

بهینه سازی فرآیند تولید بیودیزل از پسماندهای روغن‌های سرخ کردنی رستوران در حضور کاتالیست هموژن

نادعلی علوی^۱، اکبر اسلامی^۲، منیره مجلسی نصر^۱، نجمه مسیحی^{۳*}

^۱ استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان آور محیط و کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
^۳ کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۱۸

چکیده

زمینه و هدف: به دلیل اهمیت نقش انرژی در جهان و تجدید ناپذیری سوخت‌های فسیلی و مسائل زیست محیطی ناشی از این دسته از سوخت‌ها، در سال‌های اخیر مطالعات زیادی به منظور یافتن جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی در کشورهای مختلف جهان انجام شده است. سوخت‌های زیستی مانند (بیودیزل و بیواتانول)، یکی از مطلوب‌ترین سوخت‌های جایگزین معرفی شده‌اند. هدف از این مطالعه بررسی تولید بیودیزل از پسماندهای روغن‌های سرخ کردنی رستوران در حضور کاتالیست هموژن می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه از نوع تجربی-آزمایشگاهی می‌باشد. در این مطالعه تاثیر سه پارامتر مهم در سه سطح یعنی زمان واکنش (۶۰، ۷۰، ۸۰ دقیقه)، درصد وزنی کاتالیست (۵٪، ۱ و ۱/۵ درصد) و نسبت مولی متانول به روغن (۳/۱، ۶/۱ و ۹/۱) مورد بررسی قرار گرفتند. راندمان تولید بیودیزل با استفاده از درصد جرمی بیودیزل تولید شده از مقدار روغن مصرفی اولیه محاسبه گردید. یافته‌ها: حداکثر راندمان تولید بیودیزل در حضور سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست هموژن 86.6 ± 3.23 درصد به دست آمده است. شرایط بهینه برای حداکثر راندمان، نسبت مولی متانول به روغن ۶/۱، درصد وزنی کاتالیست ۱ و زمان واکنش ۷۰ دقیقه بوده است. در این مطالعه دمای واکنش و شدت اختلاط به ترتیب ۶۵ درجه سانتی‌گراد و ۵۰۰ دور بر دقیقه در نظر گرفته شدند. نتیجه‌گیری: پسماندهای روغن‌های سرخ کردنی رستوران‌ها که در کشور ما به مقدار بسیار زیادی در حال تولید می‌باشند، منبع بسیار خوبی برای تولید بیودیزل و تامین انرژی می‌باشند.

کلمات کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، بیودیزل، کاتالیست هموژن

مقدمه

افزایش تقاضا برای انرژی و نگرانی رو به رشد گرمایش جهانی به عنوان یکی از اصلی ترین چالش‌های پیش رو، در تمام دنیای باشد. در سال ۲۰۱۳ در حدود ۹۰ میلیون بشکه نفت در سرتا سر جهان هر روزه مورد استفاده قرار می گرفت. در این بین با رشد اقتصاد و جمعیت، میزان تقاضای انرژی نیز افزایش خواهد یافت. در حال حاضر در حدود ۸۰ درصد انرژی مصرفی از سوخت‌های فسیلی مثل نفت خام، گاز طبیعی و ذغال سنگ تامین می شود. این گروه از سوخت‌ها از مواد آلی که میلیون‌ها سال پیش روی زمین بوده اند سنتز شده اند و در طی یک دوره کوتاه قادر به بازسازی این سوخت‌ها نخواهیم بود و به طور مثال بیش از صدها سال برای بازسازی این سوخت‌ها نیاز است^۱. مصرف انرژی در کشور ما از ۱۴۹۳/۲۱ میلیون بشکه نفت در هر سال گذشته است و از این نظر ایران در بین کشورهای در حال توسعه سریع قرار گرفته است. بخش‌های مسکونی، تجاری، حمل و نقل، بخش صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی چهار مصرف کننده اصلی انرژی در ایران می باشند که در حال حاضر بیشترین میزان تقاضای انرژی از بخش حمل و نقل می باشد. براساس آمار منتشر شده توسط سازمان انرژی ایران در سال ۲۰۱۵، سرانه انرژی مصرفی در کشور ما در بخش حمل و نقل بیش از ۱/۵ برابر متوسط مصرف جهانی می باشد. چهار منبع اصلی تامین انرژی در ایران شامل نفت خام، گاز طبیعی، ذغال سنگ و انرژی آبی می باشند^۲. به دلیل اهمیت روز افزون نقش انرژی در جهان از یک طرف و تجدید ناپذیری سوخت‌های فسیلی و مسائل زیست محیطی ناشی از این دسته از سوخت‌ها از طرف دیگر، در سال‌های اخیر سرمایه‌گذاری و مطالعات چشم‌گیری به منظور تامین منابع مناسبی از سوخت‌های جایگزین در کشورهای مختلف جهان صورت گرفته است. در این میان سوخت‌های زیستی مانند (بیودیزل و بیواتانول)، یکی از مطلوب ترین مواد جایگزین معرفی شده اند. به عنوان نمونه،

