پوهنتون پولی تخنیک کابل
مجله علم و تکنالوژی
جلد۵۳ - شماره ۲
سنبله- سال ۱۴۰۴ - هـ.ش.
تاریخ دریافت اثر: ۱۴۰۴/۴/۱۰
تاریخ قبـولی اثر: ۱۴۰۴/۶/۶
P-ISSN: 2305 - 896X
KPU-JST

مرور بر عدد اکتان در بنزین و نقش آن در احتراق داخلی انجن

پوهاند دوکتور اسرارالدین گلزاد*[1]،محمدیونس حقیار *[2]

* 1 استاد دیپارتمنت انجنیری صنایع کیمیاوی نفت و گاز، پوهنځی انجنیری صنایع کیمیاوی، پوهنتون پولی تخنیک کابل، ناحیه پنج کابل
Assrarudingulzad@gmail.com

*2 محصل برنامه ماستری انجنیری صنایع کیمیاوی نفت و گاز، پوهنځی انجنیری صنایع کیمیاوی، پوهنتون پولی تخنیک کابل، ناحیه پنج کابل
younis18haqiar@gmail.com

خلاصه:

عدد اکتان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت بنزین، نقشی اساسی در عملکرد و ایمنی انجن‌های احتراق داخلی دارد. این عدد نمایانگر مقاومت سوخت در برابر پدیده احتراق خودبه‌خودی یا احتراق انفجاری در انجن‌های جرقه‌ای است، پدیده‌ای که در صورت وقوع، نه‌تنها باعث افت توان خروجی انجن می‌شود، بلکه می‌تواند منجر به آسیب جدی به قطعات داخلی انجن نیز گردد. بنابراین، استفاده از سوخت با عدد اکتان مناسب، عاملی کلیدی در بهترسازی عملکرد انجن، افزایش بازدهی حرارتی، کاهش آلوده‌کننده‌ها و افزایش دوام تجهیزات انجن‌ها محسوب می‌شود.

با پیشرفت‌های مداوم در تکنالوژی ساخت انجن، به‌ویژه در جهت افزایش نسبت تراکم، نیاز به سوخت‌هایی با عدد اکتان بالاتر بیش‌ازپیش احساس می‌شود. از سوی دیگر، پالایشگاه‌های نفت و صنایع پتروشیمی نیز تلاش‌های گسترده‌ای برای تولید بنزین با اکتان بالا از طریق بهبود پروسه‌های پالایشی و استفاده از افزودنی‌های کیمیاوی انجام داده‌اند. افزودنی‌هایی مانند MTBE، الکول‌ها و سایر تقویت‌کننده‌های عدد اکتان، امکان دستیابی به سوخت‌هایی با کیفیت بالاتر و عملکرد پایدارتر را فراهم کرده‌اند؛ هرچند برخی از این ترکیبات به دلیل نگرانی‌های محیط زیستی با محدودیت‌هایی در مصرف مواجه‌اند.

این مقاله با رویکردی مروری، به بررسی جامع مفاهیم عدد اکتان، روش‌های اندازه‌گیری ، عوامل مؤثر بر افزایش یا کاهش آن، نقش آن در پروسه احتراق انجن‌های جرقه‌ای و تأثیر آن بر طراحی و عملکرد انجن می‌پردازد. همچنین رابطه متقابل بین عدد اکتان و ویژگی‌های ساختاری انجن، به‌ویژه نسبت تراکم، بازده حرارتی و پدیده احتراق انفجاری تحلیل شده است. در پایان، مروری بر جدیدترین پژوهش‌ها، تکنالوژی‌های نوین در تولید بنزین با اکتان بالا و چالش‌های محیط زیستی و اقتصادی مرتبط با آن ارائه گردیده و پیشنهاداتی برای مسیرهای آینده تحقیقاتی مطرح می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: عدد اکتان، بنزین، احتراق انفجاری ، افزودنی‌های سوخت، بازده حرارتی، پالایشگاه، صنایع پتروشیمی

۱. مقدمه

در دنیای امروز، با گسترش روزافزون صنعت حمل‌ونقل، نیاز به سوخت‌های باکیفیت و سازگار با انجن‌های پیشرفته به یکی از دغدغه‌های اصلی دولت‌ها، صنایع و جامعه علمی تبدیل شده است. بنزین به عنوان سوخت اصلی وسایل نقلیه سبک، به‌ویژه موترهای مجهز به انجن‌های جرقه‌ای (Spark Ignition Engines)، باید دارای ویژگی‌هایی باشد که ضمن تضمین عملکرد بهتر انجن، از آسیب به قطعات میخانیکی و افزایش آلوده‌کننده‌های محیط زیست جلوگیری کند. در این میان، عدد اکتان به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی بنزین، معیاری تعیین‌کننده برای سنجش مقاومت سوخت در برابر احتراق زودهنگام یا خودبه‌خودی (احتراق انفجاری) در محفظه احتراق انجن محسوب می‌شود .[1, 2]

احتراق انفجاری ، که از آن به‌عنوان یک پدیده ناخواسته و مضر در پروسه احتراق یاد می‌شود، زمانی رخ می‌دهد که مخلوط سوخت و هوا در سیلندر، پیش از رسیدن موج جرقه از سوی شمع، در اثر فشار و حرارت بالا، به‌طور خودبه‌خودی منفجر شود. این احتراق ناخواسته منجر به لرزش انجن، افت بازدهی، افزایش حرارت عملیاتی، افزایش مصرف سوخت، تولید آلوده‌کننده‌های بیشتر و در نهایت کاهش عمر انجن می‌گردد [34]. سوخت‌هایی که دارای عدد اکتان بالاتری هستند، مقاومت بیشتری در برابر این پدیده دارند و در نتیجه، امکان طراحی انجن‌هایی با نسبت تراکم بالاتر، بازدهی حرارتی بالاتر و آلوده‌کننده‌گی کمتر را فراهم می‌سازند. [4, 5]

با توجه به پیشرفت‌های تکنالوژی در ساخت انجن‌ها و حرکت به‌سوی بهترسازی مصرف انرژی، انجن‌های جدید برای دستیابی به کارایی بیشتر، نیازمند سوخت‌هایی با عدد اکتان بالاتر از مقادیر سنتی هستند. در دهه‌های گذشته، عدد اکتان بنزین تجاری در محدوده از 80 تا 92 قرار داشت، اما امروزه بسیاری از موترهای جدید نیازمند سوخت‌هایی با عدد اکتان 95 و حتی بالاتر هستند، به‌ویژه در شرایط رانندگی با بار زیاد یا در ارتفاعات. [6]

از دیدگاه صنایع پتروشیمی، ارتقای عدد اکتان بنزین حاصل مجموعه‌ای از تکنالوژی‌های پالایشی شامل ریفورمینگ کتلستی (Catalytic Reforming)، الکایلیشن (Alkylation)، ایزومیرایزیشن (Isomerization) و استفاده از افزودنی‌های کیمیاوی (Octane Boosters) نظیر MTBE، ETBE، الکول‌ها (مانند ایتانول و میتانول)، تولوین و ایزواکتان می‌باشد. هرکدام از این روش‌ها با هدف اصلاح ساخت ار مالیکولی هایدروکاربن‌های سبک در بنزین و افزایش ترکیبات منشعب یا اروماتیک اجرا می‌شوند که منجر به افزایش عدد اکتان می‌گردد. [7,8]

با این حال، استفاده از برخی افزودنی‌ها، به‌ویژه MTBE، با مسائل محیط زیستی و سلامت انسان همراه بوده است. ورود MTBE به منابع آب زیرزمینی و پایداری بالای آن در محیط، موجب ممنوعیت یا محدودیت شدید استفاده از آن در بسیاری کشورها شده است. این موضوع انگیزه‌ای برای گسترش پژوهش‌ها در زمینه افزودنی‌های جایگزین و بنزین‌های با منشأ زیستی (Bio-Gasoline) شده است .[9-11]

در کنار جنبه‌های فنی، چالش‌های اقتصادی نیز وجود دارد. تولید بنزین با عدد اکتان بالا نیازمند واحدهای پالایشی پیشرفته، مصرف انرژی بیشتر و سرمایه‌گذاری اولیه بالاتر است. این مسائل در کشورهای در حال توسعه، به‌ویژه آن‌هایی که زیرساخت‌های فنی محدودی دارند، به مانع مهمی در مسیر تولید سوخت‌های باکیفیت بدل شده است .[12]

با توجه به این پیچیدگی‌ها، درک جامع از مفهوم عدد اکتان، عوامل مؤثر بر آن، روش‌های افزایش آن و تأثیر آن بر عملکرد انجن‌های احتراق داخلی، ضرورتی انکارناپذیر برای محققان، انجنیران و سیاست‌گذاران حوزه انرژی است. این مقاله با رویکردی مروری، تلاش می‌کند تا:

- ابتدا مفاهیم بنیادی عدد اکتان، روش‌های لابراتواری و صنعتی اندازه‌گیری آن را تبیین کند؛
- سپس نقش عدد اکتان در پروسه احتراق انجن‌های جرقه‌ای و ارتباط آن با پارامترهایی چون نسبت تراکم، توان خروجی و احتراق انفجاری را بررسی نماید؛
- در ادامه، مروری بر پروسه‌های ارتقای عدد اکتان و افزودنی‌های رایج ارائه دهد؛

- در نهایت، به چالش‌های اقتصادی، محیط زیستی و آینده‌تحقیقی در زمینه سوخت‌های اکتان بالا بپردازد.

