



استحصال بیودیزل از روغن چربی طیور محتوی اسید چرب آزاد بالا

مالک باوفا^۱، محمد طبسی زاده^{۲*}، عبدالعلی فرزاد^۳، برات قبادیان^۴، حسین عشقی^۵

گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه های فردوسی مشهد و تربیت مدرس تهران

*محمد طبسی زاد: tabasizadeh@um.ac.ir

چکیده

این تحقیق به منظور تولید سوخت زیستی بیودیزل از روغن چربی طیور انجام گرفته است. برای کاهش درصد اسیدهای چرب آزاد روغن در مرحله استریفیکاسیون از یک واکنشگر اسیدی نا همگن به نام سولفات آهن به دلیل افزایش بازده، کاهش هزینه تجهیزات، بازیافت آسان تر و قابلیت استفاده مجدد استفاده شد. همچنین در این مرحله با استفاده از ۲ درصد وزنی واکنشگر سولفات آهن، میزان تبدیل اسیدهای چرب آزاد به استر به مقدار ۹۵٪ رسید. سپس در مرحله ترانس استریفیکاسیون با استفاده از مخلوطی شامل واکنشگر بازی پتاسیم هیدروکسید به مقدار یک درصد وزنی روغن و الکل متانول با مولاریته ۱:۶ نسبت به روغن و روغن استری شده، بیودیزل با بازدهی ۹۲٪ تولید شد.

واژه‌های کلیدی: سوخت زیستی، چربی طیور، عدد اسیدی، سولفات آهن، کراکینگ حرارتی

۱- مقدمه

قیمت سوخت دیزلی در دو دهه اخیر افزایش چشمگیری در جهان داشته بطوریکه در قرن حاضر بی سابقه بوده است. علت این موضوع بیشتر به خالی شدن ذخایر نفتی بر می گردد. از اینرو تحقیق برای پیدا کردن یک سوخت جایگزین برای دیزل به یک مساله مهم برای محققین تبدیل شده است. بیودیزل به عنوان جایگزین و یا یک افزودنی برای دیزل که از چربی حیوانی یا

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۵- ستاد، گروه شیمی، دانشگاه فردوسی مشهد



روغن گیاهی مشتق می شود، تعریف شده است [17]. بیودیزل همچنین بصورت استر مونوالکیل اسید چرب بیان می شود. اتحادیه اروپا سهم سوخت های زیستی را ۲۰٪ از کل سوخت مورد استفاده در موتورها را تا سال ۲۰۲۰ تعیین کرده است. همچنین در حال حاضر در بازار ایالات متحده ترکیب ۲۰ درصدی بیودیزل تولید شده از روغن سویا و ۸۰ درصد دیزل خالص در دسترس است [20]. توسعه انرژی های تجدید پذیر به عنوان یک استراتژی ملی در چین که ذخایر نفتی آنچنان بالایی ندارند تصویب شده است. زیرا این کشور بزرگ توسعه یافته، با رشد سریع اقتصادی، بیش از پیش به انرژی لازم دارد [21].

مزایای اصلی استفاده از سوخت های جایگزین قابلیت تجدید پذیر بودن، کیفیت بهتر انتشار گازهای خروجی آگروز، قابلیت تجزیه بیولوژیک و همچنین با توجه به اینکه کربن های آلی موجود در این نوع سوخت ها منشا فتوسنتز دارند بنابراین از افزایش دی اکسید کربن که اثر گلخانه ای دارد جلوگیری می کند [22].

یکی از منابع تولید بیودیزل چربی های حیوانی و طیور بوده که به کمترین فرایند برای تبدیل به سوخت مناسب را داراست. بنابراین هزینه تولید سوخت بیودیزل حاصل از چربی طیور در مقایسه با دیزل پایین است. همچنین برتری دیگر چربی طیور نسبت به روغن های گیاهی ارزش غذایی کمتر آن است. لذا به تشدید تورم در بخش غذا دامن نمی زند. مصارف عمده چربی طیور بیشتر در کارخانجات تولید مواد بهداشتی از جمله صابون و مایع دستشویی است. در این نوع مصارف، چربی پس از تبدیل به روغن از طریق کراکینگ حرارتی (پیرولیز)، بصورت مواد اولیه مورد استفاده قرار می گیرد. با تولید بیودیزل از چربی طیور نه تنها مواد اولیه مصارف بهداشتی مورد تهدید قرار نمی گیرد بلکه گلیسیرینی که همزمان با بیودیزل از روغن حاصل می شود، می تواند به عنوان یک جایگزین بهتر از روغن چربی طیور در مصارف بهداشتی باشد.