با توجه به قوانین موجود، اتحادیه اروپا موظف شده است تا سال ۲۰۲۰ در حدود ۲۰٪ از سوخت های مصرفی در موتور خودروهایی خود را از طریق سوخت‌های زیستی تامین نماید^۳. بیودیزل به عنوان مخلوطی از استرهای مونوالکیل زنجیره‌های اسید چرب تعریف می شود که از منابع روغن‌های تجدیدپذیر مثل روغن‌های گیاهی و حیوانی به دست می آید. بیودیزل خالص که حاوی ۱۰۰ درصد بیودیزل باشد را به عنوان B100 نامگذاری می کنند. بیودیزل با مخلوطی از دیزل نفتی را با عنوان BXX معرفی می کنند که XX میزان درصد بیودیزل می باشد به عنوان مثال B80 شامل ۸۰ درصد بیودیزل و ۲۰ درصد دیزل نفتی می باشد^۴. ویژگی هایی که باعث شده بیودیزل به عنوان جایگزین سوخت‌های فسیلی اهمیت زیادی پیدا کند شامل: غیرسمی بودن، قابلیت تجزیه پذیری بالا، روان کاری بالا، نداشتن سولفور، عددستان بالا، نقطه اشتعال بالا و آلودگی کم تر در مقایسه با سوخت هایی که منشا فسیلی دارند، می باشند^۵. اولین سوخت بیودیزل تولیدی، از روغن بادام زمینی بوده است که در سال ۱۹۷۰ توسط رودولف دیزل معرفی شده است. از آن زمان مواد اولیه متنوعی در سراسر جهان مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته اند. در حال حاضر بیش از ۳۵۰ نوع ماده که پتانسیل تولید بیودیزل را دارا می باشند، شناخته شده اند. انتخاب یک منبع مناسب برای تولید بیودیزل بسیار ضروری و مهم است، زیرا در حدود ۷۵ درصد از کل هزینه‌های تولید بیودیزل را شامل می شود. علاوه بر این کیفیت سوخت بیودیزل به نوع منبع مورد استفاده، فرایند تولید و کشور منبع دارد. به طور عمومی منابع تولید بیودیزل را می توان در چهار دسته تقسیم بندی کرد:

- ۱- روغن گیاهی خوراکی: سویا، آفتاب گردان، بادام زمینی، پالم، سبوس برنج، هسته، نارگیل، کلزا، گندم، دانه کنجد و غیره.
- ۲- روغن‌های گیاهی غیرخوراکی: روغن جلبک، دانه

کتان، ماگوا، پونگمی، ژاتروفا و غیره.

۳- روغن‌های دورریز و بازیافتی.

۴- روغن‌های حیوانی^۶.

یکی از به صرفه‌ترین راه‌های تولید بیودیزل استفاده از روغن‌های پسماند آشپزخانه‌های خانگی یا سازمانی، رستوران‌ها، هتل‌ها و ضایعات چربی دام و طیور تولیدی در کشتارگاه‌ها و کارخانجات تولید محصولات غذایی است^۷. روش‌های تولید بیودیزل شامل: مخلوط مستقیم (ترقیق)، میکرومولسیون، پیرولیز و ترانس استریفیکاسیون می‌باشند^۸. ترانس استریفیکاسیون یا تبادل استری معمول‌ترین و متداول‌ترین فرآیند تولید بیودیزل است که در آن روغن با الکل‌های ساده‌ای مثل متانول، اتانول، بوتانول، پروپانول در حضور کاتالیست وارد واکنش می‌شود، که باعث تولید بیودیزل و گلیسرول به عنوان محصول جانبی می‌شود. از متانول به علت خصوصیات فیزیکی و هزینه پایین به عنوان الکل استفاده می‌شود. در این واکنش از کاتالیست‌های هموژن، هتروژن و آنزیمی می‌توان استفاده کرد. فاکتورهای موثر در فرآیند ترانس استریفیکاسیون شامل دمای واکنش، زمان واکنش، فشارواکنش، نسبت مولی متانول به روغن، غلظت و نوع کاتالیست، شدت هم‌زنی و نوع خوراک است^۹. کاتالیست‌های هموژن هم فاز با جزء واکنش دهنده می‌باشند. کاتالیست‌های هموژنی که به طور گسترده تری در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل KOH و NaOH می‌باشند که به راحتی در متانول حل می‌شوند و تشکیل فرم متوکسید سدیم و پتاسیم می‌دهند. مزایای این کاتالیست‌ها تولید بالای متیل استر در شرایط متعادل و زمان واکنش کوتاه‌تری است. اگرچه این کاتالیست‌های پایه نیاز به خوراکی با خلوص بسیار بالا برای فرآیند ترانس استریفیکاسیون دارند^{۱۰}. اردلی و همکاران در سال ۱۳۹۴ مطالعه‌ای تحت عنوان تولید دیزل زیستی (بیودیزل) از ضایعات کشتارگاهی دام و طیور انجام داده‌اند، در این مطالعه در نسبت مولی

