

تولید سوخت زیستی بیودیزل

محمدرضا سعیدی نیچران
 استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم
 دانشگاه مراغه
 mrsaedi2000@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۳۰

چکیده

امروزه استفاده از موتورهای احتراق داخلی منجر به بهره‌برداری وسیع از منابع نفتی و اتمام سریع این منابع شده است. همچنین استفاده از منابع نفتی سبب افزایش گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه اوزون و آلودگی محیط زیست و اختلالات تنفسی در شهرهای بزرگ شده است. با ظهور این مشکلات، تحقیقات وسیعی برای یافتن سوخت‌های جایگزین مناسب در جهان انجام گرفته است. برای مثال از روغن‌های گیاهی به‌عنوان سوخت در موتورهای دیزل استفاده شده است. این روغن‌ها مشکلاتی چون پایین‌بودن کیفیت اشتعال دارند؛ برای جایگزین‌نمودن روغن گیاهی به‌عنوان سوخت در موتورهای دیزل باید برخی از خواص آن را اصلاح کرد. برای این منظور باید روغن گیاهی به سوخت بیودیزل تبدیل شود. برای تولید سوخت بیودیزل از روغن‌های گیاهی، روش‌های متنوعی وجود دارد. معمول‌ترین روش، روش ترانس استریفیکاسیون می‌باشد. در این روش روغن گیاهی طی مراحل آماده‌سازی، حل کردن کاتالیزور در الکل، واکنش ترانس استریفیکاسیون، تیتراسیون، بازیافت متانول اضافی، تفکیک گلیسرین از بیودیزل و آب‌شویی و خالص‌سازی بیودیزل به سوخت بیودیزل تبدیل شود. در این مقاله مراحل گوناگون تولید سوخت بیودیزل از روغن گیاهی بررسی می‌شود.

واژگان کلیدی: بیودیزل، سوخت جایگزین، ترانس استریفیکاسیون، روغن گیاهی، موتور احتراق داخلی

۱. مقدمه

بشکه نفت در روز، در آینده‌ای نه‌چندان دور جهان با بحران کاهش و یا اتمام منابع سوخت‌های فسیلی، به‌ویژه نفت، مواجه خواهد شد. از سوی دیگر احتراق این سوخت‌ها موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه اوزون و

اختراع موتورهای احتراق داخلی و پیشرفت‌های بعدی در فناوری ساخت موتور، منجر به استفاده وسیع از منابع نفتی و تخلیه سریع این منابع شده است. امروزه به‌خوبی مشخص شده است که به‌دلیل استخراج بیش از ۸۰ میلیون



آلودگی محیط زیست و اختلالات تنفسی در شهرهای بزرگ شده است. علاوه بر این مشکلات، وابستگی کشورهای مصرف‌کننده به کشورهای تولیدکننده و صادرکننده محصولات نفتی بیشتر شده و در نتیجه قیمت فرآورده‌های نفتی بسیار افزایش یافته است. به‌گونه‌ای که امنیت انرژی این کشورها غیرمطمئن شده و به مخاطره افتاده است.

با ظهور و بروز این مشکلات، تحقیقات وسیعی برای یافتن سوخت‌های جایگزین مناسب در سطح جهان انجام گرفته است. در این بین سوخت‌های گیاهی تجدیدپذیر و پاک جایگاه ویژه‌ای در سید سوختی کشورها به‌خود اختصاص داده‌اند. این سوخت‌ها پایه گیاهی یا حیوانی دارند و در حین احتراق، آلودگی کمتری نسبت به سوخت‌های فسیلی تولید می‌کنند. این سوخت‌ها را می‌توان از بقایای مواد کشاورزی و پسماند مواد غذایی برای استفاده در موتورهای درونسوز و ماشین‌آلات حرارتی به‌دست آورد.

بیودیزل از جمله سوخت‌های گیاهی است که جایگزین سوخت دیزل شده و در موتورهای دیزل مورد استفاده قرار می‌گیرد. سوخت بیودیزل متیل یا اتیل استر روغن‌های گیاهی یا حیوانی است. از زمانی که روغن سویا سهم عمده‌ای از روغن تولیدی در آمریکا را تشکیل می‌داد، توجه به این روغن به‌عنوان ماده اولیه برای تولید سوخت بیودیزل گسترش پیدا کرد [۱]. بیودیزل هم‌اکنون با درصدهای مختلفی با سوخت دیزل مخلوط می‌شود. استرالیا و آلمان تنها کشورهایی هستند که سوخت بیودیزل را به‌صورت خالص استفاده می‌کنند [۲]. متیل یا اتیل استر می‌تواند از روغن‌های گیاهان و درختان، چربی حیوانات و یا از روغن‌ها و چربی‌های پسماند تولید شود. این روغن‌ها با یک الکل (معمولاً متانول یا اتانول) مخلوط می‌شوند و یک کاتالیزور مانند هیدروکسید سدیم همراه با آن استفاده می‌شود. نتیجه چنین واکنشی تولید استر و گلیسرین است. بازده کار سوخت بیودیزل (موقع استفاده در موتور) شبیه سوخت دیزل است. البته محتوای انرژی بیودیزل اندکی کمتر از

انرژی در واحد حجم دیزل شماره ۲ و اندکی بیشتر نسبت به دیزل شماره ۱ است. سوخت دیزل شماره ۲ دارای ارزش حرارتی و دانسیته انرژی بیشتری نسبت به سوخت دیزل شماره ۱ و سنگین‌تر از آن است. سوخت دیزل متداول در ایران سوخت دیزل شماره ۲ است [۳-۵].

