

بررسی راندمان مصرف انرژی در فرایند تولید بیودیزل به روش های مرسوم، فراصوت و ریزموج

محمد خوب بخت^{۱*}

gmkhoobbakht@pnu.ac.ir

محمود کریمی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۶

چکیده

زمینه و هدف: بیان انرژی یک ابزار مناسب برای تخمین شدت و مقبولیت محیطی محصولات تولیدی با توجه به مصرف سوخت های فسیلی و تخمین انرژی برگشتی محصولات می باشد. در این تحقیق نسبت و راندمان نهاده-ستاندهی انرژی در تولید بیودیزل از پسماند روغن های خوراکی به روش های مرسوم، فراصوت و ریز موج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: در این مطالعه انرژی نهاده هایی همچون نیروی انسانی، پسماند روغن خوراکی، الکل (متانول)، کاتالیست (KOH)، الکتریسیته و انرژی ماشین تولید بیودیزل و انرژی خروجی شامل: بیودیزل، گلیسرول، اضافات الکل، آب، صابون، مونوگلیسرید و دی گلیسرید برای محاسبه بازده انرژی، محاسبه شد.

یافته ها: در این تحقیق نسبت و راندمان نهاده-ستاندهی انرژی در تولید بیودیزل از پسماند روغن های خوراکی به روش های مرسوم، فراصوت و ریز موج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. انرژی مصرفی برای تولید هر لیتر بیودیزل در روش های فراصوت، ریزموج و مرسوم به ترتیب ۳۳/۷۳، ۳۵/۷۵ و ۳۴/۳۹ مگاژول بدست آمد. در تولید بیودیزل راندمان مصرف انرژی برای روش های فراصوت، ریزموج و مرسوم به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۰ و ۰/۷۷ برآورد شد.

بحث و نتیجه گیری: در مقایسه بین سه روش مذکور روش استفاده از پرتوهای فراصوت با عملکرد و راندمان انرژی بالاتر در مقایسه با روش های دیگر مورد تحقیق بهترین روش برآورد شد، همچنین شاخص تجدیدپذیری نیز در روش استفاده از پرتوهای فراصوت با ۷۵٪ از کل انرژی ورودی بالاترین مقدار را در مقایسه با روش های دیگر داشت.

واژه های کلیدی: بیودیزل، فراصوت، ریزموج، انرژی، ترانس استریفیکاسیون.

۱- استادیار، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

Evaluation of energy efficiency in production process of biodiesel to conventional, ultrasonic and microwave methods

Mohammad Khoobbakht ^{1*}

gmkhoobbakht@pnu.ac.ir

Mahmoud Karimi ²

Admission Date: August 21, 2023

Date Received: June 27, 2023

Abstract

Background and Objective: Energy balance is a suitable tool for assessing the effects of production on environment with considering the amount of fossil fuels used and the amount of energy output. In the present study, input-output energy ratio and energy efficiency of biodiesel production from waste cooking oil in three ways: conventional, using ultrasound irradiation and using microwave was investigated.

Material and Methodology: In this study the energy inputs such as waste cooking oil, methanol, catalyst, electricity and energy for biodiesel production and output of energy, including biodiesel, glycerin, excess alcohol, water, soap, monoglycerides and diglyceride to estimate energy efficiency were calculated.

Findings: The consumed energy for the methods of conventional, using ultrasound irradiation and using microwave were found 33.73, 35.75 and 34.39 MJ/L, respectively. The energy efficiency of biodiesel production in conventional, using ultrasound irradiation and using microwave were calculated 0.87, 0.80 and 0.77 respectively.

Discussion and Conclusion: Among the mentioned methods of biodiesel production in the present study, using ultrasound irradiation in the process of biodiesel production was found as the best method in terms of input-output energy ratio and energy efficiency. The using ultrasound irradiation with the renewability index of 75% was also found as the most renewable process among the studied methods.

Keywords: Solar panels, building, optimal angle, efficiency, architecture.

1- Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, Payame noor University, Tehran, Iran. **(Corresponding Author)*

2- Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, University of Arak, Arak, Iran.