متانول به روغن ۶/۱، دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و درصد وزنی کاتالیست ۱/۲۵ راندمان ۸۵٪ به دست آمد^{۱۱}. عبدلی و همکاران در سال ۱۳۹۵ مطالعه‌ای انجام داده‌اند که در این مطالعه از سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست استفاده گردید. حداکثر راندمان در حضور این کاتالیست ۷۸/۶۵ درصد به دست آمد. شرایط بهینه برای این واکنش نسبت مولی متانول به روغن ۶/۱، زمان واکنش ۶۰ دقیقه و درصد وزنی کاتالیست ۳۹٪ بوده است^{۱۲}. هدف از انجام این مطالعه بازیافت پسماندهای روغن سرخ‌کردنی دورریز رستوران، تولید سوخت بیودیزل از این زائدات، بررسی پارامترهای موثر و تعیین شرایط بهینه واکنش ترانس استریفیکاسیون یعنی زمان واکنش، نسبت مولی متانول به روغن و درصد وزنی کاتالیست سدیم هیدروکسیدی باشد.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی مورد استفاده در پژوهش

برای تولید بیودیزل از پسماندهای روغن‌های سرخ‌کردنی، زائدات روغنی از رستوران یک بیمارستان با مقدار کافی تهیه گردید. در این مطالعه از متانول به عنوان الکل و از سدیم هیدروکسید ساخت شرکت مرک با خلوص ۹۹/۹ درصد به عنوان کاتالیست استفاده گردید. فنل فتالیئین، الکل ۲-پروپانول و پتاسیم هیدروکسید نیز برای اندازه‌گیری عدد اسیدی روغن مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

روش نمونه‌گیری، حجم نمونه و روش محاسبه آن

تعداد نمونه‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر با توجه به در نظر گرفتن ۳ متغیر مستقل در سه سطح یعنی نسبت مولی الکل به روغن (۳ به ۱، ۶ به ۱ و ۹ به ۱)، غلظت کاتالیزور (۰/۵، ۱ و ۱/۵ بر مبنای درصد وزنی روغن) و زمان

بهینه سازی فرآیند تولید بیودیزل از پسماندهای روغن‌های سرخ کردنی رستوران در حضور کاتالیست هموژن

واکنش (۸۰، ۷۰، ۶۰ دقیقه) با استفاده از روش بهینه سازی مرحله ای بررسی شد. ران‌های به دست آمده در جدول شماره یک ذکر گردید.

پیش تصفیه روغن دورریز

برای حذف ناخالصی‌ها و باقی مانده‌های زائدات غذایی از روغن، نمونه توسط کاغذ صافی واتمن فیلتر شده است. سپس جهت حذف آب و رطوبت از پسماندهای روغن، نمونه در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت یک ساعت پیش گرمایش شده است. برای اینکه کیفیت روغن بررسی شود که آیا قابلیت مصرف به صورت مستقیم به عنوان خوراک اولیه برای

تولید بیودیزل را دارد یا خیر، دو فاکتور خیلی مهم بر روی راندمان تولید بیودیزل یعنی اسیدیته و درصد آب و رطوبت روغن اندازه‌گیری شد. اسیدیته روغن توسط روش تیتراسیون اندازه‌گیری شده است که مقدار آن ۰.۳۹ میلی گرم پتاسیم هیدروکسید بر گرم محاسبه شد. حد مجاز عدد اسیدی روغن باید زیر ۱ باشد تا امکان استفاده از آن به صورت مستقیم به عنوان خوراک اولیه برای تولید بیودیزل باشد. درصد آب و رطوبت نمونه‌ها توسط روش کارل-فیشر محاسبه شد، که مقدار مجاز آن باید کم تر از ۰.۵ درصد باشد که برای این نمونه ۰.۱٪ به دست آمده است.

جدول ۱: ران‌های موردنظر برای تولید بیودیزل در حضور هیدروکسید سدیم

شماره ران	نسبت مولی متانول به روغن	درصد وزنی کاتالیست	زمان واکنش (دقیقه)
۱	۶/۱	۰/۵	۷۰
۲	۶/۱	۱	۷۰
۳	۶/۱	۱/۵	۷۰
۴	۶/۱	۱	۶۰
۵	۶/۱	۱	۷۰
۶	۶/۱	۱	۸۰
۷	۳/۱	۱	۷۰
۸	۶/۱	۱	۷۰
۹	۹/۱	۱	۷۰

جدول ۲: ویژگی‌های روغن زائداتی مصرفی به عنوان خوراک اولیه برای تولید بیودیزل

ویژگی	واحد	مقدار محاسبه شده
اسیدیته روغن	میلی گرم هیدروکسید پتاسیم بر گرم	۰.۳۹
درصد آب و رطوبت	درصد ونی(٪)	۰.۱

تشکیل متوکسید سدیم

به منظور افزایش انحلال و واکنش پذیری کاتالیزور، محلول متوکسید (مخلوط هیدروکسید سدیم و متانول) باید به صورت جداگانه تهیه گردد. برای اینکه بازده انحلال بالا برود از یک همزن مغناطیسی (Stirrer) استفاده شد و مخلوط الکل و کاتالیزور در نسبت‌های تعریف شده در ۴۰۰ دور بر دقیقه به مدت دو دقیقه هم زده شد.

