

A Review on Production of Biodiesel from Waste Cooking Oils

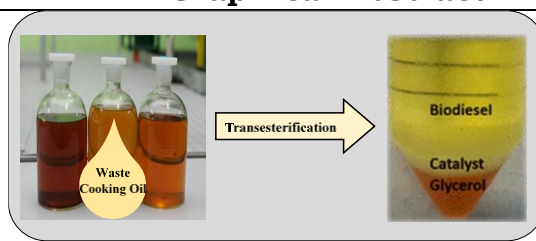
Muzhda Azizi^{1*}, Sweeta Akbari²

¹Faculty of Chemical Engineering Technology, Jawzjan University, Jawzjan, Afghanistan

²Faculty of Chemical & Natural Resources Engineering, Universiti Malaysia Pahang, Lebuhraya Tun Razak, 26300 Gambang, Pahang, Malaysia

*Corresponding author: Muzhda Azizi (muzhdaazizi7@gmail.com)

Graphical Abstract



Abstract


Nowadays, preservation of natural resources on earth is one of the most important concerns of humanity. In this regard, increasing the consumption of energy is one of the most critical challenges that humans are facing. Because, on the one hand, the untapped use of different sources of energy from fossil fuels can destroy this natural resource and, on the other hand, pollution from the use of these resources is a serious threat to the environment. Recent research suggests that affordable, sustainable and environmentally friendly fuels, which can be a good alternative to fossil fuels, have become more important. Therefore, biodiesel has made it possible to release less greenhouse gas emission and low toxicity emissions, which can partly meet fuel requirements and is the best alternative for petroleum diesel. In addition, the waste cooking oils are a major source of biodiesel for their essential compounds, such as glycerol. The use of waste cooking oils can reduce biodiesel production cost by 60 to 90 percent. Therefore, the main objective of this review is to study the production of biodiesel using transesterification reaction of waste cooking oil as an alternative fuel to petroleum diesel that can be used easily in diesel engines.

Keywords: Biodiesel, waste cooking oil, transesterification, methanol, glycerol, catalyst.

DOI: 10.53894/ijirss.v1i2.8

Funding: This study received no specific financial support.

History: Received: 17 August 2018/Revised: 10 September 2018/Accepted: 25 September 2018/Published: 15 October 2018

Licensed: This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Acknowledgement: Both authors contributed to the conception and design of the study.

Competing Interests: The authors declare that they have no conflict of interests.

Transparency: The authors confirm that the manuscript is an honest, accurate, and transparent account of the study was reported; that no vital features of the study have been omitted; and that any discrepancies from the study as planned have been explained.

Ethical: This study follows all ethical practices during writing.

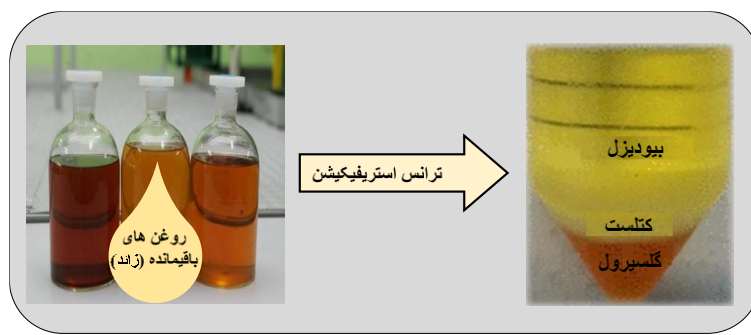
مروری بر تولید بیودیزل از روغن های باقیمانده پخت و پز

*مژده عزیزی،²سویتا اکبری

¹فاکولته انجینیری تکنالوژی کیمیایوی، پوهنتون جوزجان، جوزجان، افغانستان

²فاکولته انجینیری کیمیایوی و منابع طبیعی، پوهنتون بهنگ مالیزیا، گمبنگ 26300، بهنگ، مالیزیا

خلاصه گرافیکی



خلاصه

امروزه، حفظ منابع طبیعی در کره زمین به یکی از مهمترین دغدغه های بشر تبدیل گردیده است. درین راستا مصرف روبه افزون انرژی یکی از چالش های مهم روبروی بشر است. زیرا، از یک طرف مصرف بی اندازه انواع منابع انرژی حاصل شده از سوخت های فوسیلی این ذخیره طبیعی را در معرض نابودی قرار داده و از سوی دیگر آلودگی ناشی از مصرف این منابع تهدیدی برای محیط زیست میباشد. تحقیقات جدید نشان میدهند که سوخت های مقرون به صرفه، پایدار و سازگار با محیط زیست که بتوانند جایگزین خوب برای سوخت های فوسیلی شود، اهمیت بیشتر را کسب نموده اند. از اینرو، بیودیزل به دلیل خواص قابل توجه آن همچو انتشار کمتر گازات گلخانه ای و سمیت کم ثابت ساخته است که میتواند تا حدی نیازمندی های سوختی را تکمیل نموده و بهترین جایگزین برای دیزل های نفتی باشد. بر علاوه، روغن های باقی مانده از پخت و پز به دلیل دارا بودن ترکیبات مهم همچو گلیسرول منبع مهمی برای تولید بیودیزل میباشند. استفاده از روغن های پخت و پز زائد میتواند مصرف تولید بیودیزل را 60 الی 90 فیصد کاهش دهد. بنا برین، هدف اساسی این مرور عبارت از بررسی تولید بیودیزل از روغن های باقی مانده پخت و پز به طریق ترانس استریفیکیشن بوده که به عنوان مواد سوخت جایگزین خوبی برای گازوئیل بوده و به آسانی قابل استفاده در انجن های دیزلی نیز میباشد.

