



مروری بر مقایسه‌ی افزودنی اکسیجن‌دار در افزایش عدد اوکتان و کاهش آلودگی بنزین

پوهنمل دیپلوم انجنیر عبدی محمد عبدی

دیپارتمنت کیمیا، پوهنځی تعلیم و تربیه، پوهنتون بدخشان

abdi@badakhshan.edu.af

<https://orcid.org/0009-0003-7701-3571>

نویسنده

نشانی برقی

نشانی ارکاید

چکیده

هدف این تحقیق مرور و مقایسه‌ی نقش افزودنی‌های اکسیجن‌دار در افزایش عدد اوکتان و کاهش آلودگی ناشی از احتراق بنزین در وسایط نقلیه می‌باشد این تحقیق به روش مروری منظم با مطالعه‌ی مقالات علمی، کتاب‌ها و منابع معتبر انجام شده است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که افزودنی‌های مانند ایتانول، میتانول، و ایتایل ترشیری بیوتایل ایترا از طریق عملیه‌ی مانند افزایش اکسیجن و بهبود عمل کرد انجن، به صورت موثر عدد اوکتان را افزایش و انتشار آلودگی مانند کاربن مونو اکساید و هایدرو کاربن‌های ناسوخته را کاهش می‌دهند. مثلاً ایتانول با وجود که عدد اوکتان را بالا می‌برد ولی انرژی کم‌تری دارد و ایتایل ترشیری بیوتایل ایترا به دلیل آلودگی محیط زیست و سرطان زایی اهمیت کم‌تری دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ایتانول به عنوان افزودنی سازگارتر با محیط زیست، تعادل بهتری بین افزایش عدد اوکتان، بهبود عمل کرد انجن و کاهش آلودگی ایجاد می‌کند. استفاده از افزودنی‌های اکسیجن‌دار مانند میتانول، ایتانول و ایتایل ترشیری بیوتایل ایترا ترکیبات مهمی برای بهبود کیفیت بنزین و کاهش آلودگی هوا هستند.

کلید واژه‌ها: ایتانول، بنزین، عدد اوکتان، افزودنی اکسیجن‌دار، میتانول، محیط زیست، وسایط نقلیه.

Review on Comparison of Oxygenated Additives in Increasing Octane Number and Reducing Gasoline Pollution

Author * **Abdi Muhammad Abdi**
Email **abdi@badakhshan.edu.af**
Orcid **<https://orcid.org/0009-0003-7701-3571>**

Abstract

The Objective of this research is to review and compare the role of Oxygenated additives in increasing the octane number and reducing pollution caused by gasoline combustion in vehicles. This research has been conducted using a systematic review method, studying scientific articles, books, and reliable sources. The findings of this research show that additives such as ethanol, methanol, and ethyl tert-butyl ether (ETBE) effectively increase the octane number and reduce the emission of pollutants such as carbon monoxide and unburned hydrocarbons through processes like increasing oxygen content and improving engine performance. For example, although ethanol raises the octane number, it has lower energy content, and ethyl tert-butyl ether (ETBE) is of less importance due to its environmental pollution and carcinogenicity. The results of this research show that ethanol, as a more environmentally compatible additive, creates a better balance between increasing the octane number, improving engine performance, and reducing pollution. The use of oxygenated additives such as methanol, ethanol, and ethyl tert-butyl ether are important compounds for improving gasoline quality and reducing air pollution.

Keywords: Ethanol, Gasoline, Octane Number, Oxygenated additives, Methanol, Environment, Vehicles.

مقدمه

الحمد لله نحمده ونستعينه ونستغفره، ونؤمن به وتتوكل عليه، ونشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له، وأنَّ محمدًا عبده ورسوله.

در شرایط امروزی محصولات نفتی به خصوص بنزین نقش بسیار ارزنده در اقتصاد جهان دارد. کاربرد عمده این محصول در بخش‌های حمل و نقل، تجارت و صنعت برای همه‌گی روشن است. این مسئله، اهمیت محصولات نفتی مانند بنزین را در رشد اقتصاد تمامی کشورهای دنیا نشان می‌دهد. بر اساس گزارش سالانه‌ی آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، مقدار مصرف جهانی محصولات نفتی، به‌ویژه بنزین، در سال ۲۰۱۰ حدود ۹۳ فیصد بوده که اهمیت این محصولات را در بخش حمل‌ونقل و در کل اقتصاد به‌خوبی نمایان می‌کند (Moriarty & Honnery, 2016; Yin et al., 2015; خوشکلام, ۲۰۱۴).

بهبود کیفیت سوخت جهت حمل و نقل یکی از عوامل بسیار مهم برای عملکرد بهتر انجن‌های بنزینی است. هم‌چنین یکی از مشکلات بزرگ محیط زیست ناشی از سوخت ناقص بنزین می‌باشد، به همین اساس تلاش برای بهبود کیفیت سوخت با استفاده از افزودنی‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است (Lu et al., 2021).

محصولات نفتی یکی از منابع مهم آلودگی محیط زیست به شمار می‌روند که از سوخت ناقص بنزین تولید می‌شود. بشر برای کنترل این آلودگی و بهبود کیفیت سوخت مجبور به علاوه نمودن مواد کیمیای شده است، که از یک طرف به کنترل آلودگی هوا کمک کرده و از طرف دیگر کیفیت سوخت و عملکرد انجن را بهبود می‌بخشد (Lalnunthari & Thanga, 2015; Waxman, 1991).

عدد اوکتان (ON^۱) معیاری برای اندازه‌گیری توانایی سوخت در برابر ضربه زدن هنگام احتراق در سیلندر یک انجن احتراق داخلی است. این عدد به‌عنوان نسبت حجمی ایزو اوکتان به نارمل هپتان تعیین می‌شود و تأثیر مستقیم بر عملکرد انجن و کاهش آلودگی دارد (Gupta, 2025; Heywood, 1988; Masuk et al., 2021).

افزودنی‌های اکسیجن دار نه تنها به بهبود کیفیت سوخت کمک می‌کنند بل که می‌توانند به کاهش آلودگی هوا و افزایش عملکرد انجن وسایط نقلیه نیز بینجامد (Calvert et al., 1993).

¹. Octane Number

تحقیقات نشان می‌دهند که اضافه کردن این مواد مانند ایتانول (C_2H_5OH)، میتانول (CH_3OH)، میتایل ترشیری بیوتایل اتر ($MTBE$)^۲ و ایتایل ترشیری بیوتایل اتر (ETB^3E) می‌تواند به افزایش عدد اوکتان و کاهش آلودگی ناشی از سوخت بنزین کمک کند.

