تولید گازهای­گلخانه­ای مانند کربن دی­اکسید منجر به افزایش دمای جو و کمبود آب آشامیدنی می­شود (2-4) . اخیراً تحقیقات زیادی بر روی سوختهای سبز مانند هیدروژن (1, 3) و سوختهای زیستی (2, 4) انجام گرفته است که با سوختن در محفظه احتراق، گازهای گلخانه­ای و آلاینده­های کمتری ایجاد خواهند کرد.

سوخت زیستی [[3]](#footnote-3)با تبدیل ضایعات مواد غذایی در یک فرآیند شیمیایی تولید می­شود (4, 5) . یک از انواع سوخت­های زیستی، اتانول می­باشد که از آن به عنوان افزودنی سوخت بنزین در موتورهای اشتعال جرقه­ای استفاده می­گردد (4, 6). براساس نتایج تحقیقات انجام گرفته تاکنون، افزودن اتانول به بنزین و تزریق آن به موتور، باعث کاهش تولید گاز دی­اکسید کربن خواهد شد (7, 8). ترکیب اتانول و بنزین در سوخت با کسر حجمی 85 درصد، با نام سوخت E85 شناخته می­شود (9, 10). همچنین، سوخت های E5 و E10 با ترکیبات اتانول 5% و 10%، انواع تجاری سازی شده سوخت­های زیستی هستند که در بسیاری از کشورها مانند انگلیس و برزیل در خودروهای مجهز به موتور اشتعال جرقه­ای، مورد استفاده قرار می­گیرند (4) .

تزریق سوخت ترکیبی اتانول و بنزین، باعث کاهش تولید گاز دی­اکسید کربن می­گردد. ولی، براساس تحقیقات انجام گرفته، تزریق اتانول به همراه بنزین در موتور، باعث افزایش تولید اکسید نیتروژن خواهد شد (4, 11, 12). با افزایش کسر حجمی اتانول در محلول بنزین و اتانول، افزایش تولید گاز اکسید نیتروژن بیشتر خواهد شد.

آمونیاک یکی از سوخت­های پایه هیدروژنی است که می توان از آن به عنوان سوخت کمکی در موتور احتراق داخلی برای کنترل تولید گاز اکسید نیتروژن استفاده شود (13-17).

تزریق آمونیاک به موتور بنزینی با توجه به نتایج ارائه شده توسط محققان مفید واقع شده است (16, 17). یاپیچی اوغلو و دینسر (16) مطالعه تجربی در مورد افزودن سوخت با ترکیب آمونیاک و بنزین به موتور احتراق جرقه­ای انجام داده اند. بر اساس نتایج ارائه شده توسط آنها، میزان تولید دی­اکسید کربن موتور بنزینی با افزودن آمونیاک کاهش تقریباً 2 درصدی داشته است. با این حال، توان موتور به دلیل ارزش حرارتی کمتر ترکیب سوخت آمونیاک و بنزین در مقابل بنزین، کاهش یافته است. آزمایش تزریق آمونیاک مستقیم به یک موتور دوگانه سوز بنزین و آمونیاک توسط ریو (17) انجام شده است. نتیجه مطالعه وی نشان داده است که قدرت موتور با افزایش سرعت تزریق آمونیاک افزایش یافته است. علاوه بر این ، میزان تولید هیدروکربن­های نسوخته موتور به طور قابل توجهی به دلیل کاهش دمای مخلوط درون سیلندر در هنگام احتراق، افزایش یافته است. بنابراین، استفاده از آمونیاک برای کنترل تولید اکسیدهای نیتروژن تولیدی موتور و افزایش تولید توان در موتورهای دوگانه سوز بنزین و اتانول مفید خواهد بود. با بررسی کارهای انجام گرقته تا کنون، می توان فهمید که تزریق آمونیاک به موتورهای اشتعال جرقه­ای، باعث کاهش دمای احتراق شده که منجر به کاهش تولید گاز اکسید نیتروژن می­شود .

در این مقاله ، یک مطالعه جامع در مورد تأثیرات تزریق آمونیاک به یک موتور دوگانه سوز که سوخت اصلی مصرفی آن E85 می­باشد، بر عملکرد موتور و تولید آلاینده های آن انجام شده است. در ابتدا ، موتور در نرم افزار AVL BOOST مدل سازی گردیده و مدل مورد نظر با استفاده از داده­های تجربی، صحه­گذاری شده است. آمونیاک با درصد های مختلفی به موتور با سوخت اصلی E85 تزریق شده است. در انتها نتایج پاشش آمونیاک بر راندمان، عملکرد و تولید گاز اکسید نیتروژن توسط موتور، گزارش شده است.