2. مبانی عدد اکتان و روش‌های اندازه‌گیری آن

عدد اکتان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی سوخت بنزین است که مقاومت آن را در برابر احتراق زودرس (احتراق انفجاری) در انجن‌های جرقه‌ای تعیین می‌کند. این شاخص نقشی کلیدی در طراحی سوخت و انجن دارد و می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کارایی، بازدهی حرارتی، آلوده‌کنندگی و عمر مفید انجن داشته باشد. در این بخش، به تعاریف اساسات، انواع عدد اکتان، روش‌های اندازه‌گیری و عوامل مؤثر بر آن به طور مفصل پرداخته می‌شود.

2.1. تعریف و اهمیت عدد اکتان

عدد اکتان سوخت، معیاری کمی است که نشان‌دهنده مقاومت آن در برابر احتراق قبل ازوقت (knock) تحت شرایط عملیاتی انجن است. احتراق انفجاری به صورت یک پدیده ناخواسته و مخرب رخ می‌دهد که در آن سوخت در اثر فشار و حرارت بالا، به صورت غیرقابل کنترول 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. [2,13]

مفهوم عدد اکتان به منظور توصیف رفتار احتراق سوخت در انجن استندرد CFR (Cooperative Fuel Research) ارائه شده است. این عدد نشان می‌دهد که سوخت مورد آزمایش چه رفتاری مشابه مخلوطی از دو هایدروکاربن ایزو اکتان نورمال هفتان نشان میدهدایزو اوکتان (2,2,4-تری‌متیل‌پنتان) بنا به خصوصیات مناسب که داردا مقاوم‌ترین سوخت نسبت به احتراق انفجاری است وعدداوکتان ان 100 واحد قبول گردیده است اما نارمل-هپتان $CH_3–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_3$ (که بیشترین حساسیت را از نظر مقاومت احتراق دارد عدداوکتان ان صفر قبول گردیده است برای مثال، عدد اکتان 90 به معنای آن است که سوخت آزمایش شده مقاومت احتراق مشابه مخلوطی با 90 درصد ایزواکتان و 10 درصد نارمل-هپتان دارد. [14,15]

2.2. انواع عدد اکتان و تفاوت‌های آن

عدد اکتان به صورت چند نوع مختلف تعریف می‌شود که هر کدام در شرایط متفاوت اندازه‌گیری شده و برای کاربردهای خاصی استفاده می‌شوند:

- **عدد اکتان تحقیقات (Research Octane Number – RON)**: این شاخص تحت شرایط سرعت انجن پایین (600 دور بر دقیقه) و بار سبک در انجن CFR اندازه‌گیری می‌شود. RON بیشتر نشان‌دهنده رفتار سوخت در شرایط معمولی رانندگی شهری است و معمولاً برای دسته‌بندی سوخت‌های تجاری کاربرد دارد. [16]
- **عدد اکتان موتوری (Motor Octane Number – MON)**: این عدد تحت شرایط سخت‌تر و سرعت بالاتر (900 دور بر دقیقه) و بار بیشتر اندازه‌گیری می‌شود و نشان‌دهنده مقاومت سوخت در شرایط عملکرد شدید انجن است. MON معمولاً کمتر از RON است و در شرایط عملکرد دینامیکی انجن، کاربرد بیشتری دارد. [16,17]
- **عدد اکتان متوسط (Anti-Knock Index – AKI)**: این شاخص میانگین RON و MON است و معمولاً روی برچسب‌های بنزین فروشگاهی در آمریکا و کانادا درج می‌شود. محاسبه AKI به صورت (RON + MON)/2 انجام می‌شود. [18]

تفاوت‌های بین این شاخص‌ها اهمیت ویژه‌ای در تعیین کیفیت و کاربرد سوخت‌ها در شرایط مختلف انجن دارد و هرکدام

اطلاعات مکملی را ارائه می‌دهند.

2.3. روش‌های اندازه‌گیری عدد اکتان

2.3.1. روش استندرد انجن CFR

روش اندازه‌گیری عدد اکتان از طریق انجن لابراتواری CFR، به عنوان روش مرجع و استندرد بین‌المللی پذیرفته شده است. در این روش، سوخت مورد آزمایش در انجن CFR که دارای نسبت تراکم قابل تنظیم است، استفاده می‌شود. نسبت تراکم انجن به گونه‌ای تنظیم می‌شود که در آستانه وقوع احتراق انفجاری قرار گیرد و سپس عدد اکتان به عنوان معیاری برای مقایسه با مخلوط استندرد ایزواکتان و نارمل-هپتان تعیین می‌شود .[19]

این روش به دلیل دقت و استندرد بودن، در توسعه سوخت‌ها و استندردهای صنعتی اهمیت فراوان دارد اما هزینه‌بر و زمان‌بر بودن آن، موجب شده است که روش‌های جایگزین نیز توسعه یابند.

2.3.2. روش‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی

پیشرفت‌های اخیر در علوم و کیمیای محاسباتی منجر به توسعه روش‌های جایگزینی شده که با استفاده از ترکیب ارقام تجربی و مدل‌های ریاضی، عدد اکتان را پیش‌بینی می‌کنند. از جمله این روش‌ها می‌توان به مدل‌های QSPR (Quantitative Structure-Property Relationships) و یادگیری ماشین (Machine Learning) اشاره کرد که با بهره‌گیری از ساختار کیمیاوی مالیکول‌های سوخت و ارقام لابراتواری، امکان پیش‌بینی عدد اکتان را با دقت بالا فراهم می‌کنند. [4,20]

این روش‌ها برای کاهش هزینه‌های لابراتواری، تسریع پروسه طراحی سوخت و بررسی سوخت‌های جدید (از جمله سوخت‌های زیستی) کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند.

2.3.3. روش‌های میدانی و سنجش عملکرد انجن واقعی

برخی تحقیقات به بررسی عملکرد واقعی انجن‌های جرقه‌ای با سوخت‌های مختلف پرداخته‌اند تا تاثیر عدد اکتان در شرایط عملیاتی واقعی اندازه‌گیری شود. این روش‌ها هرچند از دقت لابراتواری CFR برخوردار نیستند، اما اطلاعات مهمی درباره تاثیر عدد اکتان بر مصرف سوخت، آلوده‌کنندگی و عمر انجن فراهم می‌کنند و در توسعه استندردهای مصرف سوخت کاربرد دارند. [21]

2.4. عوامل مؤثر بر عدد اکتان

عوامل مختلفی بر مقدار عدد اکتان بنزین تأثیر می‌گذارند که به شرح زیر هستند:

2.4.1 ساختار کیمیاوی ترکیبات سوخت

ساختار مالیکولی سوخت نقشی کلیدی در تعیین عدد اکتان ایفا می‌کند. ترکیبات هایدروکاربنی منشعب (Branched alkanes) به دلیل داشتن ساختار پایدارتر، دارای عدد اکتان بالاتری نسبت به الکان‌های خطی (Linear alkanes) هستند. همچنین هایدروکاربن‌های اروماتیک معمولاً عدد اکتان بسیار بالایی دارند، اما مصرف زیاد آن‌ها به دلیل تولید آلوده‌کننده‌های محیط زیستی محدود شده است. [8,22]

2.4.2. ترکیبات افزودنی (Octane Boosters)

افزودنی‌های مختلفی به بنزین افزوده می‌شوند تا عدد اکتان را بهبود بخشند. از جمله این افزودنی‌ها می‌توان به ایترهای میتایل تیرشیری بیوتایل (MTBE)، ایتایل ترشیری بیوتایل (ETBE)، الکول‌ها (ایتانول، میتانول) و سایر ترکیبات کیمیاوی اشاره کرد. این مواد علاوه بر افزایش عدد اکتان، می‌توانند اثرات محیط زیستی مثبتی نیز داشته باشند؛ اما