هدف از این مقاله بررسی نقش افزودنی‌های اکسیجن دار در افزایش عدد اوکتان و کاهش آلودگی بنزین است. با دنبال کردن این راه کار، می‌توانیم به عملکرد بهتر انجن وسایط نقلیه و کنترل آلودگی هوا و هم چنین حفاظت از محیط زیست دست یابیم.

تبیین مسأله

در دنیای امروز، آلودگی محیط زیست به یک معضل جدی تبدیل شده است. یکی از منابع اصلی این آلودگی، سوخت بنزین است که در وسایط نقلیه به مصرف می‌رسد. سوخت بنزین نه تنها به کاهش کیفیت هوا منجر می‌شود، بل که اثرات منفی بر روی سلامت عمومی و ایکوسیستم دارد. بنابراین، توجه به کیفیت سوخت و استفاده از افزودنی‌های اکسیجن دار امر ضروری است. بنابراین، این مقاله به بررسی نقش افزودنی‌های اکسیجن دار جهت افزایش عدد اوکتان و کاهش آلودگی ناشی از سوخت بنزین می‌پردازد. این افزودنی‌ها می‌توانند به بهبود کیفیت سوخت کمک کنند و در عین حال، راه کارهای برای کنترل آلودگی محیط زیست و بهبود کارایی انجن و وسایط نقلیه ارائه می‌دهند.

اهمیت تحقیق

بنزین بی کیفیت تأثیر مستقیم بر عملکرد انجن وسایط نقلیه دارد و به عنوان یک تهدید جدی برای آلودگی هوا، محیط زیست و سلامت انسان محسوب می‌شود و هم چنین سبب کاهش عمر مفید انجن می‌گردد. افزایش کیفیت بنزین از طریق افزودنی‌های آکسیجن دار علاوه بر بهبود عملکرد انجن وسایط نقلیه و کاهش مصرف سوخت، به کاهش آلودگی هوا، حفاظت از محیط زیست و ارتقای سلامت انسان نیز کمک می‌کند. به همین خاطر تحقیق در این مورد یک ضرورت جدی به شمار می‌آید.

هم چنان استفاده از افزودنی‌ها می‌تواند به بهبود خواص فزیک و کیمیاوی بنزین کمک نموده و سبب کاهش نقطه انجماد، بهبود خاصیت احتراق و افزایش بهتر احتراق گردد.

پرسش‌های تحقیق

پرسش اصلی: افزودنی‌های اکسیجن دار چگونه و تاچه حد می‌توانند باعث افزایش عدد اوکتان و کاهش آلودگی در سوخت بنزین شوند؟

². Mthyl tert-butyl ether

³. Ethyl tert-butyl ethe

پرسش‌های فرعی

۱. افزودنی‌های اکسیجن دار کدام ها اند؟
۲. افزودنی‌های اکسیجن دار چگونه سبب افزایش عدد اوکتان بنزین می گردد؟
۳. کدام یکی از افزودنی‌های اکسیجن دار در کاهش آلودگی هوا ناشی از سوخت بنزین نقش بیش تر دارد؟
۴. تأثیر غلظت‌های مختلف یک افزودنی اکسیجن دار برروی عدد اوکتان و کاهش آلودگی چگونه است؟

اهداف تحقیق

هدف اصلی: مطالعه نقش افزودنی‌های اکسیجن دار مانند میتانول، ایتانول، MTBE، ETBE در افزایش عدد اوکتان و کاهش آلودگی ناشی از بنزین.

اهداف فرعی

۱. بهبود عملکرد انجن وسایط نقلیه؛
۲. کاهش آلودگی هوا ناشی از سوخت بنزین بی کیفیت؛
۳. بلند بردن عدد اوکتان بنزین با استفاده از افزودنی‌های اکسیجن دار.

پیشینه‌ی تحقیق

در سال ۱۳۹۳ موسوی خوش کلام در یک تحقیق تحت عنوان (اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف بنزین و گازوئیل در ایران با تأکید بر بخش حمل و نقل: رویکرد مدل تعادل عمومی قابل محاسبه) به این نتیجه رسیدند که محصولات نفتی به خصوص بنزین نقش مهم در اقتصاد یک کشور دارند، به همین اساس ضرورت است که تا توجه جدی در بلند بردن کیفیت و مصرف سوخت آن صورت گیرد. هم چنان نتایج تحقیق شان نشان می دهد که افزودنی‌ها می تواند ۱۰ فیصد کارای مصرف سوخت را بالا برده و سبب تغییرات جدی در کیفیت بنزین گردد (موسوی، ۲۰۱۴).

در سال ۲۰۱۵ طی تحقیقی Lalnunthari J. and Thanga H.H تحت عنوان (Detection of Methyl tert-butyl Ether (MTBE) in Gasoline Fuel using FTIR: ATR spectroscopy)، به این نتیجه رسیدند که افزودن افزودنی مانند میتایل Methyl tert-butyl Ether (MTBE) افزودنی اصلی اکسیجن است که در سوخت بنزین مطابق با هوای پاک مورد استفاده قرار می گیرد (Lalnunthari & Thanga, 2015).

در سال ۲۰۲۲ Kadhim Hussein Serih طی تحقیقی تحت عنوان (Determination of Tetraethyl Lead in Gasoline fuel) با علاوه کردن تترا ایتایل سرب در بنزین به این نتیجه رسید که تترا ایتایل سرب (TEL)، یک مرکب عضوی فلزی است که به بنزین اضافه می شود

تا اینکه عملکرد انجن را بهتر نماید. این ماده به‌عنوان ضد ضربه شناخته شده است زیرا که صدای کوبش انجن را کاهش می‌دهد (Serih & Abd, 2022).

در سال ۲۰۰۵ رناتو کاتالونیا و هم‌کاران طی تحقیقی تحت عنوان (Effect of additives on the antiknock properties and Reid vapor pressure of gasoline) به این نتیجه رسیدند که افزودن ایتانول و MTBE به بنزین منجر به افزایش RVP و درجه اوکتان مخلوط‌ها می‌گردد. ایزواوکتان و تولوئین RVP مخلوط را کاهش داده و درجه اوکتان را افزایش می‌دهند، هرچند این افزایش به اندازه‌ای که ترکیبات اکسیجن دار ایجاد کردند، قابل توجه نبود. افزایش RVP مشاهده شده در مخلوط‌ها نشان‌دهنده افزایش انتشارات تبخیری است، به‌ویژه در مخلوط‌های حاوی ایتانول. استفاده از افزودنی‌های اکسیجن دار منجر به بهبود احتراق در عملیه احتراق و کاهش انتشار کاربن مونو اکساید و سطوح ترکیبات اروماتیک شد.