**مدلسازی موتور**

به منظور مدلسازی موتور و حل عددی مدل، در این مقاله از نرم افزار AVL BOOST استفاده گردیده است. بدین ترتیب، موتور EF7 در نرم افزار مدلسازی گردیده که مشخصات فنی آن در جدول 1 ارائه گردیده است. همچنین، بلاک دیاگرام مدل موتور در نرم افزار AVL BOOST، در شکل 1 نشان داده شده است.

همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، موتور دارای 5 انژکتور بوده که چهارتای آنها مخصوص پاشش سوخت اصلی (E85) و انژکتور شماره پنج (I5) که در ورودی منیفولد هوا قرار گرفته، مخصوص پاشش آمونیاک می­باشد.

جدول 1: مشخصات فنی موتور EF7

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| پارامتر | واحد | مقدار  |
| شعاع | mm | 78.6 |
| کورس | mm | 85 |
| طول شاتون | mm | 134.5 |
| تعداد سیلندرها | - | 4 |
| حداکثر توان موتور | kW | 82 |
| حداکثردور موتور | RPM | 6000 |
| نسبت تراکم | - | 11 |



شكل 1: بلاک دیاگرام اجزای موتور EF7 در نرم افزار AVL BOOST

به منظور شبیه سازی احتراق در موتور، از مدل احتراقی Fractal بهره­گیری شده است (18). با استفاده از این مدل در شبیه­سازی، نرخ آزاد شدن گرما[[4]](#footnote-4) در سیکلهای کاری موتور، برحسب شرایط مختلف موتور، محاسبه خواهد شد. همچنین، از مدل وسچنی 1978 [[5]](#footnote-5)برای مدلسازی انتقال حرارت داخل محفظه احتراق، استفاده گردیده است (4, 6). از رابطه ارائه گردیده توسط پاتاس و هافنر و ترکیب آن با مکانیزم زلدوویچ، برای مدلسازی و تخمین میزان تولید گاز اکسید نیتروژن بهره­گیری شده است (6):

$r\_{NO}=C\_{PPM}C\_{KM}(2,0)(1-a\_{NO}^{2})⁡[\frac{r\_{1}}{1+a\_{NO}AK\_{2}}+\frac{r\_{4}}{1+AK\_{4}}]$ (1)

$a\_{NO}=\frac{C\_{NO.act}}{C\_{NO.equ}}\frac{1}{C\_{KM}}$ (2)

$AK\_{2}=\frac{r\_{1}}{r\_{2}+r\_{3}}$ (3)

$AK\_{4}=\frac{r\_{4}}{r\_{5}+r\_{6}}$ (4)

$C\_{PPM}$، $C\_{KM}$، $C\_{i}$ و $r\_{NO}$ به ترتیب ضریب پسا پردازش[[6]](#footnote-6)، ضریب جنبشی[[7]](#footnote-7)، کسر مولی و نرخ واکنش گاز اکسید نیتروژن می­باشند. همچنین از رابطه ارائه شده توسط اونوراتی و همکارانش (6) برای محاسبه میزان تولید گاز مونوکسید کربن در فرایند احتراق استفاده گردیده است:

$r\_{CO}=C\_{cte}(r\_{1}-r\_{2})⁡[1-a\_{CO}]$ (5)

$a\_{CO}=\frac{C\_{CO.act}}{C\_{CO.equ}}$ (6)

در معادلات 5 و 6، پارامترهای $r\_{CO}$ و $C\_{i}$ نمایانگر نرخ واکنش مونوکسید کربن و کسر مولی آن می­باشند.