محاسبه نسبت‌های مولی الکل به روغن

در فرایند ترانس استریفیکاسیون می‌توان از اتانول، متانول، بوتانول و پروپانول به عنوان الکل استفاده کرد. اما با توجه به اینکه متانول دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مطلوب تری است، عموماً از این ماده به عنوان الکل استفاده می‌شود. در این مطالعه از متانول ساخته شده از شرکت مرک آلمان با فرمول شیمیایی CH_3OH که دارای درجه خلوص ۹۹/۹ درصدی باشد، استفاده گردید. وزن مولی این الکل ۳۲/۰۴ گرم و دمای جوش آن ۶۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نسبت‌های مولی با توجه به متوسط جرم مولی تری گلیسریدهای موجود در روغن (۸۸۵ گرم) و جرم مولی متانول محاسبه گردید.

بیودیزل تولیدی و روش انجام واکنش

این مطالعه از نوع تجربی-آزمایشگاهی می‌باشد. در این پژوهش به منظور تولید بیودیزل از پسماندهای روغن‌های سرخ کردنی رستوران از یک بالن سه دهانه به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر استفاده گردیده است. ظرف واکنش به یک کندانسور و دماسنج مجهز گردید. برای تامین دمای واکنش از یک هیتر مجهز به همزن مغناطیسی استفاده گردید. در ابتدای واکنش ۵۰ گرم نمونه پسماند روغنی که پیش تصفیه گردید به ظرف واکنش اضافه شد تا روغن گرم و به دمای واکنش که ۶۵ درجه سانتی‌گراد بوده، برسد. بعد از گرم شدن روغن مخلوط

الکل و کاتالیست در نسبت‌های مشخص به ظرف واکنش اضافه گردید و واکنش در ۵۰۰ دور بر دقیقه هم زده شد. برای نسبت مولی متانول به روغن سه سطح (۳/۱، ۶/۱ و ۹/۱) و برای درصد وزنی کاتالیست (۱/۵، ۱ و ۱/۵) بررسی گردید. دمای واکنش برای تمامی آزمایشات ۶۵ درجه سانتی‌گراد و شدت همزن مغناطیسی ۵۰۰ دور بر دقیقه منظور گردید. بعد از اتمام زمان واکنش محتوای ظرف واکنش به یک دکانتور منتقل گردید و به مدت ۱۶ ساعت اجازه ته نشینی داده شد. بعد از ته نشینی دو فاز کاملاً متمایز شکل گرفت که فاز بالایی متیل استر (بیودیزل) و فاز پایینی گلیسرول و کاتالیست بوده است. به علت اینکه دانسیته گلیسرول از بیودیزل بیشتر است برای جداسازی دو فاز از ته نشینی استفاده گردید.

خالص‌سازی بیودیزل تولیدی

بیودیزل تولیدی باید خالص سازی شود بدین صورت که باقی مانده متانول و کاتالیست باید از آن حذف شوند. برای جداسازی متانول از بیودیزل، نمونه را در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه گرم کرده تا الکل آن تبخیر شود. برای جداسازی کاتالیست باقی مانده نیز بیودیزل تولیدی سه مرتبه با آب گرم شست و شو داده شد تا خالص سازی شود. نهایتاً مقدار بیودیزل تولیدی بر مبنای جرمی فازهای تولید شده از طریق فرمول زیر محاسبه گردید.

$100 \times \text{مقدار روغن استفاده شده} / \text{مقدار متیل استری تولیدی} = (\text{FAME}\%)$
درصد متیل استر تولیدی

یافته‌ها

نتایج ران‌های انجام شده برای تولید بیودیزل در

حضور سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست

هموژن

برای بررسی تولید بیودیزل در حضور سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست سه پارامتر زمان واکنش، درصد وزنی

بهینه سازی فرآیند تولید بیودیزل از پسماندهای روغن‌های سرخ کردنی رستوران در حضور کاتالیست هموژن

افزایش درصد وزنی کاتالیست از ۱ درصد به ۱/۵ درصد راندمان تولید کاهش پیدا کرده است.

کاتالیست و نسبت مولی متانول به روغن در سه سطح بررسی شد. نتایج به دست آمده در جدول شماره ۲ ذکر گردید.

نتایج تاثیر پارامتر زمان واکنش بر راندمان تولید بیودیزل

زمان‌های واکنش ۶۰، ۷۰، ۸۰ دقیقه برای تاثیر این پارامتر بر راندمان تولید بیودیزل بررسی شده اند، با توجه به شکل شماره ۲ B حداکثر راندمان در زمان واکنش ۷۰ دقیقه به دست آمده است.