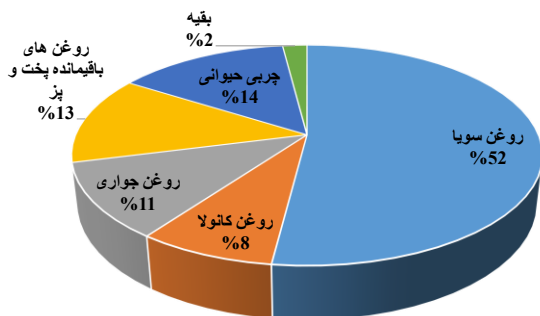
کلمات کلیدی: بیودیزل، روغن های باقیمانده، گلیسرول، ترانس استریفیکیشن، میتانول، کتلاست

1. مقدمه

اهمیت روزافزون نقش انرژی در جهان از یک طرف و تجدید ناپذیری سوخت های فوسیلی و مسایل محیط زیستی ناشی از این دسته از سوخت ها از طرف دیگر، نمایانگر چالش های بزرگ در سرتاسر دنیا و بلخصوص کشور های تولید کننده انرژی می باشد. در سال های اخیر سرمایه گذاری و مطالعات چشم گیری به منظور تامین منابع مناسبی از سوخت های جایگزین در کشورهای مختلف جهان صورت گرفته است. در این میان سوخت های زیستی (بیودیزل و بیواینتانول) یکی از مطلوب ترین مواد جایگزین معرفی شده است که تقریباً میتواند 10% تقاضای مصرف سوخت دیزل را در اروپا و 5% تقاضای مجموعی سوخت را در آسیای جنوبی تأمین کنند [1]. طوریکه گفته شده است، اتحادیه اروپا موظف است تا سال 2020 در حدود 20% از سوخت های مصرفی در انجن موتورها خود را از طریق سوخت های زیستی تأمین نماید. همچنین، ظرفیت تولید و میزان تقاضای بیودیزل در جهان اخیراً روبه رشد بوده و چشم انداز آینده را نیز بسیار امیدوار کننده میسازد [2].

اساساً، بیودیزل به سوخت های گفته میشود که از روغن های نباتی و چربی حیوانی بدست آمده باشد. پیشوند بيو (bio) به ترکیب تجدید پذیر و بیولوژیکی اشاره میکند. آلانکه، کلمه دیزل (diesel) عبارت از همان دیزلی است که در انجن های دیزلی مورد استفاده قرار میگیرد. بیودیزل از تبدیل تریاگلیسراید ها (triglycerides) به روغن های بدست آمده همچو روغن پالم، سویابین، آفتاب پرست، روغن جواری، و غیره با استفاده از استر های میتایل و ایتایل بطریق ترانس استریفیکیشن بدست می آید. در این پروسه، سه زنجیر اسید های چرب هر مالیکول تریاگلیسراید در موجودیت کتلاست با یک الکل تعامل نموده و در نتیجه ایستر های میتایل و ایتایل بدست می آید. انجمن امریکایی برای استاندارد آزمایش و مواد (American Society for Testing and Materials) "ASTM Standard"، بیودیزل را به عنوان استر های مونوالکایل از اسید های چرب با زنجیره طویل تعریف نموده که میتواند از روغن های نباتی، چربی حیوانی و روغن های باقی مانده از پخت و پز در اثر عملیه کیمیایوی استریفیکیشن بدست بیاید.

بیودیزل یکی از انواع بیوسوخت ها میباشد و خواص بسیار مشابه به دیزل نفتی دارد. با این تفاوت که نسبت به دیزل نفتی دارای مقدار خیلی کم مواد ناخوشایند از قبیل سلفر، CO، CO₂، ناپتروجن و مرکبات اروماتیک های پولی سکلیک میباشد [3]. این سوخت، مشابه به گازوئیل نفت درانجن های احتراقی کار میکند و برای این کار اصولاً هیچگونه تغییر موتوری لازم نیست [4]. شکل 1 مواد اولیه برای تولید بیودیزل را نشان میدهد که شامل روغن سویا، روغن کانولا، روغن جواری، روغن های باقی مانده پخت و پز، چربی حیوانی و دیگر منابع میباشد. اگرچه، مواد اولیه برای تولید بیودیزل تنها بر این مواد محدود نگردیده است.

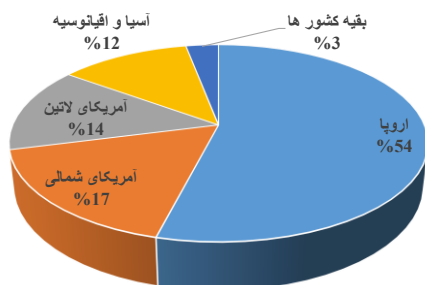


شکل 1. مواد اولیه برای تولید بیودیزل [5].

استفاده بیودیزل خالص را میتوان به عنوان B100 و مخلوط آنرا با سوخت های دیگر به عنوان BXX نامید. در اینجا، XX نشان دهنده درصد بیودیزل در مخلوط میباشد. معمول ترین نسبت B20 میباشد که نشان دهنده 20% بیودیزل و 80% دیزل است [6].

بر اساس تحقیقات بعمل آمده آلمان، آمریکا و مالیزیا از جمله کشور هایی هستند که روی این مواد سوخت کار کرده اند، این محروق در آمریکا بعنوان یک محروق جانشین برای انجن های دیزلی بشدت مطرح است و سالانه 300 میلیون گالن بیودیزل در این کشور تولید و مصرف میگردد [6, 7]. بیودیزل بهترین و مناسبترین جایگزین محروق دیزل محسوب میشود از اینرو، ظرفیت تولید سوخت بیودیزل در کشورهای مختلف جهان به ویژه در کشورهای اروپایی روبه گسترش است طوری که در شکل 2 نشان داده شده است.

استفاده از بیودیزل باعث کاهش میزان گازهای گلخانه ای، کاهش سریع حجم زباله های روغنی، از بین رفتن خطر آلودگی آبهای سطحی، و کاهش هزینه تولید میباشد [8]. با توجه به نیاز بیودیزل به حیث جانشین بهتر برای دیزل نفتی این مطالعه مروری در نظر گرفته است تا در رابطه به شیوه های تولید بیودیزل، و ضرورت آن منحصبت مواد سوخت موثر بحث نماید.



شکل 2. پیش بینی بازار جهانی بیودیزل تا سال 2027 میلادی [9].

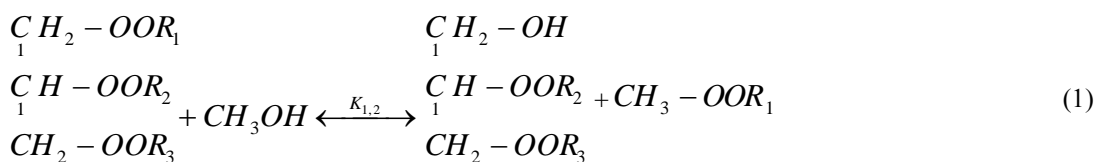
2. روش های تولید بیودیزل با استفاده از روغن های باقیمانده

تا اکنون، محققان انواع مختلف کتلاست های متجانس و غیر متجانس را با استفاده از عملیه ترانس استریفیکیشن برای تولید بیودیزل استفاده نموده اند. ترانس استریفیکیشن روغن های نباتی با الکل بهترین روش برای تولید بیودیزل میباشد. اساساً، روش ترانس استریفیکیشن میتواند در موجودیت کتلاست و یا بدون کتلاست صورت بگیرد.