در موتورهای چند سوخته، برای محاسبه­ی مصرف سوخت ویژه ترمزی[[8]](#footnote-8)، باید میزان ارزش حرارتی سوخت­های مختلف در این پارامتر لحاظ گردد (2, 4). از این­رو، از معادله زیر جهت محاسبه مصرف سوخت ویژه ترمزی معادل بهره­گیری شده است (4):

$BSFC\_{eqv }=\frac{\dot{m}\_{gasoline }+\dot{m}\_{e}\frac{LHV\_{e}}{LHV\_{gasoline}}+\dot{m}\_{a}\frac{LHV\_{a}}{LHV\_{gasoline}}}{\dot{W}\_{engine}}$ (7)

پارامترهای $\dot{m}\_{a}$ ،$\dot{m}\_{e}$ ،$\dot{m}\_{gasoline }$ و $\dot{W}\_{engine}$ به ترتیب نرخ پاشش آمونیاک، اتانول، بنزین و توان موتور می­باشند. همچنین، میزان پاشش آمونیاک، براساس ضریب تعریف شده در معادله 8، انجام گرفته است (4):

$\dot{m}\_{a }=(\dot{m}\_{gasoline }+\dot{m}\_{e})IR\_{a}$ (8)

در معادله 8، پارامتر $IR\_{a}$ ضریب پاشش آمونیاک در موتور بوده که ضریبی از نرخ مصرف سوخت اصلی تعیین شده است.

**صحه­گذاری مدلسازی**

به منظور صحه­گذاری مدلسازی انجام گرفته در نرم افزار AVL BOOST، برخی از نتایج خروجی با داده­های خروجی از آزمایشات تجربی در اتاق تست موتور، مقایسه گردیده است. بدین جهت، ابتدا موتور EF7 در اتاق تست واقع در شرکت دیناموتور (19) در شرایط استاندارد تست گردیده است. آزمایشات بدینصورت بوده که پارامترهای اصلی عملکردی موتور نظیر توان، فشار موثر متوسط ترمزی[[9]](#footnote-9)، مصرف سوخت ویژه ترمزی و نرخ تولید اکسید نیتروژن نیز اندازه­گیری شده و در جدول 2، ارائه شده است. براساس مقایسه انجام گرفته در جدول 2، بیشترین خطای مدل AVL کمتر از 3 درصد بوده و نشان دهنده دقیق و قابل اعتماد بودن مدل می­باشد.



شكل 2: موتور EF7 نصب شده در اتاق تست

جدول 2: مقایسه پارامترهای عملکردی موتور در خروجی مدل و نتایج آزمایشگاهی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| پارامتر | AVL | تجربی | خطا (%) |
| توان (kW) | 83.6 | 82.2 | 1.7 |
| فشار موثر متوسط ترمزی (bar) | 10.13 | 9.95 | 1.8 |
| مصرف سوخت ویژه ترمزی (g/kWh) | 360.9 | 352.14 | 2.48 |
| نرخ تولید اکسید نیتروژن (ppm) | 530.12 | 540 | 1.82 |

**نتایج و تحلیل**

پس از مدلسازی موتور در نرم افزار AVL BOOST، مدل موتور در سرعت 6000 دور بر دقیقه و با ترکیبات سوختی مختلف، توسط نرم افزار حل گردیده و نتایج در این بخش ارائه گردیده است.

شکل 3 نشاندهنده تغییرات تولید توان موتور در صورت پاشش سوخت با ترکیبات متفاوت است. با تغییر سوخت اصلی موتور از بنزین به E85، توان موتور حدود 5 کیلووات افزایش یافته است. اما با پاشش سوخت کمکی آمونیاک به میزان 5 و 10 درصد، توان تولیدی موتور به ترتیب 2.2 درصد و 6.2 درصد نسبت به حالت تکسوز E85، کاهش یافته است. این کاهش توان نیز عمدتا بدلیل کاهش دما و فشار داخل سیلندر می­باشد. تاثیر پاشش سوخت آمونیاک در فشار موثر متوسط ترمزی موتور نیز در شکل 4 نشان داده شده است. روند تغییرات پارامتر فشار موثر تقریبا همانند توان موتور می­باشد، چراکه این دو پارامتر وابسته به یکدیگر هستند.



شكل 3: تغییرات توان موتور با تزریق ترکیبات سوختی مختلف



شكل 4: تغییرات فشار موثر متوسط ترمزی موتور با تزریق ترکیبات سوختی مختلف

شکل 5 نشان دهنده میزان تغییر مصرف سوخت ویژه معادل موتور با پاشش سوختهای مختلف است. همانطور که در این شکل مشخص است، مصرف سوخت ویژه معادل موتور در حالتی که سوخت اصلی از حالت بنزینی به E85 تغییر یافته است، افت شدیدی داشته است. اما با پاشش آمونیاک، تا حدود 15 درصد افزایش داشته است.