۲. استفاده از روغن‌های گیاهی به‌عنوان سوخت

در موتورهای دیزل

از روغن‌های گیاهی از جمله کلزا به‌عنوان سوخت در موتور دیزل استفاده شده است. این روغن‌ها مشکلاتی چون پایین بودن کیفیت اشتعال دارند. همه آنها دارای گرانشی بالا بوده و نیاز به پمپ انژکتور و انژکتورهای مخصوص دارند. با استفاده از مخلوط کردن این روغن‌ها با مشتقات نفتی، تا حدودی می‌توان مشکل گرانشی بالای روغن را از بین برد [۶]. گرانشی بالای روغن‌های گیاهی سبب اتمیزه نشدن مناسب آنها و در نتیجه احتراق ناقص سوخت می‌شود. وجود ذرات بزرگ روغن گیاهی پس از پاشیده‌شدن به درون سیلندر باعث ایجاد دوده می‌شود. همچنین با تشکیل لایه‌ای از سوخت محترق نشده روی دیواره سیلندر، کار سامانه روانکاری مختل می‌شود [۷].

تفاوت‌های زیادی بین خواص روغن کلزا و سوخت دیزل وجود دارد. از جمله این تفاوت‌ها می‌توان اتمیزه شدن و قابلیت احتراق آن را نام برد. در جدول ۱ برخی از خواص روغن کلزا در مقایسه با سوخت دیزل نشان داده شده است [۸].

با توجه به این نکات می‌توان گفت که بدون اصلاح روغن یا سامانه سوخت‌رسانی، از روغن‌های گیاهی نمی‌توان به‌عنوان سوخت در موتورهای دیزل استفاده کرد، زیرا گرانشی آنها به‌صورت قابل ملاحظه‌ای بیشتر از سوخت دیزل و ارزش حرارتی خالص آنها کمتر از سوخت دیزل می‌باشد. برای جایگزینی روغن گیاهی به‌عنوان سوخت در موتورهای دیزل باید برخی از خواص آن را اصلاح کرد. روغن گیاهی را می‌توان با سوخت دیزل مخلوط کرد تا

درصد مشاهده می‌شود. در جدول ۲ رابطه نسبت‌های مختلف روغن کلزا به سوخت دیزل و مصرف سوخت ویژه آمده است [۸].

گرانروی آن کم شود، اما با افزایش نسبت روغن به سوخت دیزل مصرف ویژه افزایش می‌یابد. افزایش قابل ملاحظه در مصرف سوخت ویژه در نسبت‌های روغن بالاتر از ۳۰

جدول ۱. برخی از خواص روغن کلزا در مقایسه با سوخت دیزل [۸]

پارامتر	سوخت دیزل	روغن کلزا
چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۰/۸۴۴	۰/۹۱۸
گرانروی (پویز)	۰/۰۴۵	۰/۶۶۷
ارزش حرارتی خالص (مگاژول بر کیلوگرم)	۴۲/۷	۳۶/۸۹

جدول ۲. رابطه نسبت‌های مختلف روغن کلزا به سوخت دیزل و مصرف سوخت ویژه [۸]

نسبت روغن کلزا به کل مخلوط روغن کلزا و سوخت دیزل (درصد)	مصرف سوخت ویژه (g/kw.h)	
	۷/۳۵ کیلووات در ۲۰۰۰ دور بر دقیقه	۸/۲ کیلووات در ۲۰۰۰ دور بر دقیقه
۰	۲۶۶/۶۷	۲۷۸/۹۱
۱۰	۲۷۴/۲۹	۲۸۵/۹۹
۲۰	۲۷۶/۶۰	۲۹۰/۸۸
۳۰	۲۸۰/۱۴	۲۹۲/۷۶
۵۰	۲۹۶/۸۷	۳۰۲/۵۹
۷۰	۳۰۴/۳۵	۳۱۱/۹۷

ظاهر می‌گردد [۸]. مشاهده می‌شود که در استفاده از روغن‌های گیاهی به‌عنوان سوخت دیزل، چه به‌طور خالص و چه به‌صورت مخلوط با سوخت دیزل، مشکلاتی وجود دارد. لذا باید عملیاتی روی این روغن‌ها انجام گیرد تا خواص آن با سوخت دیزل مطابقت داشته باشد و نیاز به ایجاد تغییرات را در موتور دیزل به حداقل رسانده، پایداری و ارزش حرارتی بیشتری داشته باشد و مصرف ویژه آن پایین بیاید. این مشکلات باعث شده است تا روغن خام به بیودیزل تبدیل شود، بنابراین بیودیزل پس از تبدیل دیگر دارای مشکلات فوق نخواهد بود [۹].