ETBE، که یک افزودنی نیمه‌زیست‌پذیر است زیرا با ایتانول سنتز می‌شود، خواص ضدکوبش را افزایش داده و فشار بخار را بدون نوسان‌پذیری لازم برای شروع سرد انجن کاهش می‌دهد. هم‌چنین دارای پوتنشیل کمتری برای از دست دادن تبخیری است (Da Silva et al., 2005).

روش تحقیق

این تحقیق به روش مروری تهیه شده است. اول با استفاده از منابع معتبر علمی، مانند مقالات تحقیقاتی، کتاب‌ها و وبسایت‌های معتبر علمی و تخصصی، به مطالعه نقش افزودنی‌های اکسیجن دار بر کیفیت بنزین پرداخته شد. سپس، موضوعات مربوط به افزودنی‌ها را جمع‌آوری و نتایج آن‌ها را به رشته تحریر در آوردم. از این طریق توانستم به درک بهتر از تأثیر این افزودنی‌ها در افزایش عدد اوکتان و کاهش آلودگی ناشی از سوخت بنزین بی کیفیت دست یابیم. بنابراین، این تحقیق می‌تواند به عنوان یک مواد مفید برای تحقیقات آینده در این بخش باشد.

نتایج و یافته‌ها

بنزین به‌عنوان یک سوخت هایدرو کربنی، نقش حیاتی در عملکرد انجن‌های احتراق داخلی دارد. عدد اوکتان معیاری برای سنجش مقاومت بنزین در برابر انفجار قبل از مشتعل شدن می‌باشد. بنزین معمولی (با اوکتان پایین، مثلاً ۸۷ در ایالات متحده) برای وسایط نقلیه استاندارد طراحی شده که نسبت تراکم پایبندی دارند. در مقابل، بنزین با اوکتان بالا (۹۱ تا ۹۳ یا بیشتر) برای وسایط نقلیه که پیشرفته با نسبت تراکم بالا ضرورت است تا از آسیب ناشی از احتراق ناهم‌گام جلوگیری کند. استفاده از بنزین با اوکتان بالا در وسایط نقلیه معمولی، به طور کلی مزیت خاصی ندارد و حتی ممکن است هزینه اضافی بدون بهبود عملکرد ایجاد کند. تحقیقات نشان می‌دهد که انتخاب

بنزین مناسب باید بر اساس دستورالعمل سازنده وسایط نقلیه باشد تا هم سوخت بهتر انجام شود و هم سبب افزایش عمر انجن گردد (Shi et al., 2022).

عدد اوکتان: عدد اوکتان سوخت، معیاری کمی است که نشان‌دهنده مقاومت آن در برابر احتراق خودبه‌خودی (knock) تحت شرایط عملیاتی انجن است. ناک‌زدگی به صورت یک پدیده ناخواسته و مخرب رخ می‌دهد که در آن سوخت در اثر فشار و حرارت بالا، به صورت غیرقابل کنترل مشتعل می‌شود و ضربه‌های ناگهانی و لرزش‌های شدید در انجن ایجاد می‌کند. این پدیده می‌تواند موجب کاهش بازده انجن، افزایش مصرف سوخت و انتشار آلوده‌کننده‌های سمی و هم‌چنین آسیب میخانیکی به اجزای انجن شود (Kalghatgi, 2013; Stone, 1999).

مفهوم عدد اوکتان به منظور توصیف رفتار احتراق سوخت در انجن استاندارد C⁴FR ارائه شده است. این عدد نشان می‌دهد که سوخت مورد آزمایش چه رفتاری مشابه مخلوطی از دو هایدروکربن شاخص، ایزواوکتان که مقاوم‌ترین سوخت نسبت به ناک‌زدگی است و نارمل-هپتان که بیش‌ترین حساسیت را دارد، از نظر مقاومت احتراق دارد. برای مثال، عدد اوکتان ۹۰ به معنای آن است که سوخت آزمایش شده مقاومت احتراق مشابه مخلوطی با ۹۰ فیصد ایزواوکتان و ۱۰ درصد نارمل-هپتان دارد (Kirkpatrick, 2020; Zhang et al., 2023).

بنزین با اوکتان پایین: بنزین معمولی به بنزینی گفته می‌شود که عدد اوکتان آن پایین‌تر از ۹۰ باشد (حدود ۸۷ تا ۹۰) شناخته می‌شود، معروف‌ترین بنزین برای وسایط نقلیه استاندارد است. این بنزین برای انجن‌های با نسبت تراکم پایین طراحی شده که نیازی به مقاومت بالا در برابر احتراق زودرس، ندارند. استفاده از آن در وسایط نقلیه معمولی، هزینه سوخت را کاهش می‌دهد و با استانداردهای اکثر انجن‌های قدیمی یا غیرپیشرفته سازگار است. با این حال، انجن‌های مدرن با تکنالوژی جدید یا نسبت تراکم بالا، استفاده از بنزین معمولی می‌تواند به خسارت انجن یا کاهش عملکرد منجر شود (Labeckas et al., 2017).

بنزین با اوکتان بالا: بنزین با اوکتان بالا عبارت از بنزین است که عدد اوکتان آن از ۹۰ بالا باشد (معمولاً ۹۱ تا ۹۳ یا بیش‌تر از آن) برای انجن‌های وسایط نقلیه پیشرفته و با نسبت تراکم بالا ضروری است. عدد اوکتان بالاتر، مقاومت سوخت را در برابر انفجار قبل از احتراق افزایش می‌دهد و به انجن اجازه می‌دهد تا بازدهی و قدرت بیش‌تری تولید کند. برخی مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از این بنزین در وسایط نقلیه معمولی، مزیت قابل توجهی ندارد و تنها در صورت توصیه

سازنده، توجه اقتصادی یا فنی دارد. تحقیقات اخیر برای بهبود این سوخت‌ها به خاطر کاهش آلودگی و افزایش به‌ترسوزی تمرکز کرده اند (Cerri et al., 2013).

تأثیرات بنزین بالای محیط زیست: در سال‌های اخیر توجه زیادی به ترکیب هایدروکاربونی بنزین معطوف گردیده است. دلیل این توجه نقش مهم انتشار هایدروکاربین‌های وسایط نقلیه در تشکیل ازون شهری (دود فتو کیمیای) و همچنین اثرات مضر این هایدروکاربین‌ها بر سلامت عمومی است. به همین دلیل، اقداماتی برای اعمال محدودیت بر انواع هایدروکاربین‌های موجود در سوخت‌های بنزینی مخصوصاً اروماتیک‌ها و اولفین صورت گرفته است (Koehl et al., 1991).

اولفین‌های هایدروکاربین‌های غیر مشبوع هستند که در آن‌ها بین کاربن و کاربن رابطه دوگانه وجود دارد، و در بیش‌تر موارد، این ترکیبات دارای عدد اوکتان مناسبی می‌باشند. ولی نواقص این مرکبات این است که بسیار تعامل پذیر هستند (Ashida et al., 2015).

