

تولید و بهینه‌سازی بیودیزل از روغن هسته انگور با استفاده از کاتالیزورهای قلیایی و بررسی خواص فیزیکی آن

حامد رضایی^۱، حسین اسماعیلی^{۲*}، رؤف فروتن^۲

۱. گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران

۲. گروه مهندسی شیمی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۲۹)

چکیده

بیودیزل سوختی تجدید پذیر است که با توجه به افزایش آلودگی محیط زیست، گرم شدن کره زمین در اثر مصرف سوخت های فسیلی و محدود بودن منابع سوخت فسیلی تولید آن در حال افزایش است. برای تولید بیودیزل، منابع مختلفی شامل چربی‌های حیوانی، روغن‌های زاید خوراکی و روغن‌های گیاهی وجود دارند. در این مطالعه، بیودیزل با استفاده از روغن هسته انگور تولید شد. بدین منظور از فرآیند ترانس استری شدن، متانول و سدیم هیدروکسید و پتاسیم هیدروکسید به عنوان کاتالیزور استفاده شد و اثر پارامترهایی نظیر دمای واکنش، زمان واکنش، نسبت متانول به روغن، مقدار کاتالیزور و نوع آن بر بازدهی بیودیزل مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین بازدهی تولید بیودیزل برای کاتالیست‌های هیدروکسید پتاسیم و هیدروکسید سدیم به ترتیب ۹۹ و ۹۵٪ تعیین شد که این بازدهی در شرایط آزمایشگاهی نظیر دمای واکنش 70°C ، زمان واکنش ۹۰ min، نسبت متانول به روغن ۱:۹ و مقدار کاتالیست ۱٪ وزنی بدست آمد. برای آنالیز بیودیزل تولید شده در شرایط بهینه از استانداردهای بین‌المللی ASTM D6751 و EN14214 استفاده شد. نتایج نشان داد که خواص بیودیزل تولیدی با استفاده از کاتالیست KOH نظیر دانسیته، ویسکوزیته، نقطه اشتعال، نقطه ابری شدن، عدد اسیدی، عدد ستان، نقطه ریزش و دمای تقطیر به ترتیب 860 kg/m^3 ، $3/3\text{ mm}^2/\text{s}$ ، 160°C ، 1°C ، $0/2$ ، 52°C و -5°C و با استفاده از کاتالیست NaOH این خواص به ترتیب برابر با 870 m^3 ، $3/5\text{ mm}^2/\text{s}$ ، 172°C ، 4°C ، $0/15$ ، 57 ، 4°C و 354°C به دست آمدند که تمامی خواص ذکر شده در محدوده شرایط استاندارد قرار داشتند.

کلید واژگان: بیودیزل، کاتالیست‌های قلیایی، روغن هسته انگور، فرآیند ترانس استری شدن

۱. مقدمه

(2014) را نام برد.

برای تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی راه‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان به پیرولیز، رقیق‌سازی، میکروامولسیون و فرآیند ترانس استری شدن اشاره کرد (Azam *et al.*, 2005). در میان روش‌های ذکر شده برای تولید بیودیزل، روش ترانس استری شدن روشی رایج است. ترانس استری شدن فرآیندی شیمیایی است و واکنش تری گلیسرید با الکل در حضور کاتالیست است (Alptekin *et al.*, 2011). فرآیند استری شدن از الکل‌های مختلفی نظیر اتانول، متانول، پروپانول و بوتانول استفاده می‌گردد که بیشتر مطالعات نشان داده‌اند که متانول کاربردی‌تر است. متانول به دلیل ارزش و بهای کمتر، دارا بودن مزایای فیزیکی و شیمیایی و جداسازی آسان آن از گلیسرول، ترجیح داده می‌شود (Alia *et al.*, 2013). فرآیند ترانس استری شدن عمدتاً در حضور کاتالیست انجام می‌شود. از کاتالیست‌های مورد استفاده در فرآیند ترانس استری شدن می‌توان کاتالیست‌های هموزن (قلیایی، اسیدی و آنزیمی) و هتروژن را نام برد. در تولید بیودیزل به وسیله فرآیند ترانس استری عمدتاً از کاتالیست‌های قلیایی نظیر سدیم و پتاسیم هیدروکسید استفاده می‌شود (Gerpen, 2005)، زیرا کاتالیست‌های قلیایی نسبت به کاتالیست‌های دیگر عمدتاً بازده بیشتری داشته (Fangrui *et al.*, 1998) و هم‌چنین در دماهای پایین و فشار اتمسفری واکنش داده و در زمان کوتاهی از واکنش بازدهی بالایی دارند (Alia *et al.*, 2013).