علاوه بر افزایش مصرف سوخت، مشکلات دیگری چون گرفتگی پمپ انژکتور، مجاری سوخت‌رسانی و انژکتورها به‌وجود می‌آید و رسوبات کربن روی نوک انژکتورها تشکیل می‌شود که سبب تغییر مسیر پاشش و کاهش کیفیت اشتعال می‌گردد. نکته دیگری که باید در مورد نسبت مخلوط مورد توجه قرار گیرد، پایداری مخلوط در دمای محیط است. در مخلوط روغن کلزا با سوخت دیزل، هنگامی که نسبت روغن کلزا به ۴۰ درصد یا بیشتر می‌رسد، در مدت یک تا دو هفته، مخلوط دو فازه می‌شود. با افزایش نسبت به ۵۰ درصد، این پدیده در هفته اول



۳. روش‌های تولید سوخت بیودیزل

تاکنون تلاش‌های فراوانی جهت نزدیکی خصوصیات روغن‌های گیاهی به سوخت دیزل انجام شده است. سه روش عمده و مرسوم برای تولید سوخت بیودیزل از روغن‌های گیاهی عبارت‌اند از: پرولیزیز^۱، میکرومولسیون^۲ و ترانس استریفیکاسیون^۳ [۱۰].

۱-۳. پرولیزیز

در روش پرولیزیز اعمال تغییرات شیمیایی با استفاده از حرارت در حضور هوا با نیتروژن صورت می‌گیرد. تحقیقات گسترده‌ای در پرولیزیز روغن‌ها جهت استفاده به عنوان سوخت دیزل انجام شده است. بازساخت روغن‌ها باعث تهیه چندین گروه از مواد از جمله آلکان^۴، آلکن^۵، آلکادین^۶، آروماتیک^۷ و اسید کربکسیلیک می‌شود. تغییرات متفاوتی در ساختار انواع روغن‌های گیاهی تحت بازساخت حرارتی ایجاد می‌شود. مثلاً پرولیزیز روغن سویا ۷۹ درصد کربن و ۱۲ درصد هیدروژن دارد. این محصول همچنین دارای گرانروی پایین و عدد ستان بالا در مقایسه با روغن‌های گیاهی خالص است؛ اگرچه در فرایند پرولیزیز روغن‌های گیاهی مقادیر قابل قبول گوگرد، آب، رسوبات و میزان خوردگی مس و مقادیر غیر قابل قبول خاکستر، پسماند کربن و نقطه ابری شدن^۸ حاصل می‌شود. علاوه بر این، مراحل تهیه شیمیایی در این روش مشابه مراحل تهیه سوخت‌های دیزل مشتق شده از نفت است و با خروج اکسیژن در هنگام فرایند حرارتی، مزایای زیست‌محیطی استفاده از روغن‌های اکسیژن‌دار از بین می‌رود [۶].

۲-۳. میکرومولسیون

استفاده از میکرومولسیون با استفاده از حلال‌های متانول، اتانول و ۱- بوتانول برای حل مشکل گرانروی بالای روغن‌های گیاهی بررسی شده است. میکرومولسیون‌ها ایزوتروپیک، شفاف و از لحاظ ترمودینامیکی پایدارند و از ذرات روغن، آب و سورفکتانت^۹ و اغلب مقادیر کمی

مولکول‌های آمفی‌فیلک^{۱۰} که به آنها کوسورفکتانت^{۱۱} می‌گویند، تشکیل می‌شوند [۴].

۳-۳. ترانس استریفیکاسیون

در ترانس استریفیکاسیون الکل استر با یک الکل دیگر در طی فرایندی جایگزین می‌شود. این فرایند شبیه هیدرولیز است با این تفاوت که به جای آب الکل جایگزین می‌شود. الکل‌های مناسب عبارت‌اند از: متانول، اتانول، پروپانول و بوتانول. از بین این الکل‌ها اتانول و متانول معمول‌ترند و از بین این دو الکل متانول ارزان‌تر و دارای مزایای فیزیکی و شیمیایی بیش‌تر نسبت به اتانول است. شکل ۱ واکنش ترانس استریفیکاسیون را نشان می‌دهد [۱۱].

گروه‌های R اسیدهای چرب ۱۶ تا ۲۲ کربن هستند و در این زنجیره ممکن است پیوندهای یگانه یا دوگانه نیز باشد. اسیدهای چرب غیراشباع می‌توانند باعث پلیمری شدن و تولید صمغ در موتور و قسمت‌های مختلف آن از جمله اجزای سامانه سوخت‌رسانی شوند. پنج نوع زنجیره معمول در روغن‌ها به صورت زیر است:

Palmitic: R= -(CH₂)₁₄- CH₃ 16:0

Stearic: R= -(CH₂)₁₆- CH₃ 18:0

Oleic: R=-(CH₂)CH=CH(CH₂)₇CH₃ 18:1

Linolric: R=-(CH₂)₇CH=CH-CH₂-CH(CH₂)₄CH₃

18:2

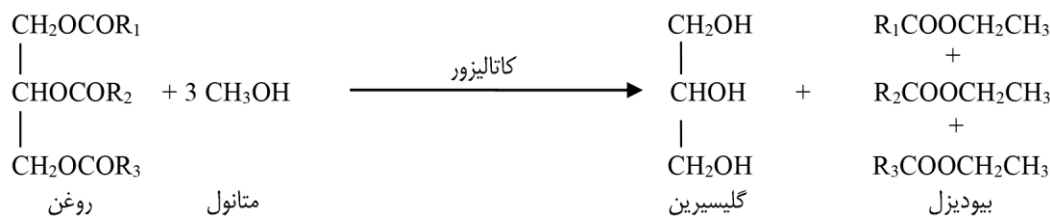
Linolenic: R=-(CH₂)₇CH-CH-CH₂-CH-CH₂-

CH=CH-CH₂-CH₃ 18:3

این زنجیره‌ها با دو شماره که با علامت (:) از هم جدا شده‌اند مشخص می‌شوند. عدد اول تعداد اتم‌های کربن موجود در زنجیره و عدد دوم تعداد پیوندهای دوگانه زنجیره را مشخص می‌کند. تعداد اتم‌های کربن، شامل کربنی است که پیوند دوگانه با اتم اکسیژن در انتهای اسید چرب دارد (کربن کربکسیلیک) در انتهای واکنش، متانول در موقع متیل استر به آن وصل می‌شود. کاتالیزورهای به کار رفته برای این واکنش به سه دسته اسیدی، بازی و آنزیمی تقسیم می‌شوند. این فرایند به‌طور گسترده‌ای در کاهش

شده است. بیودیزل‌های تولیدی از روغن‌های مختلف معمولاً دارای گرانیروی نزدیک به سوخت دیزل هستند. ارزش حرارتی بیودیزل اندکی کمتر است، اما عدد ستان و نقطه اشتعال بالاتری دارد. با توجه به ویژگی‌های بیودیزل می‌توان آن را یکی از نامزدهای جایگزین دیزل دانست [۱۲].

گرانیروی روغن‌ها جهت رسیدن به ویژگی‌های فیزیکی مورد نظر برای سوخت‌های زیستی انجام می‌پذیرد. بنابراین بیودیزل‌ها را می‌توان از طریق ترانس استریفیکاسیون تولید و به‌عنوان سوخت موتورهای دیزل مصرف کرد. برخی از ویژگی‌های بیودیزل‌ها و سوخت دیزل در جدول ۳ ارائه



شکل ۱. واکنش ترانس استریفیکاسیون

جدول ۳. برخی از ویژگی‌های بیودیزل‌ها و سوخت دیزل

متیل استر روغن گیاهی	گرانیروی (mm ² /s)	عدد ستان	ارزش حرارتی (MJ/l)	نقطه ابری شدن (درجه سانتی‌گراد)	نقطه اشتعال	چگالی (g/l)	گوگرد (Wt%)
بادام زمینی	۴/۹	۵۴	۳۳/۶	۵	۱۷۶	۰/۸۸۳	-
سویا	۴/۰	۴۵/۷-۵۶	۳۲/۷	-	-	۰/۸۸۰	-
نخل	۴/۳-۴/۵	۶۴/۳-۷۰	۳۲/۴	-	-	۰/۸۷۲-۰/۸۷۷	-
آفتابگردان	۴/۶	۴۹	۳۳/۵	۱	۱۸۳	۰/۸۶۰	-
کلزا	۴/۲	۵۳	۳۲/۸	-	-	۰/۸۸۲	-
روغن کلزا پسماند	۹/۴۸	۶۳/۹	۳۶/۷	-	۱۹۲	۰/۸۹۵	۰/۰۰۲
روغن ذرت پسماند	۶/۲۳	۵۱	۴۲/۳	-	۱۶۶	۰/۸۸۴	۰/۰۰۱۳
سوخت دیزل	۱۲-۳/۵	-	۳۵/۵	-	-	۰/۸۳۰-۰/۸۴۰	-

۱. با ترانس استریفیکاسیون روغن‌ها، اتم‌های اکسیژن در مولکول بیودیزل حفظ می‌شوند و از آن جدا نمی‌شوند وجود اکسیژن در مولکول بیودیزل یکی از مزایای این سوخت است.
 ۲. تولید با این روش به امکانات و شرایط کمتری نیاز دارد.