مقدمه

انرژی‌های تجدیدپذیر منابع مهمی در بسیاری از کشورهای جهان به حساب می‌آیند. با این حال در مقیاس جهانی کمتر از ۱۵٪ منابع انرژی اولیه از منابع انرژی تجدیدپذیر تامین می‌شوند (۱). بیو دیزل یکی از انواع بیو سوخت هاست و خواصی بسیار شبیه به سوخت دیزل دارد. بیودیزل از نقطه نظر علم شیمی ترکیبی از اسیدهای چرب استرهای مونو-الکیل^۱ می‌باشد. بیودیزل به طور معمول از روش ترانس استریفیکاسیون^۲ تولید می‌شود که از واکنش دادن تری گلیسرید^۳ (ترکیبات اصلی روغن و چربی) با الکل‌های زنجیره کوتاه مثل متانول و اتانول به دست می‌آید (۲). به علت شباهت زیاد خصوصیات بیودیزل و سوخت دیزل، با به کارگیری این سوخت نه تنها نیازی به تغییر و اصلاح موتورهای دیزل نیست، بلکه همه زیرساخت‌های مربوط به ذخیره و توزیع سوخت دیزل برای سوخت بیودیزل نیز کاملاً قابل استفاده می‌باشد (۳). گذشته از آن، خصوصیات دیگر بیودیزل چون بازده انرژی بالا، تجدیدپذیری و همچنین مقدار بسیار کم گوگرد در مقایسه با سوخت دیزل باعث شده که این نوع سوخت، طرفداران جهانی پیدا کند (۴). تمایل استفاده از بیودیزل تا آنجاست که به طور مثال در برنامه توسعه انرژی برزیل عنوان شده است که به طور اجباری باید سوخت‌های دیزل تا سال ۲۰۰۸ حداقل شامل ۲٪ (B₂) و تا سال ۲۰۱۳ حداقل شامل ۵٪ (B₅) بیودیزل باشند (۵).

واکنش یک تری گلیسرید با الکل تنها در منطقه سطحی بین دو مایع ناهمگن رخ می‌دهد (۶). در حالت مرسوم از یک همزن برای اختلاط این دو مایع ناهمگن استفاده می‌شود، که این امر باعث کاهش زمان واکنش و افزایش تولید محصول خواهد شد. با این حال پژوهشگران پدیده جدیدی به نام پرتودهی فراصوت^۴ را به منظور اختلاط دو مایع ناهمگن معرفی کردند که معتقدند اختلاط بهتر و تشکیل امولسیون مناسب تر از مزیت‌های این ابزار جدید به شمار می‌آید (۷). به امواجی که دارای فرکانس بالاتر از محدوده قابل شنیدن برای انسان به طور معمول بیش از

مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه بیودیزل دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. داده‌های انرژی توسط دستگاه تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون در ظرفیت صد لیتری صورت گرفت. زمانی که روغن، الکل و هیدروکسیدپتاسیم در یک مخزن واکنش، تحت اختلاط قرار گیرد، واکنش ترانس استریفیکاسیون آغاز خواهد شد. نمودار جریان مراحل این روش در شکل (۱) ارائه شده است. برای تولید بیودیزل در مرحله‌ی

واکنش یک تری گلیسرید با الکل تنها در منطقه سطحی بین دو مایع ناهمگن رخ می‌دهد (۶). در حالت مرسوم از یک همزن برای اختلاط این دو مایع ناهمگن استفاده می‌شود، که این امر باعث کاهش زمان واکنش و افزایش تولید محصول خواهد شد. با این حال پژوهشگران پدیده جدیدی به نام پرتودهی فراصوت^۴ را به منظور اختلاط دو مایع ناهمگن معرفی کردند که معتقدند اختلاط بهتر و تشکیل امولسیون مناسب تر از مزیت‌های این ابزار جدید به شمار می‌آید (۷). به امواجی که دارای فرکانس بالاتر از محدوده قابل شنیدن برای انسان به طور معمول بیش از

3- Triglyceride

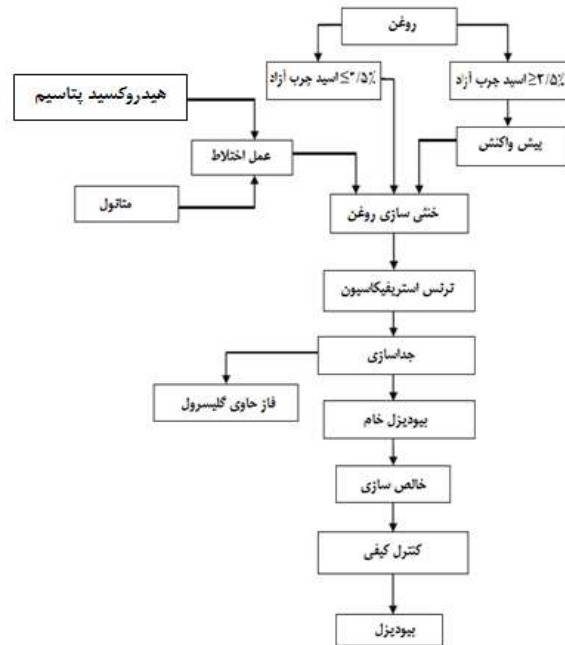
4- Ultrasonic irradiation

1- Fatty acids mono-alkyl esters

2- Transesterification

این تحقیق ترانس استریفیکاسیون به سه روش مرسوم، فراصوت و ریزموج انجام خواهد شد.