بعد از تهیه بیودیزل باید ویژگی‌های آن نظیر دانسیته، ویسکوزیته، نقطه ریزش، نقطه اشتعال و غیره مطابق با روش‌های استاندارد EN 14214 و ASTM D 6751 اندازه‌گیری شود. روش استاندارد EN 14214 یک کمیته اروپایی برای استاندارد سازی بوده که نیازمندی‌ها و روش تستی برای متیل استر اسید چرب (بیودیزل) را بیان می‌کند. همین‌طور استاندارد ASTM D 6751، استانداردها و مشخصاتی برای بیودیزل بیان می‌کند.

بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی جهان از منابع فسیلی (نفت، زغال سنگ و گازوئیل) تأمین می‌شود. این منابع محدود می‌باشند و در آینده‌ای نزدیک این منابع به پایان می‌رسند (Ramos *et al.*, 2009). در حال حاضر، پژوهش‌ها در جهت یافتن منابع سوخت‌های تجدیدپذیر برای جایگزین کردن سوخت‌های فسیلی افزایش یافته است (Miao *et al.*, 2006). بیودیزل در سال‌های اخیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است، زیرا بیودیزل در مقایسه با سوخت‌های مشتق شده از نفت، تجدیدپذیر بوده و اثرات زیان بار کمتری بر محیط زیست بر جای می‌گذارد (Zhang *et al.*, 2010). بیودیزل، آلکیل استر اسیدهای چرب امروزه بیشتر مورد توجه واقع شده است زیرا علاوه بر تجدیدپذیر بودن، سوختی است که زیست سازگار بوده و در مقایسه با سوخت‌های مشتق شده از نفت غیر سمی می‌باشد (Ramos *et al.*, 2008). بیودیزل می‌تواند به طور مستقیم درون موتور استفاده گردد زیرا خواص آن مشابه خواص دیزل موتور است و همچنین در اثر استفاده از بیودیزل، کربن منواکسید انتشار شده از اگزوز، ذرات ریز معلق، کربوهیدرات‌های سوخته نشده و اکسید سولفور کمتری در مقایسه با سوخت معدنی تولید می‌کند (Cunha *et al.*, 2013). بیودیزل (مونوآلکیل استر اسیدهای چرب) از روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی و روغن جلبک‌های ریز طی فرآیند ترانس استری شدن یا استری شدن با الکل‌های زنجیره کوتاه بدست می‌آید (Yu *et al.*, 2010). از منابع اولیه برای تولید بیودیزل که شامل انواع روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی است، می‌توان روغن‌های گیاهی مانند روغن سویا (Xie *et al.*, 2012)، روغن کرچک (Cavalcante *et al.*, 2013) و (Kılıç *et al.*, 2010)، روغن خرما (Cho *et al.*, 2012) و روغن آفتاب گردان (Kotwal *et al.*, 2009) و از چربی‌های حیوانی می‌توان چربی مرغ و گوسفند (Bhatti *et al.*, 2008) و چربی بز (Chakraborty *et al.*,)

جدول ۱. ترکیبات اسید چرب روغن هسته انگور

ترکیبات اسید چرب روغن هسته انگور		%
Palmitic acid	C 16:0	۳۵/۷۱
Stearic acid	C 18:0	۳/۳
Oleic acid	C 18:1	۴۱/۲۴
Linoleic acid	C 18:2	۱۲/۴۱
Linolenic acid	C 18:3	---
Myristic acid	C 14:0	۰/۸

۳.۲. تولید، بهینه‌سازی بیودیزل و نحوه شستشوی آن

در این بررسی اثر پارامترهای مؤثر در تولید بیودیزل نظیر دمای واکنش، زمان واکنش، مقدار کاتالیست مورد استفاده، نسبت متانول به روغن مورد بررسی قرار گرفت و بهترین حالت به دست آمده به عنوان شرایط بهینه گزارش گردید. برای تعیین شرایط بهینه بدین صورت عمل شد که ابتدا یکی از پارامترها را تغییر داده و پارامترهای دیگر را ثابت قرار دادیم. پس از بهینه‌سازی این متغیر، سایر شرایط نیز بدین ترتیب بهینه‌سازی گردید. در این تحقیق، ابتدا واکنش در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان واکنش ۶۰ دقیقه و مقدار ۱٪ وزنی کاتالیست پتاسیم هیدروکسید و سدیم هیدروکسید (بر مبنای وزن روغن) با سرعت همزن ۵۰۰ rpm و نسبت‌های مختلف متانول به روغن (۱:۳، ۱:۵، ۱:۷، ۱:۹ و ۱:۱۲) انجام گرفت. پس از تعیین حالت بهینه نسبت متانول به روغن برای هر دو کاتالیست ذکر شده، واکنش در نسبت ۱:۹ و دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار کاتالیست ۱٪ وزنی و سرعت همزن ۵۰۰ rpm و در زمان‌های مختلف (۱۰-۱۵۰ دقیقه) انجام شد. بعد از تعیین نسبت متانول به روغن و زمان واکنش، اثر پارامترهای دما (۷۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰) و مقدار کاتالیست (۱/۲۵-۰/۲۵) نیز تعیین گردید.