برخی همچون MTBE به علت آلودگی منابع آب زیرزمینی با محدودیت‌هایی مواجه شده‌اند. [23,24]

2.4.3. *پارامترهای عملیاتی انجن*

شرایط کارکرد انجن شامل حرارت، فشار، نسبت سوخت به هوا و بار انجن نیز می‌توانند بر میزان احتراق انفجاری و در نتیجه عدد اکتان مؤثر باشند. به عنوان مثال، افزایش نسبت تراکم انجن موجب افزایش احتمال احتراق انفجاری شده و در نتیجه نیاز به عدد اکتان بالاتر دارد. [25]

2.4.4. *تأثیر سوخت‌های زیستی*

استفاده از سوخت‌های زیستی مانند ایتانول، بیوتانول و بیوگازولین که عدد اکتان بالاتری دارند، به عنوان رویکردی پایدار برای بهبود عدد اکتان مطرح شده است. این سوخت‌ها می‌توانند جایگزین یا مکمل بنزین‌های فسیلی شده و نقش مهمی در کاهش آلوده‌کننده‌گی و حفظ منابع انرژی ایفا کنند. [26,27]

3. نقش عدد اکتان در پروسه احتراق داخلی انجن

انجن‌های احتراق داخلی جرقه‌ای (Spark Ignition Engines) به عنوان یکی از پرکاربردترین انواع انجن‌های موتر در جهان، نیازمند سوختی با خواص فزیکی و کیمیاوی بهتر هستند. عدد اکتان به عنوان شاخص اصلی مقاومت سوخت در برابر احتراق قبل ازوقت (احتراق انفجاری)، نقش اساسی در تضمین عملکرد بهتر این انجن‌ها ایفا می‌کند .[28،2].احتراق انفجاری یکی از عوامل محدودکننده مهم در افزایش نسبت تراکم انجن است، که به طور مستقیم بر بازده حرارتی و کارایی انجن تأثیر می‌گذارد. لذا شناخت دقیق مکانیزم اثر عدد اکتان بر پروسه احتراق، برای طراحی بهتر سوخت و انجن حیاتی است.

3.1. مکانیسم احتراق و پدیده احتراق انفجاری

پروسه احتراق در انجن‌های جرقه‌ای با ایجاد جرقه در محفظه احتراق آغاز می‌شود که موجب مشتعل شدن مخلوط سوخت و هوا می‌شود. این احتراق به صورت شعله‌ای (Flame Propagation) در حال گسترش در کل حجم سیلندر است. هنگامی که سوخت دارای عدد اکتان پایین باشد، بخش‌هایی از مخلوط سوخت و هوا قبل از رسیدن شعله اصلی به آن‌ها، به دلیل فشار و حرارت بالای محفظه، به صورت ناگهانی و انفجاری مشتعل می‌شوند که این پدیده را احتراق انفجاری می‌نامند. [25]

چارت ۱ - شیماتیک مراحل احتراق و مکان وقوع احتراق انفجاری [19,2]



احتراق انفجاری باعث ایجاد موج‌های فشاری ناگهانی و ضربه‌های میخانیکی در انجن می‌شود که نه تنها بازده و توان خروجی انجن را کاهش می‌دهد، بلکه می‌تواند به طور جدی موجب خرابی قطعاتی مانند پیستون، رینگ‌ها، سیلندر و وال ها گردد. [6]

3.2. ارتباط فزیکی-کیمیاوی عدد اکتان با احتراق و احتراق انفجاری

عدد اکتان معیار مقاومتی سوخت در برابر اشتعال خودبه‌خودی (Autoignition) است. سوخت‌هایی با عدد اکتان بالا دارای مالیکول‌هایی با ساختار کیمیاوی پایدارتر و انرژی فعال‌سازی بیشتر برای تعاملات احتراق هستند که موجب تأخیر در پروسه اشتعال خودبخودی می‌شود .[8]

از نظر کیمیاوی، ترکیبات منشعب و اروماتیک معمولاً عدد اکتان بالاتری نسبت به ترکیبات خطی دارند، زیرا تمایل کمتری به شکستن پیوندهای C-H و شروع تعاملات رادیکالی دارند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود شعله اصلی به صورت کنترول‌شده و با سرعت مناسب در سیلندر گسترش یابد و پدیده احتراق انفجاری به حداقل برسد. [29]

3.3. تأثیر عدد اکتان بر طراحی و بهترسازی انجن

افزایش عدد اکتان سوخت اجازه می‌دهد نسبت تراکم انجن افزایش یابد. نسبت تراکم بالاتر به معنای فشردگی بیشتر مخلوط سوخت-هوا و در نتیجه افزایش حرارت احتراق است که بازده حرارتی انجن را بهبود می‌بخشد. [30] با این حال، نسبت تراکم بالا نیازمند سوختی با عدد اکتان متناسب است تا از وقوع احتراق انفجاری جلوگیری کند.

مطالعات لابراتواری نشان داده‌اند که افزایش عدد اکتان از حدود 87 به 95، می‌تواند موجب افزایش بازده سوخت تا ۵ درصد و کاهش مصرف آن شود. که این افزایش، توان خروجی انجن را در شرایط بار بالا زیاد ساخته و دور انجن را بهبود می‌بخشد. [1]

3.4. اثر عدد اکتان بر آلوده‌کنندگی و محیط زیست

احتراق کامل و کنترول‌شده که با سوخت‌های با عدد اکتان بالا حاصل می‌شود، باعث کاهش انتشار گازهای آلوده‌کننده

مانند CO، CO_2 و NO_x می‌شود .[26] همچنین، کاهش پدیده احتراق انفجاری به معنی جلوگیری از احتراق ناقص و تولید ذرات معلق کمتر است که برای حفظ کیفیت هوا و سلامت انسان‌ها بسیار اهمیت دارد.
تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که سوخت‌هایی با اکتان بالا به ویژه در انجن‌های مدرن مجهز به توربوچارجر، می‌توانند تا 10 درصد در کاهش NOx مؤثر باشند. [31]

3.5. تکنالوژی‌های نوین و الزامات عدد اکتان

- توربوچارجینگ ((Turbocharging) یک فناوری در موتورهای احتراق داخلی است که با استفاده از گازهای خروجی اگزوز، هوای ورودی به موتور را فشرده می‌کند تا قدرت و راندمان موتور افزایش یابد .[32]
- تزریق مستقیم سوخت (GDI): که دقت و کنترول تزریق را افزایش می‌دهد .[33]
- کنترول برقی زمان‌بندی احتراق و وال ها .[27]

انجن‌های جدید نیازمند سوخت‌هایی با عدد اکتان بالاتر برای جلوگیری از احتراق انفجاری و بهبود عملکرد هستند. [6] کارخانه‌های موترسازی، برای انجن‌های توربوچارج و با نسبت تراکم بالا، معمولاً سوخت با عدد اکتان 95 و بالاتر توصیه می‌کنند. برای مثال، موترهای مسابقه‌ای F1 از سوخت‌هایی با عدد اکتان بسیار بالا (بیش از 100) استفاده می‌کنند تا بتوانند نسبت تراکم و فشارهای احتراقی بسیار بالا را تحمل کنند. [34]

3.6. ارقام تجربی و نمونه‌های کاربردی

مطالعه‌ای جامع در سال 2024 در مجله Fuels نشان داده است که استفاده از سوخت با عدد اکتان 95 نسبت به 91 در انجن‌های توربوچارج شده با تزریق مستقیم، منجر به:

- کاهش مصرف سوخت تا 2.5%
- افزایش توان انجن
- کاهش انتشار آلوده‌کننده‌ها
- کاهش حرارت محفظه احتراق
- بهبود پایداری احتراق شده است. [30]

3.7. چالش‌ها و محدودیت‌ها

هرچند افزایش عدد اکتان مزایای متعددی دارد، اما برخی چالش‌ها نیز وجود دارد:

- افزایش هزینه تولید سوخت با عدد اکتان بالا،
- محدودیت منابع و پروسه‌های پالایش پیچیده،
- اثرات مخرب محیط زیستی افزودنی‌های اکتان‌افزا (مانند MTBE)،
- نیاز به توسعه سوخت‌های پایدار با اکتان بالا. [35]

از این رو، تحقیقات در زمینه سوخت‌های زیستی و افزودنی‌های سازگار با محیط زیست در حال گسترش است.