اولفین‌ها هم‌چنین بسیار ناپایدار هستند و ممکن است باعث ایجاد رسوب و لایه چسبناک بر روی تزریق‌کننده‌ها و سیستم مکش سوخت انجن شوند. رسوبات محفظه احتراق از هایدروکاربین‌های سنگین اولفینی سوخت تشکیل می‌شود. این رسوبات می‌تواند باعث افزایش انتشار آلوده‌کننده‌های مانند CO، HC و NO_x گردد (Aneja, 1994).

انتشار اولفین‌ها به اتموسفیر به عنوان مواد بسیار تعامل پذیر می‌تواند باعث تشکیل ازون و ترکیبات زهری شود. تحقیقات نشان می‌دهد که کاهش تمام اولفین‌ها از ۲۰٪ به ۵٪ به مقدار قابل توجهی پوتنشیل تشکیل ازون را کاهش می‌دهد (Kirchstetter et al., 1996).

کاهش اولفین‌ها با وزن مالیکولی کم باعث کاهش ۷۰ فیصدی ازون می‌شود. پوتنشیل تشکیل ازون توسط اولفین‌ها به دلیل حضور اولفین‌های فرار سبک در سوخت است (امانلو et al., 2021; ناظمان & حقدوست, ۲۰۱۲).

افزودنی‌های اکسیجن دار: افزودنی‌های اکسیجن دار عبارت از مرکبات عضوی هستند که در ساختمان خود دارای اکسیجن هستند. مانند الکل‌ها (ایتایل الکل و میتایل الکل) و ایترها. این سوخت‌ها به عنوان سوخت‌های جایگزین بسیار جذاب هستند زیرا می‌توانند از مواد فوسیلی به‌دست آیند، که وابستگی به منابع فوسیلی را کاهش می‌دهد و از نظر پایداری نیز جالب هستند، زیرا کاربن دای اکساید که به هوا آزاد می‌کنند دوباره نباتات آن را جذب نموده و به مواد غذایی تبدیل می‌کنند.

علاوه بر این، این سوخت‌ها دارای سلفر بسیار پایین هستند و به دلیل محتوای بالاتر اکسیجن، احتراق کامل‌تر و خالص‌تر را ترویج می‌دهند که منجر به کاهش انتشار CO و HC ناسوخته به محیط زیست می‌شود (J. Heywood, 2018).

اصلی‌ترین هایدروکربن‌های اکسیجن دار که مرتبط با بنزین شامل ایتانول، میتانول و میتایل ترای بیوتایل ایترو و دای میتایل ایترو هستند.

میتایل ترای بیوتایل ایترو نیز یکی از افزودنی‌های مهم در بنزین است که روی عنوان جداگانه بحث می‌شود. از مزیت پایداری خوب در حضور آب، تأثیر کم بر فشار بخار سوخت و سازگاری با مواد برخورداری است. از آن‌جا که MTBE برای انسان‌ها و حیوانات سرطان‌زا است و می‌تواند منابع آب آشامیدنی را آلوده کند، استفاده از آن در بنزین‌ها به صورت مقیاس کوچک انجام می‌شود (John Heywood, 2018).

بنابراین، سوخت‌های ایترو مانند MTBE و DME به عنوان افزودنی‌ها در نسبت‌های کم برای افزایش عدد اوکتان و محتوای اکسیجن بنزین استفاده می‌شوند.

در ایالات متحده، MTBE از سال ۱۹۷۹ با غلظت ۴ تا ۸٪ به بنزین اضافه شد تا به عنوان یک عامل ضد ضربه جایگزین سرب شود. در دهه ۱۹۸۰، استفاده از آن به عنوان افزایش‌دهنده عدد اوکتان و راهی برای به دست آوردن بنزین با احتراق خالص افزایش یافت، نه تنها در ایالات متحده. به طور خاص، محتوای آن در ایالات متحده تا ۱۵٪ در این دهه افزایش یافت و به یکی از ۵۰ ماده کیمیاوی تولید شده در ایالات متحده تبدیل شد (Pelkmans et al., 2008).

در چندین کشور، حداقل دو نوع بنزین در بازار عرضه می‌شود: یکی بنزین عادی و دیگر بنزین با چند نوع افزودنی‌ها برای بهبود عملکرد بنزین، می‌توان برخی ترکیبات مانند اولفین‌ها و ترکیبات اکسیجن دار را به بنزین اضافه یا از آن‌ها حذف کرد (Machado et al., 2016).

در همه انواع بنزین، معمولاً افزودنی‌های گنجانده می‌شوند که یکی از این افزودنی‌ها ایتانول بوده است، زیرا دلیل اصلی افزایش عدد اوکتان محسوب می‌شود (Machado et al., 2011).

افزودنی الکل در بنزین: استفاده از افزودنی‌های مانند الکل‌ها برای بهبود کیفیت بنزین می‌تواند کارایی انجن، ترکیب کیمیاوی و کاهش آلوده کننده‌ها را بدون تغییر ساختمان انجن احتراق داخلی یا افزودن واحدهای اضافی بهبود بخشد.

بسیاری از الکل‌ها مانند میتانول و ایتانول می‌توانند به عنوان افزودنی بنزین استفاده شوند. این مواد با افزایش مقدرا اکسیجن در سوخت، پروسه احتراق را بهبود می‌بخشند و در نتیجه انتشار آلوده کننده‌های CO ، CO_2 و NO_x را کاهش می‌دهند. در ادامه عملکرد چندین الکل بر کیفیت سوخت بنزین بررسی می‌شود (Zhang et al., 2023).

میتانول: میتانول ترکیب با عدد اوکتان بالا و سوخت بسیار پاک است که از منابع انرژی غیرنفتی جایگزین مانند گاز طبیعی، زغال‌سنگ و بیومس تولید می‌شود (Yue et al., 2015).

میتانول دارای عدد اوکتان تحقیقی (RON) بالاتری (۱۲۹-۱۳۴) است. این ماده می‌تواند به طور مستقیم به‌عنوان سوخت پاک یا به‌عنوان افزودنی به بنزین استفاده شود. میتانول با عدد اوکتان بالا هم‌چنین جایگزین ترکیبات اروماتیک می‌شود که معمولاً برای افزایش عدد اوکتان در بنزین به کار می‌روند، اما به انتشار گازهای سمی از وسایط نقلیه کمک می‌کنند.