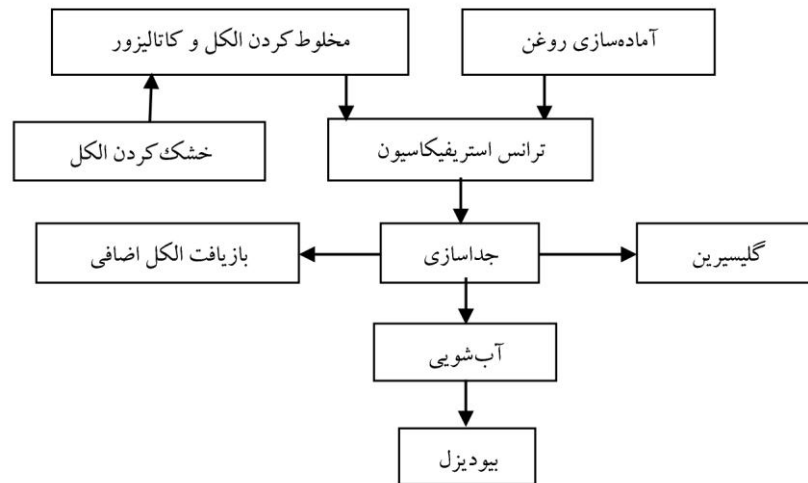
۴. تولید سوخت بیودیزل

از بین سه روش تولید بیان شده، معمولاً روش ترانس استریفیکاسیون برای تولید بیودیزل استفاده می‌شود [۲]. در این روش روغن با استفاده از یک الکل در حضور یک کاتالیزور به بیودیزل تبدیل می‌شود. انتخاب این روش براساس چند دلیل مهم صورت می‌گیرد که عبارت‌اند از:

۳. بازده تولید بالایی دارد.

با این روش کار می‌کنند [۱۳]. شکل ۲ مراحل تهیه بیودیزل از روغن‌های تازه و پسماند را نمایش می‌دهد.

۴. این روش معمول‌تر است و کارخانجات تولید بیودیزل ساخته‌شده در کشورهای مختلف اغلب



شکل ۲. مراحل تهیه بیودیزل از روغن‌های تازه و پسماند

۴-۱-۱. مراحل تهیه بیودیزل

۴-۱-۱-۱. آماده‌سازی روغن‌های گیاهی

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 (مانند تکه‌های مواد غذایی یا هر ماده دیگر) است. برای فیلتر کردن روغن پسماند می‌توان آن را به مدت چند روز در محفظه‌ای نگهداری کرد تا قطعات بزرگ ناخالصی‌ها در این مدت ته‌نشین شوند و در مورد ذرات کوچک‌تر باید روغن از صافی عبور داده شود. برای جدا کردن آب می‌توان یکی از دو روش زیر را انتخاب کرد:

۱. ته‌نشین کردن آب: در این روش، که انرژی کمی را مصرف می‌کند روغن ۶۰ درجه سلسیوس حرارت داده می‌شود و به مدت ۱۵ دقیقه در این دما نگه داشته می‌شود. سپس روغن به داخل مخزن ته‌نشین انتقال می‌یابد تا حداقل بعد از ۲۴ ساعت ته‌نشین شود.

۲. تبخیر آب موجود: در این روش، که معمولاً ترجیه داده می‌شود، میزان انرژی زیادی مصرف‌شده و به‌خاطر تولید اسیدهای چرب آزاد بیشتر، سبب کاهش بازده تولید می‌شود. در این روش روغن تا ۱۰۰ درجه سلسیوس گرم شده و تا بخارشدن همه آب موجود در روغن در این دما نگه داشته می‌شود [۱۴].

۴-۱-۲. حل کردن کاتالیزور در الکل

این مرحله که برای سهولت در انجام واکنش صورت می‌گیرد شامل حل کردن هیدروکسید پتاسیم جامد در متانول است الکل و کاتالیزور مصرف بایستی از درجه خلوص بالایی برخوردار بوده (حدود ۹۵ درصد و بیشتر) و حتی‌الامکان درصد آب موجود در آنها کم باشد (حدود ۵ درصد و کمتر). وجود آب در هر مرحله از واکنش موجب اختلال در مراحل جداسازی و بروز واکنش‌های ناخواسته می‌شود. مخلوط کردن الکل با کاتالیزور یک واکنش گرمازا



است؛ به طوری که باعث تبخیر الکل در ظرف اختلاط می‌شود. بنابراین رعایت نکات ایمنی بسیار مهم است. بدین منظور، مخلوط کردن الکل با کاتالیزور به صورت دستی انجام می‌شود. لذا الکل را در ظرف پلاستیکی ریخته و کاتالیزور در داخل آن ریخته می‌شود (درب ظرف پلاستیکی باید به گونه‌ای باشد که بخارات متانول بتوانند از آن خارج شوند). بعد از ۴ تا ۵ دقیقه دو ماده کاملاً با هم مخلوط خواهند شد. البته هم‌زدن زمان اختلاط را کاهش می‌دهد. مقدار متانول مورد استفاده از فرمول تقریبی و انجام آزمایش‌ها تعیین می‌شود. واکنش همچنین نیازمند حدود ۱ درصد (بر اساس وزن روغن) هیدروکسید پتاسیم است که در انتها داخل گلیسرین باقی خواهد ماند. چون حل شدن هیدروکسید پتاسیم در متانول یک واکنش گرمازا است. بنابراین با گرمایی که تولید می‌شود زمان حل شدن کاهش می‌یابد [۱۴].

