

ارزیابی تأثیر اولتراسونیک در کیفیت بیودیزل تولیدی از روغنهای ضایعاتی رستوران

زهره دیدار^{1*}، یاسر زنگنه اسدآبادی²، فاطمه عابدی³

¹گروه علوم و صنایع غذایی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
²کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
³کارشناسی ارشد شیمی تجزیه، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

تاریخ پذیرش: 1392/11/25

تاریخ دریافت: 1392/5/3

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی خصوصیات بیودیزل تولیدی توسط کاتالیزورهای هموزن و هتروژن در شرایط معمولی و اولتراسونیک می باشد. این تحقیق نشان داد، ترانس استریفیکاسیون سبب کاهش میزان ویسکوزیته سینماتیک نسبت به روغن اولیه گردید ($p < 1\%$). کمترین میزان ویسکوزیته سینماتیک در تیمار تهیه شده توسط کاتالیزور هموزن و هتروژن در شرایط اولتراسونیک بود. میزان ویسکوزیته سینماتیک فقط در این دو تیمار در دامنه استاندارد ASTM D6751 قرار داشت. کمترین میزان دانسیته بیودیزل تولیدی مربوط به تیمار تهیه شده توسط کاتالیزور هتروژن و تحت شرایط اولتراسونیک بود. ولی به طور کلی در تمامی تیمارها میزان این فاکتور بیش از دامنه استاندارد ASTM D6751 بود. در مورد وزن مخصوص نیز کمترین میزان متعلق به تیمارهای تولیدی تحت شرایط اولتراسونیک توسط کاتالیزور هموزن و هتروژن بود. اما میزان این فاکتور نیز در تمامی تیمارها بیش از میزان تعیین شده در استاندارد ASTM D6751 بود.

واژه های کلیدی: روغن سرخ کردنی، بیودیزل، کاتالیزور هموزن، کاتالیزور هتروژن، اولتراسونیک

1- مقدمه

بیودیزل از روغن سویا، کاهش زمان و صرفه جویی قابل توجه در میزان مصرف انرژی را به دنبال داشت (9). یو⁴ (2010) گزارش نمود اولتراسونیک سبب بهبود تولید بیودیزل می گردد (24). چاند⁵ (2010) در تولید بیودیزل از روغن سویا دو روش همزدن مکانیکی و اولتراسونیک را با یکدیگر مقایسه نمود و گزارش داد زمان مورد نیاز در روش اولتراسونیک به میزان قابل توجهی کاهش یافت (8). مطابق تحقیق لاپکیتاوان⁶ (2010) استفاده از اولتراسونیک به منظور تولید بیودیزل با استفاده از کاتالیزور هموزن و هتروژن امکان پذیر است (16).

2- مواد و روشها

2-1- مواد مورد استفاده

روغن مورد استفاده در این تحقیق از روغن سرخ کردنی ضایعات رستورانهای محلی استفاده گردید. در تمامی واکنش های ترانس استریفیکاسیون الکل مصرفی، متانل ساخت مرک آلمان بود. رزین کاتیونی مرک به عنوان کاتالیزور هتروژن به کار برده شد. مواد شیمیایی به کار برده شده در این تحقیق همگی ساخت شرکت مرک آلمان بود. به منظور ترانس استریفیکاسیون تحت اولتراسونیک، دستگاه اولتراسونیک مارک Eurosonic 4D با قدرت 350 وات و فرکانس 50KHz به کار برده شد.

2-2- روشها

2-2-1- آزمونهای روغن اولیه

آزمونهای انجام شده بر روی روغن اولیه شامل اندازه گیری میزان اسیدهای چرب آزاد و میزان رطوبت روغن است (1).