معایب میتانول مشابه معایب موجود در تولید ایتانول است، به این معنی که برای برداشت مؤثر آن نیاز به مصرف کردن منابع غذایی وجود دارد. از آنجایی که میتانول نسبت به بنزین کمتر مفر است، در هوای سرد شروع وسایط نقلیه دشوارتر خواهد بود. یکی دیگر از مزایای افزودنی اکسیژن‌دارها مانند MTBE، میتانول و ایتانول به بنزین این است که هنگام سوختن آلودگی بسیار کمی ایجاد می‌کند و سوخت‌های پاک‌تری هستند. مزایا و معایب افزودنی‌های تقویت‌کننده عدد اوکتان بنزین در جدول (۱) ارائه شده است (Demirbas et al., 2015).

ایتانول: استفاده از ایتانول در ایالات متحده در دهه‌های اخیر افزایش یافته است که این موضوع با قوانین و مشوق‌های دولتی توجیه می‌شود. از نظر تولید، در سال ۲۰۱۹ ایالات متحده بزرگ‌ترین تولیدکننده سوخت ایتانول در جهان بود که ۵۴٪ از کل تولید ایتانول جهانی را به خود اختصاص می‌داد و از سال ۲۰۰۷ شاهد افزایش قابل توجهی در تولید آن بوده است. برازیل در جایگاه دوم این رده‌بندی قرار دارد و ۳۰٪ از تولید جهانی ایتانول را تولید می‌کند. اتحادیه اروپا فقط ۵٪ از تولید جهانی را تأمین کرده و چین، کانادا و هند نیز در این زمینه نقش قابل توجهی داشتند که نشان‌دهنده علاقه این کشورها به استفاده از ایتانول به‌عنوان افزودنی بنزین به خاطر بلند بردن عدد اوکتان است (Boden, 2018).

هم میتانول و هم ایتانول عدد اوکتان بسیار بالاتری نسبت به بنزین دارند این امر برای انجن‌های الکولی اجازه می‌دهد تا نسبت فشرده‌سازی بالاتری داشته باشند و بنابراین کارایی حرارتی را افزایش دهند. با این حال، یکی از معایب مهم میتانول و ایتانول نسبت به بنزین، محتوای انرژی پایین‌تر آن‌ها است (Da Silva et al., 2005).

ایتانول دارای عدد اوکتان بالاتر (۱۰۹)، محدوده‌های احتراق وسیع‌تر، سرعت‌های شعله بالاتر و حرارت‌های تبخیر بیش‌تری نسبت به بنزین است. این ویژگی‌ها اجازه می‌دهند که نسبت فشرده‌سازی بالاتری، زمان احتراق کوتاه‌تر و احتراق رقیق‌تری در انجن ایجاد شود که به مزایای نظری کارایی نسبت به بنزین در یک انجن احتراق داخلی (ICE) منجر می‌شود (Eyidogan et al., 2010).

معایب ایتانول شامل کثافت و انرژی پایین تر نسبت به بنزین، خوردندگی، کم نور بودن شعله، فشار بخار پایین تر، قابلیت حل شدن با آب و زهری بودن برای اکوسیستم ها است (Foong et al., 2014).

بنابراین، در اروپا، ۱۰٪ حجمی ایتانول با بنزین مخلوط می شود، در حالی که در افریقای جنوبی بنزین هایی با ۱۲٪ الکل تجاری سازی می شوند و در سوئد می تواند تا ۸۵٪ برسد. در ایالات متحده، فیصدی های ۱۰٪ (E10) تا ۸۵٪ (E85) مخلوط می شود. E10 می تواند بدون هیچ گونه تغییراتی در انجن های احتراق داخلی استفاده شود و به همین دلیل، در سال ۲۰۰۷، ۹۹٪ از ایتانول سوختی فروخته شده در ایالات متحده به صورت E10 تجاری سازی شده بود (Amaral et al., 2021).

میتایل ترشیری بیوتایل ایتر: میتایل ترشیری بیوتایل ایتر (MTBE) از سال ۱۹۷۹ در بنزین ایالات متحده در سطوح پایین مورد استفاده قرار گرفته است تا به جای سرب به عنوان یک تقویت کننده اوکتان عمل کند. MTBE یک افزودنی است و به عنوان یک اکسیجن دهنده برای افزایش عدد اوکتان بنزین استفاده می شود. اکسیجن کمک می کند تا بنزین به طور کامل تری بسوزد و انتشار گازهای مضر از وسایل نقلیه را کاهش دهد. بیش تر تصفیه کنندگان نفت به خاطر ویژگی های

و دلایل اقتصادی، MTBE را به سایر اکسیجن دهنده ها ترجیح داده اند. MTBE ممکن است برای حیوانات و انسان ها در آب های آشامیدنی سرطان زا باشد (McGregor, 2006).

میتایل ایزوبیوتایل ایتر (MTBE) به عنوان یک تولید کننده اکسیجن سوختی بیش از ۲۰ سال است که استفاده می شود. MTBE و سایر تولید کننده اکسیجن کارایی احتراق را افزایش می دهند و انتشار کاربن مونو اکساید را کاهش می دهند. همچنین آلودگی اوزون را کاهش می دهند با این حال، MTBE برای سلامت انسان خطرناک است و توسط USEPA به عنوان یک کارسینوجن (سرطان زا) ممکن برای انسان طبقه بندی شده است. MTBE که به خاک ریخته می شود، پوتنشیل بالایی برای نشت به آب های زیرزمینی دارد و به دلیل انحلالیت بالای آب و تجزیه پذیری پایین خود، مدت طولانی در محیط باقی می ماند. آلودگی آب توسط MTBE هم چنان یک مشکل محیط زیستی قابل توجه است و نیاز به تکنالوژی مناسبی برای پاک سازی دارد (Howard, 1991; Squillace et al., 1996).

چندین ترکیب اکسیجن دار از سال ۱۹۷۰ به عنوان تقویت کننده های عدد اوکتان بنزین به جای سرب استفاده شده اند. علاقه به ترکیبات اکسیجن دار به دلیل کاربرد آنها در بهبود احتراق و به عنوان جایگزینی برای ترکیبات اروماتیک افزایش یافته است. MTBE و ایتانول (که به عنوان

سوخت استفاده می‌شود) مهم‌ترین افزودنی‌های اکسیجن‌دار در بنزین هستند که برای افزایش عدد اوکتان سوخت و کاهش کاربن مونو اکساید و اوزون به کار می‌روند. در بازار اروپا، MTBE نسبت به تمام ترکیبات اکسیجن‌دار اهمیت بیش‌تر دارد.