استفاده از کتلاست های مختلف همچو القلی، اسیدی و دیگر کتلاست ها میتوانند مقدار و محصول بیودیزل را بهبود بخشند. عملیه ترانس استریفیکیشن یک عملیه برگشت پذیر است و الکل اضافی تعادل را به طرف محصول منتقل می کند [10]. در این عملیه الکل های مختلف مانند میتانول، ایتانول، پروپانول و بوتانول میتوانند مورد استفاده قرار گیرند. اما، استفاده میتانول به دلیل قیمت پایین و فواید فزینی و کیمیاوی آن از قبیل قطبیت و زنجیر کوتاه آن بیشتر مناسب میباشد. بطور کلی، عملیه ترانس استریفیکیشن شامل پارامتر های مهمی بوده که میتوانند بالای تبدیل نهایی و محصول تأثیر گذار باشند. در این عملیه، مهمترین متغییر ها عبارت اند از درجه حرارت عملیه، محتوای اسید چرب آزاد در روغن، محتوای آب در روغن، نوعیت کتلاست، مقدار کتلاست، زمان عملیه، نسبت مولی الکل به روغن، نوع یا جریان عملیه کیمیاوی الکل و سرعت مخلوط کردن میباشد [11, 12].

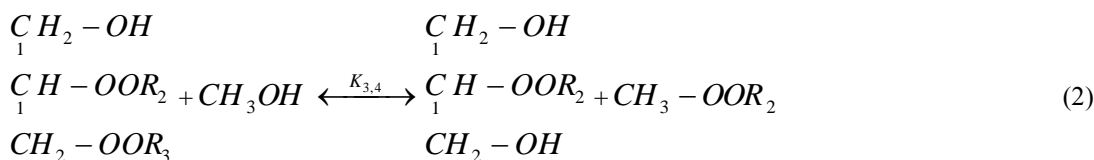
تعامل پی در پی تولید بیودیزل در معادلات ذیل توضیح داده شده است:

$$1. \text{ تعامل اول، تشکیل دای گلیسرید [13, 14]}$$



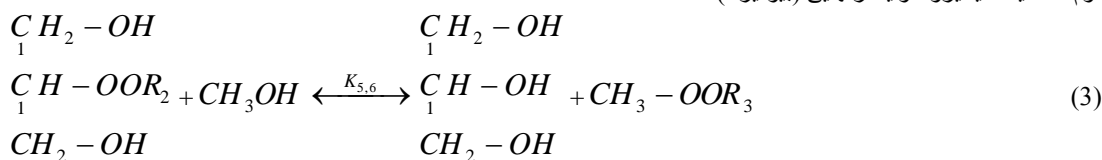
میتایل ایستر (بیودیزل) دای گلیسرید میتانول ترای گلیسرید

2. تعامل دوم، تشکیل مونوگلیسرید



میتایل ایستر (بیودیزل) مونو گلیسرید میتانول دای گلیسرید

3. تعامل سوم، تشکیل گلیسرول و ایستر نهایی (بیودیزل)



میتایل ایستر (بیودیزل) گلیسرین میتانول مونو گلیسرید

و یا بطور مختصر و سریع، این عملیه با اساس تعامل یک مول ترایگلیسرید با سه مول میتانول بوده که در نتیجه باعث تشکیل سه مول میتایل ایستر (بیودیزل) و یک مول گلیسرین میگردد.

در این تعامل R1، R2 و R3 زنجیرهای هایدروکاربونی میباشند. نسبت استوکیومتریکی مورد نیاز این تعامل برای الکل و روغن برابر سه به یک است البته، در حالت عادی و بدون استفاده از کاتلیست، تعامل ایستری شدن به صورت دوطرفه و بسیار بطی پیش میرود و محصول تولید شده نیز بسیار ناخالص میباشند. لذا، جهت پیشرفت سریعتر تعامل لازم است تا نسبت الکل به روغن بیشتر در نظر گرفته شود. همچنان، استفاده از کاتلیست مناسب با مقدار مشخص و درجه حرارت معین، تاثیر بسیار زیادی بر عملکرد تولید بیودیزل دارد [15, 12].

3. عملیه ترانس استریفیکیشن

عملیه ترانس استریفیکیشن میتواند عملیه کاتلیستی القلی، کاتلیستی اسیدی و یا کاتلیست انزیمی باشد. تحقیقات نشان داده است که کاتلیست های القلی و اسیدی توجه بیشتر را بخود جذب نموده است. اما، استفاده از کاتلیست های انزیمی نسبت به این دو کاتلیست زمان عملیه را طولانی تر میسازد [17, 16]. بر علاوه، پژوهشگران همچو کارمی و همکارانش در سال 2015 میلادی [18]، هر سه نوع این کاتلیست ها را برای تولید بیودیزل از روغن های باقی مانده استفاده نمودند. در نتیجه دریافتند که استفاده از کاتلیست اسیدی در عملیه ارزانتتر تمام میشود. اگرچه ادعا میکنند که، استفاده از کاتلیست های القلی سریعتر و مؤثر تر میباشند. شیمای تولیدی بیودیزل از روغن های باقی مانده با استفاده از کاتلیست اسیدی H_2SO_4 در شکل 3 نشان داده شده است.

4. عوامل مؤثر در پروسه تولید محروق بیودیزل

بطور عموم، عوامل ذیل در تولید بیودیزل تاثیر گذار اند:

1. شناسایی ناخالصی های روغن باقیمانده مانند آب، ذرات جامد و تیزاب های چرب آزاد [19].
2. موجودیت آب تاثیر بسزایی بالای محصول بدست آمده داشته و حتی باعث عدم پیشرفت تعامل میگردد. لذا، در ابتدا آب موجود در روغن باقیمانده، به روش تبخیر در خلا خارج میشود [20].
3. استفاده از کاغذ فیلتر به منظور دور ساختن ذرات جامد.
4. اندازه گیری تیزاب های چرب آزاد موجود در روغن باقیمانده (حد مجاز 0.5% وزنی) [19].
5. انجام مرحله پیش تصفیه (استریفیکیشن) به منظور کاهش فیصدی تیزاب های چرب آزاد. در این مرحله اسیدهای چرب آزاد در موجودیت کاتلیست سلفوریک اسید با میتانول (یا ایتانول) تعامل داده و به میتایل ایستر (یا ایتایل ایستر) تبدیل میشوند [20, 19].
- a. نسبت مولی روغن به الکل برابر 1:6 و مقدار کاتلیست سلفوریک اسید 1 فیصد وزنی روغن باقیمانده میباشد [21, 3].
6. در طول پروسه استریفیکیشن، الکل و آب تولید شده به روش تبخیر در خلا توسط دستگاه مخصوص از سیستم خارج میشود.
7. بعد از مرحله استریفیکیشن و جداسازی آب، ذرات جامد و تیزاب های چرب آزاد، نمونه روغن باقیمانده به اندازه 100cc اندازه گیری شده و در داخل فلاسک با حجم 200cc روی گرم کننده تا درجه حرارت $70^\circ C$ حرارت داده میشود و در طول زمان گرم شدن، به کمک یک مخلوط کن برقی با سرعت دورانی 600 دور به مدت 90 دقیقه پس از شروع تعامل به هم میخورد.
8. بطور همزمان الکل میتانول بانسبت های مولی الکل به روغن 1:6 توزین میشود و با کاتلیست سدیم هایدرواکساید معادل 1 فیصدوزن روغن باقیمانده، در داخل فلاسک دیگری باحجم 100cc در حرارت $70^\circ C$ (حرارت روغن باقیمانده) حل گردد.

9. سپس روغن و میتوکسید تولید شده با هم مخلوط میشوند. در این لحظه، زمان تعامل شروع میگردد. پس از 20 دقیقه، حرارت تعامل به کمک نایتروجن مایع به سرعت تا حرارت محیط پایین آورده میشود و از ادامه تعامل ممانعت به عمل میاید. بعداً محصول نهایی با استفاده از کلوریک اسید خنثی میگردد.
10. برای تفکیک کامل فازهای گلیسرین و رسوبات نمکی تولید شده، از دستگاه سانتریفیوژ در سرعت دورانی 600 دور و به مدت 5 دقیقه استفاده میشود. فاز بالایی که به رنگ زرد میباشدهمان بیودیزل (بامیتایل ایستر) میباشد و فاز پایینی بارنگ قهوه ای، گلیسرین میباشد که در مرحله بعداز مخلوط جدا گردیده، سپس برای حذف ذرات معلق مومی شکل، بیودیزل تولید شده از فلتر عبور داده میشود [22].
11. برای حذف صابون تولید شده، بیودیزل با آب مقطر در حرارت 50°C با حجمی معادل حجم بیودیزل موجود در ظرف، شستشو داده میشود. قابل ذکر است پس از اضافه کردن آب مقطر به ایستر، مخلوط امولشن باید به آرامی بهم زده شود.
12. برای جدا سازی فازهای امولشن، دوباره از دستگاه سانتریفیوژ با سرعت دوران 600 دور به مدت 5 دقیقه استفاده میگردد. در این مرحله سه فاز کاملاً مشخص از هم جدا میگرددند.
- a. بیودیزل که از سایر فازها سبک تر است در قسمت بالایی، مواد صابونی که به شکل اسفنج سفید رنگ است در فاز وسطی و محلول آب و نمک باقیمانده به رنگ لیمویی در فاز تحتانی جمع میشوند. فاز بیودیزل از همه فازها جدا میگردد و با استفاده از یک فلتر با منفذ های کوچک تصفیه میشود.
13. آب و الکل اضافی موجود در محروق بیودیزل، به طریقه تخییر در خلا و در حرارت کمتر از 100 درجه سانتی گراد خارج میگردد، زیرا جدا سازی آب و الکل از محروق بیودیزل در حرارت های بالاتر از 100°C باعث مومی شدن ایستر شده و در نتیجه عملکرد تولید پایین میاید. عملیه شستشو توسط آب، مونو و دای گلیسراید های موجود در بیودیزل را از بین نمیدرد.
- a. این عملیه به طریقه جذبی و با استفاده از یک ماده جاذب مانند سلیکاگل انجام میپذیرد.
14. در این طریقه ابتدا مقدار معینی از سلیکاگل در ظرف استوانه بی شکل که دارای یک وال تخلیه در قسمت تحتانی میباشد، قرار داده میشود و سپس بیودیزل نهایی روی آن در داخل ظرف ریخته میشود. با عبور بیودیزل از داخل ماده جاذب، مونو و دای گلیسراید که قطبیت بیشتری دارند، جذب سلیکاگل میشوند. بیودیزل غلظت بالایی دارد و به راحتی نمیتواند از داخل ماده جاذب عبور کند به همین دلیل از محلل هگزان استفاده میشود. فلهاذا، پس از مرحله جدا سازی مونو و دای گلیسراید ها، هگزان با عملیات تقطیر از بیودیزل خارج میگردد. بر علاوه، نتایج تحقیقات نشان میدهد که شاخص سینتان، لزجیت و نقطه اشتعال بیودیزل به ترتیب 53، 6-1.5 و 120 درجه سانتی گراد، بیشتر از سوخت دیزل میباشد. که با بکار بردن این محروق، از سهم کاربن موجود در ذرات معلق کاسته میشود [19, 20, 22, 23].
- عملیات جذب در حرارت محیط صورت میگیرد و بعد از جذب مونو گلیسراید ها درجه خالص بودن محروق بیودیزل تولید شده مطابق آزمایشات کروماتوگرافی، به بیش از 98.5 فیصد میرسد.