2-2-2- آماده سازی رزین تبادل یون کاتیونی

اولین مرحله خارج کردن ناخالصی ها از رزین است. رزین تازه در آب مقطر برای دو روز خیسانده شد. پس از این که کاملاً متورم گردید رزین در یک ستون شیشه ای قرار داده شد و با اسید کلریدریک با غلظت 2 mol/l با سرعت 1 ml/cm² در هر دقیقه شستشو شد. حجم اسید مصرفی 20 برابر میزان رزین بود. پس از این مرحله رزین با آب مقطر شستشو شد تا میزان pH آن به 7 رسید. رزین سپس با سود 1 mol/l با سرعت 1 ml/cm² در هر

آلکیل مونواسترهای اسیدهای چرب آزاد حاصل از روغنهای گیاهی و چربیهای حیوانی که ویژگیهایی مشابه سوخت دیزلی دارند، بیودیزل نامیده می شوند. سوخت بیودیزل می تواند در ماشین های دیزلی کنونی با کمی تغییرات و یا حتی بدون تغییرات استفاده شود. مهمترین مزیت استفاده از بیودیزلها، خاصیت تجدید پذیری، کیفیت بهتر گاز نشر¹ و قابلیت تجزیه میکروبی آنهاست. همچنین این سوختها سبب افزایش میزان دی اکسید کربن در اتمسفر در نتیجه پدیده گرم شدن گلخانه ای نمی شوند (21). چالش اصلی برای تولید معمول بیودیزل از روغنها و چربی های خوراکی، هزینه بالا و دسترسی محدود به این منابع است (15). ضایعات روغن پخت، پسماند روغن رستوران ها و چربی های حیوانی می توانند مواد خام برای تولید بیودیزل باشند. جهت کاهش ویسکوزیته و افزایش فرآیند روغن ها و چربیها، از ترانس استریفیه کردن و تبدیل آنها به یک آلکیل استر استفاده می شود (18). متانول و اتانل دو الکل سبک اصلی مورد استفاده در ترانس استریفیکاسیون هستند. واکنش ترانس استریفیکاسیون برای تولید بیودیزل می تواند توسط قلیاها، اسیدها و آنزیم ها کاتالیز شود. علاوه بر این استفاده از کاتالیزورهای هتروژن نیز در تولید بیودیزل ها گزارش شده است. از جمله کاتالیزورهای هتروژن مورد استفاده رزین ها هستند (6، 17، 20).

استفاده از امواج اولتراسونیک با بهبود انتقال جرم دو مایع غیر قابل امتزاج ایده نوینی در تولید بیودیزل فراهم نموده است (13). به منظور کوتاه کردن زمان واکنش، استفاده از تکنیک امواج اولتراسونیک به علت مخلوط کردن بهتر بین دو فاز به کار برده می شود. این روش با شکستن مایع ایجاد حبابهای ریز می کند که در نتیجه سبب افزایش سرعت انتقال جرم می شود (19).

استاواراچ² (2005) بر روی اثر امواج اولتراسونیک با فرکانس پایین (28 تا 40 کیلوهرتز) در واکنش ترانس استریفیکاسیون روغن های گیاهی با الکل های کوتاه زنجیره مطالعه نموده و گزارش نمود با استفاده از امواج اولتراسونیک زمان واکنش نسبت به روش هم زدن مکانیکی متداول به میزان قابل توجهی کاهش می یابد (22). مطابق گزارش سینتاس³ (2010) استفاده از اولتراسونیک با انرژی بالا در یک سیستم مداوم برای تولید

4 - Yu

5 - Chand

6 - Larpiattaworn

1 - Emission gas

2 - Stavarach

3 - Cintas

جدول 1: شرایط عملیات ترانس استریفیکاسیون در تیمارهای

تیمار	مختلف
تیمار 1	روغن ضایعاتی اولیه
تیمار 2	اسید سولفوریک 3%، دمای 60°C، زمان واکنش 96 ساعت، نسبت مولی الکل 6:1.
تیمار 3	رزین کاتیونی، نسبت مولی الکل 10:1، کاتالیزور 1:3، دمای 325 درجه کلونین، زمان واکنش 9 ساعت.
تیمار 4	اسید سولفوریک 3%، دمای 60°C، زمان واکنش 1/5 ساعت، نسبت مولی الکل 6:1، اولتراسونیک 350 وات، فرکانس 50KHz.
تیمار 5	رزین کاتیونی، نسبت مولی الکل 10:1، کاتالیزور 1:3، دمای 60°C، زمان واکنش 1/5 ساعت، اولتراسونیک 350 وات، فرکانس 50KHz.