۳-۱-۴. واکنش ترانس استریفیکاسیون

در این مرحله واکنش اصلی تولید بیودیزل انجام می‌شود روغن و مخلوط الکل و کاتالیزور تهیه شده با هم مخلوط شده و به شدت هم زده می‌شوند. مناسب‌ترین مقدار متانول مورد نیاز برای انجام واکنش ترانس استریفیکاسیون نسبت مولی ۱:۳ می‌باشد؛ یعنی به ازای یک مول روغن ۳ مول متانول لازم می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که به ازای ۱۰۰۰ میلی‌لیتر روغن با احتساب ۵۰ درصد متانول اضافه، ۲۱۷ میلی‌لیتر متانول لازم می‌باشد. در رابطه زیر مقادیر بیودیزل و گلیسرین تولید شده از ۱۰۰۰ میلی‌لیتر روغن نشان داده شده است [۷-۸].

زمان لازم انجام این واکنش 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 واکنش قابل پیشگیری نیست. صابون زیاد در محصولات می‌تواند مانع انجام دیگر مراحل کار بر روی بیودیزل مانند جداسازی گلیسرین و آب‌شویی شود [۱۵].

۴-۱-۴. تیتراسیون

در واکنش ترانس استریفیکاسیون به میزان یک درصد وزن روغن به کاتالیزور نیاز می‌باشد؛ وجود آب و اسیدهای چرب آزاد در متانول یا روغن سبب مصرف بیش از حد کاتالیزور و کم شدن آن می‌گردد. این پدیده موجب کند شدن واکنش و انجام نپذیرفتن آن در زمان مورد انتظار می‌شود. با فرض آب‌گیری کامل از روغن باید مقدار اسیدهای چرب آزاد آن را مشخص کرد تا مقدار دقیق کاتالیزور اضافی مشخص شود. این مقدار باید به میزان کاتالیزور مصرفی اضافه شود. اسیدهای چرب آزاد زیاد، در روغن پسماند، به دلیل تحت حرارت زیاد قرار گرفتن روغن تولید می‌شوند. آشکار است اگر روغن تحت حرارت کمتری قرار گرفته باشد، بازده تولید بالاتر خواهد رفت. بدین منظور نیاز به تیتراسیون روغن پسماند است. تیتراسیون بهترین راه برای از بین بردن ریسک در واکنش تولید بیودیزل است، برای انجام این کار به مواد و وسایل زیر نیاز است:

۱. شناساگر PH

۲. پروپانول (۹۹ درصد)

۳. ظرف آزمون

۴. بورت با دقت ۰/۱ سی‌سی

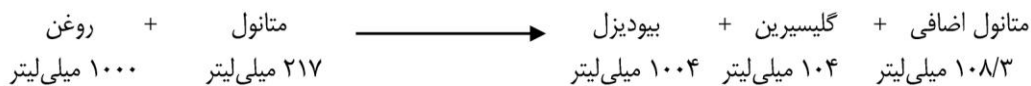
یک سی‌سی روغن پسماند در ۱۰ سی‌سی الکل ۲- پروپانول و ۱ گرم هیدروکسید پتاسیم در یک لیتر آب مقطر حل می‌شود. در داخل محلول الکل با روغن یک یا دو قطره شناساگر PH (معمولاً فنوالتالین) ریخته می‌شود. باید توجه داشت اگر دمای محیط آزمون پایین باشد، امکان جامد شدن روغن وجود دارد. به همین دلیل، در این شرایط باید دمای محلول را بالا برد. محلول باز به صورت قطره قطره به محلول روغن اضافه می‌شود. با هر قطره باید به آرامی محلول روغن هم زده شود. این کار تا زمانی که رنگ شناساگر به رنگ نشان‌دهنده وضعیت خنثی برسد ادامه می‌یابد، در نهایت تعداد سی‌سی‌های محلول باز استفاده شده، نشان‌دهنده مقدار گرم‌های کاتالیزور برای هر لیتر روغن پسماند است [۱۱].



۵-۱-۴. بازیافت متانول اضافی

به دلیل سوق دادن واکنش به تولید محصول بیشتر، معمولاً همیشه مقداری متانول اضافی به مخلوط واکنش افزوده می‌شود. این متانول اضافی در انتهای واکنش در هر دو فاز بیودیزل و گلیسرین موجود است. بنابراین، با حرارت دادن مخلوط تا ۶۴ درجه سلسیوس (نقطه تبخیر متانول) می‌توان آن را تبخیر کرده و با سرد کردن بخار آن را

بازیافت کرد. البته متانول به دست آمده دارای مقداری آب است و نمی‌توان مستقیماً از آن برای واکنش بعدی استفاده کرد و باید آن را با استفاده از مواد رطوبت‌گیر و مرید خشک نمود. با توجه به اینکه میزان متانول اضافی در تولید با مقیاس آزمایشگاهی بسیار اندک می‌باشد لذا بخش بازیافت متانول حذف می‌گردد. اما در مقیاس صنعتی بازیافت متانول بسیار مهم و دارای صرفه اقتصادی بالاست [۱۱].