رایج ترین روش برای تولید بیودیزل، ترانس استریفیکاسیون (تبادل استری) است، که در آن مخلوط روغن و الکل در حضور یک نوع واکنشگر به مونوالکیل اسید چرب (بیودیزل) و گلیسرین تبدیل می شود. در این فرآیند متانول به خاطر قیمت پایین و خواص فیزیکی و شیمیایی بهتر نسبت سایر الکل ها بیشترین کاربرد را دارد. از لحاظ واکنش شیمیایی، روغن های گیاهی نسبت به سایر روغن ها و چربی ها، مواد اولیه بهتری جهت تولید بیودیزل هستند. زیرا تحقیقات نشان می دهد که درصد تبدیل تری گلیسیریدها به متیل استر اسید چرب در کوتاه ترین زمان، نرخ بالایی دارد. اما ایراد اصلی استفاده از این نوع روغن، ارزش غذایی بالای آن و در نتیجه ایجاد تشدید در بازار است. به عنوان مثال ایران که بیش از ۷۰ میلیون جمعیت دارد، از روغن گیاهی تصفیه شده به منظور تولید روغن خوراکی استفاده می کند. لذا در مرحله اول باید نیاز مصرف کنندگان را تامین کند. در نتیجه هزینه بالای مواد خام مانع اصلی تجاری کردن آن است. واکنشگرهای بازی، اسیدی و آنزیمی می توانند به عنوان میانجی گر در واکنش نقش ایفا کنند. اما واکنشگرهای بازی و اسیدی کاربرد بیشتری دارند. زیرا زمان واکنش را کوتاه تر کرده و هزینه کمتری دارند. همچنین برخی از مطالعات نشان می دهد آنزیم ها به متانول حساس بوده لذا باید غلظت متانول در مخلوط کمتر باشد [13].

جهت تعیین نوع واکنشگر (اسیدی یا بازی) مورد استفاده در واکنش، ابتدا باید درصد اسید چرب آزاد روغن مشخص شود. تحقیقات نشان می دهد کاتالیزورهای قلیایی با اسیدهای چرب آزاد واکنش داده و آب و صابون تولید می کند. صابون تولید شده جداسازی بیودیزل از گلیسرین را با اختلال مواجه کرده و در زمان آبشویی نیز تشکیل امولسیون می دهد. لذا از آن در مواردی



استفاده می شود که درصد اسید چرب آزاد کمتر از ۵ درصد باشد [10]. در صورت بالا بودن اسید چرب آزاد، باید از روش استریفیکاسیون دو مرحله ای جهت تولید بیودیزل استفاده نمود. در این روش ابتدا در مرحله اول فرآیند با استفاده از یک واکنشگر اسیدی و الکل، اسید چرب آزاد روغن به استر تبدیل شده و درصد وزنی آن به کمتر از یک درصد تنزل پیدا می کند. محصولات خروجی در این مرحله تری گلیسیرید و استر می باشند. در مرحله دوم با توجه به اینکه شاخص اسیدی روغن به کمتر از یک درصد کاهش می یابد، بنابراین می توان با استفاده مخلوط روغن و الکل در حضور کاتالیزور بازی به تولید بیودیزل پرداخت. محصول خروجی در این مرحله استرهای اسید چرب (بیودیزل) و گلیسرین می باشد.