بعد از تهیه بیودیزل به منظور شستشوی آن، ابتدا گلیسرول را از فاز متیل استر (بیودیزل) جدا کرده و سپس فاز متیل استر را چندین بار با آب دوبار تقطیر شده با دمای ۷۰°C شسته تا کاتالیست و متانول موجود

استاندارد ASTM D 6751 از لحاظ ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری سوخت نظیر نقطه اشتعال، ویسکوزیته، دانسیته و غیره قابل مقایسه با استاندارد EN 14214 است.

در این بررسی برای تولید بیودیزل از روغن هسته انگور، کاتالیست قلیایی پتاسیم هیدروکسید و سدیم هیدروکسید و متانول استفاده گردید. بدین منظور، اثر پارامترهای مختلفی نظیر نسبت متانول به روغن، دمای واکنش، مقدار غلظت کاتالیست در زمان‌های مختلف و سرعت هم زدن محلول بر بازدهی بیودیزل مورد بررسی قرار گرفت. پس از تولید بیودیزل از روغن هسته انگور، خواص آن نظیر دانسیته، ویسکوزیته، نقطه اشتعال، نقطه ابری شدن، عدد اسیدی، عدد ستان، نقطه ریزش و دمای تقطیر بر اساس استانداردهای ASTM D 6751 و EN 14214 بدست آمد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد مورد استفاده

روغن هسته انگور خریداری و در دمای محیط نگهداری گردید. همچنین در این کار متانول (۹۹٪/۵)، سدیم سولفات (۹۹٪-۱۰۰)، پتاسیم هیدروکسید و سدیم هیدروکسید از شرکت مرک آلمان خریداری و استفاده گردید.

۲.۲. تعیین ترکیبات اسیدهای چرب روغن و

آنالیز آن

ترکیبات اسید چرب روغن هسته انگور با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) تعیین شد. در این بررسی از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Varian cp-3800 که به آشکار ساز FID و ستون موئینه با طول ۳۰ متر بود جهت بررسی اسیدهای چرب استفاده گردید. در جدول (۱) ترکیبات اسید چرب روغن هسته انگور گزارش شده است.

واکنش‌ها در فشار اتمسفر و برای تأمین حرارت و هم زدن محلول از هیتر مجهز به هم زن مکانیکی مدل yellow MAG HS 7 استفاده گردید و همه آزمایش‌ها با دوبار تکرار صورت گرفته است. در شکل (۱) نمایی از بیودیزل و گلیسرول تولیدی از روغن هسته انگور با استفاده از فرآیند ترانس استری شدن در حضور کاتالیست‌های هیدروکسید سدیم و هیدروکسید پتاسیم نشان داده شده است.

در فاز متیل استر خارج شود. پس از شستشو، متیل استر (بیودیزل) را درون بشر ریخته و حدود ۲ گرم سدیم سولفات به آن اضافه کرده تا آب موجود درون محصول را جذب کند. محصول حاصل را به وسیله کاغذ صافی و پمپ خلأ فیلتر کرده تا سدیم سولفات از محلول جدا گردد. پس از فیلتر کردن، فاز متیل استر را درون بطری‌های پلاستیکی از جنس پلی اتیلن ترفتالات ریخته و در دمای محیط ذخیره گردید. در این مطالعه، همه



شکل ۱. بیودیزل و گلیسرول تولید شده از روغن هسته انگور

تولید شده نظیر ویسکوزیته، دانسیته، نقطه اشتعال، نقطه ابری شدن، نقطه ریزش، مقدار عدد اسیدی و عدد ستان آن بر اساس استانداردهای بین‌المللی ASTM D 6751 و EN 14214 بدست آمدند.

