مجله مهندسی زیست سامانه

ارزیابی فرایند خالص‌سازی بیودیزل حاصل از زائدات روغن پخت و پز به روش مرطوب بهینه

رضا حسنخانی [۱*]- علی زنوزی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۱

چکیده:

زائدات روغن پخت و پز قابلیت تبدیل شدن به یک سوخت استاندارد برای موتورهای دیزل را داراست. در این مطالعه ابتدا زائدات روغن پخت و پز رستورانی جمع‌آوری شد. پس از آماده سازی اولیه روغن پسماند واکنش ترانس استریفیکاسیون با متانول انجام گردید. بعد از این واکنش با ته‌نشین شدن گلیسیرین در کف مخزن، عملیات حذف و جداسازی آن از بیودیزل صورت پذیرفت. عملیات خالص‌سازی بیودیزل با آب انجام گرفت. این فرآیند در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۰ دقیقه انجام شد. به منظور اطمینان از جذب نا خالصی‌ها کدورت پساب‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. درصد کدورت پساب‌ها بیانگر کارایی و اثربخشی عملیات خالص‌سازی است. در این روش برای تولید هر لیتر بیودیزل استاندارد تنها سه لیتر آب مصرف شد. بعد از مرحله خالص‌سازی، از طریق کروماتوگرافی گازی کیفیت و خلوص سوخت تولیدی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج این آزمون مؤید انجام کامل واکنش ترانس استریفیکسیون و حصول یک سوخت زیستی با کیفیت است. در نهایت سه ویژگی مهم چگالی، گرانروی سینماتیکی و نقطه اشتعال بیودیزل تولید شده مورد اندازه‌گیری و آزمون قرار گرفت. چگالی ۸۸۶/۲ کیلوگرم بر مترمکعب، گرانروی سینماتیک ۳/۸۶ سانتی استوک و نقطه اشتعال ۱۵۸ درجه سلسیوس تعیین گردید. این مقادیر با استاندارد-های ASTM مطابقت کامل دارد. علی‌رغم استفاده از زائدات روغن پخت و پز به عنوان ماده اولیه، سوخت حاصل شده نهایی در مقایسه با بیودیزل‌های تولید شده از روغن‌های تازه گیاهی از نظر کیفیت و خلوص برتری قابل توجهی دارد. بر این اساس خالص‌سازی بیودیزل به روش مرطوب بهینه یک روشی اقتصادی، دسترسی ساده و کاربردی است که توانست از دور ریختنی‌های روغن پخت و پز یک سوخت زیستی با کیفیت و استاندارد تامین نماید.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، بهینه‌سازی، خالص‌سازی مرطوب، زائدات روغن پخت و پز

مقدمه:

یکی از چالش‌های پیش‌رو بحث تاثیر بیودیزل بر امنیت غذایی است که از طریق اثرگذاری بر روی بخش‌های مختلف کشاورزی و منابع طبیعی رخ می‌دهد. کشت و بکارگیری دانه‌های روغنی به عنوان ماده اولیه و اصلی بیودیزل علاوه بر تهدید امنیت غذایی، با گسترش مزارع کشت دانه‌های روغنی خاص تولید این سوخت در مقیاس وسیع، تخریب جنگل‌ها و آسیب به منابع طبیعی را به دنبال خواهد شد. اگر همچنان رویه تامین مواد اولیه بیو انرژی‌ها از تولیدات کشاورزی و دامی ادامه یابد قطعا در بلند مدت آسیب‌ها و پیامدهای منفی زیادی به منابع طبیعی و صنعت کشاورزی و دامی وارد می-گردد (امامی و قهدریجانی، ۱۳۹۴). مجموعا تامین سوخت از مواد مفید و قابل بهره برداری در صنعت کشاورزی، غذایی و پرورش دام و طیور برای بسیاری از کشورها مسئله‌ای بحث برانگیز می‌باشد و به نوعی سوخت را در برابر غذا قرار می‌دهد (حاجی آقاعلیزاده و همکاران، ۱۳۹۱).

در تولید بیوانرژی‌ها علاوه بر حفظ امنیت غذایی شناسایی منابع اولیه و روش‌های اقتصادی پایدار و عملی باید مدنظر قرار گیرند. چرا که لازمه توسعه، پیشرفت و ادامه کار هستند. نوع و زنجیره تامین سوخت زیستی مناسب هر منطقه نیازمند ارزیابی‌ها و مطلعات دقیق از شرایط اقتصادی و اجتماعی آن منطقه است. در مناطق روستایی با متمرکز کردن فضولات دامی و تولید بیوگاز تامین انرژی به عنوان هدف اصلی تحقق یافته و توامان خطر شیوع بیماری‌ها و آلودگی‌های محیطی هم از بین خواهد رفت. فراهم شدن کود مرغوب غنی از فسفر، پتاسیم و به ویژه ازت و هوموس برای تقویت بخش کشاورزی نیز حاصل خواهد شد (امینی نیاکی و همکاران، ۱۳۹۸) .

