مجله علمی- تحقیقی دیدگاه

دوره ۱؛ شماره ۱؛ خزان و زمستان ۱۴۰۲؛ صفحات ۱۵۵-۱۷۰

مقایسه تکنالوژی‌های تولید بیودیزل از روغن‌های نباتی

همایون آثم[۱*]، عبد المبین عزیزی[۲]

۱*. پوهنیار، دیپارتمنت تکنالوژی کیمیاوی، پوهنځی انجنیری، پوهنتون بلخ، مزار شریف، افغانستان (نویسنده مسئول). http://orcid.org/0009-0001-8272-6731 - hamayounasim17@gmail.com

۲. پوهاند، دیپارتمنت تکنالوژی کیمیاوی، پوهنځی انجنیری، پوهنتون بلخ، مزار شریف، افغانستان. http://orcid.org/0009-0004-3505-8138 - mazizi40@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷ – تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱۹)

چکیده

در عصر امروزی وابستگی بیش از حد و نیاز به وسایط نقلیه باعث بهره‌برداری گسترده از منابع مواد احتراقی نفتی و اتمام سریع این منبع مهم انرژی در جهان شده است. از طرف دیگر استفاده از مواد احتراقی نفتی منجر به افزایش گازهای گل خانه‌ای، تخریب لایه اوزون و آلودگی محیط زیست، اختلالات تنفسی و امراض گوناگون دیگر در سطح کشورهای مترقی جهان شده است. پایان پذیری موادهای احتراقی فوسیلی و بحران‌های محیط زیستی محققان را وادار نموده؛ تا به دنبال سوخت‌های جایگزینی باشند که هم تجدیدپذیر بوده و هم آلودگی کمتری ایجاد کنند. سوخت‌های بیولوژیک و مخصوصاً بیودیزل به‌عنوان یک سوخت جایگزین در موتورهای دیزل فعلی می‌باشد. این سوخت‌های بیولوژیک (روغن‌های نباتی) دارای یک سلسله مشکلات؛ مانند پایین بودن کیفیت اشتعال اند که برای جاگزین نمودن روغن‌های نباتی به‌عنوان مواد سوخت در ماشین‌های دیزلی باید برخی از خواص آن‌ها اصلاح شود. برای تولید سوخت بیودیزل از روغن‌های نباتی، تکنالوژی‌های متنوع، از قبیل استفاده مستقیم و ترکیب روغن‌ها، میکروامولسیون‌ها، پیرولیز و ترانس استریفیکاسیون به‌کار می‌رود. درین تحقیق در مورد مزیت‌ها و نواقص تکنالوژی‌های متذکره بحث صورت گرفته و از جمله آن‌ها ترانس استریفیکاسیون را بنابر مزیت‌های عالی که دارد به حیث میتود بهتر برای تولید بیودیزل پیشنهاد گردید. هم‌چنین دراین تحقیق مروری در مورد مراحل آماده‌سازی، حل کردن کتلست در الکول، تعامل ترانس استریفیکاسیون، جداسازی گلیسیرین و شستشوی بیودیزل بحث صورت گرفته است.

کلمات کلیدی: *بیودیزل، ترانس استریفیکاسیون، تکنالوژی، روغن نباتی، سوخت جاگزین.*

Comparison of Biodiesel Production Technologies From Vegetable Oils

Hamayoun Asim[1*], Abdul Mobin Azizi[2]

1*. Teaching Assistant, Department of Chemical Technology, Faculty of Engineering, Balkh University, Mazar-e-Sharif, Balkh, Afghanistan (Corresponding Author).
hamayounasim17@gmail.com - http://orcid.org/0009-0001-8272-6731

2. Prof., Department of Chemical Technology, Faculty of Engineering, Balkh University, Mazar-e-Sharif, Afghanistan.
mazizi40@gmail.com - http://orcid.org/0009-0004-3505-8138

(Received: 06/02/2024 - Accepted: 08/05/2024)

Abstract

In today's era, excessive dependence on transportation has led to widespread exploitation of fossil fuel resources, particularly petroleum, rapidly depleting this crucial energy source worldwide. On the other hand, the use of petroleum-based fuels has resulted in increased greenhouse gas emissions, ozone layer depletion, environmental pollution, respiratory disorders, and various other health issues in developing countries. The finite nature of fossil fuels and environmental crises has compelled researchers to seek alternative fuels that are both renewable and produce fewer pollutants. Biofuels, especially biodiesel, serve as a substitute for current diesel engines. These biological fuels (plant oils) face challenges such as poor ignition quality, necessitating modifications to make them suitable replacements for conventional diesel fuels in vehicles. Various technologies are employed for biodiesel production from plant oils, including direct use, oil blends, micro emulsions, pyrolysis, and trans esterification. This research discusses the advantages and drawbacks of these technologies, highlighting trans esterification as a superior method for biodiesel production due to its excellent benefits. Furthermore, the study delves into the preparation stages, mass dissolution in alcohol, trans esterification reaction, glycerin separation, and biodiesel washing.

Keywords: *Biodiesel, Transesterfication, Technology, Vegetable Oil, Alternative Fuel.*