ترانس استریفیکاسیون، واکنش تری گلیسیرید (روغن) با الکل تنها در منطقه سطحی بین دو مایع ناهمگن رخ می‌دهد (۶). در



شکل ۱- نمودار جریان فرآیند تولید بیودیزل (۹)

Figure 1. process flow diagram for the production of biodiesel

الف- روش مرسوم

می‌باشد. در شکل (۲) شماتیک این دستگاه نشان داده شده است. برای انتقال امواج فراصوت به محیط مایع از پروب (هورن) استفاده می‌شود که به صورت عمومی از تیتانیوم یا آلایژ آلومینیوم ساخته می‌شود. به همین علت، هورن از نظر شیمیایی باید خنثی باشد، در مقابل پدیده کاویتاسیون مقاوم باشد و باید بازده بیشینه در انتقال امواج فراصوت داشته باشد. همچنین می‌تواند دامنه امواج فراصوت را تقویت کند. تقویت دامنه فراصوت بسته به نوع طراحی (یا جرم) هورن، متفاوت خواهد بود (۸). امواج فراصوت زمانیکه وارد مخلوط واکنش می‌شود با ایجاد اختلاف فشار در مایع میکرو حبابهایی تولید می‌کند. میکرو حبابهای تشکیل شده با استفاده از نیروی امواج فراصوت ایجاد فشار در محیط اطراف خود کرده و شروع به بزرگ شدن می‌کند. بعد از رسیدن به یک اندازه بحرانی یک فروپاشی ناگهانی برای میکرو حبابها اتفاق می‌افتد که منجر به میکرو اختلاط محیط اطرافش می‌شود. از آنجاییکه این عمل

در حالت مرسوم^۱ از یک همزن برای اختلاط این دو مایع ناهمگن استفاده می‌شود که این امر باعث کاهش زمان واکنش و افزایش تولید محصول خواهد شد. هنگامی که روغن، الکل و هیدروکسید پتاسیم در یک مخزن واکنش، تحت اختلاط قرار گیرد واکنش ترانس استریفیکاسیون آغاز خواهد شد. در ترانس استریفیکاسیون به روش مرسوم، از یک مخزن واکنش استفاده خواهد شد که شامل گرم‌کن، حسگر دما، نمایشگر دما، همزن، کنترل کننده و نمایشگر دور همزن می‌باشد. در این روش عمل اختلاط توسط یک همزن انجام می‌شود.

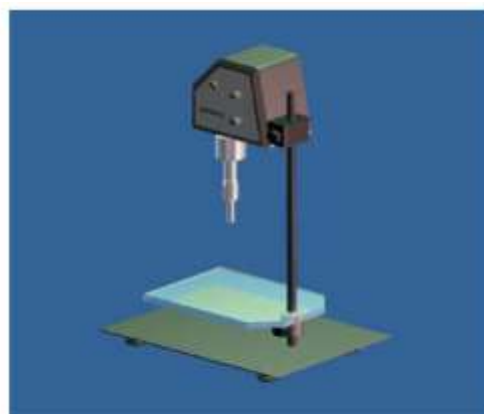
ب- روش فراصوت

در این تحقیق از یک دستگاه منبع فراصوت مدل UP400S، ساخت شرکت Hielscher آلمان به عنوان منبع تولیدکننده امواج فراصوت استفاده شد. این دستگاه دارای توان بیشینه ۴۰۰ وات در فرکانس ثابت ۲۴ کیلوهرتز می‌باشد. همچنین این دستگاه قابلیت تنظیم پالس ارتعاش میله و شدت دامنه ارتعاشی

بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی است که محدوده فرکانس بین ۳۰۰ مگا هرتز تا ۳۰۰ گیگا هرتز و متناظر با آن طول موجی بین ۱ متر تا ۱ میلیمتر را شامل می‌شود (۱۱). گستره این امواج مابین امواج رادیویی و امواج فرسوخ می‌باشد. از این امواج در رادارها (طول موج بین ۱ cm تا ۲۵ cm)، اجاق‌های مایکروویو و ارتباطات استفاده می‌شود (۱۰). در شکل (۳) شماتیک سامانه تولید پیوسته بیودیزل به کمک امواج ریزموج نشان داده شده است.