[۱]- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
[۲] - گروه پژوهشی مکانیک بیوسیستم، پژوهشکده کشاورزی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
نویسنده مسؤول: hasankhani.r@srbiau.ac.ir

در مناطق شهری که مصرف غذاهای سرخ کردنی و چرب یک رویه همیشگی شده است، جمع آوری و تمرکز روغن‌های پسماند آشپزخانه‌ای و تولید بیودیزل پتانسیل بالقوه و مطلوبی است. چراکه علاوه بر اینکه بخشی از انرژی مورد نیاز تامین می-گردد، از روانه شدن مقدار قابل توجهی روغن پسماند به عنوان زباله در دفن‌گاه‌ها و رودخانه‌ها نیز جلوگیری خواهد شد. البته به دلیل کاربرد بخشی از روغن‌های پسماند در صنعت صابون سازی ممکن است بحث تهدید مواد اولیه مصارف بهداشتی مطرح شود. گلیسیرین حاصل از تولید بیودیزل می‌تواند به عنوان یک جایگزین بهتر در اختیار کارخانجات تولید صابون قرار گیرد. در گذشته بخش کمی از چربی‌های پسماند به عنوان افزودنی به خوراک دام‌ها اضافه می‌شد که امروزه با توجه به مضرات آن، این کاربرد ممنوع شده است (Math et al, 2015)

بعد از تولید بیودیزل، احراز کیفیت و خلوص آن امری الزامی ست. بر اساس استانداردهای بین‌المللی نظیر «EN14214» ناخالصی‌های موجود در بیودیزل طی عملیات خالص‌سازی حذف خواهد شد و یا حداقل تا سطح مندرج در استانداردها کم خواهد شد. پژوهشگران شیوه‌های مختلفی را برای حذف ناخالصی های بیودیزل مطرح و بررسی کرده‌اند. (Helwani,et al, 2009).

حذف ناخالصی‌های بیودیزل با آب یکی از شیوه‌های قابل دسترس، اقتصادی و در عین حال موثر خالص‌سازی است. پژوهشگران عرصه بیودیزل استفاده از آب برای تخلیص را آبشویی یا خالص‌سازی مرطوب بیودیزل می‌نامند (Patil et al, 2012). بیودیزل محصول واکنش شیمیایی روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی با متانول در حضور یک کاتالیزور می-باشد(Berrios and Skelton, 2008). منابع اولیه متنوعی از دانه‌های گوجه فرنگی تا چربی‌های حیوانی و روغن-های حاصل از ماکیان و زائدات پخت و پز می‌توانند در تولید بیودیزل مورد استفاده قرار گیرند.

با افزایش قیمت روغن گیاهی در سال‌های اخیر، هزینه تولید بیودیزل بالاتر خواهد رفت و بیودیزل مزایای رقابتی خود را به علت قیمت بالا از دست خواهد داد. از طرفی دیگر مشکلات مرتبط با امنیت خوراک و تغییرات زمین نیز افزایش یافته-اند. یک راه حل بالقوه برای مقابله با این مشکل استفاده از مواد خام جایگزین مانند مایه‌های صابون، روغن‌های اسیدی، روغن-های تال، روغن‌های استفاده شده در آشپزی، چربی‌های ضایعاتی رستوران‌ها، چربی‌های گوناگون حیوانی، روغن‌های گیاهی غیر خوراکی و روغـن‌های حاصل از درختان و میکروارگانیسم-هایی مانند جلبک‌ها است. همچنین از اصلاحات ژنتیکی برای بهبود ویژگی‌های مطلوب بیودیزل استفاده می‌شود. در بین همه مواد اولیه نسل جدید بیودیزل، میکروجلبک‌ها دارای آینده روشن-تری هستند. میکروجلبک‌ها مانند سایر گیاهان، از خورشید و دی اکسیدکربن استفاده می‌کنند تا روغن بسازند(Can et al., 2016) اما آنها این سنتز را بسیار موثرتر و کارآمدتر از سایر گیاهان انجام می‌دهند.

با توجه به ویسکوزیته بالا، فراریت پایین و حلقه‌های غیر اشباع روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی امکان بکارگیری مستقیم آنها به عنوان سوخت موتورهای دیزل میسر نیست. این روغن‌ها باید پالایش شوند تا به سوختی با کیفیتی تبدیل شوند (da Silva et al., 2015). روش‌های مرسوم برای بکارگیری روغن گیاهی در موتور دیـزل اختلاط مسـتقیم روغن با سوخت دیزلی و یا تهیه میکروامولسیونی از روغن، الکل و سورفکتانت است. هر دو روش فیزیکی بوده و می‌توانند ویسکوزیته روغن گیاهی را کاهش دهند، ولی قادر به رفع مشکل ته‌نشینی کربن، آلودگی و روان‌سازی نیستند. پیرولیز، ترانس استریفیکاسیون و استفاده از متانول فوق بحرانی، تکنیک‌هایی هستند که برای حل مشکلات مرتبط با ویسکوزیته بالای سوخت می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند.

روش شستشوی سوخت‌های بیودیزل با آب به طور چشمگیری در حذف آلاینده‌های اضافی و مواد شیمیایی باقی مانده از بیودیزل موثر است. از آنجا که گلیسیرین و متانول به میزان زیادی در آب انحلال‌پذیر هستند، شستشوی بیودیزل با آب در حذف این دو آلاینده بسیار موثر است و این موضوع باعث شده که همچنان متداولترین روش خالص‌سازی بیودیزل، آبشویی باشد. مزیت دیگر این روش این است که هر نوع باقیمانده نمک‌های سدیم و صابون که محصول جانبی اسیدهای چرب آزاد هستند را به سبب انحلال در آب حذف خواهد کرد.(Kusdiana and Saka 2001)