مقدمه

مشکل آلودگی محیط زیست جهانی و کاهش سریع منابع انرژی تجدید ناپذیر، نیاز به کشف منابع انرژی جایگزین دارد. در سرتاسر جهان، محققان در حال بررسی گزینه‌هایی برای سوخت‌های تجدید پذیر و سازگار با محیط زیست هستند (Srivastava & et al., 2020). سوخت‌های فوسیلی که از منابع غیر تجدید پذیر تولید می‌شوند باعث گرم شدن جهان، تغییر آب و هوا و امراض علاج ناپذیری ایجاد می‌کنند (Sadaf & et al., 2018). سوخت‌های فوسیلی از دیرباز منبع انرژی در ماشین‌های احتراق داخلی بوده اند. استفاده روز افزون از سوخت‌های فوسیلی، افزایش قیمت محصولات نفتی و کاهش ذخایر موجود محققان را در جهت یافتن منابع جدید انرژی ترغیب نموده است. از طرف دیگر تولید آلاینده‌های محیط زیستی مانند هایدروکاربن‌های سوخته نشده (UHC)، ترکیبات نایتروجن (NO_X)، کاربن مونو اکساید (CO) و کاربن دای اکساید (CO_2) سوخت‌های فوسیلی از عمده ترین معایب آن‌ها محسوب می‌گردد (Phan & Phan, 2008). صد سال پیش رودولف دیزل روغن نباتی را به‌عنوان سوخت موتور خود آزمایش کرد. عبارت بیودیزل برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ ، توسط وانگ استفاده شد و سپس تا سال ۱۹۹۱ ادامه یافت. اولین کارخانه تولید بیودیزل در سال ۱۹۸۷ در سیلوربرگ اتریش، با تلاش تحقیقاتی پوهنتون گریز بوسیله ی پروف میتل بچ، احداث شد (شعار و طریقی، ۲۰۲۱).

با ظهور نفت ارزان، بخش‌های نفت خام مناسب برای استفاده به‌عنوان سوخت تصفیه شدند و سوخت‌های دیزل و موتورهای دیزلی با هم تکامل یافتند (Ma & Hanna, 1999). بیودیزل یک سوخت جایگزین برای موتورهای دیزلی است که پس از رسیدن به سطح قابل توجهی از موفقیت در اروپا در ایالات متحده مورد توجه قرار گرفته است. مزایای اصلی آن این است که یکی از تجدید پذیرترین سوخت های موجود در حال حاضر و هم‌چنین غیر سمی است. همچنین می توان آن را به‌طور مستقیم در اکثر موتورهای دیزلی بدون نیاز به تغییرات گسترده ماشین دیزلی استفاده کرد (Van Gerpen, 2004). بیودیزل هم اکنون با فیصدی‌های مختلفی با سوخت دیزل مخلوط می‌شود. استرالیا و آلمان تنها کشورهایی هستند، که سوخت بیودیزل را به صورت خالص استفاده می‌کنند. میتیل یا ایتیل استر می‌تواند از روغن‌های گیاهان و درختان، چربی حیوانات و یا از روغن‌ها و چربی‌های پسمانده تولید شود. این روغن‌ها با یک الکول (معمولا میتانول یا ایتانول) مخلوط می‌شوند و یک کتلیست؛ مانند سودیم هایدرواکساید همراه با آن استفاده می‌شود. نتیجه چنین تعامل تولید ایستر و گلیسیرین است. بازده کار سوخت بیودیزل (موقع استفاده در موتور) شبه سوخت دیزل است (سعیدی نیچران،

۱۳۹۴). طبق بررسی‌های صورت گرفته ملاحظه می‌شود که افزایش تولید بیودیزل با استفاده از منابع خوراکی سبب ایجاد مشکلات متعدد رقابتی با مواد غذایی خواهد شد به‌خصوص در شرایطی که این تولید با صنعتی شدن و تولید انبوه همراه باشد (شعار و طریقی، ۱۳۹۹). بزرگ‌ترین انتقادی که امروزه به تولید بیودیزل وارد می‌شود این است که بیودیزل می‌تواند مسیر تولید محصولات کشاورزی را به سمت خود منحرف کند. بحث اصلی بر سر این است که برنامه‌های تولید محصولات کشاورزی برای انرژی با برنامه‌های تولید محصولات برای غذا در رقابت هستند و در نتیجه، این رقابت کمبود مواد غذایی و افزایش قیمت آنها را به دنبال خواهد داشت.

اصلی‌ترین مسئله‌ای که مانع استفادهٔ مستقیم از این روغن‌های گیاهی در ماشین‌های دیزلی امروزی می‌شود، داشتن گرانروی سینماتیکی بالا است. لزجیت سینماتیکی بالای این روغن‌ها باعث اشکال در پاشش و پودرشدن مناسب سوخت در محفظهٔ احتراق می‌شود و اختلال در روانکاری و احتراق ناقص و رسوب کاربن در سلندر را به همراه خواهد داشت. برای کاهش گرانروی، استفاده از چهار روش ترانس استریفیکاسیون، پیرولیز، رقیق‌سازی و میکروامولوسیون بررسی شده است که از بین آنها ترانس استریفیکاسیون یا تبادل استری رایج‌ترین روشی است که امروزه در صنعت برای کاهش گرانروی از آن استفاده می‌شود (رجایی‌فر و همکاران، ۱۳۹۴). در این مطالعه بررسی انواع تکنالوژی‌های تولید بیودیزل از روغن‌های نباتی که به‌شکل مقایسوی به کمک کتاب‌ها و مقاله‌های مرتبط با این بخش مورد بررسی قرار گرفته است.

پیشینه تحقیق

بیودیزل یک سوخت جایگزین مشابه گازوئیل معمولی است. معمولاً از روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی، روغن‌های گیاهی غیرخوراکی و روغن‌های ضایعاتی تهیه می‌شود. دوست محیط زیست، غیر سمی بودن و عاری بودن از گوگرد و مواد معطر، آن را نسبت به دیزل فوسیلی معمولی با ارزش می‌سازد. با این حال، با تمام این مزایای زیست محیطی، بیودیزل نمی‌تواند به‌طور گسترده به‌عنوان سوخت جایگزین کامل برای دیزل معمولی استفاده شود. دلیل اصلی که بارها توسط بسیاری از محققین ذکر شده است، هزینه بالای تولید آن است. کاهش هزینه تولید بیودیزل (هزینه واحد تولید) را می‌توان از طریق بهبود بهره‌وری تکنالوژی‌ها برای افزایش محصول، کاهش هزینه سرمایه‌گذاری سرمایه و کاهش هزینه مواد اولیه به‌دست آورد (Gebremariam & Marchetti, 2018). هزینه تولید و قیمت بودن مواد خام

بیودیزل یک طرف و رشد روز افزون آن سبب گردیده که دانشمندان تحقیقات بیش‌تر را در این مورد انجام دهند.