جدول ۱ - مقایسه‌ای اثر عدد اکتان بر عملکرد انجن [30.1]

ویژگی‌ها	عدد اکتان 87	عدد اکتان 91	عدد اکتان 95	عدد اکتان 100
نسبت تراکم مجاز	8:1	9:1	10:1	12:1
بازده حرارتی (%)	28	30	32	34
مصرف سوخت (لیتر/100km)	8.5	8.2	7.8	7.5
احتمال وقوع احتراق انفجاری	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم
انتشار CO (g/km)	2.5	2.2	1.8	1.5
انتشار NO_x (g/km)	0.5	0.45	0.4	0.35

4. روش‌های افزایش عدد اکتان در بنزین

طوریکه بیان گردید عدد اکتان، شاخصی کلیدی برای سنجش مقاومت سوخت بنزین در برابر پدیده قبل از وقت (Knocking) است که می‌تواند عملکرد انجن و عمر مفید آن را تحت تأثیر قرار دهد و بالا بردن عدد اکتان بنزین به بهترسازی پروسه احتراق، افزایش بازدهی انجن و کاهش انتشار آلوده‌کننده‌ها منجر می‌شود. به همین منظور، روش‌های متنوعی برای افزایش عدد اکتان مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل افزودنی‌های کیمیاوی، پروسه‌های پالایشگاهی و تکنالوژی‌های نوین است. در ادامه به بررسی هر یک از این روش‌ها به تفصیل پرداخته می‌شود.

4.1. افزودنی‌های کیمیاوی اکتان‌زا

استفاده از افزودنی‌های کیمیاوی یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای افزایش عدد اکتان بنزین است. این مواد می‌توانند به صورت مستقیم با تغییر پروسه‌های کیمیاوی احتراق، مانع وقوع پیش‌احتراق شوند.

4.1.1. ایترهای MTBE و ETBE:

- MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether)

MTBE از دهه 1970 به عنوان یک افزودنی اکتان‌زا وارد بازار شد و در بسیاری از کشورها برای بهبود کیفیت بنزین استفاده شد. این ترکیب دارای عدد اکتان بالایی (حدود 113) است و می‌تواند به میزان قابل توجهی مقاومت سوخت را در برابر ناکینگ افزایش دهد [36]. با این حال ویژگی حلالیت بالای MTBE باعث نفوذ آن به منابع آب زیرزمینی و ایجاد آلودگی گسترده شده است که به دنبال آن، محدودیت‌های محیط زیستی شدیدی برای استفاده از آن وضع شده است. [37]

- ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether)

ETBE به عنوان جایگزینی برای MTBE مورد توجه قرار گرفته است. این افزودنی از ایتانول و ایزوبیوتلین تولید می‌شود و دارای عدد اکتان بالایی است که به طور مؤثری می‌تواند عملکرد سوخت را بهبود بخشد. مزیت اصلی ETBE نسبت به MTBE، کاهش مشکلات محیط زیستی و سازگاری بهتر با استندردهای سوخت پاک است. [38]

4.1.2. ترکیبات اروماتیک

ترکیبات اروماتیک مانند بنزول، تولوین و انتراسین از جمله مواد با عدد اکتان بالا هستند که به طور سنتی برای افزایش عدد اکتان به بنزین افزوده می‌شوند. به عنوان مثال، عدد اکتان بنزول حدود 101 است [39]. اگرچه این ترکیبات عملکرد

سوخت را بهبود می‌دهند، نگرانی‌های مربوط به اثرات سرطان‌زایی و آلوده‌کننده‌گی هوا منجر به محدودیت‌های شدید استفاده از آن‌ها شده است. به ویژه بنزول که یک ترکیب سرطان‌زا شناخته شده است، باید با دقت کنترول شود. [10,39]

4.1.3. افزودنی‌های نایتروجنی و فلزی

در برخی مطالعات از افزودنی‌های حاوی نایتروجن و فلزات به منظور افزایش عدد اکتان استفاده شده است. ترکیبات نایتروجنی می‌توانند واکنش‌های احتراق را به گونه‌ای تغییر دهند که احتراق قبل از وقت کمتر رخ دهد [40]. همچنین نانوذرات فلزی در حال بررسی هستند تا بتوانند با بهبود خواص سوخت و تسریع احتراق، عدد اکتان را افزایش دهند. [41]

4.2. پروسه‌های پالایشگاهی جهت افزایش عدد اکتان

علاوه بر افزودنی‌ها، پالایش نفت خام به روش‌های مختلفی انجام می‌شود تا بنزین با عدد اکتان بالا تولید شود.

4.2.1. ایزومیرایزیشن (Isomerization)

در این پروسه، الکان‌های خطی که عدد اکتان پایینی دارند، به ایزومیرهای منشعب با عدد اکتان بالاتر تبدیل می‌شوند. مثلاً نارمل پنتان (با عدد اکتان 62) به ایزومیرهای منشعب مانند ایزومیتان (با عدد اکتان حدود 92) تبدیل می‌شود که این تغییر ساختاری سبب افزایش مقاومت در برابر احتراق انفجاری می‌گردد [42]. این پروسه معمولاً در حرارتهای پایین و با حضور کتلست‌های خاص انجام می‌شود و نقش مهمی در اصلاح بنزین ایفا می‌کند.

4.2.2. ریفورمینگ کتلستی (Catalytic Reforming)

ریفورمینگ یک پروسه کلیدی برای افزایش عدد اکتان است که طی آن هایدروکاربن‌های پارافینی و نفتنی به ترکیبات اروماتیک و ایزومیرهای منشعب تبدیل می‌شوند. این پروسه معمولاً با کتلست‌های پلاتین-رودیم انجام می‌شود و در حرارتهای حدود 500 درجه سانتی‌گراد و فشار متوسط صورت می‌گیرد [43]. محصولات این پروسه دارای عدد اکتان بالا هستند و بخش مهمی از بنزین با کیفیت را تشکیل می‌دهند.

4.2.3. هایدروکرکینگ (Hydrocracking)

هایدروکرکینگ پروسه‌ی است که ترکیبات سنگین نفتی را در حضور هایدروجن به هایدروکاربن‌های سبک‌تر و با کیفیت بالاتر تبدیل می‌کند. این پروسه نه تنها به تولید بنزین با عدد اکتان بالا کمک می‌کند بلکه با حذف سلفر و نایتروجن، سوختی پاک‌تر فراهم می‌آورد. [44] هایدروکرکینگ معمولاً در فشارهای بالا و با استفاده از کتلست‌های ترکیبی انجام می‌شود.

4.3. سوخت‌های جایگزین و تکنالوژی‌های نوین در افزایش عدد اکتان

با توجه به نگرانی‌های محیط زیستی و محدودیت منابع فسیلی، استفاده از سوخت‌های جایگزین و تکنالوژی‌های نوین برای بهبود عدد اکتان در حال گسترش است. [11]

4.3.1. سوخت‌های زیستی (Biofuels)

ایتانول و بیوتانول از مهم‌ترین سوخت‌های زیستی هستند که به دلیل عدد اکتان بالا و انتشار کم آلوده‌کننده‌ها، به عنوان افزودنی یا جایگزین بخشی از بنزین استفاده می‌شوند. ایتانول با عدد اکتان حدود ۱۰۸، می‌تواند به طور قابل توجهی مقاومت سوخت در برابر احتراق انفجاری را افزایش دهد و باعث بهبود عملکرد انجن و کاهش گازهای گلخانه‌ای شود .[46,45] بیوتانول نیز دارای مزایایی چون انرژی حجمی بالاتر و سازگاری بهتر با انجن‌های موجود است و به عنوان یک گزینه نوین مطرح است. [47]

4.3.2. نانو افزودنی‌ها و کتلست‌ها

تحقیقات اخیر به کاربرد نانوذرات فلزی مانند نانوذرات اکساید فلزات، نانوکتلست‌ها و مواد مبتنی بر نانوتکنالوژی برای بهبود خواص سوخت و افزایش عدد اکتان متمرکز شده است. این افزودنی‌ها با افزایش سرعت احتراق و بهبود توزیع انرژی در پروسه احتراق، می‌توانند عملکرد سوخت را بهبود بخشند. [48] همچنین، اثرات جانبی کمتر و مصرف مناسب‌تر سوخت از دیگر مزایای بالقوه این تکنالوژی‌هاست.