۳. نتایج

۱.۳. اثر نسبت متانول به روغن بر بازدهی تولید

بیودیزل

یکی از پارامترهای مهم که بازدهی تولید بیودیزل بطور گسترده‌ای به آن بستگی دارد، نسبت متانول به روغن

۴.۲. تعیین بازده بیودیزل تولیدی

برای اندازه‌گیری بازده بیودیزل تولیدی از معادله زیر استفاده گردید (Charoenchaitrakool et al., 2011):

= /بازده تولیدی

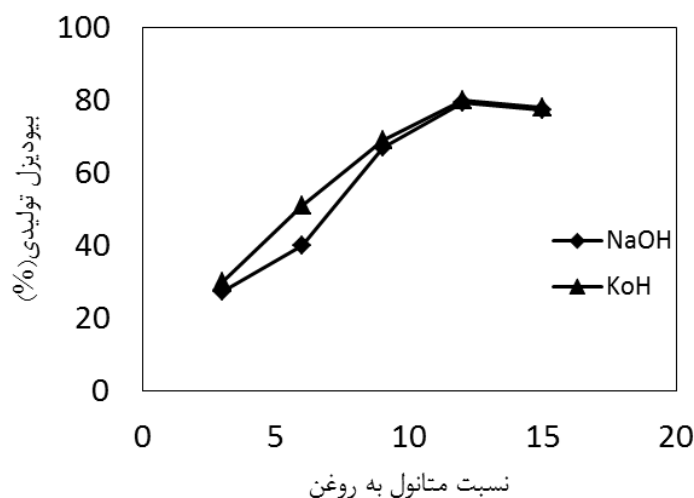
وزن روغن اولیه (گرم) / وزن محصول تولیدی (گرم)

۵.۲. آنالیز بیودیزل تولیدی در شرایط بهینه

پس از تولید بیودیزل در شرایط مختلف، بهترین شرایط برای تولید بیودیزل با استفاده از هر دو کاتالیست تعیین شده و خواص آن‌ها تعیین شدند. خواص سوخت

که این بازدهی برای کاتالیست سدیم هیدروکسید و پتاسیم هیدروکسید برای هر دو کاتالیست ذکر شده در نسبت متانول به روغن ۱:۹ به دست آمد. در شکل ۲ اثر نسبت متانول به روغن بر بازدهی بیودیزل برای هر دو کاتالیست قلیایی ذکر شده نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ مقدار بیودیزل تولیدی در نسبت‌های متانول پایین کم بود ولی با افزایش نسبت متانول به روغن میزان بیودیزل تولیدی افزایش یافت و این حالت تا نسبت ۱:۹ ادامه داشت. در نسبت ۱:۱۲ میزان تولید بیودیزل کاهش چشمگیری پیدا کرد که می‌تواند ناشی از رقیق شدن محلول روغن، متانول و کاتالیست باشد که نشان می‌دهد با رقیق شدن محلول واکنش ترانس استری شدن به خوبی انجام نمی‌شود.

است. فرآیند ترانس استری شدن یک واکنش برگشت‌پذیر است که بازدهی تولید بیودیزل در واکنش رفت به مقدار الکل اضافی در فرآیند و یا به خروج محصول از واکنش بستگی دارد (Banerjee *et al.*, 2009). در این مطالعه، به منظور بررسی اثر مقدار متانول به روغن بر بازدهی بیودیزل تولید شده نسبت‌های ۱:۳، ۱:۵، ۱:۷، ۱:۹ و ۱:۱۲ برای هر دو کاتالیست سدیم و پتاسیم هیدروکسید مورد بررسی قرار گرفت. همه آزمایش‌ها در ۵۰۰ rpm و دمای ۵۰°C، مقدار کاتالیست استفاده شده برای هر دو نوع کاتالیست ذکر شده ۱٪ (مبنا روغن) و مدت زمان ۶۰ دقیقه صورت گرفت. بهترین حالت بهینه نسبت متانول به روغن در شرایط عملیاتی ذکر شده برای کاتالیست سدیم هیدروکسید و پتاسیم هیدروکسید برای تولید بیودیزل از روغن هسته انگور به ترتیب ۷۹٪/۱ و ۸۰٪ به دست آمد



شکل ۲. اثر نسبت متانول به روغن بر بازدهی واکنش (C=50 °T، t=60 min، مقدار کاتالیست = 1%wt، دور همزن 500 rpm)

(Li *et al.*, 2011). به منظور بررسی اثر زمان واکنش، زمان در محدوده ۱۰-۱۵۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اثر زمان واکنش در شرایطی نظیر دمای واکنش ۵۰ درجه سانتی‌گراد، نسبت متانول به روغن ۱:۹، مقدار کاتالیست برای هر دو نوع کاتالیست ۱٪ وزنی (مبنا