نیچران در سال ۱۳۹۳ به منظور تولید بیودیزل از روغن گیاهی کلزا به حیث مواد خام استفاده کرد. این روغن‌ها مشکلاتی چون پایین بودن کیفیت اشتعال دارند. همه آنها دارای لزجیت بالا بوده و نیاز به پمپ و انژکتورهای مخصوص دارند. با استفاده از مخلوط کردن این روغن‌ها با مشتقات نفتی؛ تا حدود می‌توان مشکل لزجیت بالای روغن را از بین برد (سعیدی نیچران، ۱۳۹۴). هر چند که استفاده از روغن‌های گیاهی قابل استفاده است؛ اما استفاده از آنها سبب پایین آمدن عملکرد اتمیزه کردن در انژکتور می‌گردد و به‌طور عمده در سیستم انژکتور تهنشین شده و در سلندرها سبب مشکلات معینی می‌شود. در این راستا کاهش لزجیت (چاون)، ترکیب اسیدهای چرب و گلیسرول استر از روغن پالم را به ایسترها تبدیل کرد، این کار در حضور ایتیل الکول و کتلیست اسیدی صورت گرفت (شعار و طریقی، ۱۳۹۹).

تحقیق که توسط (مرتضی و همکارانش ۱۴۰۱) تحت عنوان تولید بیودیزل با روغن پخت و پز پسماند از دیدگاه ارزیابی چرخه حیات صورت گرفته نشان می‌دهد که بیودیزل حاصل از روغن پخت و پز استفاده شده پایدارترین بیودیزل از نقطه نظر استفاده از منابع تجدید ناپذیر است (مرتضی و همکاران، ۱۴۰۱).

کیسالائی و همکاران به‌منظور تولید بیودیزل از روغن پسمانده گل آفتاب پرست استفاده کرد. در این تحقیق برای به‌دست آوردن بیودیزل تعدادی از متغیرها از جمله نسبت حجمی، انواع تعامل دهنده‌ها و فعالیت کتلیست انتخاب شدند. بالاترین محصول بیودیزل ۹۵.۵ فیصد تحت شرایط نسبت حجمی الکول به روغن ۶ :۱ کتلیست KOH به میزان ۱ فیصد وزنی در حرارت ۶۰ درجه سانتی گرید و تعداد دور مخلوط کننده 650 rpm به‌دست آمد. نتایج نسان داد که تولید بیودیزل از روغن پسمانده گل آفتاب پرست مشخصات و کیفیت مناسب داشته و می‌تواند در ماشین دیزلی به‌عنوان سوخت تجدید پذیر بدون کدام تغییرات استفاده کرد (کیسالائی و دیگران، ۱۴۰۱). مواد خام بیودیزل را اکثرا مواد خوراکی تشکیل می‌دهد که این خود یک مشکل جدی برای بیودیزل می‌باشد. بدین منظور دانشمندان در جست‌و جوی مواد خام ارزان و قابل دسترس هستند. در این اواخر دانشمندان روی جلبک‌ها تحقیقات گسترده را به‌منظور تولید بیودیزل انجام دادند.

سعد و همکارانش (۲۰۱۹) تحت عنوان (سوخت‌های زیستی جلبکی: وضعیت فعلی و چالش‌های کلیدی) مقاله خویش را به نشر رسانیدند. در تحقیق ایشان دریافتند که جلبک‌ها

منابع جذابی از مواد اولیه برای تولید سوخت زیستی هستند. بیودیزل، بیوگاز، بیوایتانول، مواد دارویی، مواد مغذی و سایر محصولات ارزشمند را می‌توان از جلبک‌ها به‌دست آورد. سوخت‌های زیستی (بیوفیول) تجدید پذیر، زیست تخریب پذیر و سازگار با محیط زیست هستند. جلبک‌ها دارای بسیاری از ویژگی‌های مطلوب؛ مانند رشد سریع و محتوای چربی بالا هستند. کلوروفیت‌ها (شامل جلبک‌های میکرو و ماکرو) بزرگ‌ترین گروه جلبک‌ها را با کاربرد در تصفیه آب، تامین غذا، داروسازی و تولید انرژی نشان می‌دهند (Saad & et al., 2019).

ما و حانا (۱۹۹۹) در مقاله که تحت عنوان تولید بیودیزل به نشر رسانیدند، مزیت‌های روش ترانس استریفیکاسیون را مورد بررسی قرار داده اند. از میان چندین روش موجود برای تولید بیودیزل، ترانس استریفیکاسیون روغن‌ها و چربی‌های طبیعی در حال حاضر روش انتخابی است. هدف این عملیه کاهش لزجیت روغن یا چربی است. اگرچه افزودن روغن‌ها و حلال‌های دیگر و مایکروامولسیون‌های روغن‌های گیاهی لزجیت را کاهش می‌دهد، مشکلات عملکرد موتور مانند توده کاربن و آلودگی روغن مزاحم هم‌چنان وجود دارد. ترانس استریفیکاسیون اساساً یک تعامل متوالی است. تری گلیسریدها ابتداء به دی گلیسریدها کاهش می‌یابند. سپس دی گلیسریدها به منو گلیسریدها کاهش می‌یابند. منو گلیسریدها در نهایت به استرهای اسید چرب کاهش می‌یابند. ترتیب تعامل با شرایط تعامل تغییر می‌کند. عوامل اصلی تأثیرگذار بر ترانس استریفیکاسیون شامل نسبت مولی گلیسریدها به الکول، کتلیست‌ها، حرارت و زمان تعامل، و محتوای اسیدهای چرب آزاد و آب در روغن‌ها و چربی‌ها می‌باشد. نسبت مولی پذیرفته شده عموماً برابر با ۶ به ۱ برای الکول به گلیسریدها است. کتلیست‌های القلی مؤثرتر از کتلیست‌های اسیدی و انزایمی هستند. میزان توصیه شده از القلی بین 0.1 تا 1 درصد وزنی از روغن‌ها و چربی‌ها استفاده می‌شود. حرارت‌های تعامل بالاتر تعامل را تسریع کرده و زمان تعامل را کوتاه می کند. تعامل در ابتداء به مدت کوتاهی کند است و سپس به سرعت ادامه پیدا می‌کند و سپس دوباره کند می‌شود. ترانس استریفیکاسیون های القلی اساساً در عرض یک ساعت به اتمام می‌رسند (Ma and Hanna, 1999).