2-2-4- شستشوی بیودیزل

2-2-4-1- شستشو توسط اولتراسونیک

در تیمارهایی که با روش اولتراسونیک تهیه شده بودند، شستشو نیز به روش اولتراسونیک صورت گرفت. بدین صورت که بیودیزل خام تولیدی (15 میلی لیتر) در یک دستگاه اولتراسونیک Eurosonic 4D با 15 میلی لیتر آب دیونیزه در دمای اتاق برای مدت 2 دقیقه قرار داده شد و سپس مخلوط توسط سانتریفوژ جدا شد (23).

2-2-5- ویژگی های بیودیزل

اندازه گیری ویسکوزیته سینماتیک (4)، دانسیته (3) و وزن مخصوص (3) مطابق روش های ASTM انجام شد.

2-3- روش تجزیه و تحلیل آماری

طرح به صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین به روش دانکن انجام شد. جهت آنالیز آماری از نرم افزار SPSS استفاده گردید.

3- نتایج و بحث

3-1- ویژگیهای روغن اولیه

میزان اسیدهای چرب آزاد در روغن ضایعاتی اولیه 2/5% و درصد رطوبت روغن 0/02% بود. نتایج این آزمونها نشان دهنده غلظت بالای اسیدهای چرب آزاد است به طوری که ترانس

دقیقه شستشو شد. حجم سود مصرفی ده برابر حجم رزین بود پس از این مرحله باقیمانده سود توسط آب مقطر شستشو شد (17).

2-2-3- روشهای ترانس استریفیکاسیون

2-2-3-1- ترانس استریفیکاسیون با استفاده از کاتالیزور

هموژن

شرایط واکنش مطابق کاناکی¹ (2003) (7) انتخاب گردید شامل نسبت مولی الکل 6:1، میزان اسید سولفوریک 3%، دمای واکنش 60°C، زمان واکنش 96 ساعت در انکوباتور مدل IKA KS 4000ic انجام گردید. در مورد تهیه بیودیزل تحت اولتراسونیک، بجای استفاده از گرمخانه مجهز به صفحه گردان، با استفاده از دستگاه اولتراسونیک 350 وات، فرکانس 50KHz در دمای 60°C و مدت زمان واکنش 1/5 ساعت انجام شد.

2-2-3-2- ترانس استریفیکاسیون با استفاده از کاتالیزور

هتروژن

در یک ارلن مایر 125 میلی لیتری روغن، متانول و کاتالیست رزین ریخته شد. نسبت مولی متانول به روغن 10:1 و نسبت کاتالیزور به روغن 1:3 در نظر گرفته شد. ارلن ها در گرمخانه مجهز به صفحه گردان با سرعت 350 دور در دقیقه در دمای 325 درجه کلونین نگه داشته شد. طول مدت زمان واکنش 3 ساعت در نظر گرفته شد (12). در مورد تهیه بیودیزل تحت اولتراسونیک، بجای استفاده از گرمخانه مجهز به صفحه گردان با استفاده از دستگاه اولتراسونیک 350 وات، فرکانس 50KHz در دمای 60°C و مدت زمان واکنش 1/5 ساعت انجام شد.

2-2-4-2- شستشو توسط اسید فسفریک

در تیمارهایی که به روش معمولی تهیه شده بودند، شستشو توسط اسید فسفریک صورت گرفت. بدین صورت که بیودیزل خام تولیدی (15 میلی لیتر) ابتدا توسط 15 میلی لیتر اسید فسفریک 5% در دمای اتاق شستشو شد و توسط سانتریفوژ جداسازی گردید. سپس نمونه بیودیزل جداسازی شده مجدداً توسط 15 میلی لیتر آب دیونیزه در دمای اتاق شستشو شد و جداسازی توسط سانتریفوژ صورت گرفت.