جدول 1. عوامل تاثیر گذار بر پروسه تولید بیودیزل

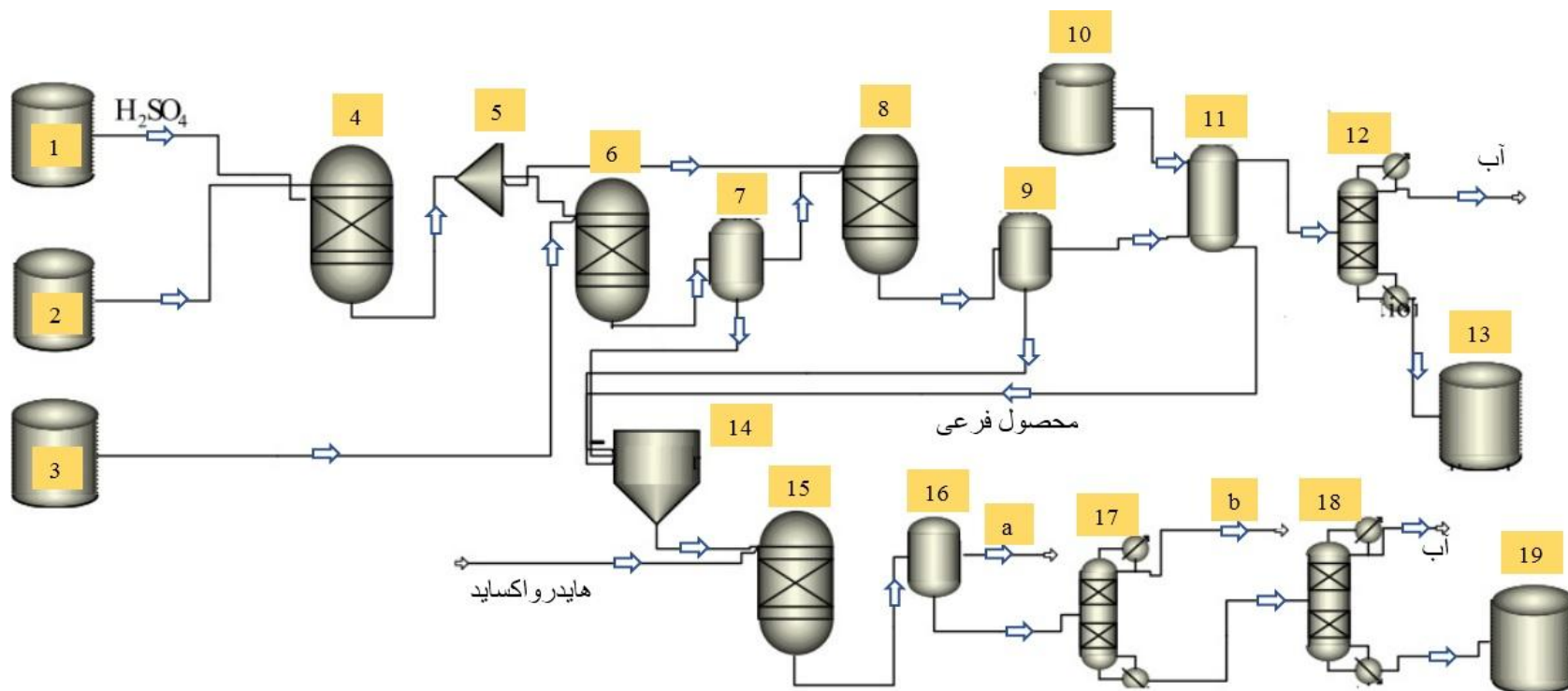
نسبت مولی الکل به روغن (1:6)	حرارت تعامل (حرارت ریاکتور 70°C)
نوع کتلاست (سودیم هایدرواکساید)	نوع الکل (میتانول)
مقدار کتلاست (به مقدار 1 فیصد وزنی روغن)	شدت مخلوط کردن (مخلوط کردن میخانیکی با 600 دور)

5. اثر مدت انجام تعامل بر عملکرد تولید بیودیزل

با افزایش مدت زمان انجام تعامل، عملکرد تولید محروق بیودیزل افزایش میابد که این افزایش در زمان های بالاتر پروسه کند تری نسبت به زمان های اولیه دارد زیرا با افزایش زمان، تعامل به سمت برقراری تعادل بیشتر پیش میرود. بیشترین عملکرد تولید در زمان 90 دقیقه پس از شروع تعامل بدست می آید [19, 22, 24].

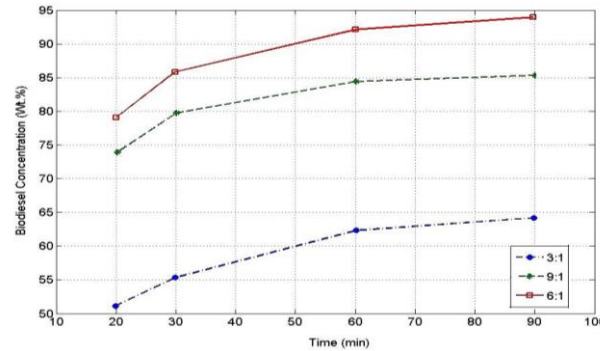
6. اثر نوع الکل بر عملکرد تولید بیودیزل

طوریکه در شکل 4 ملاحظه میشود، با افزایش نسبت مولی، از تاثیر آن بر افزایش فیصدی تبدیل کم میشود. با افزایش نسبت مولی از 1:3 به 1:6، فیصدی تبدیل تعامل نظر به متعادل بودن افزایش پیدا میکند. افزایش نسبت مولی از 1:3 به 1:6، میزان اوسط تبدیل تعامل را در 90 دقیقه از 65 به 94% افزایش میدهد. البته در تمام نسبت های مورد مطالعه، میزان تبدیل پس از 60 دقیقه تغییر چندان مهمی را نشان نمیدهد. در مورد نسبت های مولی بالاتر از 1:6، میزان خالصیت بیودیزل تولیدی کاهش میابد که علت اصلی آن را میتوان چنین بیان کرد. نمونه های مورد مطالعه از فاز عضوی (بیودیزل) باقیمانده از مرحله جدا سازی فازهای عضوی و آبی (گلیسرین و میتانول مازاد) تهیه شده است. افزایش مقدار میتانول در مخلوط تعامل منجر به منحل شدن بیشتر گلیسرین و الکل در بیودیزل شده و تا حد محسوسی خالص بودن آنرا تحت تاثیر قرار میدهد [23].



- | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 1. ذخیره اسید | 8. برج عملیه ترانس استریفیکیشن (2) | 15. برج عملیه خنثی سازی |
| 2. ذخیره میتانول | 9. ترسب دهنده | 16. ذخیره محصول باقیمانده |
| 3. ذخیره روغن های زائد | 10. ذخیره آب | 17. برج تقطیر (1) |
| 4. برج آماده سازی کتلست | 11. برج استخراج | 18. برج تقطیر (2) |
| 5. تقسیم کننده | 12. برج تقطیر (3) | 19. ذخیره گلیسرول |
| 6. برج عملیه ترانس استریفیکیشن (1) | 13. ذخیره بیودیزل | a. روغن های زائد باقیمانده |
| 7. ترسب دهنده | 14. مخلوط کن | b. میتانول باقیمانده |

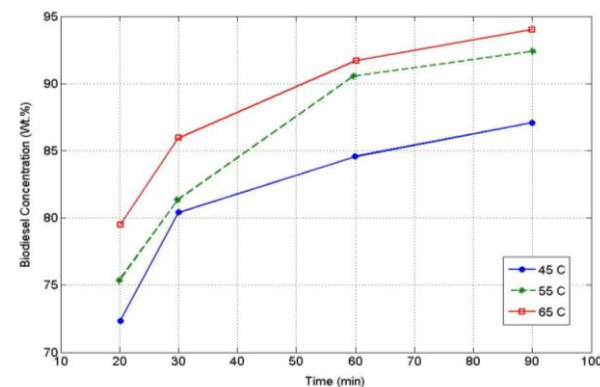
شکل 3. شیمی تولید بیودیزل با استفاده از کتلست تیزابی [18].