در پژوهشی عوامل موثر بر خالص سازی مرطوب بیودیزل را مورد بررسی قرار گرفت. سه نوع آب که سوخت بیودیزل با آن شستشو داده شد (آب لوله کشی، آب مقطر و آب با اسید فسفریک ۳٪)، سه دمای شستشو دهنده (۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی گراد)، و سه سطح آب به سوخت بیودیزل به نسبت‌های حجمی (۱،۵ و ۱،۰،۵) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین شرایط برای تفکیک کاتالیزور و صابون از سوخت بیودیزل آب اسیدی، دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت حجمی آب به سوخت بیودیزل ۱/۵ بود. همچنین، کمترین میزان آب باقیمانده درسوخت بیودیزل خالص شده وقتی بدست آمد که ازآب با دمای ۶۰ سانتی‌گراد استفاده و نسبت حجمی آب به سوخت ۱/۵ استفاده شده بود، مشاهده شد (Abbaszadeh et al., 2014) در پژوهشی دیگر در خصوص تصفیه بیودیزل با استفاده از جاذب‌های آلی به جای روش سنتی شستشوی آب بررسی و تحقیق به عمل آمد. بهره‌وری جاذب‌های

آلی مختلف در شرایط مختلف با یکدیگر و همچنین با بیودیزل شسته شده با آب سنتی پالایش برای سوخت استخراجی از گیاه جاتروفا کورکاس(Jatropha Curcas) بر اساس بیودیزل استری مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از شستشوی آب اسید معمولی با جاذب‌های آلی ۳ درصد غلظت (وزنی / وزنی) با زمان تکان ۲۵ دقیقه دردمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد، به همان اندازه برای حذف گونه‌های آلوده از بیودیزل مناسب یافت شد (Bang et al., 2007) . بر اساس پژوهش پاتیل و همکاران، در صورت باقی ماندن صابون، کاتالیزور و گلیسیرین در بیودیزل، آثار نامطلوبی در نحوه احتراق و بروز دود و بوی بد ایجاد خواهد شد. برای جداسازی این مواد می‌توان از روش تقطیر جزء به جزء استفاده کرد اما چون این روش نیاز به امکانات و هزینه زیادی دارد، روش آبشویی ترجیح داده می‌شود (Patil et al., 2012) باوفا و همکاران (۱۳۹۲) بعد از استحصال بیودیزل از روغن چربی طیور محتوی اسید چرب بالا، برای خالص‌سازی و حذف ناخالصی‌های آن از جمله کاتالیزور، الکل، صابون و گلیسرین از روش آبشویی استفاده کردند. پس از خالص‌سازی بیودیزل، خصوصیات مهم آن در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد که با استاندارد ASTM مطابقت لازم را داشت. مطابق بررسی‌های دوران و همکاران تنها آبشویی بیودیزل قادر به خالص‌سازی مستقیم گلیسرول طبق الزامات استاندارد ASTM D6751 است. اما آبشویی دارای معایبی نظیر هزینه، ایجاد امولوسیون‌ها، تصفیه پساب و خشک کردن محصول نهایی می‌باشد. فرآیند خشکشویی مگنسول دارای اثر خوبی بر محتوای متانول بوده، اما با هیچ یک از مقادیر استاندارد ASTM D6751 مطابقت ندارند (Duran et al., 2014).

در این پژوهش با مطالعه فرایند خالص‌سازی بیودیزل حاصل از زائدات روغن پخت و پز به روش مرطوب بهینه به معرفی روشی برای خالص‌سازی بیودیزل با ارائه نتایج آنالیز محصول نهایی پرداخته شده است.

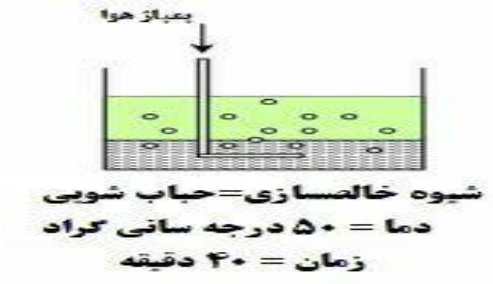
مواد و روش‌ها

ساختار دستگاه خودکار و برنامه‌پذیر تولید و فرآوری بیودیزل بکار رفته در این مطالعه شامل بخش‌های اصلی راکتور، الکترو-موتور، ابزارهای کنترل دما، پمپ نیوماتیکی حباب ساز می‌باشد (شکل ۱). عملیات واکنش ترانس‌استریفیکاسیون و آبشویی درون راکتور صورت گرفت. الکتروموتور مورد نیاز برای همزنی مخلوط داخل راکتور از نوع سه فاز بود و کنترل دقیق دور آن توسط اینورتر صورت گرفت. برای کنترل شدت همزنی یک اینورتر متناسب با توان الکتروموتور استفاده قرار گرفت. با استفاده از این اینورتر کنترل سرعت الکتروموتور از صفر تا ۱۴۰۰ دور در دقیقه قابل تنظیم بود. برای همزن راکتور از یک محور از جنس فولاد ضدزنگ و یک پره با جریان محوری استفاده شد. پره‌های محوری دارای خاصیت همزنی عمودی نیز بوده، از رسوب گلیسیرین در حین واکنش جلوگیری می کنند و بنابراین همزنی یکنواختی را در داخل راکتور بوجود می‌آورند.

شکل ۱- دستگاه تولید و فرآوری بیودیزل بکار رفته در پژوهش

برای تنظیم دمای راکتور از یک گرمکن استیل، یک حسگر دما و کنترلر آن که قابلیت کنترل دما از ۱۱۰-۲۰ درجه سلسیوس را دارا می‌باشد، استفاده شد. برای تولید حباب جهت عملیات خالص‌سازی به هوادهی از زیر راکتور برای تولید حباب نیاز بود، لذا برای این منظور یک پمپ بادی آکواریومی استفاده شد. خروجی این پمپ توسط شیلنگ به یک شیر که در پایین مخزن توسط سه راهی به لوله تخلیه متصل است، وصل شده و به این ترتیب حباب های هوا را به درون مخزن هدایت گردید.