پژوهشهای مختلفی در زمینه تولید بیودیزل از روغنهای با شاخص اسیدی بالا به روش استریفیکاسیون دو مرحله ای انجام شده است. وانگ و همکاران (۲۰۰۷) از پسماند روغن خوراکی حاوی اسید چرب آزاد $75/92 \text{ mgKOH/g}$ به روش استریفیکاسیون دو مرحله ای به تولید بیودیزل پرداختند. در مرحله اول مخلوط اسید چرب آزاد روغن با متانول در حضور واکنشگر سولفات آهن^۱ به استر تبدیل شده سپس در مرحله دوم از مخلوط استر تولید شده و تری گلیسیرید با متانول در حضور واکنشگر پتاسیم هیدروکسید^۲ بیودیزل حاصل شده است. آنها نتیجه گرفتند که سولفات آهن به عنوان یک واکنشگر، سرعت بالایی جهت استری کردن مخلوط اسید های چرب آزاد روغن و متانول داشته است. بیشترین درصد تبدیل اسید چرب آزاد به استر به اندازه $97/22\%$ زمانی حاصل شد که 2% وزنی سولفات آهن به همراه متانول با مولاریته ۱۰ به ۱ نسبت به تری گلیسیرید در ترکیب با روغن در دمای 95°C و با مدت زمان ۴ ساعت به واکنش پرداختند [17]. در تحقیق دیگری که توسط چن و همکاران (۲۰۱۲) انجام شده است، آنها ابتدا با استفاده از اسید سولفوریک^۳ با $3/3\%$ درصد حجمی روغن جلبک، میزان اسید چرب آزاد روغن را به حداقل کاهش داده سپس تاثیر سه نواع کاتالیزور بازی سدیم هیدروکسید^۴، پتاسیم هیدروکسید و پتاسیم متوکسید و الکل متانول با مولاریته های مختلف را بر روی درصد تبدیل تری گلیسیرید به بیودیزل را بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که در استفاده از کاتالیزور پتاسیم هیدروکسید با 2% وزنی روغن و متانول با مولاریته ۱:۱۲ نسبت به روغن، بیشترین نرخ تبدیل در حدود 100% حاصل می شود [9].

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

به منظور تهیه سوخت، از چربی پسماند طیور (مرغ و بوقلمون) به عنوان یک منبع اقتصادی برای تولید بیودیزل استفاده شد. معمولاً این پسماند از اطراف دستگاه گوارشی طیور و همچنین از زیر پوست آن استخراج می شود. در نواحی مذکور به علت عدم تحرک در طول دوره ی رشد، مقادیر زیادی چربی تجمع می کند (شکل ۱).

¹- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

²-KOH

³- H_2SO_4

⁴-NaOH

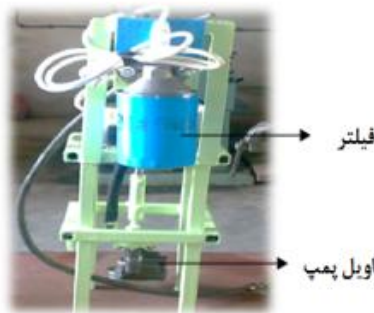


شکل ۱- چربی موجود در ناحیه شکمی طیور

همچنین تمام مواد شیمیایی مورد نیاز جهت تولید بیودیزل از جمله هیدروکسید پتاسیم با خلوص ۹۹/۵ درصد، متانول با خلوص ۹۹/۸ درصد، فریک سولفات صنعتی، سولفات منیزیم به صورت تجاری تهیه گردید.

۲-۲- تجهیزات

به منظور خالص سازی روغن چربی طیور از مواد زائد از دستگاه اویل پمپ مجهز به صافی استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲- دستگاه فیلتراسیون روغن

برای تهیه بیودیزل از تجهیزات موجود در آزمایشگاه بیودیزل گروه بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد (شکل ۳). از مخازن پلاستیکی برای جلوگیری از خوردگی در اثر استفاده از مواد شیمیایی تحت دمای بالا، به منظور تولید و خالص سازی بیودیزل استفاده شد. برای تسریع سرعت واکنش باید دمای آن تا نزدیکی دمای جوش متانول افزایش یابد [2]. بدین منظور از دو المنت حرارتی به توان ۵۰۰ وات استفاده شد. این دو المنت به طور مستقیم درون مخزن واکنش قرار می گیرد. برای اندازه گیری دمای محیط واکنش در هر لحظه و جلوگیری از افزایش بیش از حد دما، از یک ترموکوپل نوع k برای اندازه گیری دما و ترموستات برای کنترل دما استفاده شد. با توجه به اینکه دمای محیط واکنش نزدیک نقطه جوش الکل تنظیم می شود، برای جلوگیری از خارج شدن الکل از محیط واکنش، از یک مبرد بر روی مخزن واکنش استفاده گردید. الکل تبخیر شده توسط جریان آب درون مبرد، سرد شده و به مایع تبدیل و دوباره به مخزن واکنش برگشت داده می شود. افزودن مخلوط الکل و واکنشگر به روغن، باعث