4.3.3. ترکیبات عضوی نوین و افزودنی‌های زیست‌سازگار

برخی ترکیبات عضوی جدید با ساختارهای مالیکولی خاص در لابراتوارها سنتیز شده‌اند که دارای قابلیت‌های افزایش عدد اکتان با حداقل اثرات محیط زیستی هستند. این افزودنی‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای مواد سنتی و مضر باشند و در آینده بازار سوخت را متحول کنند .[49]

جدول ۲- مقایسه افزودنی‌های کیمیاوی رایج برای افزایش عدد اکتان

افزودنی	عدد اکتان تقریبی	مزایا	معایب و محدودیت‌ها	منابع
MTBE	113	افزایش قابل توجه عدد اکتان، قیمت نسبتاً پایین	آلودگی آب‌های زیرزمینی، مشکلات محیط زیستی	[37،36]
ETBE	109	اکتان بالا، سازگاری محیط زیستی بهتر	هزینه تولید بالاتر نسبت به MTBE	[38]
اروماتیک‌ها (بنزول، تولوین)	101(بنزول) تا 114(تولوین)	افزایش اکتان، بهبود عملکرد انجن	سمیت بالا، اثرات سرطان‌زایی (خصوصاً بنزول)	[39]
ایتانول	108	افزایش اکتان، کاهش آلوده‌کننده‌ها	خورندگی، نیاز به تنظیمات انجن	[45،40]
نانو افزودنی‌ها	متغیر	بهبود احتراق، کاهش مصرف سوخت	در حال توسعه، نیاز به تحقیقات بیشتر	[41]

جدول ۳- خلاصه پروسه‌های بالایشگاهی موثر بر افزایش عدد اکتان بنزین

پروسه	عملکرد اصلی	تاثیر بر عدد اکتان	نکات کلیدی	منابع
ایزومیرایزیشن	تبدیل الکان‌های خطی به منشعب	افزایش قابل توجه	افزایش مقاومت در برابر احتراق انفجاری ، پروسه کم‌حرارت	[42]
ریفورمینگ	تبدیل الکان‌ها به اروماتیک‌ها و ایزومیرهای منشعب	افزایش بالا	کتلست پلاتین-رودیم، حرارت و فشار کنترول‌شده	[43]
هایدروکرکینگ	شکستن ترکیبات سنگین به هایدروکاربن‌های سبک‌تر	افزایش متوسط تا بالا	حذف سلفر و نایتروجن، تولید سوخت پاک‌تر	[44]



گراف ۱ - تأثیر افزودنی‌های مختلف بر عدد اکتان بنزین

این گراف، تأثیر افزودنی‌های مختلف بر عدد اکتان بنزین را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود:

- MTBE بالاترین عدد اکتان (113~) را دارد.
- پس از آن ETBE و ایتانول در رتبه‌های بعدی هستند (109~ و 108~).
- اروماتیک‌ها (بنزول) پایین‌ترین تأثیر را بر عدد اکتان دارند (101~).

5. استندردها و الزامات عدد اکتان در انجن‌های مختلف

۵.۱. اهمیت استندردها در تعیین عدد اکتان

تعیین حداقل عدد اکتان مجاز در هر کشور یا منطقه بر اساس شرایط محیطی، نوع انجن‌های رایج و الزامات محیط زیستی صورت می‌گیرد. استندردهای دقیق برای اندازه‌گیری و تعریف عدد اکتان، تضمین کننده‌ی سازگاری سوخت با مشخصات فنی انجن و افزایش عمر مفید آن هستند. [36-38]

۵.۲. استندردهای بین‌المللی

- ASTM D2699 و ASTM D2700: این استندردها توسط ASTM International تعریف شده و روش‌های مرجع برای تعیین عدد اکتان تحقیقاتی (RON) و عدد اکتان انجن (MON) را مشخص می‌کنند. این ازمایشات شامل استفاده از انجن‌های لابراتواری استندرد و شرایط کنترول‌شده جهت ارزیابی مقاومت سوخت در برابر ناک هستند. [50-52]
- ISO 5164 و ISO 5163: سازمان استندرد بین‌المللی (ISO) استندردهای مشابهی برای تعیین RON و MON ارائه کرده که در بسیاری از کشورهای جهان به رسمیت شناخته شده‌اند و نقش کلیدی در هماهنگ‌سازی استندردهای سوخت دارند. [53،۵۴]
- SAE J306: این استندرد روش تعیین شاخص اکتان (AKI)، که میانگین RON و MON است و در اکثر

کشورها به عنوان عدد اکتان درج شده روی پمپ‌های سوخت کاربرد دارد، را توصیف می‌کند. [55]

۳.۵. استندردهای کشورها

- تعیین (AKI) و وزارت انرژی حداقل عدد اکتان بنزین معمولی را EPA 78 ایالات متحده آمریکا؛ در آمریکا، استندرد [56] .و بالاتر است که برای انجن‌های با نسبت تراکم بالا توصیه می‌شود 91 کرده‌اند. بنزین سوپر معمولاً دارای عدد اکتان
- اروپا: در اتحادیه اروپا، حداقل عدد اکتان برای بنزین معمولی RON 95 است که به دلیل استفاده از روش متفاوت اندازه‌گیری نسبت به آمریکا، این مقدار بالاتر به نظر می‌رسد. همچنین استندردهای اتحادیه اروپا شامل الزامات سختگیرانه محیط زیستی و کنترول انتشار آلوده‌کننده‌ها است. [57،56،47]
- کشورهای در حال توسعه: بسیاری از کشورهای در حال توسعه هنوز با استندردهای پایین‌تری برای عدد اکتان سروکار دارند؛ اما تلاش‌هایی برای بهبود کیفیت سوخت و همگام‌سازی با استندردهای جهانی در جریان است که بر اساس گزارش‌های سازمان انرژی جهانی و بانک جهانی، این روند رو به رشد است .[59،58]

۴.۵. الزامات عدد اکتان بر اساس نوع انجن

- انجن‌های با نسبت تراکم پایین: این انجن‌ها که عموماً در موترهای قدیمی‌تر یا اقتصادی استفاده می‌شوند، می‌توانند با سوخت‌هایی با عدد اکتان ۸۷ تا ۸۹ بدون ایجاد ضربه یا ناک عملکرد مناسبی داشته باشند. [60]
- انجن‌های با نسبت تراکم بالا و توربوچارج:این انجن‌ها به دلیل فشار و حرارت بالاتر در سیلندرها، نیازمند بنزین با عدد اکتان ۹۵ به بالا هستند تا از پدیده ناک جلوگیری کرده و بازدهی حرارتی بهتر را فراهم آورند .[62،61]
- انجن‌های هایبرید و پیشرفته: این انجن‌ها که ترکیبی از انجن‌های بنزینی و برقی هستند، معمولاً به بنزین با عدد اکتان متوسط تا بالا نیاز دارند ولی سازگاری آنها بیشتر بستگی به طراحی و مدیریت انجن دارد. [63]

۵.۵. تأثیر استندردها بر توسعه تکنالوژی انجن و سوخت

تعیین استندردهای دقیق عدد اکتان، باعث تحریک تحقیق و توسعه تکنالوژی‌های نوین در حوزه سوخت و انجن شده است. به‌عنوان مثال، افزایش عدد اکتان الزامی برای به‌کارگیری نسبت تراکم‌های بالاتر در انجن‌های مدرن و تکنالوژی‌هایی مانند توربوچارج، تزریق مستقیم سوخت و زمان‌بندی متغیر وال ها است که همگی به بهبود کارایی و کاهش انتشار آلوده‌کننده‌ها کمک می‌کنند. [65،64]

۶. چالش‌ها و موانع موجود در افزایش عدد اکتان و بهبود عملکرد انجن‌های احتراق داخلی

۱.۶. محدودیت‌های فنی و انجنیری

افزایش عدد اکتان در سوخت بنزین به دلایل فنی و انجنیری با محدودیت‌هایی روبرو است. افزودنی‌های اکتان‌افزا ممکن است با اجزای انجن واکنش نشان دهند یا باعث رسوب‌گذاری و ایجاد مشکلات میخانیکی شوند که به کاهش عمر مفید انجن منجر می‌گردد. [66] برخی از افزودنی‌ها همچنین می‌توانند باعث خوردگی قطعات داخلی انجن و سیستم سوخت‌رسانی شوند، به‌ویژه اگر سازگاری مواد به خوبی بررسی نشده باشد. [67]

مانند Methyl Tertiary-Butyl Ether در دهه‌های گذشته برای افزایش عدد اکتان و بهبود احتراق و Ethyl Tertiary-Butyl Ether برای سازگارتر با محیط زیست و Tertiary Amyl Methyl Ether برای بهبود عدد اکتان و کاهش آلاینده‌ها Ethanol, Methanol اتانول بسیار رایج؛ عدد اکتان بالاو Toluene, Xylene, Benzene عدد اکتان بالا؛ استفاده محدود به دلیل اثرات زیست‌محیطی و Oxygenates بهبود احتراق و کاهش CO

از طرفی، افزایش عدد اکتان معمولاً با افزایش ترکیبات اروماتیک و هایدروکاربن‌های سنگین همراه است که ممکن است

باعث افزایش انتشار آلوده‌کننده‌های سمی مانند بنزول و ترکیبات سرطان‌زا شود. [69,68] این موضوع باعث محدودیت در انتخاب نوع افزودنی‌ها و پروسه‌های پالایش برای افزایش عدد اکتان می‌شود.