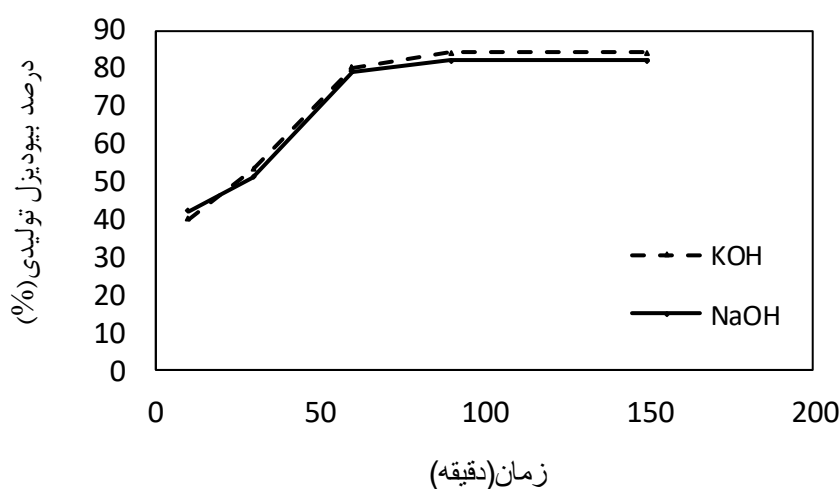
۲.۳. اثر زمان واکنش، مقدار کاتالیست و دمای

واکنش بر بازدهی

فرآیند استری شدن می‌تواند در دما و زمان‌های مختلف صورت گیرد و میزان تولید بیودیزل تحت تأثیر زمان و دمای واکنش استری شدن قرار دارد

کاتالیست پتاسیم و سدیم هیدروکسید در زمان واکنش ۹۰ دقیقه بوده است. در بازدهی واکنش پس از ۹۰ دقیقه تغییری مشاهده نشد که می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت کاتالیست‌های مورد نظر و همچنین اتمام مواد واکنش‌دهنده باشد. همچنین قابل ذکر است که بهترین زمان فعالیت کاتالیست‌های مورد استفاده در بازه زمانی ۱۰-۶۰ دقیقه صورت گرفت که این نتیجه از شیب نمودار شکل ۳ نیز قابل مشاهده است.

وزن روغن) و سرعت هم‌زدن ۵۰۰ rpm صورت گرفت. بهترین بازدهی تولید بیودیزل برای هر دو نوع کاتالیست سدیم و پتاسیم هیدروکسید در زمان ۹۰ دقیقه تعیین شد که به ترتیب بازدهی برای سدیم هیدروکسید و پتاسیم هیدروکسید ۸۲ و ۸۴٪ به‌دست آمد. در شکل ۳ اثر زمان واکنش بر بازدهی تولید بیودیزل نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ با افزایش زمان واکنش بازدهی تولید افزایش یافت. این حالت از زمان ۱۰ دقیقه تا ۹۰ دقیقه مشاهده شد که نشان می‌دهد بهترین زمان فعالیت



شکل ۳. اثر زمان واکنش بر بازدهی بیودیزل تولیدی (نسبت متانول به روغن ۹:۱، دما ۵۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار کاتالیست استفاده شده برای هر دو نوع کاتالیست ۱٪ وزنی (مبنا وزن روغن، سرعت اختلاط محلول ۵۰۰ rpm))

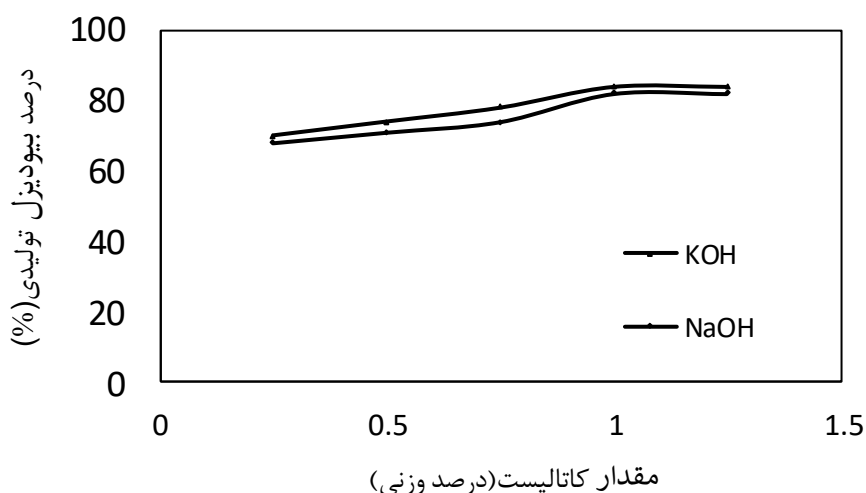
هیدروکسید ۸۲ و ۸۴٪ تعیین شد. در شکل ۴ اثر مقدار و نوع کاتالیست بر بازدهی بیودیزل تولیدی نشان داده شده است.