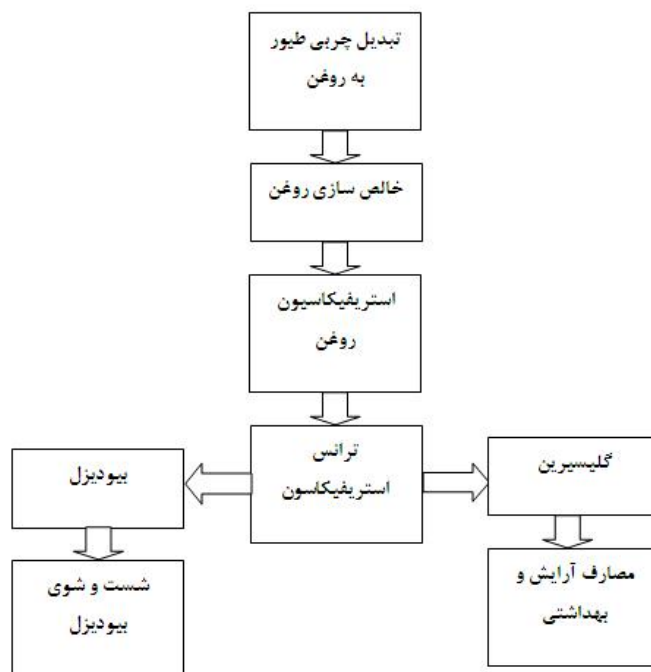
بوجود آمدن مخلوط غیر همگن شده و واکنش مطلوب تنها در سطح تماس دو فاز انجام می‌شود. بنابراین برای مخلوط کردن مواد در حین واکنش از یک همزن برقی استفاده شد. بهم خوردن مواد علاوه بر مخلوط کردن دو فاز و ایجاد مخلوط همگن به انتقال حرارت نیز کمک می‌کند [11]. همچنین از قیف‌های دکانتور برای جدا کردن دو فاز تشکیل شده بعد از واکنش های تولید سوخت استفاده شد.



شکل ۳- تجهیزات تولید بیودیزل

۳-۲- روش تولید سوخت

تولید بیودیزل طبق فرآیند شکل ۴ صورت می‌گیرد.



شکل ۴- فرآیند تولید بیودیزل

۱-۳-۲- تبدیل چربی طیور به روغن

یکی از شیوه های مرسوم جهت تبدیل چربی به روغن استفاده از روش گرما دهی مستقیم به چربی می باشد. در اثر استفاده از حرارت مستقیم، دمای چربی سریعاً بالا رفته که منجر به تولید اسیدهای چرب آزاد می شود که در مراحل بعدی این اسیدهای چرب آزاد به نوبه خود باعث تولید صابون شده و جداسازی بیودیزل از گلیسرین را با مشکل مواجه می سازد. برای حل این مساله، استفاده از حرارت دهی غیر مستقیم کارساز می باشد. در روش حرارت دهی غیر مستقیم، ابتدا دمای آب به نقطه جوش رسیده و سپس چربی به داخل آب منتقل می شود [3]. پس از ذوب کامل چربی به واسطه حرارت آب، به صورت تدریجی دمای آب کاهش داده شده و در نهایت اعمال حرارت قطع می شود. روغن که چگالی کمتری نسبت به آب دارد، بر روی آب شناور بوده و بوسیله قیف دکانتور قابل جداسازی می باشد. در این فرآیند درصد تبدیل چربی به روغن ۱۴٪ بود. پس از استحصال روغن، به روش تیتراسیون آنالیز اولیه روغن انجام شد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج آنالیز اولیه روغن

واحد	مقدار	پارامترها
% mass	۰/۳۵٪	درصد آب
g.cm ⁻³	۰/۹۲۰	چگالی
% mass	۴۰/۷	درصد چربی اشباع
% mass	۵۹/۳	درصد چربی غیر اشباع
mg KOH.g ⁻¹	۳۵/۸۲	درصد اسید چرب آزاد