بحث و بررسی

مواد خام و خواص بیودیزل

برای تولید بیودیزل می توان از انواع مواد اولیه استفاده کرد. بیش از ۳۵۰ دانه روغنی دارای پتانسیل تولید بیودیزل هستند. قسمی که در جدول ۱ تحریر گردیده، مواد اولیه شامل انواع روغن‌های گیاهی خوراکی و غیرخوراکی، چربی‌های حیوانی، روغن‌های زائد مختلف و روغن های میکروبی است (Athar and Zaidi, 2021). روغن‌های گیاهی طبیعی و چربی‌های حیوانی

به‌طور معمول با استخراج یا فشرده‌سازی، برای به‌دست آوردن روغن یا چربی خام، استخراج می‌شوند. این‌ها معمولاً شامل اسیدهای چرب آزاد، فاسفولیپیدها، ایسترول‌ها، آب، عطرها و دیگر آلاینده‌ها هستند. حتی روغن‌ها و چربی‌های تصفیه شده نیز حاوی مقادیر کمی از اسیدهای چرب آزاد و آب هستند. محتوای اسیدهای چرب آزاد و آب تأثیرات قابل توجهی بر ترانس ایستریفیکاسیون گلیسریدها با الکول‌ها با استفاده از کتلیست‌های القلی یا اسیدی دارند. همچنین، آنها با جداسازی ایسترهای اسیدهای چرب و گلیسرول تداخل دارند. تحقیقات قابل توجهی در زمینه استفاده از روغن‌های گیاهی به‌عنوان سوخت دیزل انجام شده است. این تحقیقات شامل روغن‌های خرما، سویا، آفتاب پرست، نارگیل، کلزا و روغن تونگ بوده است. چربی‌های حیوانی؛ اگرچه به‌طور مکرر اشاره شده‌اند، به همان اندازه که روغن‌های گیاهی مورد مطالعه قرار نگرفته اند. برخی از روش‌های قابل اعمال بر روغن‌های گیاهی بر روی چربی‌های حیوانی به دلیل تفاوت‌های طبیعی قابل اعمال نیستند. علاوه بر این، روغن‌های الگو، باکتری و قارچ نیز مورد بررسی قرار گرفته اند (Ma & Hanna, 1999).

جدول ۱. انواع روغن و منابع آنها برای تولید بیودیزل (Athar and Zaidi, 2021).

نوع روغن		منبع روغن
روغن‌های گیاهی	خوراکی	سویا، خردل، سبوس برنج، آفتاب پرست، پنبه دانه، زیتون، بادام زمینی، کنجد، خرما و غیره.
	غیر خوراکی	جاتروفا، ماهوا، جوجوبا، چریش، کارانجا، بوته شیر، دانه لاستیک، ناگچامپا، کرچک، مهره نفتی، درخت پنبه ابریشم، تونگ و غیره.
چربی حیوانی		چربی مرغ، پیه گوشت گاو، روغن ماهی، گوشت خوک
روغن‌های پسمانده		ضایعات روغن سرخ کردنی، روغن پیت
روغن میکروبی		قارچ‌ها، ریزجلبک‌ها (کلرالولگ)، جلبک‌ها (سیانوباکتری‌ها)

سوخت‌های بیودیزل به عنوان جزء ترکیبی یا جایگزین مستقیم برای دیزل در ماشین‌های دیزلی توجه دانشمندان را به خود جلب نموده است. بیودیزل شامل استرهای اسید چرب الکایل (طول زنجیره C_{14} - C_{22}) از الکول‌های زنجیره کوتاه، اصولاً متانول یا اتانول است. از نظر کیمیاوی، بیودیزل می‌تواند به عنوان یک سوخت متشکل از استرهای منوالکایل اسیدهای چرب با زنجیره‌های بلند مشتق از منابع انرژی قابل تجدید، مانند روغن نباتی، چربی حیوانی و غیره، تعریف شود. بیودیزل با نام B100 شناخته می‌شود و باید به استندردهای انجمن آزمایش و مواد آمریکا (ASTM D 6751) و استندرد های کشورهای اروپایی (EN 14214) تطابق داشته

باشد. ویژگی‌های حرارتی، فزیکی و کیمیاوی بیـودیزل (جـدول ۱.۳) بـر روی رفتـار احتـراق و رفتارهای ذخیره‌سازی تأثیر خواهد گذاشت (Siraj Kale & Deshmukh, 2017).

جدول 2. خواص بیودیزل (Demirbas, 2008)

نام متداول	بیودیزل (بیو دیزل)
نام کیمیاوی معمول	اسید چرب (m) اتیل استر
محدوده فرمول کیمیاوی	متیل استرهای C_{14}-C_{24} یا $C_{15\text{-}25}\ H_{28\text{-}48}\ O_2$
محدوده لزجیت سینماتیکی $mm^2/_s,\ at\ 313K$	3.3□5.2
محدوده کثافت($Kg/_{m^3}$, at 288 K)	860□894
محدوده نقطه جوش (K)	>475
محدوده نقطه اشتعال (K)	430□455
محدوده تقطیر (K)	470□600
فشار بخار (mm Hg, at K ۲۹۵)	<5
حلالیت در آب	نامحلول در آب
ظاهر فزیکی	زرد روشن تا تیره، مایع شفاف
بو	بوی ملایم کپک زدگی/ صابون
زیست تخریب پذیری	زیست تخریب پذیرتر از گازوئیل نفتی

تکنالوژی‌های تولید بیودیزل

چندین تکنالوژی قبول شده تولید سوخت بیودیزل موجود است. روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی برای کاهش لزجیت مناسب هستند؛ تا محصول به‌دسـت آمـده دارای خـواص مناسـب برای استفاده به‌عنوان سوخت موتور دیزل باشد. روش‌های زیادی برای این اصلاح بـرای تولیـد بیودیزل با کیفیت بهتر، مانند استفاده مستقیم و مخلوط کردن، میکرو امولسـیون‌هـا، پیرولیـز روغن نباتی و ترانس استریفیکاسیون وجود دارد. در این تحقیق، بررسی اجمالی ایـن میتودهـا صورت گرفته است (Abbaszaadeh & et al., 2012).