نتایج تاثیر پارامترهای درصد وزنی کاتالیست، نسبت مولی متانول به روغن و زمان واکنش نتایج تاثیر پارامتر درصد وزنی کاتالیست بر روی راندمان تولید بیودیزل

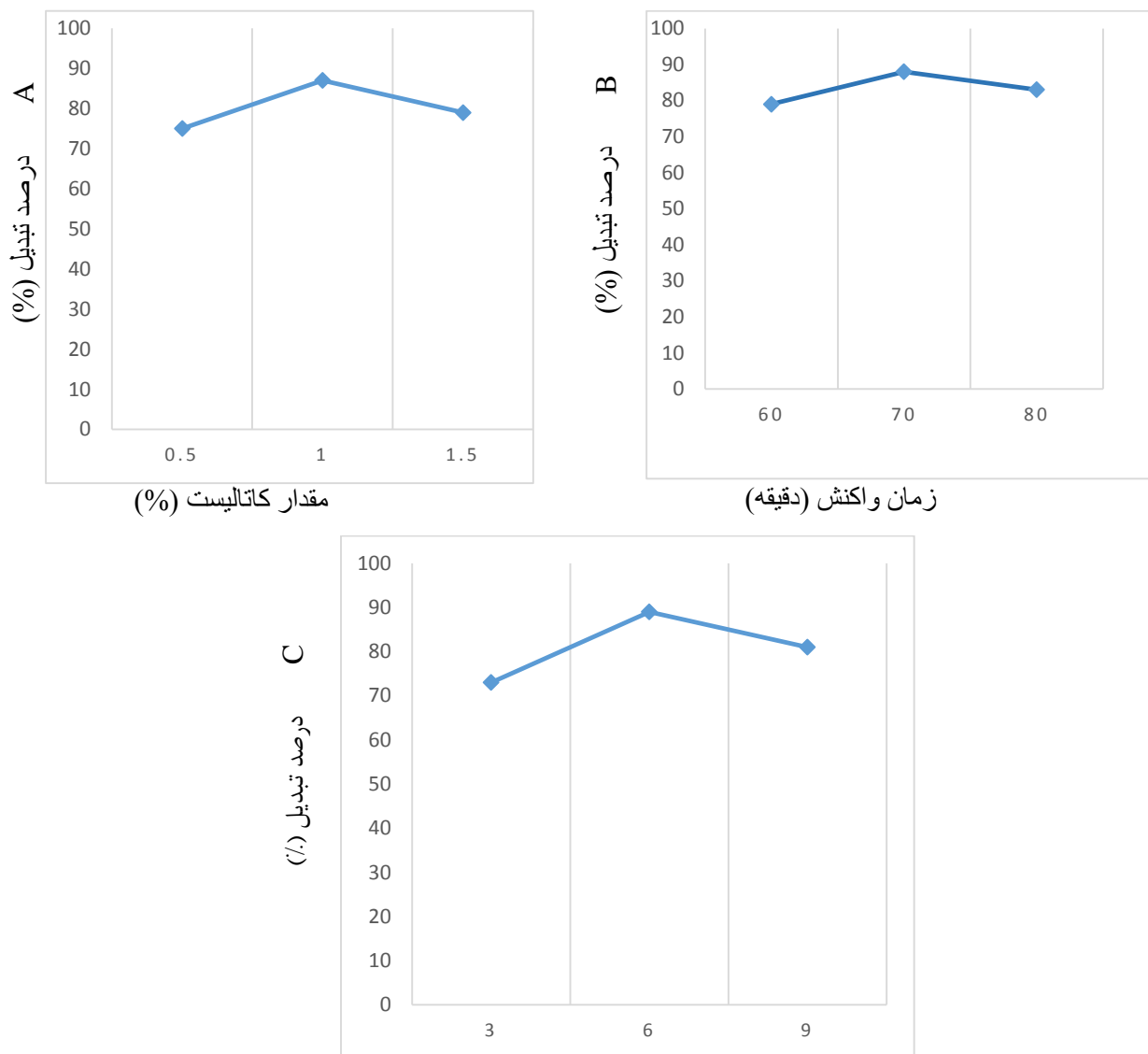
همان گونه که در شکل شماره A۲ مربوط به نتایج درصد وزنی کاتالیست ذکر شد، حداکثر راندمان تولید بیودیزل در ۱ درصد وزنی کاتالیست ۸۷/۱۰ درصد به دست آمده است و با



شکل ۱: تصاویر مربوط به دو فاز بیودیزل و گلیسرول تولیدی

جدول ۲: نتایج راندمان‌های به دست آمده برای تولید بیودیزل

شماره ران	نسبت مولی متانول به روغن	درصد وزنی کاتالیست	زمان واکنش (دقیقه)	درصد تبدیل
۱	۶/۱	۰/۵	۷۰	۷۵/۱۶
۲	۶/۱	۱	۷۰	۸۷/۱۰
۳	۶/۱	۱/۵	۷۰	۷۹/۷۸
۴	۶/۱	۱	۶۰	۷۹/۱۳
۵	۶/۱	۱	۷۰	۸۸/۹۱
۶	۶/۱	۱	۸۰	۸۳/۲۳
۷	۳/۱	۱	۷۰	۷۳/۱۴
۸	۶/۱	۱	۷۰	۸۹/۴۸
۹	۹/۱	۱	۷۰	۸۱/۶۳



نسبت مولی متانول به روغن

شکل ۲: (A) نمودار مربوط به تاثیر پارامتر درصد وزنی کاتالیست بر راندمان تولید بیودیزل در حضور سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست. (B) نمودار مربوط به تاثیر پارامتر زمان واکنش بر راندمان تولید بیودیزل. (C) نمودار مربوط به تاثیر پارامتر نسبت مولی متانول به روغن بر راندمان تولید بیودیزل