از پارامترها مهم و مؤثر دیگر که در بازدهی تولید بیودیزل بسیار مهم و ضروری است می‌توان به دمای واکنش اشاره کرد. سرعت و میزان تولید بیودیزل در فرآیند ترانس استری شدن به‌طور ویژه‌ای به دمای واکنش وابسته است. در این مطالعه، برای تعیین اثر دمای واکنش بر بازدهی تولید بیودیزل، دمای واکنش در محدوده ۳۰-۷۰°C بررسی شد و آزمایش در شرایطی نظیر نسبت

در شکل ۴ اثر مقدار و نوع کاتالیست بر بازدهی بیودیزل تولیدی نشان داده شده است. به منظور بررسی اثر مقدار و نوع کاتالیست بر بازدهی بیودیزل تولیدی، فرآیند ترانس استری شدن در شرایط آزمایشگاهی نظیر نسبت متانول به روغن ۹:۱، دما ۵۰ درجه سانتی‌گراد، زمان واکنش ۹۰ دقیقه و سرعت اختلاط ۵۰۰ rpm انجام شد. بهترین بازدهی بیودیزل تولیدی برای کاتالیست پتاسیم و سدیم هیدروکسید به ترتیب در مقدار ۱٪ وزنی کاتالیست به‌دست آمد که در این شرایط درصد بیودیزل تولیدی به ترتیب برای کاتالیست سدیم و پتاسیم

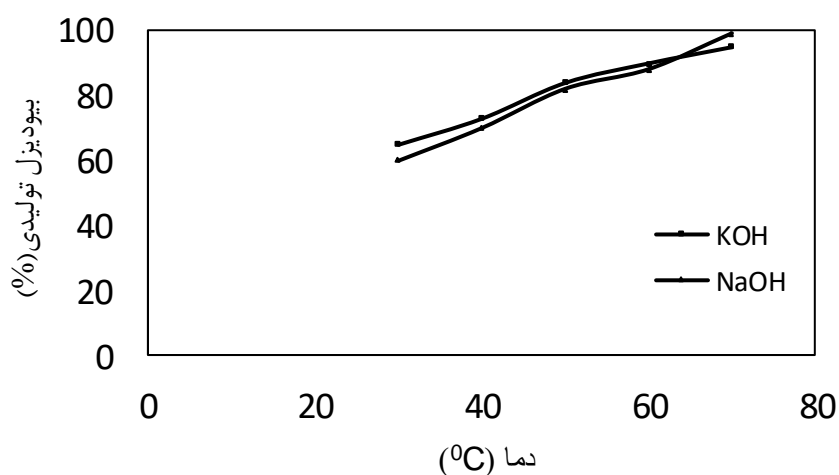
نیز افزایش یافته است که نشان دهنده میزان افزایش فعالیت کاتالیست‌ها در این دما است. بیشترین بازدهی بیودیزل تولیدی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت که به ترتیب برای کاتالیست پتاسیم هیدروکسید و سدیم هیدروکسید ۹۵ و ۹۹٪ تعیین شد.

متانول به روغن ۹:۱، زمان واکنش ۹۰ دقیقه، مقدار کاتالیست برای هر دو نوع کاتالیست ۱٪ وزنی (مبنای روغن) و سرعت اختلاط محلول ۵۰۰ rpm صورت گرفت. در نمودار ۵ اثر دمای واکنش بر بازدهی بیودیزل تولیدی برای هر دو نوع کاتالیست نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵ با افزایش دمای واکنش بازدهی تولید بیودیزل



شکل ۴. اثر مقدار و نوع کاتالیست بر بازدهی بیودیزل

(شرایط: نسبت متانول به روغن ۹:۱، زمان ۹۰ دقیقه، دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت اختلاط ۵۰۰ rpm)



شکل ۵. اثر دما بر بازدهی بیودیزل تولیدی

(نسبت متانول به روغن ۹:۱، زمان واکنش ۹۰ دقیقه، مقدار کاتالیست استفاده شده برای هر دو نوع کاتالیست ۱٪ وزنی، سرعت اختلاط ۵۰۰ rpm)