استفاده مستقیم و ترکیب روغن‌ها

استفاده از روغن‌های گیاهی به‌عنوان سوخت جایگزین از سال ۱۹۰۰ زمانی که مختـرع موتـور دیزل، دکتر رودلف دیزل، برای اولین بار روغن بادام زمینی را در ماشین درونسوز خود آزمایش کرد، وجود داشته است. استفاده مستقیم از روغن‌های گیاهی در موتورهای دیزلی مشـکل‌سـاز است و دارای نقص‌های ذاتی بسیاری است. فقط در چند دهۀ گذشته تحقیقات گسـترده‌ای در مورد آن انجام شده است؛ اما برای نزدیک به ۱۰۰ سال آزمایش شده است. روغن‌هـای گیـاهی خام را می‌توان مستقیماً با سوخت دیزل مخلوط یا رقیق کـرد؛ تـا لزجیـت را بهبـود بخشـد و مشکلات مربوط به استفاده از روغن‌های گیاهی خالص با ویسکوزیته بالا در موتورهای احتـراق

تراکمی حل شود. مصرف انرژی، با استفاده از روغن‌های گیاهی خالص، مشابه سوخت دیزل است. برای کوتاه مدت استفاده از نسبت‌های ۱:۱۰- ۲:۱۰ روغن به سوخت دیزل موفقیت‌آمیز بوده است؛ اما استفاده مستقیم از روغن‌های گیاهی و یا استفاده از مخلوط روغن‌های گیاهی به‌طور کلی برای موتورهای دیزل مستقیم و غیرمستقیم رضایت بخش و غیرعملی در نظر گرفته شده است.

ویسکوزیته بالا، ترکیب اسیدی، محتوای اسیدهای چرب آزاد، و هم‌چنین تشکیل صمغ به دلیل اکسیداسیون و پلیمریزاسیون در حین ذخیره‌سازی و احتراق، رسوبات کاربن و غلیظ شدن روغن روان کننده مشکلات آشکاری هستند. حرارت دادن و اختلاط روغن‌های گیاهی ممکن است ویسکوزیته را کاهش داده و فراریت روغن‌های گیاهی را بهبود بخشد؛ اما ساختار مالیکولی آن بدون تغییر باقی می‌ماند، بنابراین خصوصیات چند غیراشباع باقی می‌ماند. استفاده از روغن‌های گیاهی در موتورهای دیزلی مستلزم تغییرات قابل توجهی در موتور از جمله تعویض لوله‌ها و مصالح ساختمانی انژکتور است، در غیر این صورت زمان کارکرد موتور کاهش می‌یابد، هزینه‌های نگهداری به دلیل فرسودگی بیش‌تر افزایش می‌یابد و خطر خرابی موتور افزایش می‌یابد (Abbaszaadeh & et al., 2012).

مایکروامولسیون‌ها

از جمله خواص فزیکی روغن نباتی خام که باعث می‌شود مستقیماً به عنوان سوخت مورد استفاده قرار نگیرد، لزجیت آن است. ما و همکاران او در نتیجه تحقیقات شان پیشنهاد نمود که تشکیل میکرو امولسیون[1] یکی از راه حل‌های بالقوه برای حل مشکل لزجیت روغن نباتی شده می‌تواند (Ma and Hanna, 1999).

برای حل مشکل لزجیت بالای روغن‌های گیاهی، مایکرو امولسیون‌ها با حلال‌هایی مانند متانول، ایتانول و ۱- بوتانول مورد مطالعه قرار گرفت. مایکرو امولسیون به‌عنوان یک توزیع تعادل کلوییدی، از سیال مایکرو ساختار مایکروسکوپی نوری با ابعاد به‌طور کلی در محدوده ۱ $\mp$ ۱۵۰ نانو متر تعریف شده است، که از دو مایع به‌طور معمول غیر قابل امتزاج و یک یا چند آمفیفیل‌های آیونی یا غیر ایونی تشکیل شده است. آنها می‌توانند ویژگی‌های اسپری تبخیر مواد منفجره از ترکیبات جوش پایین در میسل را بهبود ببخشند. عمل‌کرد کوتاه مدت از هر دو مایکرو امولسیون آیونی غیر آیونی ایتانول آبی در روغن سویا تقریباً به‌خوبی دیزل نوع دوم علی رغم رقم پایین‌تر اکتان و انرژی می‌باشد (ولی‌زاده کیامحله، ۱۳۹۲).