شكل 5: تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی معادل موتور با تزریق ترکیبات سوختی مختلف

تغییرات نرخ آلاینده­های اکسید نیتروژن و مونوکسید کربن تولیدی توسط موتور در شکل­های 6 و 7 نشان داده شده است. براساس داده­های ارائه شده در این شکل­ها، با تغییر سوخت اصلی از حالت بنزینی به E85، میزان تولید اکسید نیتروژن حدود 140 درصد افزایش داشته است. با پاشش آمونیاک به میزان 5 درصد و 10 درصد، می­توان اکسید نیتروژن تولیدی موتور بدلیل افزودن اتانول به سوخت را کاهش داده و کنترل نمود. ولی با پاشش آمونیاک، بدلیل کاهش دمای شعله در احتراق و در نتیجه کاهش راندمان احتراق، گاز مونوکسید کربن نیز طبق نمودار ارائه شده در شکل 7، تا حداکثر 5.5 درصد افزایش خواهد یافت.



شكل 6: تغییرات میزان اکسید نیتروژن تولیدی موتور با تزریق ترکیبات سوختی مختلف



شكل 7: تغییرات میزان مونوکسید کربن تولیدی موتور با تزریق ترکیبات سوختی مختلف

**نتيجه‌گيري**

در این مقاله، تاثیر پاشش آمونیاک بر عملکرد موتور EF7 با سوخت E85 مورد مطالعه قرار گرفته است. در ابتدا، موتور EF7 در نرم افزار AVL BOOST مدلسازی گردیده و سپس نتایج خروجی، با داده­های آزمایشگاهی برای صحه­گذاری مدل، مقایسه گردیده است. پس از آن، آمونیاک با نسبت پاشش 5 و 10 درصد در موتور برای کنترل میزان اکسید نیتروژن تولید توسط موتور، تزریق شده و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. مهم ترین نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

* با تغییر سوخت اصلی موتور از بنزین به E85، توان موتور حدود 6 درصد افزایش خواهد یافت. اما، با تزریق آمونیاک با نسبتهای 5 و 10 درصد، توان موتور نسبت به حالت تکسوز E85، به ترتیب حدود 2.2 درصد و 6.2 درصد، کاهش خواهد یافت.
* مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور نیز با تغییر سوخت اصلی از حالت بنزینی به E85، حدود 33 درصد کاهش یافته، ولی با پاشش آمونیاک با نسبت پاشش حداکثر 10 درصد، این پارامتر تا 15 درصد نسبت به حالت تکسوز E85، افزایش داشته است.
* میزان تولید گاز اکسید نیتروژن توسط موتور، با افزودن 85 درصد اتانول به بنزین مصرفی موتور، حدود 140 درصد افزایش داشته است. این افزایش تولید اکسید نیتروژن را میتوان با پاشش آمونیاک با نسبت پاشش 5 درصد، به 18 درصد کاهش داد.
* با پاشش آمونیاک میزان گاز مونوکسید کربن تولیدی توسط موتور، افزایش یافته است. اما میزان افزایش آن، نسبت به حالت بنزین سوز کمتر بوده و با بکار گیری یک کاتالیست کانورتور، می­توان آن­را در حد نرمال نگه­داشت.

**تشكر و قدرداني**

با تشکر ویژه از شرکت دیناموتور بابت فراهم آوری سخت افزارهای تست موتور EF7 و در اختیار قرار دادن اتاق تست برای انجام آزمایشات تجربی.

**فهرست علائم**

|  |  |
| --- | --- |
| ضریب پساپردازش | $$C\_{PPM}$$ |
| ضریب جنبشی | $$C\_{KM}$$ |
| کسر مولی | $$C\_{i}$$ |
| نرخ واکنش | $$r$$ |
| مصرف سوخت ویژه ترمزی، g/kWh | $$BSFC$$ |
| دبی جرمی، g/h | $$\dot{m}$$ |
| ارزش حرارتی، kJ/kg | $$LHV$$ |
| توان، kW | $$\dot{W}$$ |
| ضریب پاشش | $$IR$$ |
| اتانول | *E* |
| آمونیاک | *A* |

**زيرنويس­ها**

|  |  |
| --- | --- |
| اکسید نیتروژن | *no* |
| مونوکسیدکربن | *co* |
| معادل | *eqv* |
| اتانول | *e* |
| آمونیاک | *a* |
|  |  |

**مراجع و منابع**

1. Salek F, Zamen M, Hosseini SV. Experimental study, energy assessment and improvement of hydroxy generator coupled with a gasoline engine. Energy Reports. 2020;6:146-56.