شکل 4. نسبت میتانول بر فیصدی وزنی بیودیزل تولیدی.

7. اثر درجه حرارت بر فیصدی تبدیل تعامل

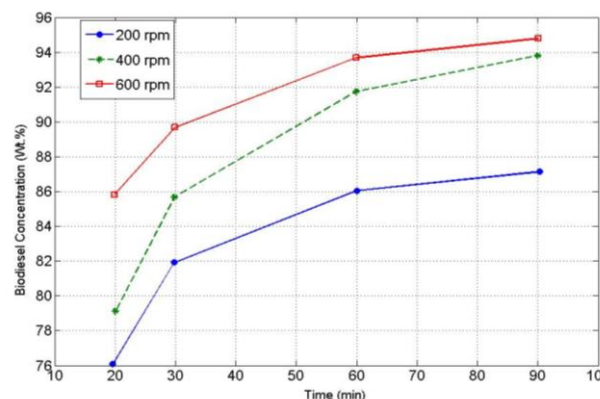
در کل میزان خالص بودن بیودیزل در سه درجه حرارت 45، 55 و 65 درجه سانتی گراد و چهار سطح زمانی مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار میگیرد. در تحقیقات، عموماً درجه حرارت بر فیصدی تبدیل یا خالص بودن بیودیزل، به منظور جلوگیری از پدیده صابونی شدن برای گلیسریدها و تغییر فاز الکل در حرارت های بالا، درجه حرارت تعامل همواره کمتر از نقطه جوش الکل مورد استفاده انتخاب شده است. تعامل ترانس استریفیکیشن به نوبه خود متشکل از سه مرحله میباشد که برخی اندوترمیک و برخی هم اگزوترمیک است. در حالت کلی مجموع تعاملات موجود دارای انرژی اکتویشن (فعال سازی) مثبتی بوده و اندوترمیک هستند. لذا انتظار میرود که افزایش درجه حرارت منجر به افزایش فیصدی تبدیل گردد [1, 19, 22, 25]. شکل 5 تاثیر درجه حرارت بر فیصدی وزنی بیودیزل تولیدی را نشان میدهد.



شکل 5. تاثیر درجه حرارت بر فیصدی وزنی بیودیزل تولیدی.

8. اثر شدت مخلوط کردن بر عملکرد تولید بیودیزل

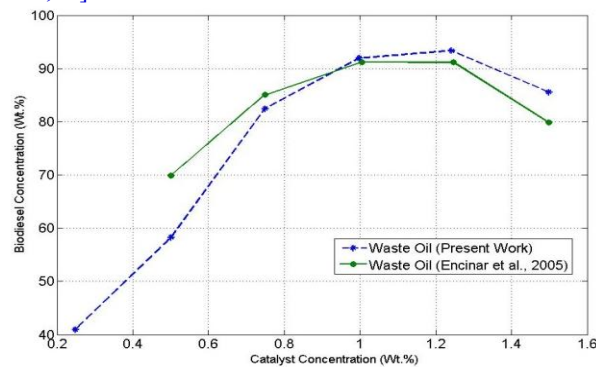
به دلیل پایین بودن ضریب دی الکتریک میان روغن و الکل، این دو مواد عموماً در یکدیگرنا محلول میباشند و بدون مخلوط شدن کافی و درست روغن و الکل، تعامل ترانس استریفیکاسیون به کندی پیش میرود. با افزایش شدت مخلوط کردن و در نتیجه افزایش سطح موثر انجام تعامل، عملکرد تولید افزایش می یابد که بیشترین عملکرد تبدیل بیودیزل در 600 rpm بدست میآید [19]. تاثیر شدت مخلوط کردن بر تولید بیودیزل در شکل 6 نشان داده شده است.



شکل 6. تاثیر میزان مخلوط کردن بر فیصدی وزنی بیودیزل تولیدی.

9. اثر مقدار کتلاست بر عملکرد تولید بیودیزل

استفاده از کتلست القلی با فیصدی های بلندتر، بدلیل موجودیت تیزاب های چرب آزاد در روغن باقیمانده باعث تشکیل بیشتر صابون و الکل شده و عملکرد تولید بیودیزل را کاهش میدهد لذا با افزایش فیصدی وزنی کتلست (سودیم هایدرواکساید)، ابتدا عملکرد بیودیزل تولید شده افزایش یافته و سپس کاهش می یابد. در تمام حالات، حد اکثر عملکرد تولید بیودیزل در یک فیصد وزنی کتلست مشاهده میگردد مطابق شکل 7 [12, 19-28].



شکل 7. تاثیر میزان کتلست مورد استفاده بر فیصدی وزنی بیودیزل تولیدی.

جدول 3 استاندارد محروق بیودیزل را پس از تولید بیودیزل از روغن های نباتی باقیمانده تفاله ئی با در نظر داشت برخی از خواص مهم آن از قبیل لزجیت، نقطه اشتعال، نقطه ابری شدن، نقطه ریزش، مقدار آب، رسوبات، مقدار گلیسرین آزاد و مقدار سلفر آن نشان میدهد.

جدول 2. استاندارد محروق بیودیزل [29]

گازونیل نفتی	محدوده استاندارد محروق بیودیزل		استاندارد	واحد	خصوصیت
	Min	Max			
0.815	0.86	0.9	ASTM D4052	gr/cm ³	غلظت در C° 100
2.45	1.5	6	ASTM D4052	Mm ² /s	لزجیت سینماتیک در C° 40
61	-	-	ASTM D4052	°C	نقطه اشتعال
-4	-	-	ASTM D4052	°C	نقطه ابری شدن
-24	-	-	ASTM D4052	°C	نقطه ریزش
-	0.02	-	ASTM D4052	% vol	گلیسرین آزاد
-	0.05	-	ASTM D4052	g/cm ³	آب و رسوبات
2	-	-	D 5453 ASTM	%	مقدار سلفر

بطور کلی بیودیزل از میتایل ایستر یا ایتایل ایستر که به عنوان تیزاب های چرب از C₁₇ تا C₅ تشکیل شده است و دارای چندین گروه الکالی بازنجیر های هایدروکاربنی میباشد.