۳.۳. خواص بیودیزل تولیدی

خواص فیزیکی بیودیزل تولید شده در شرایط بهینه، پس از خالص سازی، مورد آنالیز و بررسی قرار گرفت. از خواص مورد بررسی می توان به ویسکوزیته سینماتیکی، دانسیته، نقطه اشتعال، نقطه ابری شدن، مقدار عدد اسیدی، عدد ستان، مقدار آب و دمای تقطیر اشاره کرد. بررسی خواص فیزیکی بیودیزل تولیدی بر اساس ASTM D-6751 و EN14214 صورت گرفت و نتایج به دست آمده به ترتیب برای کاتالیست هیدروکسید پتاسیم و متوکسید پتاسیم در جدول ۲ و ۳ گزارش شده

است. با توجه به نتایج گزارش شده در جدول ۲ و ۳، می توان اظهار کرد که خواص بیودیزل تولید شده از روغن هسته انگور به وسیله کاتالیست قلیایی پتاسیم هیدروکسید نسبت به کاتالیست سدیم هیدروکسید خواص فیزیکی بهتری دارد. قابل ذکر است که خواص تعیین شده برای بیودیزل تولیدی به وسیله هر دو کاتالیست در محدوده استانداردها قرار دارد و می توان از بیودیزل تولیدی از روغن هسته انگور به عنوان منبع سوختی مناسب به جای سوخت های مشتق شده از نفت استفاده کرد.

جدول ۲. خواص فیزیکی بیودیزل تولیدی از روغن هسته انگور با استفاده از کاتالیست KOH

EN 14214	ASTM D6751	بیودیزل تولیدی شده	واحد	خواص
860-900	----	۸۶۰	kg/m ³	دانسیته در ۱۵ °C
-----	1.9-6.0	۳/۳	mm ² / s	ویسکوزیته سینماتیکی، ۴۰ °C
>120	>130	۱۶۰	(°C)	نقطه اشتعال
----	----	۱	(°C)	نقطه ابری شدن
0.50	0.5 max	۰/۲۰	mg KOH / g	عدد اسیدی
>51	47 min	۵۲	----	عدد ستان
---	----	-۵	(°C)	نقطه ریزش
----	360 max	۳۴۲	(°C °C)	دمای تقطیر

جدول ۳. خواص فیزیکی بیودیزل تولیدی از روغن هسته انگور با استفاده از کاتالیست NaOH

EN 14214	ASTM D6751	بیودیزل تولیدی شده	واحد	خواص
860-900	----	۸۷۰	kg/m ³	دانسیته در ۱۵ °C
-----	1.9-6.0	۳/۵	mm ² / s	ویسکوزیته سینماتیکی، ۴۰ °C
>120	>130	۱۷۲	(°C)	نقطه اشتعال
----	----	۴	(°C)	نقطه ابری شدن
0.50	0.5 max	۰/۱۵	mg KOH / g	عدد اسیدی
>51	47 min	۵۷	----	عدد ستان
---	----	-۴	(°C)	نقطه ریزش
----	360 max	۳۵۴	(°C)	دمای تقطیر

۴. بحث و نتیجه گیری

در سال‌های اخیر، توجه زیادی به سوخت بیودیزل به عنوان جایگزین شدن برای سوخت موتورهای دیزل شده است زیرا بیودیزل سوختی زیست سازگار بوده و از منابع تجدید پذیر تولید می‌شود. بیودیزل از منابع مختلفی نظیر انواع چربی‌های جانوری و روغن‌های گیاهی تولید می‌شود. در این مطالعه برای تولید بیودیزل از فرآیند ترانس استری شدن و از روغن هسته انگور به عنوان خوراک اولیه استفاده شد. برای تولید بیودیزل از روغن هسته انگور از دو نوع کاتالیست قلیایی سدیم و پتاسیم هیدروکسید استفاده شد که بازدهی تولید آن‌ها برای

کاتالیست هیدروکسید پتاسیم و هیدروکسید سدیم در شرایط بهینه شامل دمای 70°C ، زمان ۹۰ دقیقه، نسبت متانول به روغن ۱:۹، ۱ درصد وزنی کاتالیست و دور هم‌زن 500 rpm به ترتیب ۹۹ و ۹۵٪ به دست آمد. به منظور بررسی خواص فیزیکی بیودیزل تولید شده از استانداردهای بین المللی ASTM D 6751 و EN14214 استفاده شد. با آنالیز نمونه‌های تولید شده مشخص گردید که خواص بیودیزل تولیدی از روغن هسته انگور به وسیله هر دو کاتالیست در محدوده استانداردها قرار دارد و می‌توان از آن به عنوان منبع سوختی مناسب استفاده کرد.