[1] Micro – emulsion

روش‌های پیرولیز

پیرولیز[1] تعامل است که در آن عمدتاً بیوکتله جامد با اعمال حرارت‌های بالا در نرخ‌های گرمایش مختلف تجزیه می‌شود. این بیش‌تر از طریق افزایش حرارت روغن‌های نباتی در غیاب اکسجن حاصل می‌شود. این روغن‌های زیستی (مایعات) به‌همراه محصولات تولید هم‌زمان ذغال چوب (جامد) و گاز سوختی تولید می‌کند. روش‌های پیرولیز بیوکتله عمدتاً سوخت‌های زیستی با مقادیر متوسط یا کم کالری/ محتوای انرژی تولید و بازیابی می‌کنند (Demirbas, 2004) بر اساس شرایط فرآیند، روش‌های پیرولیز سوخت زیستی به روش‌های «معمولی»، «سریع» و «فلش» به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

۱.۳.۲.۳. پیرولیز معمولی شامل تعاملاتی است که با سرعت های گرم شدن نسبتاً آهسته از ۰.۱ درجه کالوین بر ثانیه تا ۱درجه کالوین بر ثانیه در یک فاصله زمانی ۴۵ تا ۵۵۰ ثانیه تحریک می‌شوند. در ابتداء، یک مرحله پیش از تجزیه در اثر حرارت لازم است. این معمولاً در محدوده حرارت ۵۵۰ -۹۵۰ درجه کالوین انجام می‌شود و تجزیه بیوکتله را تحریک می‌کند. در این مرحله، بازسازی مالیکولی؛ مانند حذف آب، ترک خوردن برخی پیوندهای کیمیاوی، آزادسازی رادیکال‌های آزاد، ایجاد گروه‌های عاملی کربونیل و در برخی موارد، گروه‌های عاملی هایدروپراکساید به‌وجود می‌آید.

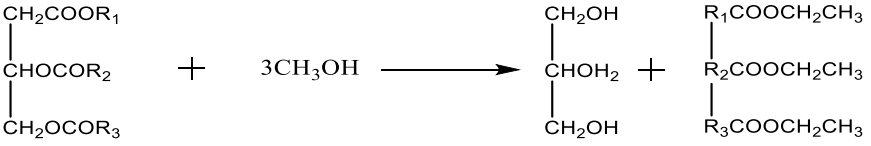
۲.۳.۲.۳. پیرولیز سریع در محدوده‌ای حرارت ۸۵۰ درجه کالوین تا ۱۲۵۰ درجه کالوین با اعمال نرخ گرمایش از ۱۰ درجه کالوین بر ثانیه تا ۲۰۰ درجه کالوین بر ثانیه در بازه زمانی اقامت ۰.۵ تا ۱۰ ثانیه اجرا می‌شود. مواد اولیه ای که به ذرات بسیار کوچک، یعنی کم‌تر از ۱ میلی متر تقسیم می شوند، معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شامل آماده‌سازی پیش تصفیه بیش‌تر مواد اولیه بیوکتله جامد است.

۳.۳.۲.۳. پیرولیز فلش معمولاً برای قطعات زمینی قطعات نسبتاً بزرگ مواد چوبی به عنوان ماده اولیه بیوکتله آن اعمال می‌شود. این در محدوده ی حرارت از ۱۰۵۰ درجه کالوین تا ۱۳۰۰ درجه کالوین در نرخ‌های بالای گرمایش که به بیش از ۱۰۰۰ درجه کالوین بر ثانیه می‌رسد انجام می شود. فواصل زمان اقامت کم‌تر از ۰.۵ ثانیه و اندازه ذرات کم‌تر از ۰.۲ میلی متر معمولاً درگیر هستند (Heidari & Wood, 2021).

[1] Pyrolysis

ترانس استریفیکاسیون

ترانس استریفیکاسیون[1] تعامل روغن و الکول با یا بدون کتلیست برای تولید استرها (بیودیزل) و گلیسرول به‌عنوان یک محصول است (شکل۱.۳). از آنجایی که تعامل درگیر برگشت پذیر است، حجم اضافی الکول برای حمایت از تعامل رو به جلو و تغییر تعادل به سمت محصول مورد نیاز است. تعامل ترانس استریفیکاسیون در سه مرحله تکمیل می‌شود که در آن تبدیل تری گلیسیرید به دی گلیسرید اولین مرحله است، به دنبال آن تبدیل دی گلیسرید ها به مونوگلیسرید و سپس به گلیسرول، تولید یک مالیکول استر از هر گلیسرید در هر مرحله (شکل ۲.۳).



شکل ۱.۳. تعامل ترانس استریفیکاسیون

$$\text{Triglyceride} + R^1OH \rightleftharpoons \text{Diglyceride} + RCOOR^1$$

$$\text{Diglyceride} + R^1OH \rightleftharpoons \text{Monolyceride} + RCOOR^1$$

$$\text{Monoglyceride} + R^1OH \rightleftharpoons \text{Glyceride} + RCOOR^1$$

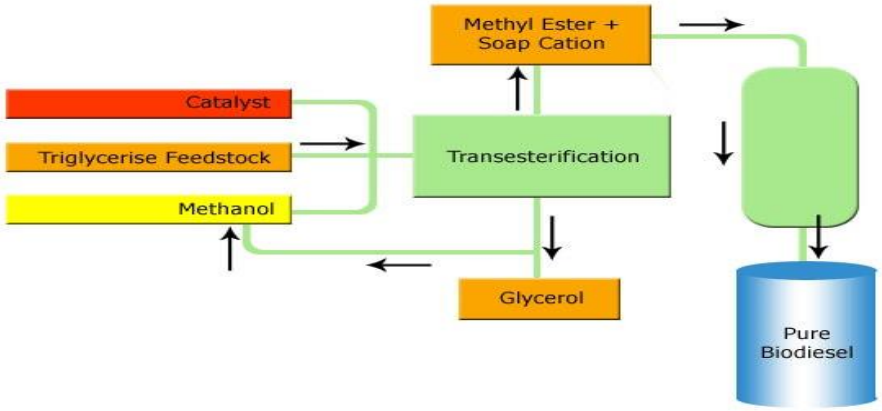
شکل ۳.۲. مکانیسم کلی تعامل ترانس استریفیکاسیون

تعامل ترانس استریفیکاسیون در حضور کتلیست‌های اسیدی، القلی یا آنزیمی انجام می‌شود. بر اساس حلالیت کتالیزور در تعامل دهنده‌ها، می‌توان آن را به‌طور متجانس یا غیر متجانس کتالیز کرد.