بحث

بررسی نتایج پارامتر درصد وزنی کاتالیست

کاتالیست هایی که برای تولید بیودیزل از طریق فرایند ترانس استریفیکاسیون مورد استفاده قرار می گیرند، سه نوع کاتالیست هموزن، هتروژن و آنزیمی می باشند که کاتالیست هموزن با توجه به اینکه خاصیت کاتالیستی بالایی دارد و طی

نتایج تاثیر پارامتر نسبت مولی متانول به روغن بر

راندمان تولید بیودیزل

با توجه به شکل شماره ۲ C حداکثر راندمان تولید بیودیزل در نسبت مولی متانول به روغن ۶/۱ به دست آمده است و افزایش نسبت مولی متانول به روغن از ۶/۱ به ۹/۱ باعث کاهش راندمان تولید بیودیزل شده است.

بهینه سازی فرآیند تولید بیودیزل از پسماندهای روغن‌های سرخ کردنی رستوران در حضور کاتالیست هموژن

که بر روی اثر کاتالیستی سدیم هیدروکسید برای تولید بیودیزل انجام داده اند نیز نسبت بهینه کاتالیست سدیم هیدروکسید برای تولید بیودیزل را ۱٪ گزارش کرده اند^{۱۵،۱۶،۱۷،۱۸}.

برای بررسی اثر کاتالیستی سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست هموژن پارامتر مهم دیگری که مورد بررسی قرار گرفته شد، زمان واکنش می باشد. زمان واکنش با توجه به برگشت پذیر بودن واکنش ترانس استریفیکاسیون، پارامتر بسیار مهمی می باشد. در این مطالعه برای بررسی اثر پارامتر زمان واکنش بر روی راندمان تولید بیودیزل پارامتر زمان واکنش در سه سطح (۶۰، ۷۰، ۸۰ دقیقه) بررسی شده است. حداکثر راندمان تولید بیودیزل در زمان واکنش ۷۰ دقیقه در شرایطی به دست آمده است، که نسبت مولی متانول به روغن ۶/۱، درصد وزنی کاتالیست ۱ و دمای واکنش ۶۵ درجه سانتی گراد بوده است. با توجه به شکل شماره B۲ در زمان ۷۰ دقیقه راندمان تولید بیودیزل به ۸۸/۹۱ رسیده است. با بالا بردن زمان واکنش از ۷۰ به ۸۰ دقیقه راندمان کاهش پیدا کرده است. واکنش ترانس استریفیکاسیون یک واکنش برگشت پذیر می باشد و نیاز به زمان طولانی برای تولید بیودیزل دارد اگر زمان واکنش کوتاه باشد واکنش ناقص انجام می شود و تبدیل تری گلیسریدها به متیل استر به طور کامل انجام نمی شود زمان واکنش همواره دارای اثر مثبت در راندمان است به شرطی که واکنش به پایان نرسیده باشد. نقطه پایانی واکنش‌ها در شرایط مختلف بسته به نوع و مقدار کاتالیست، دما و فشار و مقدار الکل استفاده شده متفاوت است. Kaya و همکاران، Rashid و همکاران نیز نتایج مشابهی برای زمان واکنش برای تولید بیودیزل به دست آورده اند و زمان واکنش بهینه را ۷۰ دقیقه گزارش داده اند^{۱۹،۲۰}.

برای بررسی تاثیر نسبت مولی متانول به روغن بر روی راندمان تولید بیودیزل، پارامتر نسبت مولی متانول به روغن برای تولید بیودیزل در حضور سدیم هیدروکسید در سه سطح

زمان واکنش کوتاهی باعث تولید بیودیزل می شود، در مقیاس صنعتی بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. برای بررسی تاثیر پارامتر درصد وزنی کاتالیست بر روی راندمان تولید بیودیزل سدیم هیدروکسید در نسبت‌های مختلفی بررسی گردید در شرایطی که دیگر پارامترهای موثر بر واکنش ثابت در نظر گرفته شد به صورتی که نسبت مولی متانول به روغن ۶/۱، زمان واکنش ۷۰ دقیقه، دما ۶۵ درجه سانتی گراد بوده است. همان طور که در نمودار شماره A ۱ مشخص است، درصد وزنی کاتالیست بهینه برای تولید بیودیزل در حضور سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست، ۱ درصد وزنی به دست آمد، که حداکثر راندمان ۸۷/۱۰ درصد بوده است. افزایش درصد وزنی کاتالیست از ۱ به ۱/۵ درصد باعث کاهش راندمان شده است. درصد وزنی کاتالیست یکی از پارامترهای بسیار موثر بر روی راندمان تولید بیودیزل می باشد در صورتی که مقدار استفاده شده از کاتالیست کم تر از حد مورد نیاز واکنش باشد، راندمان تولید متیل استر کاهش پیدامی کند زیرا با توجه به برگشت پذیر بودن فرایند ترانس استریفیکاسیون تبدیل تری گلیسریدها به متیل استر به طور کامل انجام نمی شود. استفاده از کاتالیست باعث افزایش سرعت تولید بیودیزل می شود با این وجود گاهی با افزایش مقدار بیشتری از کاتالیست راندمان تولید بیودیزل کاهش می یابد؛ زیرا افزودن مقدار بیشتری از کاتالیست موجب واکنش تری گلیسرید با کاتالیست قلیایی و تشکیل صابون می شود که به دنبال آن تولید محصول کاهش می یابد و جداسازی آن دچار مشکل خواهد شد. تبادل استری با استفاده از این نوع کاتالیست برای روغن‌هایی مناسب است که درصد اسیدهای چرب آزاد آنها کمتر از ۵٪ درصد وزن روغن باشد^{۱۳،۱۴}. در نتیجه نسبت بهینه درصد وزنی کاتالیست برای تولید بیودیزل در حضور سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست از پسماندهای روغن‌های سرخ کردنی رستوران ۱ درصد وزنی به دست آمد. Leung و همکاران، Hanh و همکاران، Alama و همکاران، Meng و همکاران در مطالعاتی