References

- Alia, E.N., Taya, C.I., 2013. Characterization of Biodiesel Produced from Palm Oil via Base Catalyzed Transesterification. *Procedia Engineering* 53, 7 – 12.
- Alptekin, E., Canakci, M., 2011. Optimization of transesterification for methyl ester production from chicken fat, *Fuel* 90, 2630-2638.
- Azam, M.M., Waris, A., Nahar, N.M., 2005. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. *Biomass and Bioenergy* 29, 293–302.
- Banerjee, A., Chakraborty, R., 2009. Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production—A review. *Resources, Conservation and Recycling* 53, 490–497.
- Bhatti, H.N., Hanif, M.A., Qasim, M., Rehman, A., 2008. Biodiesel production from waste tallow. *Fuel* 87, 2961-2966.
- Cavalcante, K.S.B., Penha, M.N.C., Mendonça, K.K.M., Louzeiro, H.C., Vasconcelos, A.C.S., Maciel, A.P., de Souza, A.G., Silva, F.C., 2010. Optimization of transesterification of castor oil with ethanol using a central composite rotatable design (CCRD). *Fuel* 89, 1172-1176.
- Chakraborty, R., Sahu, H., 2014. Intensification of biodiesel production from waste goat tallow using infrared radiation: Process evaluation through response surface methodology and artificial neural network. *Applied Energy* 114, 827-836.
- Charoenchaitrakool, M., Thienmethangkoon, J., 2011. Statistical optimization for biodiesel production from waste frying oil through two-step catalyzed process. *Fuel Processing Technology* 92, 112–118.
- Cho, H.J., Kim, S.H., Hong, S.W., Yeo, Y.K., 2012. A single step non-catalytic esterification of palm fatty acid distillate (PFAD) for biodiesel production. *Fuel* 93, 373-380
- Cunha, J.A., Feddern, V., De Prá, M. C., Higarashi, M. M., de Abreu, P. G., Coldebella, A., 2013. Synthesis and characterization of ethylic biodiesel from animal fat wastes. *Fuel* 105, 228-234.
- Ma, F., Clements, L.D., Milford, H., 1998. The Effects of Catalyst, Free Fatty Acids, and Water on Transesterification of Beef Tallow. *Industrial Agricultural Products Center - Publications & Information*. 41, 1261-1264.
- Kılıç, M., Burcu Uzun, B., Pütün, E., Pütün, A.E., 2013. Optimization of biodiesel production from castor oil using factorial design. *Fuel Processing Technology* 111, 105-110.
- Kotwal, M.S., Niphadkar, P.S., Deshpande, S.S., Bokade, V.V., Joshi, P.N., 2009. Transesterification of sunflower oil catalyzed by flyash-based solid catalysts. *Fuel* 88, 1773-1778.

- Li, Y., Qiu, F., Yang, D., Li, X., Sun, P., 2011. Preparation, characterization and application of heterogeneous solid base catalyst for biodiesel production from soybean oil. *Biomass and Bioenergy* 35, 2787-2795.
- Miao, X., Wu, Q., 2006. Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. *Bioresource Technology* 97, 841-846.
- Ramos, M. J., Casas, A., Rodríguez, L., Romero, R., Pérez, Á., 2008. Transesterification of sunflower oil over zeolites using different metal loading: A case of leaching and agglomeration studies. *Applied Catalysis A: General* 346, 79-85.
- Ramos, M. J., Fernández, C. M., Casas, A., Rodríguez, L., Pérez, Á., 2009. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology* 100, 261-268.
- Van Gerpen. J., 2005. Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology* 86, 1097- 1107.
- Xie, W., Yang, D., 2012. Transesterification of soybean oil over WO₃ supported on AlPO₄ as a solid acid catalyst. *Bioresource Technology* 119, 60-65.
- Yu, D., Tian, L., Wu, H., Wang, S., Wang, Y., Ma, D., Fang, X., 2010. Ultrasonic irradiation with vibration for biodiesel production from soybean oil by Novozym 435. *Process Biochemistry* 45, 519-525.
- Zhang, J., Chen, Sh., Yang, R., Yan, Y., 2010. Biodiesel production from vegetable oil using heterogenous acid and alkali catalyst. *Fuel* 89, 2939-2944.