مواد تعامل کننده در پروسه تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون روغن، الکول و کتلیست می‌باشد. برای ورود روغن به فرایند تولید بیودیزل، باید روغن‌ها قبل از واکنش آماده شوند. دو عامل مهم مورد نیاز روغن‌ها برای این منظور نبودن آب و مواد اضافی (تکه‌های مواد غذایی یا هر ماده دیگر) است (Gashaw & Teshita, 2014). روغن و مخلوط الکول و کتلیست

[1]- Trans esterification

تهیه شده وارد تعامل می‌شوند، و به منظور تعامل بهتر بین کمپوننت‌ها به شدت توسط یک مخلوط کننده، مخلوط می‌شوند. محصول تعامل قسمیکه در (شیمای ۱) نشان داده شد، بیودیزل و گلیسیرین می‌باشد.



شیما ۱.۳. تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون

زمان لازم انجام این تعامل یک تا چهار ساعت است. البته در ۴۵ دقیقه اول بیش از ۸۰ درصد واکنش انجام می‌گیرد. وجود آب در واکنش سبب تولید صابون و کاهش بازده می‌شود. این تعامل قابل پیش‌گیری نیست. صابون زیاد در محصولات می‌تواند مانع انجام دیگر مراحل کار بر روی بیودیزل مانند جداسازی گلیسیرین و آب شوی شود (Nwafor, Rice & Ogbonna, 2000).

شستشوی محصولات نهایی استر یک فعالیت بسیار مهم در طول فرآوری بیودیزل است. استر چندین بار از توسط آب مقطر شسته می‌شود و از بالا از طریق اسپری غبار باریک ایجاد می‌کند. مطالعات که در این مورد صورت گرفته نشان می‌دهد که شست‌و شوی با اسپری که باعث هم زدن کم‌تر و در نتیجه تشکیل صابون کم‌تر می‌شود. شست‌و شو را می‌توان با استفاده از آب گرم شست‌و شوی ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد بهبود بخشید (Chhetri, Watts & Islam, 2008).

مزیت‌های تکنالوژی ترانس استریفیکاسیون

چهار طریقه تولید بیودیزل که در فوق توضیح داده شد، روش یا تکنالوژی ترانس استریفیکاسیون بنابر مزیت‌های ذیل به‌منظور تولید بیودیزل بیش‌تر مورد توجه جهانیان قرار گرفته است.

- با ترانس ایستریفیکاسیون روغن‌ها، اتوم‌های اکسجن در مالیکول بیودیزل حفظ می‌شوند و از آن جدا نمی‌شوند وجود اکسجن در مالیکلول بیودیزل یکی از مزایای این سوخت است.
- تولید با این روش به امکانات و شرایط کم‌تری نیاز دارد.
- سطح تولید در این روش بیش‌تر است.
- این روش معمول‌تر است و کارخانجات تولید بیودیزل ساخته شده در کشورهای مختلف با این روش کار می‌کنند (SA, 2011).

بیودیزل جایگزین ماشین‌های دیزلی

بیودیزل یک سوخت جایگزین پاک سوز است که از منابع داخلی و تجدیدپذیر تولید می‌شود که تولید و استفاده از آن بسیار کار آمدتر از بنزین است. تاریخچه توسعهٔ بیودیزل بیش‌تر سیاسی است تا تکنالوژیکی. فرآیند واقعی ساخت بیودیزل در ابتداء در اوایل دههٔ ۱۸۰۰ توسعهٔ یافت و اساساً بدون تغییر باقی مانده است. این تأثیرات سیاسی و اقتصادی رهبران صنعتی در طول دهۀهای ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ بود که باعث شد گرایش‌های سوخت به استفاده از سوخت‌های مبتنی بر نفت در مقابل سوخت‌های کشاورزی تمائل نشان دهند.

جدول ۳. مقایسه جایگاه سوخت‌های مدرن قابل دسترس (فعلی– آینده) (Demirbas, 2008)

نوع سوخت	دسترسی	
	فعلی	آینده
گازوئیل	عالی	متوسط – ضعیف
بیودیزل	متوسط	عالی
گاز طبیعی فشرده (CNG)	عالی	متوسط
پیل سوختی هایدروجنی	ضعیف	عالی

جدول ۳.۳. مقایسه جایگاه سوخت‌های مدرن قابل دسترس (فعلی– آینده) را نشان می‌دهد که مزیت بیودیزل از این نظر، این است که مشتق شده از محصولات طبیعی است. با افزایش تقاضا، می‌توان تولید محصولات کشاورزی مورد نیاز را برای جبران افزایش داد. بیودیزل خواص روان کنندگی بهتری نسبت به دیزل فوسیلی دارد. محتوای اکسجن آن پروسه احتراق را بهبود می‌بخشد و منجر به کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها می‌شود. بیودیزل غیر سمی است و به سرعت تجزیه می‌شود. خطرات جابجایی، حمل و نقل و ذخیره‌سازی بیودیزل بسیار کم‌تر از خطرات مرتبط با دیزل فوسیلی است. رقابت پذیری بیودیزل به قیمت مواد اولیه بیو کتله و هزینه‌های بستگی دارد که با فناوری تبدیل مرتبط هستند. بیودیزل با دیزل فوسیلی در شرایط اقتصادی کنونی قابل رقابت نیست، جایی که اثرات خارجی مثبت،

مانند اثرات بر محیط زیست، اشتغال، تغییرات آب و هوایی و تـراز تجـاری در مکـانیزم قیمـت منعکس نمی‌شود (Demirbas, 2008).