- بیودیزل بدست آمده نسبت به دیزل از خطرات کمتری برخوردار است.
- غیر سمی و زمانی که تخییر شود هیچ خطری ندارد.
- دارای عدد سیتان 53 میباشد.
- به طور کلی ضریب آلوده سازی بیودیزل 100% پایین تر از دیزل میباشد.
- زمانی که بیودیزل می سوزد آلودگی های کمتری دارد.
- همچنین در خروج احتراق این سوخت ترکیبات آروماتیک و مرکبات سلفردار وجود ندارد.
- با مصرف بیودیزل 78% تولید اکساید های کاربن در اثر سوخت ها کاهش می یابد چرا که با مصرف بیودیزل اکسید های کاربن مجددا توسط نبات جذب شده و به بیودیزل تبدیل میشود.
- با استفاده از تکنالوژی های پیشرفته و تجهیزات مناسب، تولید بیودیزل بسیار ایمن تر و آسان تر از دیگر سوخت ها است.
- در حمل و نقل و استفاده نیز خطرات کمتری دارد چرا که نقطه ی اشتعال این سوخت بسیار بالاتر از دیزل است.

10. محصولات جانبی بیودیزل

امروزه بیودیزل به عنوان جایگزین محروق دیزل شناخته شده است که قابلیت استفاده درانجن های دیزلی (اشتعال تراکمی) را دارا بوده و برای این منظور موتورهای مذکور نیازمند اصلاحات موتوری نبوده و یا هم تغییر موتوری بسیار اندک است.

- فابریکه تصفیه بیودیزل 100% گلیسرین تولید مینماید.
- درجه خالص گلیسرین (99.7%) بوده و به عنوان ماده خام در سایر بخش های صنعتی مثل محصولات غذایی دارویی، آرایشی، کریم دندان غذای حیوانات مورد استفاده قرار میگیرد.
- گلیسرین به عنوان محصولات جانبی بیودیزل یکی از عمده ترین ترکیبات مورد نیاز مواد آرایشی و بهداشتی در جهان است. مصارف دیگر گلیسرین نیز در حال گسترش است که از آن جمله در صنایع تولید پلاستیک به عنوان نرم کننده و یا عامل پخت، در صنعت الیاف و کاغذ به عنوان عامل نرم کننده، به عنوان محلل در صنعت غذایی همچون چای و قهوه، در صنعت ساختمان در تولید عایق ها، در صنعت الکترونیک به عنوان خازن های الکترونیکی و در نهایت در صنایع نظامی جهت تولید مشتقات نیترو گلیسرین بکار میرود [30].

11. برتری و نواقص بیودیزل

بیودیزل عبارت از استر های مونوالکایل اسید های چرب با زنجیر طویل است که فورمول کیمیایی آن چنین است $3C_{19}H_{35} - COOCH_3$. خصوصیات بیودیزل نسبت به دیزل نفتی در ذیل ذکر شده اند:

1. کارکرد محروق بیودیزل مشابه محروق دیزل میباشد، گرچه محتوی انرژی بیودیزل به ازای هر گالن حدود 8% کمتر از دیزل است [5].
 2. استفاده از بیودیزل منجر به کاهش محسوسی در میزان هایدروکاربن نسوخته، کاربن مونواکساید و ذرات معلق خروجی از آگروز میگرد [31].
 3. بواسطه خاصیت روانکاری (روغنکاری) خوب بیودیزل، افزودن تقریباً 2% آن به محروق دیزل خاصیت روانکاری محروق دیزل را بهبود خواهد بخشید [5].
 4. عدم موجودیت مرکبات سلفردار در آن از دلایل دیگر سازگاری این محروق با محیط زیست میباشد.
 5. باتوجه به مقدار حرارتی پایین بیودیزل، مقدار مصرف محروق اندکی افزایش میابد.
 6. میزان دود و بوی خروجی کاهش یافته و تغییر بو در نسبت های بالاتر بیودیزل کاملاً آشکار است.
 7. با اضافه کردن بیودیزل به محروق دیزل، بدلیل احتراق کامل، میزان توان و قدرت انجن افزایش پیدا میکند.
 8. تحقیقات نشان داده است که با افزایش 35% بیودیزل بدست آمده از روغن های باقیمانده به محروق دیزل عملکرد انجن بدون هیچ گونه تغییر و اصلاحی در اجزای آن بهبود میابد [6].
 9. با بکار بردن این محروق، از سهم کاربن موجود در ذرات معلق کاسته میشود (چون اکسیجن موجود در بیودیزل احتراق کامل به CO_2 راممکن میسازد.
 10. به طور کلی ضریب آلوده سازی بیودیزل 100% پایین تر از دیزل میباشد [7].
- با توجه به برتری های ذکر شده در مورد بیودیزل، در درجه اول تولید بیودیزل با هزینه پائین و همچنین استفاده عملی از این محروق در موتور ماشین های دیزلی و سنگین در کشور ضروری به نظر میرسد. بناً استفاده از روغن های باقیمانده به عنوان یک منبع تولید انرژی و تامین کننده بخشی از انرژی مورد نیاز، به کاهش مشکلات بهداشتی و محیط زیستی نیز کمک مینماید.

12. نتیجه گیری و پیشنهادات

از اینکه بیودیزل یک سوخت خالص و با کیفیت محسوب میشود و بر علاوه این محصول نسبت به دیزل نفتی سازگاری بیشتر با محیط زیست داشته که میتواند از نباتات، حیوانات و یا بقایای آنها نیز بدست آید. عملیه ترانس استریفیکیشن هم یک روش خیلی معمول برای تولید بیودیزل بوده که این عملیه میتواند باعث کاهش لزجیت آن گردد. در ضمن، عوامل همچو مقدار مولی الکول، درجه حرارت عملیه، غلظت کتلت و زمان عملیه نیز بالای عملیه ترانس استریفیکیشن خیلی تاثیر گذار است.

از اینکه کشور ما افغانستان در جریان سال های متمادی شاهد ازدیاد نفوس و تراکم وسایط نقلیه بوده و استفاده از محروقات بی کیفیت بحیث مواد سوخت در موتور ها، آلوده گی های محیط زیستی را نیز بوجود آورده است. بنابراین، با در نظر داشت برتری های بیودیزل نسبت به دیزل نفتی که در این مقاله مروری مطالعه گردید پیشنهاد میگردد که با تولید بیودیزل کاهش معضلاتی ذیل امکان پذیر است:

- کاهش میزان گاز های گلخانه ای
- کاهش سریع حجم زباله های روغنی
- از بین رفتن خطر آلودگی آبهای سطحی
- جلوگیری از آلوده شدن بیش از حد هوا که باعث تخریب محیط زیست میشود.