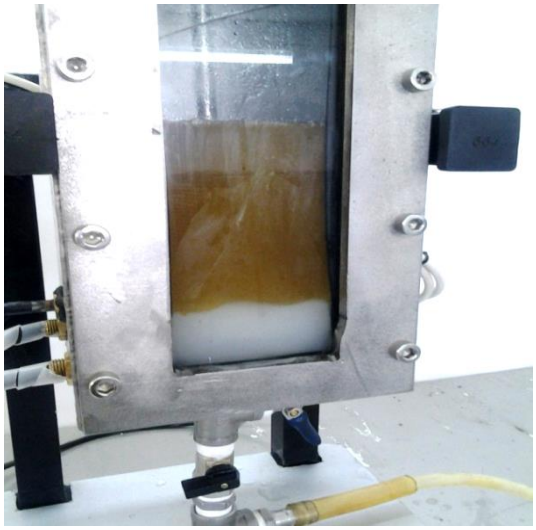
روغن پسماند مورد نیاز این پژوهش از رستوران سازمان پژوهش-های علمی و صنعتی ایران جمع‌آوری شد. پس از تولید بیودیزل مراحل خالص‌سازی توسط دستگاه تولید و فرآوری بیودیزل به روش مرطوب بهینه شده (شستشو با حباب در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۴۰ دقیقه) انجام شد. (شکل ۲)



شکل ۲- الگوی خالص‌سازی بیودیزل به روش مرطوب بهینه شده

برای این منظور ابتدا مقدار دو لیتر آب و سپس دو لیتر بیودیزل داخل راکتور دستگاه ریخته شد. برای شروع فرآیند خالص‌سازی باید تا رسیدن دمای محتویات مخزن به ۵۰ درجه سلسیوس منتظر

بود. با باز کردن شیر متصل به پمپ حباب‌ساز عملیات خالص-سازی آغاز می‌گردد. این عملیات طی سه مرحله انجام گرفت و پس از هر مرحله پساب ناشی از عملیات خالص‌سازی تخلیه و مجدد آب تازه درون مخزن اضافه شد. (شکل۳) در نهایت بیودیزل خالص‌سازی شده، از مخزن راکتور خارج گردید.



شکل ۳- تخلیه پساب ناشی از عملیات خالص‌سازی بیودیزل

به عنوان یک آزمون کمکی پس از هر مرحله عملیات خالص-سازی از پساب‌های خروجی مخزن نمونه‌برداری به عمل آمد. با کنار هم قرار دادن پساب حاصل از هر مرحله به وضوح مشاهده شد که پساب مرحله اول و سوم به ترتیب بیشترین و کمترین میزان کدورت را دارد (شکل۴). علت این امر جذب بیشتر ناخالصی-ها در مرحله اول شستشو می‌باشد. با این وجود آب مورد استفاده در عملیات خالص‌سازی پس از جذب مقدار معینی از ناخالصی-ها اشباع می‌گردد و ادامه انجام عملیات خالص‌سازی بدون تعویض و افزودن مجدد آب تازه درون مخزن امکان‌پذیر نیست.

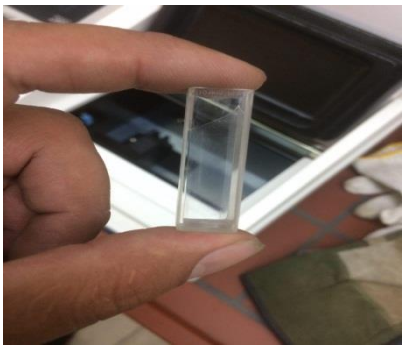
شکل ۴- تصویر پساب مراحل مختلف خالص‌سازی

پساب حاصل از هر مرحله جمع‌آوری و میزان کدورت آن با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری اسپکتروفتومتر مدل cesil2000 مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل۵).

شکل ۵- تصویر دستگاه طیف سنج نوری اسپکتروفتومتر

این دستگاه میزان جذب یا عبور طول موج‌های مشخصی از انرژی تابشی (نور) از یک محلول را اندازه‌گیری می‌کند. اساس کار اسپکتروفتومتر همانند بسیاری از دستگاه‌های آزمایشگاهی، بر اندازه‌گیری میزان نور جذب شده توسط یک محلول رنگی است که طبق قانون بیر- لامبرت میزان جذب نور (OD) متناسب با غلظت ماده حل شده در محلول است.

کووِت‌ها محفظه‌های شفافی هستند که محلول مورد آزمایش در آن ریخته شده و در جایگاه خاص خود که در مسیر نور تکرنگ تعبیه شده است قرار می‌گیرد (شکل ۶). کووت‌ها با توجه به نوع مصرف، جنس، شکل و حجم متفاوتی دارند. برای محلول‌های اسیدی و قلیایی از کووت‌های مخصوص شیشه‌ای و برای طول موج‌های زیر ۳۲۰ نانومتر از لوله کوارتز یا پلاستیک استفاده می-شود.