نتیجه‌گیری

بیودیزل یک جایگزین جذاب برای استفاده از سوخت‌های فسیلی اسـت، کـه از منـابع تجدیـد پذیر به‌دست می‌آید. برای تولید بیودیزل از روغن‌هـای گیـاهی بایـد بعضـی از خـواص؛ ماننـد لزجیت روغن اصلاح شود؛ تا با خواص بیودیزل مطابقت کند. برای تولیـد سـوخت بیـودیزل از روش‌های پیرولیز، میکروامولسیون و ترانس استریفیکاسیون استفاده می‌شود. از تکنالوژی‌هـای مختلفی که برای تولید بیودیزل وجود دارد، ترانس استریفیکاسیون بنابر مزیت‌های مانند حفظ اکسجن در مالیکول‌های بیودیزل، نیاز به امکانات و شرایط کم‌تر و سطح تولید بیش‌تر، در حال حاضر رایج‌ترین روش در سطح دنیا است. بنابراین مزیت‌ها کارخانه‌هـا تولیـد بیـودیزل سـاخته شده در کشورهای مختلف با این روش کار می‌کنند. با وجود این همـه مزیـت‌هـا، بیـودیزل تـا هنوز در میدان رقابت از لحاظ اقتصادی در برابر دیزل فوسیلی ناکام بوده است. رقابـت‌پـذیری بیودیزل به قیمت مواد اولیه و هزینه‌های بستگی دارد که با تکنالوژی تبـدیل مـرتبط هسـتند. تمرکز تولید بیودیزل باید بر روی منابعی؛ مانند روغن و گریس پسماند، چربـی‌هـای حیـوانی و منابع غیرخوراکی باشد. این مهم است که قبل از قبل مشخص شود که چه مقدار از ایـن مـواد ممکن است سالانه قابل جمع‌آوری باشد، و چه نسبتی از نیازهای حمل و نقل- سوخت را ایـن منابع می‌توانند تامین کنند. بنابر موجودیت آب فروان، منابع بشری ارزان و زمین‌هـای حاصـل خیز، به قیمت مناسب مواد اولیه این انرژی در افغانستان تهیه گردد. و از طرف دیگر روغن‌های پسمانده رستورانت‌ها، ماهی‌پذی‌ها و خانه‌ها به قیمت ارزان جمـع‌آوری و مـورد اسـتفاده قـرار گیرد. بناً پیشنهاد می‌شود، که در بخش فناوری تولید بیودیزل و هـم تولیـد مـواد اولیـه ارزان، تحقیقات بیش‌تر صورت گیرد؛ تا اینکه این انرژی پاک با دیزل فوسیلی رقابت نموده بتواند.

منابع و مآخذ

کیسالائی، اسما و دیگران. (۱۴۰۱). استفاده از روغن پسـماند آفتـابگردان جهـت تولیـد بیـودیزل. دومین کنفرانس ملی مدیریت سبز پسماند.https://civilica.com/doc/1547874

رجایی‌فر، محمدعلی و دیگران. (۱۳۹۴). ارزیابی انرژی و اقتصادی تولیـد بیـودیزل از روغـن تفالـهٔ زیتون با رویکرد چرخهٔ زندگی. مهندسی بیوسیستم ایران, ۴۶(۳), ۲۰۹-۲۱۸.

سعیدی نیچران، محمدرضا. (۱۳۹۴). تولید سوخت زیستی بیـودیزل. *مهندسـی مکانیـک*, ۲۴(۳), ۵۷-۶۶.

ولی‌زاده کیامحله، محمد و دیگران. (۱۳۹۲). مروری بر روشهای تولید بیودیزل با تاکید بر روش استری شدن، چهارمین همایش بیوانرژی ایران (بیو ماس و بیو گاز)، ۲۱ آبان، https://civilica.com/doc/217939.

Abbaszaadeh, A., Ghobadian, B., Omidkhah, M. R., & Najafi, G. (2012). Current biodiesel production technologies: A comparative review. *Energy Conversion and Management*, *63*, 138-148.

Athar, M., & Zaidi, S. (2021). Biodiesel Production Technologies. *Biodiesel Technology and Applications*, 241-265.

Chhetri, A. B., Watts, K. C., & Islam, M. R. (2008). Waste cooking oil as an alternate feedstock for biodiesel production. *Energies*, *1*(1), 3-18.

Demirbas, A. (2008). *Biodiesel* (pp. 111-119). Springer London.

Demirbas, A. (2004). Current technologies for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. *Energy Sources*, *26*(8), 715-730.

Gashaw, A., & Teshita, A. (2014). Production of biodiesel from waste cooking oil and factors affecting its formation: A review. *International journal of renewable and sustainable energy*, *3*(5), 92-98.

Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2018). Economics of biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, *168*, 74-84.

Heidari, S., & Wood, D. A. (2021). Biodiesel production methods and feedstocks. *Biodiesel Technology and Applications*, 447-464.

Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource technology*, *70*(1), 1-15.

Nwafor, O. M. I., Rice, G., & Ogbonna, A. I. (2000). Effect of advanced injection timing on the performance of rapeseed oil in diesel engines. *Renewable energy*, *21*(3-4), 433-444.

Saad, M. G., Dosoky, N. S., Zoromba, M. S., & Shafik, H. M. (2019). Algal biofuels: current status and key challenges. *Energies*, *12*(10), 1920.

Sadaf, S., Iqbal, J., Ullah, I., Bhatti, H. N., Nouren, S., Nisar, J., & Iqbal, M. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: an efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable cities and society*, *41*, 220-226.

SA, R. (2011). Biodiesel production from jatropha oil and its characterization. *Res J Chem Sci*, *1*, 81-87.

Siraj, S., Kale, R., & Deshmukh, S. (2017). Effects of thermal, physical, and chemical properties of biodiesel and diesel blends. Am. J. Mech. Ind. Eng, 2(1), 24.

Srivastava, N., Srivastava, M., Mishra, P. K., & Gupta, V. K. (Eds.). (2020). *Substrate analysis for effective biofuels production*. Springer Nature.

Phan, A. N., & Phan, T. M. (2008). Biodiesel production from waste cooking oils. *Fuel*, *87*(17-18), 3490-3496.

Van Gerpen, J. (2004). *Biodiesel production technology*. USDA/NCAUR