۶-۱-۴. تفکیک گلیسرین از بیودیزل

بعد از انجام واکنش، ترانس استر یفیکاسیون، مخلوط واکنش به ظرف جداسازی دو فاز انتقال داده می‌شود. با توجه به اینکه چگالی گلیسرین (۱/۲۶۱۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بیشتر از بیودیزل (۰/۸۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) می‌باشد، در نتیجه گلیسرین ته‌نشین شده و از بیودیزل جدا می‌گردد. زمان لازم برای جداسدن کامل گلیسرین یک هفته است. اما برای ته‌نشینی بیش از ۹۰ درصد گلیسرین، سه تا چهار ساعت زمان کافی است. البته برای این کار می‌توان از سانتریفوژ نیز استفاده کرد که عمل جداسازی را بسیار راحت و در زمان کمتری انجام می‌دهد [۹].

بیودیزل است. این روش، با توجه به اینکه مواد اضافی موجود در بیودیزل هم در آب قابل حل شدن هستند، انتخاب می‌شود. البته برای جدا شدن بهتر صابون می‌توان به آب، آبشویی نمک اضافه کرد. دفعات آبشویی به کیفیت روغن و دقت انجام واکنش بستگی دارد. برای روغن‌های تازه که آب و اسیدهای چرب آزاد کمی دارند ۲ تا ۳ بار آبشویی کافی استفاده اما برای روغن‌های پسماند این تعداد افزایش می‌یابد و به ۵ تا ۷ بار می‌رسد. شفاف شدن آب پسماند حاصل از آبشویی معیار خوبی برای اتمام کار است. سه روش برای آبشویی وجود دارد که عبارت‌اند از:

۱. استفاده از همزن

۲. پاشش آب بر سطح بیودیزل به صورت قطر است

۳. تزریق هوا

به‌طور تجربی ثابت شده است که از بین روش‌های بالا، روش آبشویی با تزریق هوا بازده بسیار بهتری داشته و تعداد دفعات آبشویی را کاهش می‌دهد. در این روش، حباب هوا که از لایه نازکی از آب تشکیل شده از بین بیودیزل عبور می‌کند و سبب بیشترین تماس بیودیزل با آب می‌شود. علاوه بر این، با افزایش فشار و دبی هوای ورودی، حباب‌ها بیودیزل را به صورت نامنظم بهم می‌زنند و تمام آب با بیودیزل تماس پیدا می‌کند [۱۶]. بعد از اینکه

۲-۴. آبشویی و خالص‌سازی بیودیزل

در این مرحله بیودیزل به دست آمده از مرحله تفکیک خالص می‌گردد و مرحله خالص‌سازی شامل حذف صابون، کاتالیزور و گلیسرین باقی مانده از مرحله قبل درون بیودیزل می‌باشد. این مواد در صورت باقی‌ماندن در سوخت نهایی باعث بروز آثار نامطلوب در نحوه احتراق و بروز بوی بد و دود می‌شوند. برای جداسازی این مواد می‌توان از روش تقطیر جزء به جزء استفاده کرد، اما چون تقطیر کردن نیاز به امکانات و هزینه زیادی دارد. این روش برای جداسازی انتخاب نمی‌شود و روش مورد استفاده آبشویی

از شسته شدن همه ناخالصی‌ها اطمینان حاصل شد، باید آب موجود در بیودیزل خارج شود. به دلیل تشکیل امولسیون آب با بیودیزل، قسمتی از آب از آن خارج نخواهد شد به زمان زیادی نیاز است تا ته نشین شود. یک روش که با آن می‌توان تمام آب را خارج کرد حرارت دادن است. برای این کار، بیودیزل در دمای ۷۰ تا ۹۰ درجه سلسیوس قرار می‌گیرد. بعد از ۱ تا ۲ ساعت آب موجود در آن به صورت قطراتی در کف ظرف جمع می‌شود و می‌توان آن را خارج کرد. اگر بعد از سرد شدن بیودیزل رنگ آن کدر شود، نشان‌دهنده خوب انجام نشدن یکی از مراحل آب‌شویی یا آب‌گیری آن است و باید دوباره انجام شود [۱۱].

۵. نتیجه‌گیری

استفاده روزافزون از سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های ایجاد شده به خاطر مصرف بی‌رویه این نوع سوخت‌ها، توجه به سوخت‌های جایگزین که دارای آلاینده‌گی کمتری بوده و تجدیدپذیر می‌باشند را افزایش داده و تحقیقات در این

زمینه مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. یکی از این سوخت‌ها بیودیزل است که می‌توان آن را از روغن‌های گیاهی یا حیوانی به دست آورد. برای تولید سوخت بیودیزل از روغن‌های گیاهی باید بعضی از خواص روغن اصلاح شود تا با خواص سوخت دیزل مطابقت داشته باشد. برای تولید سوخت بیودیزل از روغن‌های پیرولیزیز، میکروامولسیون و ترانس استریفیکاسیون استفاده می‌شود. از بین روش‌های فوق، روش ترانس استریفیکاسیون برای تولید سوخت بیودیزل مناسب تشخیص داده شده است. این روش معمول‌تر است و کارخانجات تولید بیودیزل ساخته شده در کشورهای مختلف اغلب با این روش کار می‌کنند. با تولید سوخت زیستی بیودیزل و جایگزینی آن با سوخت دیزل به صورت خالص و یا بصورت مخلوط سوخت دیزل و بیودیزل یک نوع انرژی تجدیدپذیر جایگزین سوخت فسیلی دیزل گردیده و به کاهش آلودگی محیط زیست نیز کمک خواهد شد.