شکل ۶- کووِت

به منظور حصول اطمینان از کیفیت بیودیزل خالص‌سازی شده به روش مرطوب بهینه، میزان خلوص و کیفیت از طریق دستگاه کروماتوگرافی گازی GC-MS مدل B۷۸۹۰ ساخت شرکت Agilenet مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل۷). یکی از ویژگی‌های این دستگاه قابلیت تشخیص مقادیر کم ماده در حد ppm و حساسیت بالای آن در آنالیز می‌باشد و استفاده از آن برای آنالیز اسیدهای چرب نسبت به روش‌های دیگر نتایج بسیار سریعتر و دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. همچنین پروفایل و مقدار اسیدچرب موجود در بیودیزل از طریق این آزمون به طور دقیق حاصل شد.

شکل ۷- دستگاه کروماتوگرافی GC-MS

آزمون سنجش چگالی بیودیزل تولیدی از طریق دستگاه چگالی‌سنج مدل DMA 35n تولیدی شرکت Anton Paar آلمان مورد ارزیابی قرار گرفت. (شکل ۸)

شکل ۸- دستگاه چگالی سنج

گرانروی سینماتیکی بیودیزل حاصله توسط دستگاه ویسکومتر استابینگر مدل SVM-3000 ساخت شرکت Anton Paar آلمان مورد ارزیابی قرار گرفت. (شکل ۹) این دستگاه با استانداردهای ASTM D7042-04 و ASTM D445 مطابقت دارد.

شکل ۹- دستگاه ویسکومتر

آزمون سنجش سنجش نقطه اشتعال از طریق دستگاه سنجش نقطه اشتعال مدل FLPH (CCCFP) که ساخت شرکت گرابنر انریش می‌باشد مورد سنجش واقع شد. این دستگاه با استاندارد های ASTM D 93 و ASTM D 56 مطابقت دارد. (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- دستگاه سنجش نقطه اشتعال

حین انجام آزمایش‌ها و عملیات خالص‌سازی با سنجش و اندازه‌گیری بیودیزل ناخالص، مقدار آب ورودی، بیودیزل خالص شده و پساب حاصل از هر تکرار اطلاعات اولیه گردآوری گردید. میزان کدورت پساب‌ها از طریق دستگاه طیف سنج نوری اسپکترو-فتومتر اندازه گیری و خلوص نمونه بیودیزل خالص شده از هر تکرار نیز از طریق دستگاه GC تعیین و ثبت شد.

نتایج

نتایج آزمایش‌های تجربی

بعد از تامین روغن پسماند آشپزخانه‌ای و تولید بیودیزل، عملیات خالص‌سازی به روش مرطوب بهینه شده انجام گرفت. این عملیات با نه مرتبه تکرار انجام و مقادیر به دست آمده که شامل بیودیزل خام، آب ورودی، بیودیزل خالص شده و پساب تولیدی ست. این مقادیر بر حسب لیتر در جدول ۱ قابل مشاهده است. بنابراین به ازای مصرف ۶ لیتر آب دستیابی به حدود ۲ لیتر بیودیزل خالص میسر گردید.

جدول ۱: مقادیر مصرفی و تولیدی خالصسازی بیودیزل(بر حسب لیتر)

مرتبه	بیودیزل ناخالص	مقدار آب ورودی	بیودیزل خالص شده	پساب
۱	۲	۶	۱/۹۵	۶/۰۵
۲	۲	۶	۱/۹۰	۶/۱۰
۳	۲	۶	۱/۹۵	۶/۰۵
۴	۲	۶	۱/۹۵	۶/۰۵
۵	۲	۶	۱/۹۵	۶/۰۵
۶	۲	۶	۱/۹۰	۶/۱۰
۷	۲	۶	۱/۹۵	۶/۰۵
۸	۲	۶	۱/۹۵	۶/۰۵
۹	۲	۶	۱/۹۰	۶/۱۰

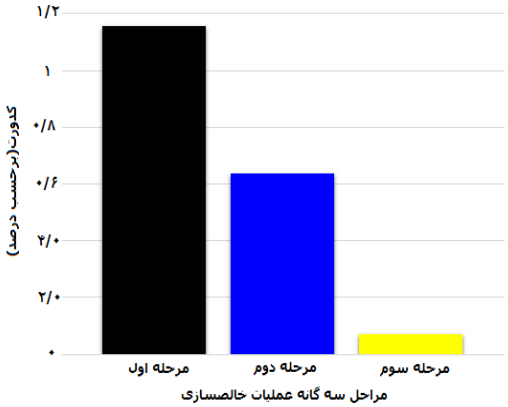
نتایج سنجش کدورت پساب‌های حاصل از عملیات خالص-سازی

همانطور که قبلا گفته شد عملیات خالص‌سازی طی سه مرحله انجام گرفت و پس از هر مرحله پساب ناشی از عملیات خالص‌سازی تخلیه و مجدد آب تازه درون مخزن اضافه شد. بعد از سنجش کدورت پساب هر مرحله مقادیر بدست آمد گردآوری و ثبت گردید. جدول نتایج حاصل از این ارزیابی در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲- نتایج حاصل از سنجش کدورت پساب مراحل سه گانه خالص‌سازی (بر حسب درصد)

مرتبه	پساب مرحله اول	پساب مرحله دوم	پساب مرحله سوم
۱	۱/۱۵۰	۰/۶۴۵	۰/۰۶۸
۲	۱/۱۲۰	۰/۶۴۳	۰/۰۶۳
۳	۱/۱۸۱	۰/۶۴۷	۰/۰۷۳
۴	۱/۱۳۲	۰/۶۲۶	۰/۰۸۳
۵	۱/۱۹۳	۰/۶۳۶	۰/۰۷۲
۶	۱/۱۹۸	۰/۶۲۲	۰/۰۶۵
۷	۱/۱۱۷	۰/۶۵۳	۰/۰۵۹
۸	۱/۱۳۵	۰/۶۷۳	۰/۰۸۸
۹	۱/۱۷۳	۰/۵۹۸	۰/۰۵۸