۲.۶. چالش‌های محیط زیستی

افزایش عدد اکتان با روش‌های سنتی ممکن است اثرات محیط زیستی منفی به دنبال داشته باشد. استفاده از ترکیبات اروماتیک و اکتان‌افزاهای کیمیاوی، علاوه بر تأثیر بر آلودگی هوا، می‌تواند باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود. [70] همچنین پروسه‌های پالایشی که برای ارتقاء عدد اکتان به کار می‌روند، معمولاً انرژی‌بر و آلوده‌کننده هستند و از منظر پایداری محیط زیست دارای مشکلاتی هستند. [71]

بنابراین، تعادل بین بهبود عدد اکتان و کاهش اثرات محیط زیستی، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های صنعت سوخت و انجن است که نیازمند تحقیقات و تکنالوژی‌های نوین است. [72]

۳.۶. مشکلات اقتصادی و تامین مواد اولیه

افزایش عدد اکتان از طریق افزودنی‌ها و پروسه‌های پالایشی پیچیده، هزینه تولید سوخت را افزایش می‌دهد. این موضوع در کشورهای در حال توسعه و بازارهایی که قیمت سوخت نقش کلیدی اقتصادی دارد، می‌تواند به چالش بزرگی تبدیل شود. [73]

همچنین تأمین پایدار و اقتصادی افزودنی‌های اکتان‌افزا، به خصوص انواع زیستی و نانو، نیازمند توسعه زیرساخت‌های صنعتی و تحقیقاتی گسترده است که ممکن است در بسیاری از کشورها هنوز مهیا نشده باشد. [74]

۴.۶. مسائل سازگاری انجن با سوخت‌های با عدد اکتان بالا

تغییرات سریع در ترکیب سوخت و افزایش عدد اکتان می‌تواند منجر به نیاز به تغییرات در طراحی انجن شود. انجن‌هایی که برای سوخت با عدد اکتان پایین طراحی شده‌اند، ممکن است در صورت استفاده از سوخت با عدد اکتان بالا، عملکرد بهتر نداشته باشند و حتی افزایش مصرف سوخت یا کاهش توان خروجی را تجربه کنند.

علاوه بر این، استفاده از سوخت‌های ترکیبی یا جایگزین ممکن است مشکلاتی در سیستم تزریق سوخت، انژکتورها و سایر اجزای انجن ایجاد کند که نیازمند تنظیمات دقیق و تطبیق تکنالوژی انجن با سوخت‌های جدید است. [75]

۵.۶. محدودیت‌های مقرراتی و سیاست‌گذاری

در بسیاری از کشورها، سیاست‌ها و قوانین مربوط به استندردهای سوخت و انجن هنوز با سرعت تغییرات تکنالوژی پیش نمی‌روند. این تأخیر در جدید سازی مقررات می‌تواند مانع از پذیرش سریع سوخت‌های با عدد اکتان بالا و تکنالوژی‌های نوین شود. [76]

از سوی دیگر، عدم هماهنگی بین سیاست‌های محیط زیستی، اقتصادی و صنعتی، چالش‌های متعددی برای توسعه پایدار سوخت و انجن‌های کارآمد ایجاد کرده است. [77]

۷. نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده در زمینه عدد اکتان و عملکرد انجن‌های احتراق داخلی

۱.۷. نتیجه‌گیری

عدد اکتان به عنوان یک معیار کلیدی و اساسی در تعیین کیفیت سوخت بنزین، نقش محوری در بهترسازی عملکرد انجن‌های احتراق داخلی ایفا می‌کند. مطالعات متعددی که در زمینه اثرات عدد اکتان بر عملکرد و کارایی انجن انجام شده‌اند، همگی بر اهمیت این پارامتر در کاهش پدیده احتراق انفجاری و بهبود بازدهی حرارتی تاکید دارند.

یکی از نکات مهم این است که عدد اکتان مناسب برای یک انجن، تابعی از طراحی انجن، به‌ویژه نسبت تراکم و نوع

سیستم احتراق است. انجن‌هایی که دارای نسبت تراکم بالا، توربوچارجر یا تکنالوژی‌های پیشرفته تزریق سوخت هستند، نیازمند سوخت با عدد اکتان بالاتری هستند تا از آسیب‌های ناشی از ناک جلوگیری شود و بازده انرژی به حداکثر برسد. استندردهای بین‌المللی و ملی در تعیین حداقل عدد اکتان بنزین، پایه‌ای برای تضمین سازگاری سوخت با انجن‌های مختلف فراهم آورده‌اند که این امر به حفظ سلامت انجن، کاهش تعمیرات و بهبود عملکرد کلی منجر می‌شود. در عین حال، توسعه تکنالوژی‌های افزودنی‌های اکتان‌افزا و سوخت‌های جایگزین با عدد اکتان بالا، به عنوان راهکارهای مؤثر برای ارتقاء کیفیت سوخت و کاهش اثرات محیط زیستی مطرح شده‌اند.

با این حال، چالش‌های متعددی همچون محدودیت‌های فنی، اثرات محیط زیستی افزودنی‌های کیمیاوی، مشکلات اقتصادی در تامین و توزیع سوخت‌های با عدد اکتان بالا و پیچیدگی‌های سازگاری انجن با سوخت‌های جدید وجود دارد که نیازمند تحقیقات مستمر و همکاری‌های بین‌المللی است.

۲.۷. چشم‌انداز آینده

۱.۲.۷. توسعه افزودنی‌ها و سوخت‌های نوین

آینده صنعت سوخت به شدت به توسعه افزودنی‌های پیشرفته، زیستی و نانو وابسته است. افزودنی‌های چندمنظوره که نه تنها عدد اکتان را افزایش می‌دهند بلکه به بهبود خواص روانکاری، کاهش رسوب‌گذاری و کاهش آلوده‌کننده‌گی‌ها نیز کمک می‌کنند، در حال تحقیق و توسعه هستند. این مواد می‌توانند جایگزین افزودنی‌های سنتی با اثرات منفی محیط زیستی شوند و به بهبود پایداری سوخت‌ها کمک کنند.مانند STA-BIL Fuel Stabilizer یا Lucas Fuel Treatment علاوه بر این، سوخت‌های زیستی با عدد اکتان بالا نظیر ایتانول، بیوایتانول و سوخت‌های سنتیزی در آینده نقشی کلیدی در کاهش وابستگی به نفت خام و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهند داشت. تحقیقات در زمینه بهترسازی نسبت‌های اختلاط این سوخت‌ها و سازگاری آن‌ها با انجن‌های جدید، از اولویت‌های مهم علمی و صنعتی است.

۲.۲.۷. تکنالوژی‌های پیشرفته انجن و ادغام هوشمند سوخت

پیشرفت تکنالوژی انجن، از جمله انجن‌های با نسبت تراکم متغیر (VCR)، انجن‌های توربوچارجر با مدیریت پیشرفته و انجن‌های هایبریدی، نیازمند سوخت‌هایی با عدد اکتان دقیقاً کنترول‌شده است. توسعه سیستم‌های هوشمند مدیریت انجن که با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و ارقام واقعی عملکرد سوخت را بهتر می‌کنند، در دستور کار قرار دارد.

این تکنالوژی‌ها امکان تطبیق خودکار انجن با نوع سوخت مصرفی و شرایط محیطی را فراهم می‌کنند که منجر به کاهش مصرف سوخت، افزایش عمر انجن و کاهش آلوده‌کننده‌گی می‌شود.

۳.۲.۷. سیاست‌ها و استندردهای بین‌المللی هماهنگ

چشم‌انداز آینده همچنین شامل حرکت به سوی استندردهای جهانی هماهنگ و سیاست‌گذاری‌های منسجم است که تسهیل‌کننده توسعه و پذیرش سوخت‌های با کیفیت بالا و تکنالوژی‌های نوین انجن خواهد بود. این سیاست‌ها باید در راستای اهداف کاهش آلوده‌کننده‌گی، بهبود استعمال انرژی و توسعه پایدار تنظیم شوند و شامل حمایت‌های مالی و تشویقی برای توسعه تکنالوژی‌های پاک باشد.