مطابق این استاندارد میزان ویسکوزیته مناسب برای بیودیزل $1/9-6 \text{ mm}^2/\text{s}$ تعیین شده است.

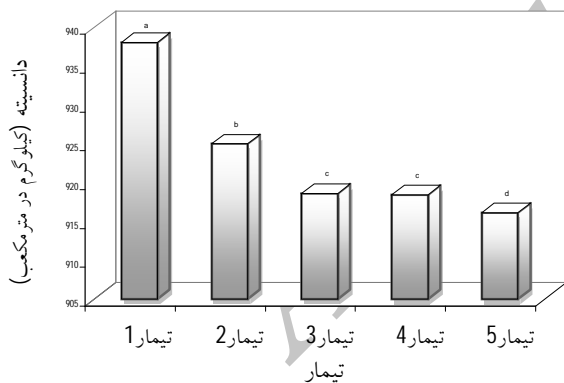
برنارد² (2009) گزارش نمود استفاده از رزین های اسیدی قوی در روغنهای مورد استفاده جهت سرخ کردن با میزان اسید چرب آزاد بالا (15/7%) می تواند به کار برده شود به گونه ای که در زمان 25 ساعت تقریباً 100% تبدیل اسید استئاریک صورت گرفته است (6). کیم³ (2008) تأثیر رزین های آبیونی را در بهبود تولید بیودیزل و واکنش ترانس استریفیکاسیون تأیید نموده است.

مطابق تحقیق هان⁴ (2010) تهیه بیودیزل از روغن جاتروفا⁵ با استفاده از اتانل تحت شرایط اولتراسونیک بهترین نتیجه در نسبت مولی الکل به روغن 6:1، با آدرصد وزنی سود، در دمای 30 درجه سانتی گراد و زمان 30 دقیقه بود (11).

فان⁶ (2008) گزارش نمود که با روش اولتراسونیک به مدت 10 دقیقه در دمای اتاق (25 درجه سانتی گراد) و نسبت مولی متانول به روغن 6:1، و 1% وزنی سود و فرکانس 40 کیلوهرتز راندمان 95% تولید بیودیزل از روغن پنبه دانه حاصل می شود (10).

3-3-2- دانسیته و وزن مخصوص

شکل 2 و 3 نشان دهنده میزان دانسیته و وزن مخصوص در تیمارهای مختلف این تحقیق است.



شکل 2- مقایسه میانگین دانسیته انواع مختلف بیودیزل تولیدی (اعداد با حروف یکسان دارای تفاوت معنی داری در سطح $p < 1\%$ نیستند)

2 - Bernhard

3 - Kim

4 - Hanh

5- *Jatropha curcas*

یک گونه گیاهی گلدار است که بومی مناطق گرمسیری آمریکا، به احتمال زیاد مکزیک و آمریکای مرکزی می باشد.

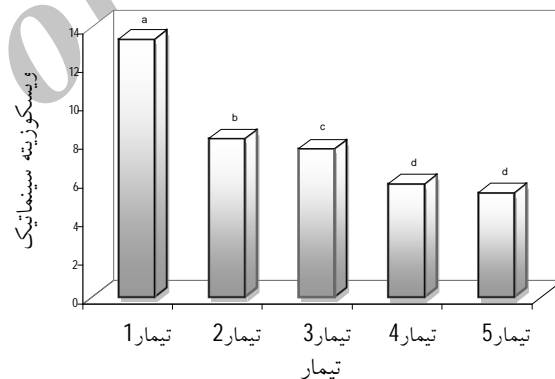
6 - Fan

استریفیکاسیون اسیدی باید به منظور تهیه بیودیزل صورت گیرد. در صورتی که میزان آب و اسیدهای چرب آزاد موجود در تری گلیسرید زیاد باشد، ترانس استریفیکاسیون اسیدی را می توان به کار برد (18). متداول ترین کاتالیزور اسیدی، اسیدهای سولفوریک، سولفونیک و هیدروکلریک است. آل ویدیان¹ و همکاران (2002) دریافتند که اسید سولفوریک کاتالیزور بهتری در واکنش ترانس استریفیکاسیون روغن پالم ضایعاتی جهت تولید بیودیزل است (2). لذا جهت استریفیکاسیون در این تحقیق از روش ترانس استریفیکاسیون اسیدی توسط اسید سولفوریک استفاده شد.