در مرحله اول میزان ناخالصی‌های موجود در بیودیزل زیاد بوده و بنابراین کدورت پساب بیشتر است و طبیعتا در مراحل دوم و سوم میزان کدورت پساب‌ها کمتر است. به منظور وضوح بیشتر نتایج به صورت نمودار ستونی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- کدورت پساب مراحل سه گانه خالص‌سازی

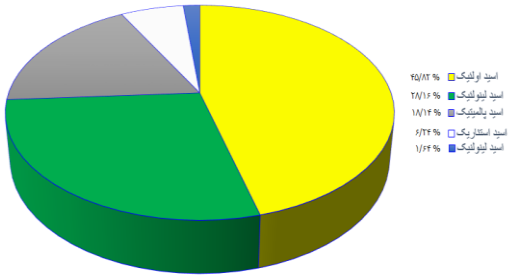
نتایج سنجش کروماتوگرافی GC-MS

پروفایل و میزان اسیدهای چرب متیل استر موجود در بیودیزل خالص‌سازی شده، استخراج و نتایج آن ثبت گردید. (جدول ۳).

جدول ۳- مقادیر اسیدهای چرب بیودیزل تولیدی (برحسب درصد)

نام	ساختار شیمیایی	درصد
اسید پالمیتیک	C16:0	۱۸/۱۴
اسید استئاریک	C18:0	۶/۲۴
اسید اولئیک	C18:1	۴۵/۸۲
اسید لینولئیک	C18:2	۲۸/۱۶
اسید لینولنیک	C18:3	۱/۶۴

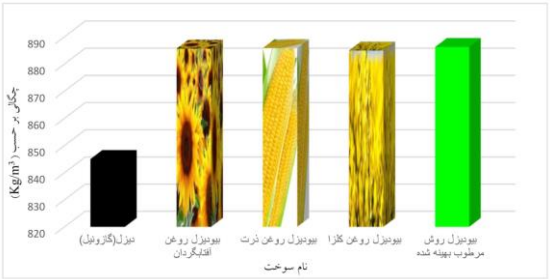
سوخت بیودیزل بدست آمده دارای پنج نوع متیل استر به نام‌های اسید پالمیتیک، اسید استئاریک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک است که به صورت نمودار دایره‌ای در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱۲- میزان اسیدهای چرب موجود در بیودیزل خالص‌سازی شده

چگالی بیودیزل تولیدی

این مقدار برای بیودیزل خالص‌سازی شده به روش مرطوب بهینه برابر با ۸۸۶/۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. چگالی بیودیزل تولیدی این روش و در مجموع چگالی همه انواع بیودیزل‌ها از سوخت گازوئیل بالاتر است. این به دلیل وجود اکسیژن در سوخت-های بیودیزل می‌باشد. چگالی بیشتر یعنی در اختیار داشتن جرم بیشتر سوخت در یک حجم واحد معین و این یعنی انرژی بیشتری برای کار خروجی در واحد حجم در دسترس است. در شکل ۱۳ به منظور مقایسه، چگالی سوخت دیزل و چگالی سوخت بیودیزل تولیدی این پژوهش و چگالی سوخت‌های مختلف بیودیزل آورده شده است.



شکل ۱۳- مقایسه چگالی سوخت دیزل و سوخت های مختلف بیودیزل

گرانروی سینماتیکی بیودیزل تولیدی

میزان گرانروی سوخت بدست آمده از عملیات خالص-سازی به روش مرطوب بهینه برابر با ۳/۸۶ Cst بود (جدول

۴). این مقدار علاوه بر انطباق با استاندارد ASTM D-445 با گرانروی سوخت دیزل موتورهای احتراق تراکمی مطابقت بیشتری دارد. لذا از دیدگاه عملیاتی امکان بهره برداری از آن به مراتب آسان‌تر است.

جدول ۴- گرانروی سینماتیکی سوخت دیزل و چگالی سوخت-های مختلف بیودیزل

نام سوخت	گرانروی سینماتیکی (برحسب Cst)
دیزل (گازوئیل)	۳/۵
بیودیزل روغن آفتابگردان	۴/۳۸
بیودیزل روغن ذرت	۴/۳۶
بیودیزل روغن کلزا	۴/۵۸
بیودیزل روغن پسماند(روش مرطوب بهینه)	۳/۸۶

مقایسه گرانروی سینماتیکی سوخت‌های مختلف بیودیزل نشان می‌دهد که سوخت بیودیزل خالص‌سازی شده به روش مرطوب بهینه شده علی‌رغم تهیه از روغن پسماند پخت و پز در رقابت با سایر سوخت‌ها به مراتب کیفیت بهتری دارد.