2. Odibi C, Babaie M, Zare A, Nabi MN, Bodisco TA, Brown RJ. Exergy analysis of a diesel engine with waste cooking biodiesel and triacetin. Energy Conversion and Management. 2019;198:111912.

3. Salek F, Zamen M, Hosseini SV, Babaie M. Novel hybrid system of pulsed HHO generator/TEG waste heat recovery for CO reduction of a gasoline engine. International Journal of Hydrogen Energy. 2020.

4. Salek F, Babaie M, Redel-Macias MD, Ghodsi A, Hosseini SV, Nourian A, et al. The effects of port water injection on spark ignition engine performance and emissions fueled by pure gasoline, E5 and E10. Processes. 2020;8(10):1214.

5. Martinez DG, Feiden A, Bariccatti R, de Freitas Zara KR. Ethanol production from waste of cassava processing. Applied Sciences. 2018;8(11):2158.

6. Iliev S. A comparison of ethanol and methanol blending with gasoline using a 1-D engine model. Procedia Engineering. 2015;100:1013-22.

7. Kim N, Cho S, Min K. A study on the combustion and emission characteristics of an SI engine under full load conditions with ethanol port injection and gasoline direct injection. Fuel. 2015;158:725-32.

8. Zhuang Y, Ma Y, Qian Y, Teng Q, Wang C. Effects of ethanol injection strategies on mixture formation and combustion process in an ethanol direct injection (EDI) plus gasoline port injection (GPI) spark-ignition engine. Fuel. 2020;268:117346.

9. Hu Z, Zhang J, Sjöberg M, Zeng W. The use of partial fuel stratification to enable stable ultra-lean deflagration-based Spark-Ignition engine operation with controlled end-gas autoignition of gasoline and E85. International Journal of Engine Research. 2020;21(9):1678-95.

10. Yontar AA. Numerical comparative mapping study to evaluate performance of a dual sequential spark ignition engine fuelled with ethanol and E85. International Journal of Automotive Engineering and Technologies. 2018;7(3):98-106.

11. Wu Y, Zhang X, Zhang Z, Wang X, Geng Z, Jin C, et al. Effects of diesel-ethanol-THF blend fuel on the performance and exhaust emissions on a heavy-duty diesel engine. Fuel. 2020;271:117633.

12. El-Faroug MO, Yan F, Luo M, Fiifi Turkson R. Spark ignition engine combustion, performance and emission products from hydrous ethanol and its blends with gasoline. Energies. 2016;9(12):984.

13. Gross CW, Kong S-C. Performance characteristics of a compression-ignition engine using direct-injection ammonia–DME mixtures. Fuel. 2013;103:1069-79.

14. Reiter AJ, Kong S-C. Demonstration of compression-ignition engine combustion using ammonia in reducing greenhouse gas emissions. Energy & Fuels. 2008;22(5):2963-71.

15. Reiter AJ, Kong S-C. Combustion and emissions characteristics of compression-ignition engine using dual ammonia-diesel fuel. Fuel. 2011;90(1):87-97.

16. Yapicioglu A, Dincer I. Experimental investigation and evaluation of using ammonia and gasoline fuel blends for power generators. Applied Thermal Engineering. 2019;154:1-8.

17. Ryu K. Combustion characteristics and exhaust emissions in spark-ignition engine using gasoline-ammonia. Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers. 2013;21(6):155-65.

18. Noske G. Ein quasidimensionales Modell zur Beschreibung des ottomotorischen Verbrennungsablaufes: VDI-Verlag; 1988.

19. Dinamotors Company [Available from: [www.dinamotors.com](file:///F%3A%5CProjects%5Cbiofuel%20and%20ammonia%20injection%5Cpaper%5CE85%5CCnf%5Cwww.dinamotors.com).

1. NOx [↑](#footnote-ref-1)
2. CO [↑](#footnote-ref-2)
3. Biofuel [↑](#footnote-ref-3)
4. Rate of heat release [↑](#footnote-ref-4)
5. Woschni 1978 [↑](#footnote-ref-5)
6. Post processing multiplier [↑](#footnote-ref-6)
7. Kinetic multiplier [↑](#footnote-ref-7)
8. Brake specific fuel consumption [↑](#footnote-ref-8)
9. Brake mean effective pressure [↑](#footnote-ref-9)