$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	۵۷/۳	ویسکوزیته سینماتیکی در ۴۰ درجه سلسیوس
-----------------------------------	------	---------------------------------------

۲-۳-۲- خالص سازی روغن

با توجه به اینکه مواد اضافی و رطوبت موجود در روغن بازده تبدیل روغن به بیودیزل را تحت تاثیر قرار می دهد. لذا با استفاده از صافی، روغن چندین مرحله از مواد زائد خالص سازی شده و همچنین از ۴ گرم جاذب رطوبت سولفات منیزیم به ازای ۱۰۰ سی سی روغن برای کاهش رطوبت روغن استفاده می شود [2]. در نهایت با چندین بار فیلتراسیون مجدد، جاذب رطوبتی از روغن خارج شد.

۲-۳-۳- مرحله استریفیکاسیون

بر اساس آنالیز اولیه، میزان اسید چرب آزاد روغن ۳۵/۸۲٪ بدست آمد. با توجه اینکه اسیدهای چرب آزاد در مرحله ترانس استریفیکاسیون، باعث کاهش بازده تبدیل شده و جداسازی بیودیزل از گلیسرین را با مشکل مواجه می سازد. لذا در این مرحله اسیدهای چرب آزاد موجود در روغن با متانول در حضور فریک سولفات واکنش داده و به متیل استر تبدیل می شوند. بنابراین روغن با مخلوطی شامل فریک سولفات به اندازه ۲ درصد وزنی روغن و متانول صنعتی با مولاریته ۱:۹ نسبت به روغن در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت واکنش دادند. پس از اتمام واکنش، مواد به درون قیف‌های دکانتور منتقل و به مدت ۷۲ ساعت به مواد فرصت داده شد تا محصول اصلی (متیل استر و تری گلیسیرید) از محصول فرعی (آب، فریک سولفات و الکل) جدا شوند (شکل ۵). بعد از جداسازی محصولات اصلی واکنش، نمونه‌ای از مواد اصلی تهیه و درصد اسیدهای چرب آزاد با روش تیتراسیون تعیین گردید. با استفاده از روش استری کردن روغن، درصد اسیدهای چرب آزاد به ۰/۸۱۷٪ کاهش یافت.



شکل ۵- روغن استری شده

۲-۳-۴- مرحله ترانس استریفیکاسیون

در این مرحله روغن استری شده با مخلوطی شامل متانول با مولاریته ۱:۶ نسبت به روغن و واکنشگر بازی پتاسیم هیدروکسید به مقدار یک درصد وزنی روغن، در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه واکنش دادند. محصول اصلی واکنش، بیودیزل (به رنگ زرد روشن) از گلیسرین (به رنگ تیره) با استفاده از قیف دکانتور جدا شد (شکل ۶). مدت زمان فرصت داده شده برای جداسازی کامل ۲ فاز، ۹۶ ساعت بود.



شکل ۶- جداسازی بیودیزل از گلیسرین

۵-۳-۲- مرحله خالص سازی بیودیزل

در این مرحله به منظور حذف ناخالص‌های بیودیزل از جمله کاتالیزور، الکل، صابون و گلیسرین از روش آب‌شویی استفاده شد. بدین منظور به ازای هر لیتر روغن به اندازه نیم لیتر آب مقطر با آن مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه بهم زده شد، تا مخلوطی همگن و شیری رنگ حاصل شود. مخلوط شیری رنگ حاصل برای جدا کردن دو فاز آب و بیودیزل به درون قیف دکانتور منتقل گردید. پس از ۴۸ ساعت، بیودیزل با رنگ روشن تری نسبت به مرحله قبل از آب جدا شد (شکل ۷). این فرآیند در سه مرحله تکرار شد.



مخلوط بیودیزل و آب ← جداسازی آب و بیودیزل ← بیودیزل خالص

شکل ۷- خالص سازی سوخت بیودیزل

پس از خالص سازی بیودیزل، خصوصیات مهم آن در آزمایشگاه بیوانرژی دانشگاه تربیت مدرس اندازه گیری شد. که با استاندارد ASTM مطابقت لازم را داشت (جدول ۲).