گردد. این نسبت در مواردی که از اسید به عنوان کاتالیست استفاده می شود تا 10 به 1 هم افزایش می یابد. بنابراین مقدار بهینه نسبت مولی متانول به روغن برای تولید بیودیزل در حضور سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست هموزن ۶/۱ می باشد. Meng و همکاران، Hanh و همکاران نیز نتایج مشابهی با مطالعه ما گزارش داده اند^{۱۶،۱۸}.

نتیجه گیری

حداکثر راندمان تولید بیودیزل در حضور سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیست هموزن $۸۶/۱۶ \pm ۳/۲۳$ درصد به دست آمده است. در این مطالعه شرایط بهینه برای تولید بیودیزل نسبت مولی متانول به روغن ۶/۱، زمان واکنش ۷۰ دقیقه و درصد وزنی کاتالیست ۱ بوده است. دمای واکنش برای تمامی آزمایشات ثابت و ۶۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد. پسماندهای روغن های سرخ کردنی رامی توان با پتانسیل بسیار بالایی برای تولید بیودیزل مورد استفاده قرار داد.

تشکر و سپاسگزاری

از دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی جهت حمایت های مالی و آزمایشگاهی تشکرمی نمایم.

(۳/۱ و ۶/۱ و ۹/۱) بررسی شده است. برای تولید متیل استر در واکنش ترانس استریفیکاسیون برای تبدیل یک مول تری گلیسرید به متیل استر به ۳ مول متانول نیاز است ولی در عمل به مقدار بیشتری نیاز است. با توجه به نمودار شماره ۲ C در نسبت مولی متانول به روغن ۳/۱ راندمان تولید بیودیزل به ۷۳/۱۴ رسیده است و با افزایش نسبت مولی متانول به روغن از ۳/۱ به ۶/۱ راندمان به ۸۹/۴۸ رسیده است. کم بودن نسبت مولی متانول به روغن توانایی تبدیل تری گلیسریدها را به متیل استر کاهش می دهد. در نسبت مولی متانول به روغن ۹/۱ راندمان کاهش پیدا کرده است. افزایش متانول به نسبت های مولی بالاتر از ۶/۱ به واکنش ترانس استریفیکاسیون باعث کاهش راندمان می شود و نیاز به یک زمان طولانی تری برای جداسازی دو فاز بیودیزل و گلیسرول می باشد، به علت اینکه متانول با گروه های هیدروکسیل قطبی خود باعث امولسیون شدن گلیسرول و بیودیزل در طی واکنش می شود که این خود باعث برگشت پذیر شدن واکنش و ترکیب گلیسرول و بیودیزل می شود و جداسازی این دو فاز سخت می شود و راندمان بازیابی متیل استر کم می شود. علاوه بر این با توجه به اینکه در نهایت به منظور خالص سازی متیل استر تولیدی باید متانول باقی مانده در واکنش جدا و بخار شود مقدار بالای متانولی که وارد واکنش نشده می تواند باعث بالا رفتن هزینه های بازیابی و بهای انرژی مصرف شده شود^{۲۱،۲۲}. عموماً در واکنش هایی که از کاتالیست های قلیایی همگن استفاده می شود نسبت مولی متانول به روغن معادل ۶ به ۱ استفاده می

References

1. Du C, Zhao X, Liu D, Lin C, Wilson K, Luque R, et al. Introduction: An overview of biofuels and production technologies. Handbook of Biofuels Production (Second Edition): Elsevier; 2016. p. 3-12.
2. Mollahosseini A, Hosseini SA, Jabbari M, Figoli A, Rahimpour A. Renewable energy management and market in Iran: A holistic review on current state and future demands. Renew Sustain Energy Rev. 2017;80:774-88.
3. Wang Y, Ou S, Liu P, Xue F, Tang S. Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil. J Mol Catal A Chem. 2006;252(1-2):107-12.