اگرچه آلوده‌کننده‌های گازهای آگروز ناشی از ترافیک به‌طور مؤثری توسط مبدل‌های کتلیستی کاهش می‌یابند، اما ممکن است به غلظت‌های MTBE در هوای محیط کمک کنند. MTBE خود می‌تواند در گازهای آگروز زمانی که بنزین حاوی MTBE استفاده می‌شود، وجود داشته باشد. سرنوشت MTBE در محیط زیست موضوعی نگران‌کننده است، زیرا شکایات زیادی درباره اثرات تحریک‌کننده MTBE بر چشم‌ها یا ریه‌ها در مناطقی که از MTBE به عنوان افزودنی بنزین استفاده می‌کنند، گزارش شده است.

اوزمان و هم‌کاران (۱۹۹۳) تأثیر افزودن MTBE (۱۰ تا ۲۰ فیصد حجم) به بنزین بدون سرب را بر روی انتشار HC ، CO و CO_2 از یک انجن چهار سلندر اوپل در شرایط عملیاتی مختلف (۱۰ تا ۵۰ اسب بخار) مطالعه کردند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که افزودن MTBE منجر به کاهش انتشار HC و CO بهبود عملکرد انجن شده است (Pouloupoulos & Philippopoulos, 2000).

بازار MTBE در اروپا و ایالات متحده غالب است؛ با این حال، استفاده از آن به دلیل حل‌شدگی بالا در آب، اثرات زهری و محصولات تجزیه‌ای که باعث نگرانی‌های محیط زیست شده‌اند، محدود شده است. علاوه بر MTBE، ایتراهای دیگری مانند ایتایل ترشیری بیوتایل ایترا (ETBE؛ ۲-ایتوکسی-۲-میتایل پروپان)، ترشیری امایل میتایل (TAME؛ ۲-میتوکسی-۲-میتایل بیوتان) و ترشیری امایل ایتایل ایترا (TAEE؛ ۲-ایتوکسی-۲-میتایل بیوتان) نیز به عنوان افزودنی‌های اکسیجن‌دار مورد توجه روزافزونی قرار گرفت است (Pouloupoulos & Philippopoulos, 2000).

افزودنی ایتایل ترشیری بیوتایل ایترا (ETBE): افزودنی ایتایل ترشیری بیوتایل ایترا (ETBE) یک مالیکول اکسیجن‌دار است که به‌عنوان افزودنی به بنزین اضافه می‌شود تا عدد اوکتان را افزایش داده و انتشار گازهای آلوده‌کننده هوا را کاهش می‌دهد. این ترکیب از تعامل ایتلین (حاصل از منابع تجدیدپذیر مانند ایتانول) و ایزوبیوتین تولید می‌شود و به‌عنوان جایگزینی سازگار با محیط زیست برای ترکیبات اروماتیک و سایر مالیکول‌های اکسیجن‌دار مانند MTBE شناخته می‌شود (Domingues et al., 2012; Soto et al., 2023; Yee et al., 2013).

مطالعات نشان می‌دهد که افزودن ETBE به بنزین منجر به کاهش فشار بخار مشبوع (RVP) می‌شود. این ویژگی به ویژه در بنزین که دارای مقادیر بالایی از مرکبات اروماتیک است، چشمگیرتر بود. برخلاف ایتانول و MTBE که افزایش RVP را به همراه دارند، ETBE با کاهش فشار بخار، تبخیر بنزین در حرارت بالا را محدود کرده و از انتشار ترکیبات مفر جلوگیری می‌کند. این موضوع برای مناطق گرمسیری که تبخیر بنزین مشکل‌ساز است، اهمیت خاص دارد (Mužíková et al., 2009).

ETBE با افزایش عدد اوکتان تحقیقی (RON) و عدد اوکتان انجن (MON)، مقاومت بنزین را در برابر پدیده ضربه زدن (Knocking) بهبود می‌بخشد. تجارب نشان می‌دهند افزودن ۲۵٪ حجمی ETBE به بنزین GasB (با ترکیب پارافین‌های شاخه دار و نفتین‌ها) موجب افزایش RON از ۸۲ به ۱۳۳ و MON از ۷۹ به ۱۲۱ می‌شود. این بهبود به دلیل ساختار شاخه دار ETBE است که از تشکیل رادیکال‌های ناپایدار در مرحله پیش احتراق جلوگیری می‌کند (Elfasakhany, 2015).

ETBE در مقایسه با MTBE انحلالیت کمتری در آب دارد و خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دهد. همچنین، با جایگزینی ترکیبات اروماتیک (مانند تولوئین)، انتشار هایدروکاربن‌های ناسوخته و ذرات معلق را که در تشکیل آلودگی فوتو کیمیاوی نقش دارند، محدود می‌کند. مطالعات Pouloupoulos و هم‌کاران (۲۰۰۰) نشان داده است که استفاده از مرکبات اکسیجن دار مانند ETBE منجر به کاهش ۱۰-۱۲٪ در انتشار کاربن مونو اکساید (CO) می‌شود (Elfasakhany, 2015).

جدول (۱): فواید و معایب افزودنی‌های اکسیجن دار.

افزودنی‌ها	فواید	معایب
الکولهای اروماتیک	آن‌ها در افزایش عدد اوکتان در دوزهای بالای ۱۰٪ مؤثر هستند.	آن‌ها بسیار سرطان‌زا هستند و به راحتی توسط پوست جذب می‌شوند.
ایتانول	این دارای عدد اوکتان تحقیقاتی (RON) بالاتری (۱۰۹) است. این امکان را برای نسبت فشاری بالاتر، زمان احتراق کوتاه تر و احتراق لاغرتر در انجن فراهم می‌کند. هم‌چنین انتشار آلوده کننده مضر را کاهش می‌دهد.	معایب ایتانول شامل کثافت انرژی پایین‌تر آن نسبت به بنزین، خوردگی و شعله کم آن است.

معایب میتانول مشابه ایتانول است. راه‌اندازی خودرو در هوای سرد دشوارتر خواهد بود	این دارای عدد اوکتان تحقیقاتی (RON) بالاتری (۱۲۹-۱۳۴) است. می‌توان از آن به‌طور مستقیم به‌عنوان سوخت تمیز یا به‌عنوان افزودنی به بنزین استفاده کرد.	میتانول
MTBE ممکن است برای حیوانات و انسان‌ها در آب‌های آشامیدنی سرطان‌زا باشد	MTBE به‌عنوان آکسیجن‌زا برای افزایش عدد اوکتان بنزین استفاده می‌شود. آکسیجن به بهتر سازی اکسیدیشن در حین احتراق کمک می‌کند.	میتایل ترشیری بیوتایل ایتر (MTBE)
معایب میتانول مشابه ایتانول است. راه‌اندازی وسایط نقلیه در هوای سرد دشوارتر خواهد بود	این افزودنی دارای عدد اوکتان (RON) بالاتری (۱۲۹-۱۳۴) است. می‌توان از آن به‌طور مستقیم به‌عنوان سوخت تمیز یا به‌عنوان افزودنی به بنزین استفاده کرد	میتانول
معایب مشابه MTBE دارد اما پایداری و در محیط آبی زود تجزیه می‌شود.	ETBE عدد اوکتان بالایی دارد، انتشار CO و HC را کاهش می‌دهد و به دلیل نقطه غلیان بالاتر از MTBE، فراریت کمتری دارد.	ایتایل ترشیری بیوتایل ایتر (EBE)