جدول ۲- خصوصیات بیودیزل تولید شده به همراه استاندارد های ASTM

واحد	دیزل	بیودیزل	حدود مجاز	استاندارد آزمون (ASTM)	خصوصیات
MJ.kg ⁻¹	۴۲/۲	۴۰/۵	-	D-240	ارزش حرارتی
°C	۶۲/۷	۱۵۳/۲	حداقل ۱۳۰	D-92	نقطه اشتعال
mm ² .s ⁻¹	۲/۵۲	۴/۷۳۸۰	۶-۱/۹	D-445	گرانروی سینماتیک در ۴۰°C
°C	-۳	-۲	حداقل -۷	D-2500	نقطه ابری شدن
°C	-۲۱	-۵	حداقل -۱۰	D-97	نقطه ریزش
g.cm ⁻³	۰/۸۲۰	۰/۸۶۰۷	حداکثر ۰/۹	D-4052	چگالی

۴- نتیجه گیری

- ۱- یکی از پسماند طیور پس از کشتار، چربی های زیر پوست و اطراف قسمت های مختلف دستگاه گوارشی است که با تبدیل این نوع چربی به روغن، می توان یک منبع اقتصادی برای تولید بیودیزل امکان پذیر ساخت.
- ۲- به منظور استخراج روغن از چربی طیور، گداختن (پیرولیز) چربی بهترین روش می باشد. اما در طی این فرآیند درصد اسید چرب آزاد به خاطر افزایش سریع دمای روغن افزایش می یابد. لذا برای غلبه بر این مشکل، چربی به صورت مستقیم به داخل آب جوش منتقل می شود. پس از ذوب کامل چربی، حرارت دهی قطع شده و مخلوط به حال خود رها می شود. روغن که چگالی کمتری نسبت به آب دارد در سطح آب شناور بوده و براحتی قابل جداسازی می باشد.
- ۳- یکی از عمده مشکلات روغن چربی های حیوانی و طیور، درصد اسیدهای چرب آزاد بالای آنهاست. در موقع واکنش بین الکل و روغن در حضور واکنشگر بازی، این اسیدهای چرب با واکنشگر بازی واکنش نشان داده و به تولید آب و صابون می انجامد. صابون تولید شده نیز جداسازی بیودیزل از گلیسیرین را با مشکل مواجه می سازد. لذا برای حل این مشکل از فریک سولفات (سولفات آهن) به عنوان یک واکنشگر به منظور استری کردن روغن جهت کاهش حداکثری اسیدهای چرب آزاد استفاده شد.
- ۴- در فرآیند استخراج بیودیزل از روغن چربی طیور، هیچ نوع ماده پسماند تولید نمی گردد. حتی گلیسیرین که به عنوان یک محصول جانبی است، می توان در مصارف آرایشی و بهداشتی از آن استفاده نمود.

۵- منابع

- ۱- باقر پور، ح.، قبادیان، ب.، توکلی، ت.، محمدی، ع.، فیض اله نژاد، م. و نزوی، ع.، "تولید سوخت بیودیزل از روغن پسماند با استفاده از روش ترانس استریفیکاسیون"، مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، ۶ شهریور ۱۳۸۷.



- ۲- ثابت سروسستانی، ن.، فرزاد، ع. و عشقی، ح.، "استری کردن روغن خوراکی پسماند با استفاده از فریک سولفات جهت کاهش اسیدهای چرب آزاد روغن در تولید صنعتی بیودیزل"، هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیکاسیون، ۱۴-۱۶ شهریور ۱۳۹۱.
- ۳- شمش، س.، ابراهیمی، ر.، قضاوی، م.ع.، بشارتی، ش. و اسماعیلی، ش.، "بررسی برخی از پارامترهای تاثیر گذار بر تولید بیودیزل از چربی مرغ"، دومین کنفرانس سالانه انرژی پاک، ۲۱=۲۲ تیر ۱۳۹۱.
- ۴- نجفی، ب.، "فرآیند تولید اتیل استر چربی حیوانی به عنوان سوخت بیودیزل"، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، ۳۰ آبان الی ۱ آذر ۱۳۹۰.
- ۵- ترکیان بلداجی، م.، نجفی، ب. و حجازی، ا.، "تولید بیودیزل از میکروکلبلک *Chlorella Vulgaris* و تعیین برخی خواص فیزیکی و شیمیایی آن"، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۲۰، شماره ۷۸/۱، زمستان ۱۳۸۹.
- ۶- تحویلدار، ک. و امانی، م.ع.، "تهیه بیودیزل از روغن گلرنگ و بررسی ویژگی های مخلوط ۲۰ درصد آن با سوخت دیزل"، مجله پژوهش های کاربردی در شیمی، سال چهارم، بهار ۱۳۸۹، شماره ۱۳.
- ۷- باخدا، ح.، الماسی، م.، مینایی، س. و مشهدی میغانی، ح.، "بررسی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی متیل استر منداب به عنوان سوخت بیودیزل"، مجله یافته های نوین کشاورزی، سال اول، شماره ۲، زمستان ۱۳۸۵.
- ۸- معلمی اوره، ع.، "بررسی انواع کاتالیست ها در تولید سوخت بیودیزل"، همایش ملی مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسامشهر، ۱۲ اسفند ۱۳۸۸.