4. Noor CM, Noor M, Mamat R. Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2018;94:127-42.
5. Joshi S, Gogate PR, Moreira Jr PF, Giudici R. Intensification of biodiesel production from soybean oil and waste cooking oil in the presence of heterogeneous catalyst using high speed homogenizer. *Ultrason Sonochem.* 2017;39:645-53.
6. Ghazali WNMW, Mamat R, Masjuki HH, Najafi G. Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2015;51:585-602.
7. Sanli H, Canakci M, Alptekin E. Characterization of waste frying oils obtained from different facilities. In: *World Renewable Energy Congress-Sweden*; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden. Linköping University Electronic Press; 2011. p. 479-85.
8. Aransiola EF, Ojumu T V, Oyekola OO, Madzimbamuto TF, Ikhu-Omoregbe DIO. A review of current technology for biodiesel production: State of the art. *Biomass and bioenergy.* 2014;61:276-97.
9. Center I. Feasibility report, small scale biodiesel production. *Waste Management and Research Center.* 2006
10. Borges ME, Díaz L. Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: a review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2012;16(5):2839-49.
11. M Ardali, M Sadrameli, B Ghobadiyan and M Shamloabadi. Bio-diesel production of livestock and poultry slaughterhouse waste. *J Eng and Ene Manage*, Year 5, Number 1, Spring 2016, P 24-31. (In Persian)
12. M Mirabdoli, AR Zahedi, A Shayan Nezhad. Commercial optimization of biodiesel production from rapeseed oil as a clean fuel for thermal power plants. *J Mech Eng Modares*, Dec. 2017, Volume 16, Issue 9, P 135-142. (In Persian)
13. Wang J-X, Chen K-T, Wen B-Z, Liao Y-H Ben, Chen C-C. Transesterification of soybean oil to biodiesel using cement as a solid base catalyst. *J Taiwan Inst Chem Eng.* 2012;43(2):215-9.
14. Roschat W, Siritanon T, Yoosuk B, Promarak V. Biodiesel production from palm oil using hydrated lime-derived CaO as a low-cost basic heterogeneous catalyst. *Energy Convers Manag.* 2016;108:459-67.
15. Leung DYC, Guo Y. Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production. *Fuel Process Technol.* 2006;87(10):883-90.
16. Hanh HD, Dong NT, Okitsu K, Nishimura R, Maeda Y. Biodiesel production through transesterification of triolein with various alcohols in an ultrasonic field. *Renew Energy.* 2009;34(3):766-8.
17. Alamu OJ, Akintola TA, Enweremadu CC, Adeleke AE. Characterization of palm-kernel oil biodiesel produced through NaOH-catalysed transesterification process. *Sci Res Essays.* 2008;3(7):308-11.
18. Meng X, Chen G, Wang Y. Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test. *Fuel Process Technol.* 2008;89(9):851-7.
19. Kaya C, Hamamci C, Baysal A, Akba O, Erdogan S, Saydut A. Methyl ester of peanut (*Arachis hypogea* L.) seed oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Renew Energy.* 2009;34(5):1257-60.
20. Rashid U, Anwar F. Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. *Fuel.* 2008;87(3):265-73.
21. Modiba E, Enweremadu C, Rutto H. Production of biodiesel from waste vegetable oil using impregnated diatomite as heterogeneous catalyst. *Chinese J Chem Eng.* 2015;23(1):281-9.
22. Boonyuen S, Smith SM, Malaithong M, Prokaew A, Cherdhirunkorn B, Luengnaruemitchai A. Biodiesel production by a renewable catalyst from calcined Turbo jourdani (Gastropoda: Turbinidae) shells. *J Clean Prod.* 2018;177:925-9.

Optimization of Biodiesel Production Process from Restaurant Waste Frying Oils in the Presence of Homogeneous Catalyst

Nadali Alavi^{1,2}, Akbar Eslami^{1,2}, Monire Majlessi Nasr^{1,2}, Najme Masihi^{3*}

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2. Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. MSc Student in Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

* E-mail: najmehmasihi@yahoo.com

Received: 1 Feb 2019 ; Accepted: 8 May 2019

ABSTRACT

Background and Objective: Because of the importance of the role of energy in the world and nonrenewability of fossil fuels and caused environmental issues by these fuels in recent years, many studies have been conducted to find an appropriate alternative to fossil fuels in different countries of the world. Biofuels such as (biodiesel and bioethanol) have been introduced as one of the most desirable alternatives. The purpose of this study is investigation the production of biodiesel from waste frying oils in the presence of a homogeneous catalyst.

Methods: This study is an experimental-laboratory. In this study, the impact of three parameters including reaction time (60,70 and 80 minutes), weight percent of catalyst (.5, 1 and 1.5 percent) and molar ratio of methanol to oil (3:1, 6:1 and 9:1) Was investigated at three levels. The biodiesel production efficiency was calculated using the produced biodiesel mass from the amount of consumed primary oil.

Results: The maximum production efficiency of biodiesel in the presence of sodium hydroxide as homogeneous catalyst was obtained $86.6 \pm 3.23\%$. Optimum conditions for the maximum efficiency were methanol to oil molar ratio of 6:1, weight percent of catalyst 1 and reaction time of 70 minutes. In this study the reaction temperature and mixing intensity were considered of 65 ° C and 500 rpm respectively.

Conclusion: The waste frying oils of restaurants that are producing a lot in our country are a great source for biodiesel production and energy supply.

Key words: Renewable Energy, Biodiesel, Homogeneous Catalyst.