نتیجه‌گیری

نظر به مطالعه که صورت گرفت، به این نتیجه می‌رسیم که استفاده از افزودنی‌های اکسیجن‌دار راه‌کاری مؤثر و ضروری برای بهبود کیفیت بنزین، افزایش عدد اوکتان و کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست ناشی از احتراق ناقص این سوخت است. این افزودنی‌ها با مکانیزم‌های مانند تولید اکسیجن اضافی برای احتراق کامل‌تر، کاهش تشکیل رادیکال‌های آزاد زودرس (عامل کوبش) به‌طور هم‌زمان عملکرد انجن و شاخص‌های آلوده‌کننده را بهبود می‌بخشند.

تحقیقات نشان می‌دهد که ایتانول و میتانول به دلیل عدد اوکتان تحقیقاتی (RON) بالا (به ترتیب حدود ۱۰۹ و ۱۲۹-۱۳۴)، احتراق پاک‌تر، انتخاب مناسب‌تری هستند. ولی نظر به انرژی پایین‌تر، خوردندگی و مشکلات راه‌اندازی در هوای سرد، استفاده از آن‌ها را محدود می‌کند. از طرف دیگر، MTBE افزایش‌دهنده عدد اوکتان و بهبوددهنده احتراق شناخته می‌شود، اما به دلیل زهری بودن، با محدودیت‌های شدید محیط‌زیست مواجه شده است.

هم‌چنان، ETBE به‌عنوان یک جایگزین سازگارتر با محیط‌زیست مطرح می‌گردد. این افزودنی نه تنها عدد اوکتان را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد، بل که به دلیل فشار بخار پایین‌تر، فراریت

و انتشار تبخیری کمتری دارد. همچنین، تجزیه بهتر آن در محیط آبی در مقایسه با MTBE، خطر آلودگی درازمدت آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دهد. بنابراین، ETBE می‌تواند نقش متعادل‌کننده‌ای بین کارایی سوخت و ملاحظات طبی و محیط‌زیست ایفا کند. در کل، انتخاب افزودنی‌های بهتر به فکتورهای متعددی از جمله شرایط آب‌وهوا، ساختمان انجن، ملاحظات اقتصادی، دسترسی به مواد اولیه و بالاتر از همه، قوانین سختگیرانه محیط‌زیست بستگی دارد. برای دستیابی به توسعه پایدار در بخش حمل‌ونقل، سیاست‌گذاری یک‌پارچه که بهبود کیفیت سوخت، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌های و آلوده‌کننده‌های زهری و حفظ سلامت ایکوسیستم‌ها را هم‌زمان هدف قرار دهد، ضروری به نظر می‌رسد.

پیشنهاده‌ها

برای جلوگیری از آلوده شدن محیط زیست و سوخت بهتر بنزین در انجن پیشنهادات ذیل در نظر گرفته شود.

- ۱- تولید ایتانول از ضایعات زراعتی و علاوه نمودن ۱۰ فیصد در بنزین؛
- ۲- نصب برچسب‌های عدد اوکتان و نوع افزودنی در تمام تانک تیل یا پمپ استیشن‌های شهری؛
- ۳- ارائه سمینارها و ورکشاپ‌ها جهت استفاده بنزین با اوکتان بالا.

منابع

- امانلو، فروشان، ک.، & محمدی. (۲۰۲۱). بررسی و ارزیابی آلاینده‌های حاصل از خودروهای سواری در ایران. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست پوهنتون تبریز، ۵۱(۱۰۵)، ۹۷-۱۰۸.
- خوشکلام. (۲۰۱۴). اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف بنزین و گازوئیل در ایران با تأکید بر بخش حمل و نقل: رویکرد مدل تعادل عمومی قابل محاسبه. پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۳(۱۱)، ۱۵۹-۱۹۴.
- موسی، خ. خ. (۲۰۱۴). اثرات بازگشتی ناشی از بهبود کارایی مصرف بنزین و گازوئیل در ایران با تأکید بر بخش حمل و نقل: رویکرد مدل تعادل عمومی قابل محاسبه.
- ناظمیان، & حقدوست. (۲۰۱۲). بررسی امکان صرفه‌جویی در مصرف سوخت و کاهش آلودگی هوا با استفاده از خودروهای برقی-بنزینی (الکتروهیبرید). پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۱(۴)، ۱۹۶-۱۶۹.
- Amaral, L. V., Santos, N. D. S. A., Roso, V. R., de Oliveira Sebastião, R. d. C., & Pujatti, F. J. P. (2021). Effects of gasoline composition on engine performance, exhaust gases and operational costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110196.
- Aneja, V. P. (1994). Workshop on the intercomparison of methodologies for soil NOx emissions: summary of discussion and research recommendations. *Air & Waste*, 44(8), 977-982.
- Ashida, K., Maeda, H., Araki, T., Hoshino, M., Hiraya, K., Izumi, T., & Yasuoka, M. (2015). Study of an on-board fuel reformer and hydrogen-added EGR combustion in a gasoline engine. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 8(2), 358-366.
- Boden, J. L. (2018). US Retail Fuel Companies' Perceptions Regarding the Adoption-Diffusion of Higher Ethanol Fuel Blends.
- Calvert, J., Heywood, J., Sawyer, R., & Seinfeld, J. (1993). Achieving acceptable air quality: some reflections on controlling vehicle emissions. *Science*, 261(5117), 37-45.
- Cerri, T., D'Errico, G., & Onorati, A. (۲۰۱۳). Experimental investigations on high octane number gasoline formulations for internal combustion engines. *Fuel*, 111, 305-315.
- Da Silva, R., Cataluna, R., de Menezes, E. W., Samios, D., & Piatnicki, C. M. S. (2005). Effect of additives on the antiknock properties and Reid vapor pressure of gasoline. *Fuel*, 84(7-8), 951-959.