۴.۲.۷. آموزش و توسعه زیرساخت‌های تحقیقاتی و صنعتی

سرمایه‌گذاری در آموزش نیروی انسانی متخصص، ایجاد مراکز تحقیق و توسعه پیشرفته و تقویت همکاری‌های بین‌المللی در زمینه توسعه سوخت و تکنالوژی‌های انجن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این اقدام‌ها به توسعه زیرساخت‌های لازم

برای تولید و توزیع سوخت‌های با عدد اکتان بالا و بهترسازی انجن‌های احتراق داخلی کمک خواهد کرد.

۵.۲.۷. پایداری محیط زیستی و اقتصاد چرخشی

در نهایت، حرکت به سمت اقتصاد چرخشی و استفاده بهتر از منابع، از جمله بازیافت مواد افزودنی و به کارگیری منابع تجدیدپذیر در تولید سوخت، از عوامل تعیین‌کننده در آینده صنعت سوخت خواهد بود. کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و جایگزینی آن‌ها با منابع پایدار، هم‌راستا با اهداف جهانی مقابله با تغییرات اقلیمی است.

۸. منابع

[1]. Hamada Mohassab et al. (2025). Experimental Investigation of Performance and Emission of Gasoline with Different Octane Numbers. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences.

[2]. Kalghatgi, G.T. (2014). Fuel/Engine Interactions. SAE International.

[3]. Ferguson, C.R., & Kirkpatrick, A.T. (2015). Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences. Wiley.

[4]. Yalamanchi et al. (2025). Generative Deep Learning Framework for Inverse Design of Fuels, arXiv.

[5]. Duffy, J.J., & Aziz, M. (2017). Octane rating requirements of modern SI engines. SAE Technical Paper 2017-01-0765.

[6]. Liu, Y., & Zhang, C. (2019). Effect of octane number on engine performance and emission. Energy Reports, 5, 643–650.

[7]. Al-Hassan, M., Al-Ameen, A., & Abdulwahid, A. (2012). The effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance. Energy and Power, 2(4), 41–45.

[8]. Speight, J.G. (2014). The Chemistry and Technology of Petroleum. CRC Press.

[9]. Squillace, P.J., et al. (1997). Environmental behavior and fate of oxygenates in gasoline. Environmental Science & Technology, 31(7), 199A–205A.

[10]. California Air Resources Board (CARB). (2020). MTBE in gasoline: Environmental and health considerations.

[11]. Demirbas, A. (2009). Biofuels: Securing the Planet›s Future Energy Needs. Springer.

[12]. Quddus, M.A., & Khaliq, A. (2019). Challenges in octane enhancement of gasoline in developing countries. Journal of Energy and Fuel Technology, 10(2), 77–84.

[13]. Stone, R. (2012). Introduction to Internal Combustion Engines. Palgrave Macmillan.

[14]. Effects of different additives on physicochemical properties of gasoline and vehicle performance, Fuel Process. Technol. (2023).

[15]. Ferguson, C.R., & Kirkpatrick, A.T. (2015). Internal Combustion Engines: Ap-

plied Thermosciences. Wiley.

[16]. Muhammed, T., Tokay, B., & Conradie, A. (2023). Raising the Research Octane Number using an optimized Simulated Moving Bed technology towards greater sustainability and economic return. Fuel, 337, 126864.

[17]. Van Amstel, C. L. (2021). Testing the sufficiency of research and motor octane number specifications against petrol compositional variations (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).

[18]. Gopujkar, S., Worm, J., Barros, S., Vinhaes, V. B., & Hansley, W. (2022). Increasing the Effective AKI of Fuels Using Port Water Injection (Part II) (No. 2022-01-0434). SAE Technical Paper.

[19]. Han, D., Lyu, D., Sun, Z., Liang, X., & Huang, Z. (2023). On knocking combustion development of oxygenated gasoline fuels in a cooperative fuel research engine. International Journal of Engine Research, 24(6), 2410-2421.

[20]. Mohan, B., Alsaleh, F., AlRamadan, A. S., Almbdal, S., Al-Ammari, A., Saihati, Z., ... & Badra, J. (2025). In silico estimation of density, vapor pressure, distillation curve, and octane numbers of gasoline fuels using machine learning. Fuel, 399, 135640.

[21]. Raman, R., Gunasekar, S., Dávid, L. D., Rahmat, A. F., & Nedungadi, P. (2024). Aligning sustainable aviation fuel research with sustainable development goals: Trends and thematic analysis. Energy Reports, 12, 2642-2652.

[22]. Kohse-Höinghaus, K. (2023). Combustion, chemistry, and carbon neutrality. Chemical Reviews, 123(8), 5139-5219.

[23]. Roni, K. A., & Martini, S. (2022). The effectiveness of octane booster as additive for fuel quality improvement. Asia-Pac. J. Sci. Technol, 27.

[24]. California Air Resources Board (CARB). (2020). MTBE in gasoline: Environmental and health considerations.

[25]. Duffy, J.J., & Aziz, M. (2017). Octane rating requirements of modern SI engines. SAE Technical Paper.

[26]. Li, H., et al. (2023). Sustainable biofuel blends: effects on octane rating and emis-

sions. Renewable Energy.

[27]. Kumar, A., et al. (2024). Bioethanol impact on octane rating and engine efficiency: A review. Fuel, 320, 123998.

[28]. Ferrari, G., Onorati, A., & D›Errico, G. (2022). Internal combustion engines. Società Editrice Esculapio.

[29]. Abdellatief, T. M., Ershov, M. A., Kapustin, V. M., Chernysheva, E. A., Savelenko, V. D., Salameh, T., & Olabi, A. G. (2022). Uniqueness technique for introducing high octane environmental gasoline using renewable oxygenates and its formulation on Fuzzy modeling. Science of the Total Environment, 802, 149863.

[30]. Fuels (2024). Impact of octane numbers on combustion performance and driving cycle fuel consumption of turbocharged direct-injection spark-ignition engine.

[31]. Zhou, Y., Song, Y., Zhao, S., Li, X., Shao, L., Yan, H., ... & Ding, S. (2024). A comprehensive aerodynamic-thermal-mechanical design method for fast response turbocharger applied in aviation piston engines. Propulsion and power research, 13(2), 145-165.

[32]. Zhou, H., Meng, S., & Han, Z. (2023). Combustion characteristics and misfire mechanism of a passive pre-chamber direct-injection gasoline engine. Fuel, 352, 129067.

[33]. Pamminger, M., Hall, C. M., & Wallner, T. (2022). Model predictive combustion control of a Gasoline Compression Ignition engine. Control Engineering Practice, 119, 104977.

[34]. Rittig, T., et al. (2022). Graph machine learning for design of high-octane fuels. arXiv preprint.

[35]. Sarıkoç, S. (2023). Environmental and enviro-economic effect analysis of hydrogen-methanol-gasoline addition into an SI engine. Fuel, 344, 128124.

[36]. Badra, J., Alowaid, F., Alhussaini, A., Alnakhli, A., & AlRamadan, A. S. (2022). Understanding of the octane response of gasoline/MTBE blends. Fuel, 318, 123647.

[37]. Zheng, Y., Shan, H., Jin, S., Wang, Q., Arslan, M., Wang, D., ... & Chen, C. (2025). In Situ Bio-electrochemical Remediation of MTBE-contaminated Groundwater at a

Fuel Station in China. Environmental Technology & Innovation, 104033.

[38]. Turner, M. C., Godderis, L., Guénel, P., Hopf, N., Quintanilla-Vega, B., Soares-Lima, S. C., ... & Schubauer-Berigan, M. K. (2025). Carcinogenicity of automotive gasoline and some oxygenated gasoline additives. The Lancet Oncology, 26(5), 548-549.

[39]. Koledin, O. S., Dolomatov, M. Y., Kovaleva, E. A., Fedina, R. A., Arslanbekova, S. A., & Valeev, M. R. (2023, March). Predicting Octane number of aromatic hydrocarbons considering energetic and structure topological descriptors. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2700, No. 1). AIP Publishing.

[40]. Badia, J. H., Ramírez, E., Bringué, R., Cunill, F., & Delgado, J. (2021). New octane booster molecules for modern gasoline composition. Energy & Fuels, 35(14), 10949-10997.