References

- [1] A. N. Phan and T. M. Phan, "Biodiesel production from waste cooking oils," *Fuel*, vol. 87, pp. 3490-3496, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.07.008>.
- [2] B. Najafi, V. Pirouzpanah, G. Najafi, T. Yusaf, and B. Ghobadian, "Experimental investigation of performance and emission parameters of a small diesel engine using CNG and biodiesel," *SAE Technical Paper* 2007.
- [3] K. Abed, A. K. El Morsi, M. M. Sayed, A. El Shaib, and M. Gad, "Effect of waste cooking-oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine," *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 27, pp. 985-989, 2018.
- [4] H. U. Cho and J. M. Park, "Biodiesel production by various oleaginous microorganisms from organic wastes," *Bioresource Technology*, vol. 256, pp. 502-508, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.010>.
- [5] <https://blog.ucsusa.org/jeremy-martin/all-about-biodiesel..>, n.d.
- [6] A. G.-R. F. E. S. Carlos and F. A. Guerrero, *Biodiesel production from waste cooking oil*: InTech, 2011.
- [7] G. L. Maddikeri, A. B. Pandit, and P. R. Gogate, "Intensification approaches for biodiesel synthesis from waste cooking oil: A review," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 51, pp. 14610-14628, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1021/ie301675j>.
- [8] D. McLean and M. Kates, "Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis," *Bioresource Technology*, vol. 90, pp. 229-240, 2003. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(03\)00150-0](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(03)00150-0).
- [9] M.R. and C. Ltd, "Biodiesel: 2018 world market outlook and forecast up to 2027. Retrieved from <https://mcgroup.co.uk/researches/biodiesel>," 2018.

- [10] V. Cordero-Ravelo and J. Schallenberg-Rodriguez, "Biodiesel production as a solution to waste cooking oil (WCO) disposal. Will any type of WCO do for a transesterification process? A quality assessment," *Journal of Environmental Management*, vol. 228, pp. 117-129, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.106>.
- [11] M. Veillette, M. Chamoumi, J. Nikiema, N. Faucheux, and M. Heitz, "Production of biodiesel from microalgae," *Advances in Chemical Engineering*, vol. 10, pp. 245-260, 2012.
- [12] A. Talebian-Kiakalaieh, N. A. S. Amin, and H. Mazaheri, "A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil," *Applied Energy*, vol. 104, pp. 683-710, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.061>.
- [13] Y. Wang, S. Ou, P. Liu, F. Xue, and S. Tang, "Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil," *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 252, pp. 107-112, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2006.02.047>.
- [14] M. Allen and G. Prateepchaikul, "The modelling of the biodiesel reaction," *Consulted et*, 2000.
- [15] H. J. Kim, B. S. Kang, M. J. Kim, Y. M. Park, D. K. Kim, J. S. Lee, and K. Y. Lee, "Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst," *Catalysis Today*, vol. 93-95, pp. 315-320, 2004.
- [16] Y. Watanabe, Y. Shimada, A. Sugihara, and Y. Tominaga, "Enzymatic conversion of waste edible oil to biodiesel fuel in a fixed-bed bioreactor," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 78, pp. 703-707, 2001. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11746-001-0329-5>.
- [17] Y. Zhang, M. A. Dubé, D. D. McLean, and M. Kates, "Biodiesel production from waste cooking oil:1. Process design and technological assessment, Bioresour," *Technology*, vol. 89, pp. 1-16, 2003. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(03\)00040-3](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(03)00040-3).
- [18] S. K. Karmee, R. D. Patria, and C. S. K. Lin, "Techno-economic evaluation of biodiesel production from waste cooking oil—a case study of Hong Kong," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 16, pp. 4362-4371, 2015. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms16034362>.
- [19] M. Mathiyazhagan and A. Ganapathi, "Factors affecting biodiesel production," *Research in Plant Biology*, vol. 1, pp. 1-5, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781119729969.ch1>.
- [20] A. E. Atabani, A. S. Silitonga, I. A. Badruddin, T. Mahlia, H. Masjuki, and S. Mekhilef, "A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 2070-2093, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>.
- [21] J. M. Encinar, J. F. Gonzalez, and A. Rodríguez-Reinares, "Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 44, pp. 5491-5499, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1021/ie040214f>.
- [22] G. Z. Ares, "Study of factors influencing the quality and yield of biodiesel produced by transesterification of vegetable oils," 2009.
- [23] I. A. Musa, "The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process," *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 25, pp. 21-31, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.06.007>.
- [24] Y. Wong and S. Devi, "Biodiesel production from used cooking oil," *Oriental Journal of Chemistry*, vol. 30, pp. 521-528, 2014. Available at: <https://doi.org/10.13005/ojc/300216>.
- [25] R. B. Istiningrum, T. Aprianto, and F. L. U. Pamungkas, "Effect of reaction temperature on biodiesel production from waste cooking oil using lipase as biocatalyst," presented at the AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2017.
- [26] B. Fu, L. Gao, L. Niu, R. Wei, and G. Xiao, "Biodiesel from waste cooking oil via heterogeneous superacid catalyst SO₄²⁻/ZrO₂," *Energy & Fuels*, vol. 23, pp. 569-572, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1021/ef800751z>.
- [27] D. Zhang, X. Zhang, Y. Li, S. Wang, X. Wang, and Z. Jiang, "Materials science & engineering incorporation of Ce³⁺ ions into dodecatungstophosphoric acid for the production of biodiesel from waste cooking oil," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 92, pp. 922-931, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.07.047>.
- [28] X. Meng, G. Chen, and Y. Wang, "Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test," *Fuel Processing Technology*, vol. 89, pp. 851-857, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.02.006>.
- [29] O. Samuel, M. Waheed, B. O. Bolaji, and O. Dairo, "Production of biodiesel from Nigeria restaurant waste cooking oil using blender," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 3, pp. 996-979, 2013.
- [30] N. Mansir, S. H. Teo, I. Rabi, and Y. H. Taufiq-Yap, "Effective biodiesel synthesis from waste cooking oil and biomass residue solid green catalyst," *Chemical Engineering Journal*, vol. 347, pp. 137-144, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.034>.
- [31] D. Qarizada, E. Mohammadian, A. B. Alias, H. A. Rahimi, S. Binti, and M. Yusuf, "Effect of temperature on bio-oil fractions of palm kernel shell thermal distillation," *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies*, vol. 1, pp. 34-39, 2018.