- Demirbas, A., Balubaid, M., Basahel, A., Ahmad, W., & Sheikh, M. (2015). Octane rating of gasoline and octane booster additives. *Petroleum Science and Technology*, 33(11), 1190-1197.
- Domingues, L., Pinheiro, C. I., Oliveira, N. M., Fernandes, J., & Vilelas, A. (2012). Model development and validation of ethyl tert-butyl ether production reactors using industrial plant data. *Industrial & engineering chemistry research*, 51(46), 15018-15031.
- Elfasakhany, A. (2015). Investigations on the effects of ethanol-methanol-gasoline blends in a spark-ignition engine: Performance and emissions analysis. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18(4), 713-719.
- Eyidogan, M., Ozsezen, A. N., Canakci, M., & Turkcan, A. (2010). Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine. *Fuel*, 89(10), 2713-2720.
- Foong, T. M., Morganti, K. J., Brear, M. J., da Silva, G., Yang, Y., & Dryer, F. L. (2014). The octane numbers of ethanol blended with gasoline and its surrogates. *Fuel*, 115, 727-739.
- Gupta, H. N. (2025). *Fundamentals of internal combustion engines*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Heywood, J. (2018). Internal combustion engine fundamentals.
- Heywood, J. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals 2E*. McGraw Hill LLC.
- <https://books.google.com.af/books?id=OmJUDwAAQBAJ>
- Heywood, J. B. (1988). Combustion engine fundamentals. 1^a Edição. Estados Unidos, 25, 1117-1128.
- Howard, P. H. (1991). *Handbook of environmental degradation rates*. CRC Press.
- Kalghatgi, G. (2013). *Fuel/engine interactions*. SAE international.
- Kirchstetter, T. W., Singer, B. C., Harley, R. A., Kendall, G. R., & Chan, W. (1996). Impact of oxygenated gasoline use on California light-duty vehicle emissions. *Environmental Science & Technology*, 30(2), 661-670.
- Kirkpatrick, A. T. (2020). *Internal combustion engines: applied thermosciences*. John Wiley & Sons.
- Koehl, W. J., Benson, J. D., Burns, V. R., Gorse jr, R. A., Hochhauser, A. M., & Reuter, R. M. (1991). Effects of gasoline composition and properties on vehicle emissions: a review of prior studies-Auto/Oil air quality improvement research program. *SAE transactions*, 715-747.
- Labeckas, G., Slavinskas, S., & Kanapkienė, I. (2017). The individual effects of cetane number, oxygen content or fuel

- properties on the ignition delay, combustion characteristics, and cyclic variation of a turbocharged CRDI diesel engine-Part 1. *Energy Conversion and Management*, 148, 100. ۳-۱۰۲۷
- Lalnunthari, J., & Thanga, H. (2015). Detection of Methyl tert-butyl Ether (MTBE) in Gasoline Fuel using FTIR: ATR spectroscopy. *International Research Journal of Environmental*, 4(12), 65-68 .
- Lu, A., Zhang, C., Ji, P., & Li, Y. (2021). Effect of gasoline additive on combustion and emission characteristics of an n-butanol Partially Premixed Compression Ignition engine under different parameters. *Scientific Reports*, 11(1), 1904 .
- Machado, G. B., Barros, J. E., Braga, S. L., Braga, C. V. M., da Silva, A. H. d. F., & de Azevedo, E. C. (2016). Influence of gasoline components on engine efficiency and emissions. *Oil & Gas Science and Technology-Revue d'IFP Energies nouvelles*, 71(1), 12 .
- Machado, G. B., Barros, J. E., Braga, S. L., Braga, C. V. M., De Oliveira, E. J., da Silva, A. H. d. F., & Carvalho, L. d. O. (2011). Investigations on surrogate fuels for high-octane oxygenated gasolines. *Fuel*, 90(2), 640-646 .
- Masuk, N. I., Mostakim, K., & Kanka, S. D. (2021). Performance and emission characteristic analysis of a gasoline engine utilizing different types of alternative fuels: A comprehensive review. *Energy & fuels*, 35(6), 4644-4669 .
- McGregor, D. (2006). Methyl tertiary-butyl ether: studies for potential human health hazards. *Critical Reviews in Toxicology*, 36(4), 319-358 .
- Moriarty, P., & Honnery, D. (2016). Global transport energy consumption. *Alternative energy and shale gas encyclopedia*, 651-656 .
- Mužíková, Z., Pospíšil, M., & Šebor, G. (2009). Volatility and phase stability of petrol blends with ethanol. *Fuel*, 88(8), 1351-1356 .
- Pelkmans, L., Govaerts, L., & Kessels, K. (2008). Inventory of biofuel policy measures and their impact on the market. *Biofuel policies for dynamic markets* .
- Poulopoulos, S., & Philippopoulos, C. (2000). Influence of MTBE addition into gasoline on automotive exhaust emissions. *Atmospheric Environment*, 34(28), 4781-4786 .
- Serih, K. H., & Abd, M. A. A. (2022). Determination of tetraethyl lead in gasoline fuel. *Al-Kufa University Journal for Biology*, 14(1), 38-47 .
- Shi, H ., Tang, Q., Uddeen, K., Johansson, B., Turner, J., & Magnotti, G. (2022). Effects of multiple spark ignition on engine

- knock under different compression ratio and fuel octane number conditions. *Fuel*, 310, 122471 .
- Soto, R., Fité, C., Ramírez, E., Tejero, J., & Cunill, F. (2023). Deactivation of macroporous ion-exchange resins by acetonitrile and inhibition by water in the simultaneous synthesis of ethyl tert-butyl ether (ETBE) and tert-amyl ethyl ether (TAEE). *Reaction Chemistry & Engineering*, 8(2), 389-4 .
- Squillace, P. J., Zogorski, J. S., Wilber, W. G., & Price, C. V. (1996). Preliminary assessment of the occurrence and possible sources of MTBE in groundwater in the United States, 1993– 1994. *Environmental Science & Technology*, 30(5), 1721-1730 .
- Stone, R. (1999). *Introduction to internal combustion engines* (Vol. 3). Springer .
- Waxman, H. A. (1991). An overview of the clean air act amendments of 1990. *Envtl. L.*, 21, 1721 .
- Yee, K. F., Mohamed, A. R., & Tan, S. H. (2013). A review on the evolution of ethyl tert-butyl ether (ETBE) and its future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 604-620 .
- Yin, X., Chen, W., Eom, J., Clarke, L. E., Kim, S. H., Patel, P. L., Yu, S., & Kyle, G. P. (2015). China's transportation energy consumption and CO2 emissions from a global perspective. *Energy Policy*, 82, 233-248 .
- Yue, L., Wu, C., & Zhang, M. (2015). Natural resources efficiency and green growth: a unified analysis framework. *Energy Educ. Sci. Technol. B*, 7, 291-300 .
- Zhang, X., Zhang, S., Zhao, Y., Liu, J., Zhang, S., Wen, M., & Liu, H. (2023). Effects of different additives on physicochemical properties of gasoline and vehicle performance. *Fuel Processing Technology*, 242, 107668 .