9-Chen, L., Tianzhong, L., Wei, Z., Xiaolin, C., and Junfeng, W., "Biodiesel production from algae oil high in free fatty acids by two-step catalytic conversion", *Bioresource Technology*, Vol.111, pp.208-214, 2012.

10- Gomes, M. C. S., Arroyo, P. A., and Pereira, N. C., "Biodiesel production from degummed soybean oil and glycerol removal using ceramic membrane", *Journal of Membrane Science*, Vol. 378, pp.453-461, 2011.

11- Öner, C., and Altun, S., "Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine", *Applied Energy*, Vol.86, pp. 2114-2120, 2009.

12- Guru, M., Koca, A., Can, O., Çınar, C., and ahin, F. S., "Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine", *Renewable Energy*, Vol.35, pp.637-643, 2010.

13- Zhang, Y., Dube, M. A., McLean, D. D., and Kates, M., "Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment", *Bioresource Technology*, Vol. 89, pp.1-16, 2003.

14- Patil, P., Deng, S., Rhodes, J. I., and Lammers, P. J., "Conversion of waste cooking oil to biodiesel using ferric sulfate and supercritical methanol processes", *Fuel* Vol.89 pp. 360-364, 2010.

15- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. R. A., and Sulaiman, N. M. N., "The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.16, pp.3456-3470, 2012.

16- Vicente, G., Martinez, M., and Aracil, J., "Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems", *Bioresource Technology*, Vol.92, pp.297-305, 2004.

17- Wang, Y., Ou, S., Liu, P., and Zhang, Z., "Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process", *Energy Conversion and Management*, Vol.48, pp.184-188, 2007.



18- Corro, G., Tellez, N., Ayala, E., and Marinez-Ayala, A., "Two-step biodiesel production from *Jatropha curcas* crude oil using SiO₂_HF solid catalyst for FFA esterification step", *Fuel*, Vol.89 pp.2815–2821, 2010.

19- Yahyaei, R., Ghobadian, B., and G.Najafi, "Waste fish oil biodiesel as a source of renewable fuel in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.17, 2013.

20- Korbitz, W., "Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect", *Renew Energy*, Vol.16, pp.1078–1183, 1999.

21- Yao, R., Baizhan, Li., and Koen, s., "Energy policy and standard for built environment in China", *Renew Energy*", Vol.30, pp.1973–88, 2005.

22- Barnwal, B.K., and Sharma, M.P., "Prospects of biodiesel production from vegetables oils in India", *Renew Sust Energy Rev*, vol.9, pp.363–78, 2005.

Biodiesel production from poultry fat oil high in free fatty acids

In this study, conversion of poultry fat oil to methyl esters was carried out using the ferric sulfate and the supercritical methanol processes. A two-step transesterification process was used to remove the high free fatty acid contents in the poultry fat oil (PFO). This process resulted in a feedstock to biodiesel conversion yield of about 95% using a ferric sulfate catalyst. In the supercritical methanol transesterification method, the yield of biodiesel was about 92% in only 90 min of reaction time. The test results revealed that supercritical process method is probably a promising alternative method to the traditional two-step transesterification process using a ferric sulfate catalyst for poultry fat oil conversion. The important variables affecting the methyl ester yield during the transesterification reaction are the molar ratio of alcohol to oil, the catalyst amount and the reaction temperature.

Keywords: Biomass, poultry fat, acid value, ferric sulfate and thermal cracking.