[41]. Sarlak, M., Pirouzfar, V., Sakhaeinia, H., & Alihosseini, A. (2024). Combustion of gasoline with oxygen-containing and nano-additives: An experimental study, modeling, optimization, and analysis survey. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 159, 105452.

[42]. Misra, P., Alvarez-Majmutov, A., & Chen, J. (2023). Isomerization catalysts and technologies for biorefining: Opportunities for producing sustainable aviation fuels. Fuel, 351, 128994.

[43]. Martínez, J., Zúñiga-Hinojosa, M. A., & Ruiz-Martínez, R. S. (2022). A thermodynamic analysis of naphtha catalytic reforming reactions to produce high-octane gasoline. Processes, 10(2), 313.

[44]. Miao, P., Zhu, X., Guo, Y., Miao, J., Yu, M., & Li, C. (2021). Combined mild hydrocracking and fluid catalytic cracking process for efficient conversion of light cycle oil into high-quality gasoline. Fuel, 292, 120364.

[45]. Liu, Y., Cruz-Morales, P., Zargar, A., Belcher, M. S., Pang, B., Englund, E., ... & Keasling, J. D. (2021). Biofuels for a sustainable future. Cell, 184(6), 1636-1647.

[46]. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2020). Fuel Economy and Environment Labeling.

[47]. European Committee for Standardization (CEN). (2017). EN 228: Automotive Fuels - Unleaded Petrol.

[48]. Basha, J. S., Al Balushi, M., Soudagar, M. E. M., Safaei, M. R., Mujtaba, M. A., Khan, T. Y., ... & Elfasakhany, A. (2022). Applications of nano-additives in internal combustion engines: a critical review. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 147(17), 9383-9403.

[49]. Di Girolamo, M., Brianti, M., & Marchionna, M. (2021). Octane enhancers. Handbook of Fuels: Energy Sources for Transportation, 403-430.

[50]. ASTM international. (2019). ASTM D2699-19: Standard Test for Knock Characteristics of Motor and Aviation Gasolines by the Motor Method.

[51]. ASTM international. (2019). ASTM D2700-19: Standard Test for Knock Characteristics of Motor and Aviation Gasolines by the Motor Method.

[52]. Americal Society for Testing and Materials (ASTM). (2021). ASTM D2700.

[53]. International Organization for Standardization. (2015). ISO 5164: Gasoline — Determination of Research Octane Number (RON) and Motor Octane Number (MON).

[54]. International Organization for Standardization. (2015). ISO 5163: Gasoline — Determination of Knock Characteristics by the Motor Method.

[55]. SAE International. (2018). SAE J306: Motor and Aviation Gasoline Test Methods.

[56]. European Commission. (2020). Directive on the Quality of Petrol and Diesel Fuels.

[57]. Eurostat. (2019). Energy Statistics - Gasoline Consumption and Quality.

[58]. International Energy Agency (IEA). (2022). World Energy Outlook.

[59]. Asian Development Bank. (2020). Fuel Quality and Emissions Standards in Developing Countries.

[60]. Heywood, J. B. (2017). Advanced Engine Technologies. Wiley.

[61]. Hosseini, M., & Chitsaz, I. (2023). Knock probability determination in a turbocharged gasoline engine through exhaust gas temperature and artificial neural net-

work. Applied Thermal Engineering, 225, 120217.

[62]. Zhao, F., Wang, H., & Huang, Z. (2016). Effects of Compression Ratio on Gasoline Engine Performance. Applied Energy, 164, 213-224.

[63]. Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (2018). Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. CRC Press.

[64]. Kong, S. C. (2019). High Octane Fuels and Their Impact on Engine Efficiency. Energy Conversion and Management, 199, 111-121.

[65]. Sinigaglia, T., Martins, M. E. S., & Siluk, J. C. M. (2022). Technological evolution of internal combustion engine vehicle: A patent data analysis. Applied Energy, 306, 118003.

[66]. Siddartha, G. N. V., Ramakrishna, C. S., Kujur, P. K., Rao, Y. A., Dalela, N., Yadav, A. S., & Sharma, A. (2022). Effect of fuel additives on internal combustion engine performance and emissions. Materials Today: Proceedings, 63, A9-A14.

[67]. Lee, S. Y., & Park, S. (2015). Corrosion Effects of Fuel Additives in Engine Systems. Journal of Automotive Engineering, 229(6), 765-773.

[68]. Bruns, E. A., et al. (2016). Impact of Aromatic Hydrocarbons on Vehicle Emissions. Environmental Science & Technology, 50(4), 2136-2143.

[69]. Wang, X., & Zhang, Y. (2017). Health Effects of Benzene and Related Aromatics. Journal of Environmental Health, 79(8), 34-41.

[70]. European Environment Agency (EEA). (2019). Air Quality and Emission Trends in Europe.

[71]. United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). Energy Efficiency and Environmental Impacts of Fuel Refining.

[72]. Zhang, Q., et al. (2018). Balancing Fuel Quality Improvement with Environmental Sustainability. Energy Policy, 120, 467-477.

[73]. International Energy Agency (IEA). (2021). Global Fuel Economics and Market Dynamics.

[74]. Asian Development Bank (ADB). (2019). Fuel Additives and Sustainable Development in Asia.

[75]. Gao, Y. (2022). New energy vehicle engine speed control method based on vehicle networking technology. Journal of Computational Methods in Science and Engineering, 22(6), 2201-2215.

[76]. World Bank. (2020). Policy Frameworks for Fuel Standards.

[77]. OECD. (2019). Integrated Energy and Environmental Policies for Sustainable Development.

بیوگرافی مؤلفین

پوهاند دوکتور اسرارالدین گلزاد استاد دیپارتمنت صنایع کیمیاوی نفت و گاز پوهنتون پولی تخنیک کابل
محترم پوهاند دوکتور اسرارالدین «گلزاد» فرزند باشی الدین «آخندزاده» در سال ۱۳۳۸ خورشیدی در قریه گلایی ولسوالی غنی خیل ولایت ننگرهار در یک خانواده متدین چشم به دنیا گشود. در سال ۱۳۴۵ شامل مکتب ابتدایه غنی خیل شده و در سال ۱۳۵۲ شامل لیسه ایمل خان گردیده . در سال ۱۳۵۶ شامل پوهنځی علوم طبیعی پوهنتون کابل و از آنجا با استفاده از یک بورس تحصیلی در بخش انجنیری به خارج از کشور اعزام گردیده و در سال ۱۳۶۳ اکادمی نفت و گاز و کیمیای آذربایجان را با اخذ دیپلوم ماستری به درجه اعلی و در ماه سنبله سال ۱۳۸۵ جهت اخذ دوکتورا به خارج از کشور اعزام گردیده که در ماه میزان سال ۱۳۸۸ مؤفقانه ازتیزس دوکتواری خویش دفاع نموده است .
موصوف از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۴ به حیث آمر دیپارتمنت و از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ با حفظ حقوق استادی به حیث مسؤل امور محصلان و سر پرست ریاست پوهنځی آماده گی بخش کابل نیز ایفای وظیفه نموده است. از جمله فعالیت های علمی محترم پوهاند دوکتور اسرارالدین گلزاد و جود هشت کتاب درسی و (۶۹) مقاله علمی – تحقیقی در مجلات ملی و بین المللی به نشر رسیده است و با داشتن ۳۹ سال تجربه کاری خویش در مسلک انجنیری صنایع کیمیاوی نفت و گاز و کیمیای عضوی تدریس و خدمات شایسته را انجام داده است و فعلا هم به حیث آمر دیپارتمنت انجنیری صنایع کیمیاوی نفت و گاز ایفای وظیفه می نماید.

محمد یونس حقیار فرزند غزا جان در سال ۱۳۷۰ در قریه مهرو ولسوالی سیدآباد ولایت میدان وردک در یک فامیل متدین چشم به جهان گشود. وی در سال ۱۳۷۷ شامل مکتب انصارالمومنین گردید. در سال ۱۳۹۲ شامل دیپارتمنت تکنالوژی مواد غیرعضوی پوهنځی تکنالوژی کیمیاوی پوهنتون پولی تخنیک کابل گردید. ایشان در سال ۱۳۹۶ موفقانه پروژه دیپلوم خود را دفاع نموده و به حیث انجنیر-تخنالوگ از این پوهنتون به سطح لیسانس فارغ شدند. در سال ۱۴۰۲ شامل برنامه ماستری انجنیری صنایع کیمیاوی نفت و گاز شده و حالا مصروف کار روی تیزس ماستری و دفاع آن میباشد.