3-3-3- ویژگیهای بیودیزل

3-3-3-1- ویسکوزیته سینماتیک

شکل 1 نشان دهنده میزان ویسکوزیته سینماتیک در تیمارهای مختلف است.



شکل 1- مقایسه میانگین ویسکوزیته سینماتیک انواع بیودیزل

تولیدی

(اعداد با حروف یکسان دارای تفاوت معنی داری در سطح $p < 1\%$ نیستند)

ترانس استریفیکاسیون سبب کاهش میزان ویسکوزیته سینماتیک نسبت به روغن اولیه گردید ($p < 1\%$). کمترین میزان ویسکوزیته سینماتیک در تیمار تهیه شده توسط کاتالیزور هموزن و هتروژن در شرایط اولتراسونیک بود. مطابق این تحقیق میزان ویسکوزیته سینماتیک فقط در این دو تیمار 3 و 4 در دامنه استاندارد ASTM D6751 (5) قرار داشت (به ترتیب $5/86 \text{ mm}^2/\text{s}$ و $5/4$).

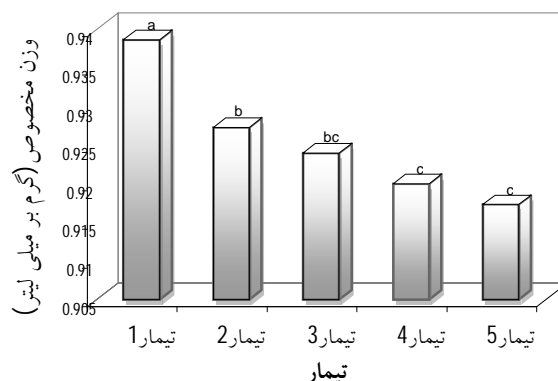
1 - Al- Widyan

راندمان تولید بیودیزل در روش اولتراسونیک بیش از روش همزدن مکانیکی بوده است (14).

در تحقیق اگزوان¹ (2012) ترانس استریفیکاسیون روغن کاملینا² تحت شرایط اولتراسونیک با نسبت متانول به روغن، 8:1، میزان کاتالیزور، 1/25% و زمان واکنش 50 دقیقه و دمای واکنش 55 درجه سانتی گراد و فرکانس 40 KHz ویژگیهای بیودیزل حاصله از نظر دانسیته، ویسکوزیته و اندیس اسیدی با استانداردهای ASTM و EN بیودیزل مطابقت داشت. تفاوت در ویژگیهای بیودیزل حاصله تحت شرایط اولتراسونیک در تحقیق حاضر نسبت به تحقیقات مشابه ممکن است به علت تفاوت در شرایط اولتراسونیک و نیز واکنش ترانس استریفیکاسیون باشد. مطابق گزارش کاک (2011) هر قدر قدرت اولتراسونیک بیشتر باشد، تبدیل روغن سویا به متیل استر بیشتر رخ می دهد. در روش اولتراسونیک، خالص سازی نیز توسط اولتراسونیک صورت گرفت که این امر می تواند در کیفیت بیودیزل نهایی مؤثر باشد. مطابق گزارش اگزوان (2012) روش شستشو با اولتراسونیک بالاترین راندمان تولید متیل استر را در مقایسه با سایر روشهای شستشو نظیر شستشو با آب دیونیزه سرد، آب دیونیزه گرم و شستشو با اسید فسفریک نشان داده است (96/8%).

4- نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر امواج اولتراسونیک بر ویژگیهای مختلف بیودیزل تولیدی از روغن ضایعاتی مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، ترانس استریفیکاسیون توسط امواج اولتراسونیک در حضور کاتالیزور هموزن و هتروژن منجر به کاهش قابل توجه میزان ویسکوزیته سینماتیک گردید به طوری که ویسکوزیته سینماتیک در این دو تیمار در دامنه استاندارد ASTM6751 قرار داشت. میزان دانسیته نیز در تیمار تهیه شده توسط روش اولتراسونیک در حضور کاتالیزور رزین کاتیونی کمترین میزان را دارا بود. در مورد وزن مخصوص نیز کمترین میزان متعلق به تیمارهای تولیدی تحت شرایط اولتراسونیک توسط کاتالیزور هموزن و هتروژن بود. اما در تمامی تیمارها میزان دانسیته و وزن مخصوص بیش از میزان تعیین شده در استاندارد ASTM6751 بود.



شکل 3- مقایسه میانگین وزن مخصوص انواع مختلف بیودیزل تولیدی

(اعداد با حروف یکسان دارای تفاوت معنی داری در سطح $p < 1\%$ نیستند)

دانسیته و وزن مخصوص در تمامی تیمارها نسبت به روغن اولیه کاهش معنی داری نشان می دهد ($p < 1\%$). کمترین میزان دانسیته بیودیزل تولیدی مربوط به تیمار تهیه شده توسط کاتالیزور رزین کاتیونی و تحت شرایط اولتراسونیک است (916/16 کیلوگرم در متر مکعب). ولی به طور کلی در تمامی تیمارها میزان این فاکتور بیش از دامنه استاندارد ASTM6751 می باشد. در مورد وزن مخصوص نیز کمترین میزان متعلق به تیمارهای تولیدی تحت شرایط اولتراسونیک توسط کاتالیزور اسید سولفوریک و رزین کاتیونی است (به ترتیب 0/92 و 0/917 گرم در میلی لیتر). اما میزان این فاکتور نیز در تمامی تیمارها بیش از میزان تعیین شده در استاندارد ASTM6751 می باشد. مطابق استاندارد ASTM6751 میزان وزن مخصوص 0/88 و میزان دانسیته استاندارد 860-895 است (5). به طور کلی اولتراسونیک سبب کاهش زمان جهت واکنش ترانس استریفیکاسیون می گردد به طوری که در تیمارهای 2 و 3، زمان واکنش 96 ساعت بود و در روش اولتراسونیک 1/5 ساعت در نظر گرفته شد.

کاک (2011) تهیه بیودیزل از روغن سویا با روش اولتراسونیک با استفاده از دستگاه اولتراسونیک با قدرت 1000 وات و فرکانس 20 کیلوهرتز به مدت 30 دقیقه را مورد بررسی قرار داد و با روش همزدن مکانیکی مقایسه نمود. میزان دانسیته در روش اولتراسونیک 0/88 و روش مکانیکی 0/86، ویسکوزیته در روش اولتراسونیک 6/06 و در روش مکانیکی 4/66 گزارش شده است.

1 - Xuan
2 -Camelina

5- سپاس گزاری

با تشکر از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور که بودجه انجام این پژوهش را تأمین نمودند.