نقطه اشتعال بیودیزل تولیدی

نقطه اشتعال بیودیزل تولیدی از طریق دستگاه سنجش نقطه اشتعال مدل FLPH (CCCFP) که با استانداردهای ASTM D 93 و ASTM D 56 مطابقت دارد، مورد ارزیابی قرار گرفت. مقدار بدست آمده برای بیودیزل خالص‌سازی شده به روش مرطوب بهینه ۱۵۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. طبق-های ASTM حداقل مقدار مجاز نقطه اشتعال ۱۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد. لذا بر اساس نقطه اشتعال نیز کیفیت سوخت بیودیزل تولیدی با استاندارد مذکور مطابقت کامل دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تولید و فرآوری بیودیزل با جمع‌آوری و تمرکز زائدات روغن‌های پخت وپز مورد بررسی قرار گرفت. با این کار علاوه بر تامین بخشی از انرژی مورد نیاز، از دفع غیر اصولی و استفاده‌های غیرمجاز از این روغن‌ها جلوگیری می‌شود. از سوی دیگر هیچ‌گونه تاثیر سوء بر امنیت غذایی و آسیب به منابع و بخش های مختلف کشاورزی ایجاد نمی‌گردد. مرحله خالص‌سازی بیودیزل به عنوان یکی از بخش‌های محوری این پژوهش به در قالب روش مرطوب بهینه شده انجام گردید. این روش علاوه بر اینکه اقتصادی، دسترسی ساده و کاربردی است، سوخت بسیار با کیفیتی را ارائه می‌دهد که با الزامات مندرج در استاندارد های ASTM مطابقت دارد. بیودیزل خالص‌سازی شده به روش مرطوب بهینه، علی‌رغم استفاده از زائدات روغن پخت و پز به عنوان ماده اولیه، نسبت به بیودیزل‌های تولید شده از روغن‌های تازه گیاهی از نظر کیفیت و خلوص برتری‌های قابل توجهی دارد. خالص‌سازی به روش مرطوب بهینه شده برای تمام سوخت‌های بیودیزل تولید شده از منابع مختلف (اعم از هر نوع روغن گیاهی یا چربی های حیوانی) قابل بهره برداری است و منجر به افزایش کیفیت و خلوص محصول بیودیزل نهایی خواهد شد.

Refferences

Abbaszadeh Maivan, A. 2011."Designing Construction and evaluation of biodiesel purifycation system" [dissertation], Tehran, Tarbiat Modarres University

Abbaszadeh, S., Sharifzadeh, A., Shokri, H., Khosravi, A.R. and Abbaszadeh ,A. 2014. "Antifungal efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of food-relevant fungi." Journal de Mycologie Médicale/Journal of Medical Mycology 24.2: e51-e56.

Aguieiras, E., de Barros, D., Sousa, H., Fernandez -Lafuente, R. and Freire, D. 2017."Influence of the raw material on the final propverties of biodiesel produced using lipase from Rhizomucor miehei grown on babassu cake as biocatalyst of esterification reactions." Renewable Energy

Alptekin, Ertan. 2017. "Emission, injection and combustion characteristics of biodiesel and oxygenated fuel blends in a common rail diesel engine." Energy 119: 44-52.

Atadashi, I. M. "Purification of crude biodiesel using dry washing and membrane technologies." Alexandria Engineering Journal 54.4 (2015): 1265-1272.

Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Abdul Aziz, A.R., and Sulaiman, N.M.N., (2011), "Refining technologies for the purification of crude biodiesel ". Applied Energy, 88, pp 4239–4251.

Berrios, M., and R. L. Skelton. "Comparison of purification methods for biodiesel." Chemical Engineering Journal 144.3 (2008): 459-465.

Bouaid, A., Vázquez, R., Martinez, M. and Aracil ,j."Effect of free fatty acids contents on biodiesel quality. Pilot plant studies." Fuel 174 (2016): 54-62.

Can, Ö., Öztürk, E., Solmaz, H., Aksoy , F., Çinar,C. and Yücesu, H.S. "Combined effects of soybean biodiesel fuel addition and EGR application on the combustion and exhaust emissions in a diesel engine." Applied Thermal Engineering 95 (2016): 115-124.

da Silva, w., Souza, P., Shimamoto, G. and Tubino, M. "Separation of the glycerol-biodiesel phases in an ethyl transesterification synthetic

Emulsified Biodiesel-Diesel Fuel Blends." International Journal of Automotive Engineering and Technologies 5.4 (2016): 176-185.

Math, M. C.; Kumar, S. P., Chetty, S. V. (2015). "Energy for Sustainable Development",14 (4), 339-345.

Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R. and Nedunchezhian, N."Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines—a review." Renewable and Sustainable Energy Reviews 13.3 (2009): 653-662.

Naik, Malaya Kumar. "Production of monogycerides from glycerol obtained from biodiesel processing." (2016).

a. Phalan B., The social and environmental impacts of biofuels in Asia: an overview, Appl. Energy, Vol. 86.

Patil, D., V. Gude, H. Reddy, T. Muppaneni, S. Deng. "Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Sulfuric Acid and Microwave Irradiaton Process. Journal of Environmental Protection, 3, pp. 107-113, 2012.

Rahayu, Suprihastuti Sri, and Aswati Mindaryani. "Optimization of biodiesel washing by water extraction." Proceedings of the world congress on engineering and computer science. 2007.

Sajjadi, B., bdulRaman, A. and Arandiyan, H. "A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: composition, specifications and prediction models." Renewable and Sustainable Energy Reviews 63 (2016): 62-92.

Taufiq-Yap, Y.H., Hwa Teo, s., Rashid, U., Islam, A., Zobir Hussien, m. and Teong Lee, K. "Transesterification of Jatropha curcas crude oil to biodiesel on calcium lanthanum mixed oxide catalyst: effect of stoichiometric composition." Energy Conversion and Management 88 (2014): 1290-1296.

Van Gerpen, J., B. Shanks, and R. Pruszko. D. Clements, and G. Knothe,"Biodiesel Production Technology", Report from Iowa State University for the National Renewable Energy Laboratory. NREL/SR-510-36244, July, 2004.