۶. مأخذ

- [1] Abdoli, M.A., F. Mohammadi, B. Ghobadian, E. Fayyazi. "Effective Parameters on Biodiesel Production from Feather fat oil as a Cost- Effective Feedstock," *Int. J. Environ. Res.*, Vol.8, No.1, pp. 139-148, 2014.
- [2] Alamu, O. J., T. A. Akintola, C. C. Enweremadu, A. E. Adeleke. "Characterization of Palm-Kernel oil biodiesel produced through NaOH-Catalysed transesterification process," *Scientific Research and Essay*, Vol.3, No.7, pp. 304-311, 2008.
- [3] Alamu, O. J., O. Dehinbo, A. M. Sulaiman. "Production and Testing of Coconut Oil Biodiesel Fuel and its Blend." *Leonardo Journal of Sciences*, Vol. 16, pp.95-104, 2010.
- [4] Atadashi, I. M., M. K. Aroua, A. R. Abdul Aziz, N. M. N. Sulaiman. "The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, pp.3456-3470, 2012.
- [5] Balat, M., H. Balat. "A critical review of bio-diesel as a Vehicular Fuel." *Energy conversion and Management*. 49, pp. 2727-2741, 2008.
- [6] Chheri, B., K. Chris Watts, M. Rafiqul Islam. "Waste Cooking Oil as an Alternate Feedstock for Biodiesel Production." *Energies*, 1, pp.3-18, 2008.
- [7] Knotte, G., K. Steidley. "A Comparison of Used Cooking oils: A Very Heterogenous Feedstock for Biodiesel." *Bioresource Technology*, 100, pp.5796-5801, 2009.



- [8] Nwafor, O. M. I., G. Rice, A. I. Ogbonna. "Effect of Advanced Injection Timing on the Performance of Rapseed oil Diesel Engines." *Journal of Renewable Energy*, 21, pp.433-444, 2000.
- [9] Hossain, A. B. M. S., A. Nasrulhag Boyce, A. Salleh, S. Chandran. "Biodiesel Production from Waste Soybean Oil Biomass as Renewable Energy and Environmental Recycled Process," *Africa journal of Biotechnology*, Vol. 9, No. 25, pp. 4233-4240, 2010.
- [10] Hossain, A. B. M. S., A. N. Boyce. "Biodiesel Production from Waste Sunflower Cooking oil as an environmental Recycling Process and Renewable Energy." *Bulgareian Journal of Agricultural Science*, Vol. 15, No. 4, pp. 312-317, 2009.
- [11] Fadhil, A.B., M. M. Dheyah, K. M. Ahmad, M. H. Yahya. "Biodiesel Production from Spent Fish Frying Oil, Oil Through Acid-Base Catalyzed Transesterification," *Pak. J. Anal. Environ. Chem.* Vol. 13, No. 1, pp. 09-15, 2012.
- [12] Ghaly, A.E., D. Dave, M. S. Brooks, S. Budge. "Production of Biodiesel by Enzymatic Transesterification: Review." *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 6, No. 2, pp. 57-76, 2010.
- [13] Raja, S. A., D. S. R. Smart, C. L. Robert lee. "Biodiesel Production from jatropha oil and its characterization." *Research Journal of chemical Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 81-87, 2011.
- [14] Gashaw, A., A. Teshita. "Production of biodiesel from Waste Cooking oil and factors affecting its formation: A review." *Intentionl Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 3, No. 5, pp. 92-98, 2014.
- [15] Thanh, L., K. Okitsu, L. Boi, Y. Maeda, "Catalytic Technologies for Biodiesel Fuel Production and Utilization of Glycerol: A Review." *Catalysts*, Vol. 2, pp. 191-222, 2012.
- [16] Patil, D., V. Gude, H. Reddy, T. Muppaneni, S. Deng. "Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Sulfuric Acid and Microwave Irradiation Process." *Journal of Environmental Protection*, 3, pp. 107-113, 2012.



پی‌نوشت

1. Pvrolsis

2. Micro-emulsion

3. Transesterification

4. Alkane

5. Alken

6. Alkadien

7. Aromatic

۸. هوای سرد منجر به تشکیل کریستال‌های کوچک در سوخت می‌شود که

در ابتدا اندازه این کریستال‌ها از حدود چند میکرون فراتر نرفته و با چشم

قابل مشاهده نیستند. دمایی که در آن کریستال‌های تشکیل شده قابل

رویت می‌شوند به نقطه ابری شدن معروف است. این نامگذاری به دلیل

کدر شدن یا ابری شدن سوخت توسط کریستال است.

9. Surfactant

10. Amphiphilic

11. Cosurfactant