6- منابع

13. Koc, A.B., McKenzie, E.H. 2010. Effects of ultrasonication on glycerin separation during transesterification of soybean oil. *Fuel Processing Technology*, 14. 91(7), 743-748.
14. Koc, A., Abdullah, M., and Fereidouni, M. 2011. Soybeans Processing for Biodiesel Production Available from: <http://www.intecopen.com/book/soybean-application-and-technology/soybean-processing-for-biodiesel-production>.
15. Krawczyk, T. 1996. Biodiesel. *INFORM* 7: 801-822.
16. Larpiattaworn, S., Jeerapan, C., Tongpan, R., Tongon, S. 2010. Ultrasonic on Transesterification Reaction for Biodiesel Production. 7th Biomass Asia Workshop, November 29-December 01, Jakarta, Indonesia.
17. Lu, X., Zhang, Y., YU, Y., Ji, J. 2010. Deacidification and Esterification of Waste Cooking OIL: Comparison of the Coupled Process with Stand-alone Catalytic Esterification and Extraction Processes. *Bioresource* 5(1), 147-158.
18. Ma, F., L.D. Clements, and M.A. Hanna. 1999. The effect of mixing on transesterification of beef tallow. *Bioresource Technology* 69: 289-293.
19. Mason T.J. 1999. Sonochemistry: Current uses and future prospects in the chemical and processing industries. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 357(1751):355-369.
20. Paterson, G. 2012. Ion-Exchange Resins As Heterogeneous Catalysts In Biodiesel Production From Triolein And Canola Oil. Available from <http://hdl.handle.net/10388/ETD-2012-06-484>
21. Singh, A., B. He, J. Thompson, and J. Van Gerpen. 2006. Process optimization of biodiesel production using alkaline catalysts. *Applied Engineering in Agriculture*. 22: 597-600.
22. Stavarache C., Vinatoru M., Nishimura R. and Maeda Y. 2005. Fatty acids methyl esters from vegetable oil by means of ultrasonic energy. *Ultrasonics Sonochemistry*. 12(5):367-372.
23. Xuan, W., 2012. Optimization of biodiesel production and purification for maximizing biodiesel yield from camelina oil. Ph.D. Thesis. The University of Hong Kong . <http://hdl.handle.net/10722/180949>
24. 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(4), 519-525.
1. ماجدی، م. روشهای آزمون شیمیائی مواد غذایی. جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران؛ چاپ اول 1373.
2. Al- Widyana, M.I and A. O. Al- Shyoukh. 2002. Experimental evaluation of transesterification of waste palm oil into biodiesel. *Bioresource Technology* 85: 253-256.
3. ASTM D1298-99. 2005. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of crude petroleum and Liquid Products by Hydrometer Method
4. ASTM D445-11a. 2011. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity).
5. ASTM D6751 - 11b. 2011. Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels.
6. Bernhard M.E. Russbuedt, Wolfgang F. Hoelderich. 2009. New sulfonic acid ion-exchange resins for the preesterification of different oils and fats with high content of free fatty acids. *Applied Catalysis A: General* 362, 47-57.
7. Canakci, M. and J. van Gerpen. 2003. Apilot plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstocks. *Transactions of ASAE* 46: 945-954.
8. Chand, P., Chintareddy, V.R., Verkade, J.G., Grewell, D. 2010. Enhancing Biodiesel Production from Soybean Oil Using Ultrasonics. *Energy & Fuels*, 24(3), 2010-2015.
9. Cintas, P., Mantegna, S., Gaudino, E.C., Cravotto, G. 2010. A new pilot flow reactor for high-intensity ultrasound irradiation. Application to the synthesis of biodiesel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(6), 985-989.
10. Fan, X. 2008. Optimization of Biodiesel Production from Crude Cottonseed Oil and Waste Vegetable Oil: Conventional and Ultrasonic Irradiation Methods. A Thesis Presented to the Graduate School of Clemson University.
11. Hanh, H.D., Kim, D.D., Dong, N.T., Linh, N.T., Biodiesel production from Jatropha curcas oil under Ultrasonic irradiation Condition. 7th Biomass Asia Workshop, November 29 December 01, 2010, Jakarta, Indonesia. Available from: www.Biomassasiaworkshop.ip/biomassws/07/workshop/.../29.%20Hoang%20Duc%20Hahn-Full%20Paper.pdf.
12. Kim, M., Salley, S.O., Ng, K.Y.S. 2008. Transesterification of Glycerids Using a Heterogenous Resin Catalyst Combined with a Homogenous Catalyst. *Energy & Fuel*. 22, 3594-3599.