Verma, Puneet, and M. P. Sharma. "Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks." Renewable and Sustainable Energy Reviews 62 (2016): 1063-1071.

Wall, J., Van Gerpen, J. and Thompson, J. (2011). Soap andglycerinremoval frombiodieselUsingwaterlessprocesses. Transactions of the ASABE. 54 (2): 535-541.

Wu, H., Liu, Y., Zhang, J. and Li, G. "In situ reactive extraction of cottonseeds with methyl acetate for biodiesel production using magnetic solid acidcatalysts."Bioresource technology174 route using water." Journal of the Brazilian Chemical Society 26.9 (2015): 1745-1750.

Demirbas A., Fatih D.M., Importance of algae oil as a source of biodiesel, Energy

Convers. Manage, 2010, doi:10.1016/ j.enconman.2010.06.05.

Duran, E.A., Tinoco, R., Pérez, A., Berrones, R., Eapen D. and Sebastián P.J. "A Conparative Study of Biodiesel Purification with Magnesium Silicate and Water", Journal of New Materials for Electrochemical Systems 17, 105-111 (2014).

Fadhil, A.B., M. M. Dheyah, K. M. Ahmad, M. H. Yahya. "BiodieselProductin from Spent Fish Frying Oil, Oil Through Acid-Base Catalyzed Transesterification," Pak. J. Anal. Environ. Chem. Vol. 13, No. 1, pp. 09-15, 2012.

M. C. S. Gomes, N. C. Pereira, S. T. Davantel de Barros, Separation of biodiesel and glycerol using ceramic membranes, Journal of Membrane Science, Vol. 352, pp. 271–276, 2010.

Helwani, z., Othman, M.R., Aziz, N., Fernando, W.J.N., Kim, J. "Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: a review." Fuel Processing Technology 90.12 (2009)

Jaber, R., Shirazi, M.M.A., Toufaily, J. Hamieh, A.T., Noured

din, A., Ghanavati, H., Ghaffari, A., Zenouzi, A., Karout,A., Ismail, A.F. and Tabatabaei, M. "Biodiesel wash-water reuse using microfiltration: toward zero-discharge strategy for cleaner and economized biodiesel production." Biofuel Research Journal 2.1 (2015)

Kusdiana, D. and Saka, sh. "Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol." Fuel 80.5 (2001)

Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., Xiangqian, S and Mingdong, D."Opportunities and challenges for biodiesel fuel." Applied Energy 88.4 (2011): 1020-1031

Mofijur, M., Rasul, M.G., Hyde, J., Azad, A.K., Mamat, R. and Bhuiya, M.M.K."Role of biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction." Renewable and Sustainable Energy Reviews 53 (2016): 265-278.

Mozaffarikhah, K., Kargari, A., Tabatabaei, M, Ghanavati, H. and A.Shirazie M. "Membrane treatment of biodiesel wash-water: A sustainable solution for water recycling in biodiesel production process." Journal of Water Process Engineering 19 (2017): 331-337.

Karabektas, M., Ergen, G., Hasimoglu Can. and Murcak, A."Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fuelled With

(2014): 182-189.

Yang, j., Xu, M., Zhang, X., Hu, Q., Sommerfeld, M. and Yongsheng, Ch."Life-cycle analysis on biodiesel production from microalgae: water footprint and nutrients balance." Bioresource technology 102.1 (2011): 159-165.

Yin, X., Duan, X., You, Q., Dai, Ch., Tan, Z. and Zhu, X."Biodiesel production from soybean oil deodorizer distillate usingcalcined duck eggshell as catalyst." Energy Conversion and Management 112 (2016): 199-207.

Evaluation of the Purification Process of Biodiesel Obtained from Waste Cooking oil Using the Optimal wet Method

Reza Hasankhani [1]*, Ali Zenozi [2]
1- Master's degree student, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran
2- Biosystems engineering research group, Agricultural Research Institute, Scientific and Industrial Research Organization of Iran
* Coresponding author: hasankhani.r@srbiau.ac.ir

Received: 15 Sep 2022
Accept: 13 Oct 2022

Abstract

Waste cooking oil can be converted into a standard fuel for diesel engines. To achieve this goal, in this study, restaurant cooking oil residues were first collected. After the initial preparation of waste oil, the transesterification reaction was carried out with methanol. After this reaction, glycerine settled at the bottom of the tank, and its removal and separation from biodiesel was done. Purification of biodiesel with water was done. This process was carried out at 50°C for 40 minutes. In order to ensure the absorption of impurities, the turbidity of the effluents was evaluated. The percentage of wastewater turbidity indicates the efficiency and effectiveness of purification operations. In this method, only 3 liters of water were used to produce each liter of standard biodiesel. After the purification stage, the quality and purity of the produced fuel was tested through gas chromatography. The results of this test confirm the complete transesterification reaction and obtaining a quality biofuel. Finally, three important characteristics of density, kinematic viscosity and flash point of produced biodiesel were measured and tested. The density was 886.2 Kg.m-3, the kinematic viscosity was Cst 3.86, and the flash point was 158 °C. These values are in full compliance with ASTM standards. Despite the use of waste cooking oil as a raw material, the final obtained fuel has a significant superiority in terms of quality and purity compared to biodiesel produced from fresh vegetable oils. Based on this, the purification of biodiesel using the optimal wet method is an economical, easy-to-use and practical method that was able to provide a high-quality and standard biofuel from cooking oil waste.

Keywords: biodiesel, optimization, wet purification, waste cooking oil