برایچه و همکاران (۱۹۹۹) واکنش ترانس استریفیکاسیون را با استفاده از متانول و روغن خوراکی تجاری و با حضور کاتالیزورهای مختلف (سدیم متیلات، بورکرباید، سولفوریک اسید و NaOH) انجام دادند. مطالعه آن‌ها در هر دو حالت ناپیوسته و پیوسته انجام شده و آن‌ها توانسته‌اند به درصد تبدیل بیش از ۹۵ درصد دست یابند. نتایج آن‌ها نشان دهنده افزایش سرعت تولید بیودیزل یعنی کاهش مدت زمان واکنش ترانس استریفیکاسیون است. آن‌ها توانستند با استفاده از کاتالیزور هیدروکسید سدیم و در مدت زمان ۲ دقیقه به بازده بیش از ۹۸ درصد دست یابند (۲۲).

اختلاط در سطح میکرواتفاق می‌افتد موجب تسریع شدن واکنش‌ها می‌شود (۲۱).

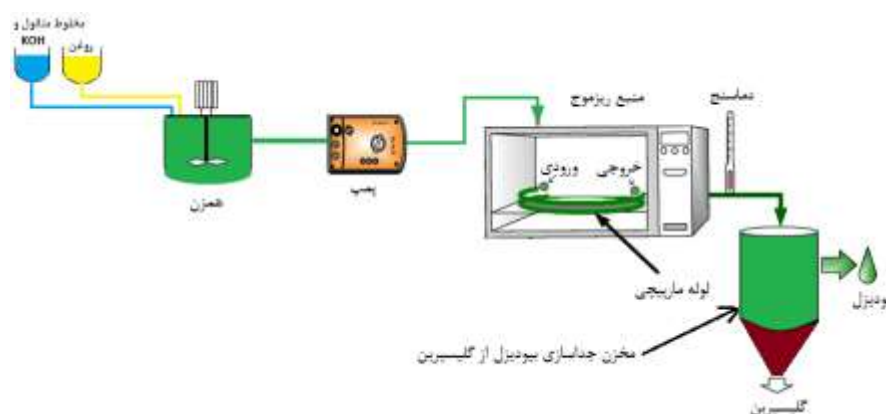


شکل ۲- شماتیک منبع فراصوت

Figure 2. Schematic ultrasound

ج- روش ریز موج

به طیفی از امواج الکترومغناطیس که مابین امواج رادیویی و فرسوخ قرار دارند، ریزموج یا مایکروویو گفته شده و اغلب شامل فرکانس‌های بین ۳۰۰ MHz تا ۳۰۰ GHz (به ترتیب با طول موج ۱ متر تا ۱ میلی‌متر) می‌شود (۱۰). مایکروویو



شکل ۳- شماتیک سامانه تولید پیوسته بیودیزل به کمک امواج ریزموج.

Figure 3. Continuous biodiesel production system using microwave radiation

جریان انرژی

(متانول)، کاتالیست (KOH)، الکتریسیته و انرژی ماشین تولید بیودیزل و همچنین انرژی خروجی که عبارت بودند از: بیودیزل، گلیسرول، اضافات الکل، آب، صابون، مونوگلیسرید و دی گلیسرید در نظر گرفته شد و محاسبه شد. برای محاسبه

نکته مهم در محاسبه بازدهی تبدیل، مقدار مفید (و نه کل) انرژی خروجی است که علاوه بر بازدهی، میزان موثر بودن چرخه ترمودینامیکی را نیز بیان می‌کند. در این مطالعه برای تولید بیودیزل، انرژی نیروی انسانی، پسماند روغن خوراکی، الکل

انرژی پسماند روغن خوراکی، کاتالیزور و انرژی ماشین تولید بیودیزل است در حالی که انرژی مستقیم شامل انرژی نیروی انسانی، الکل و الکتریسیته مصرفی برای تولید بیودیزل است. انرژی‌های غیر قابل تجدیدپذیر (NRE) شامل الکل، کاتالیزور، ماشین‌ها، الکتریسیته و انرژی‌های تجدید پذیر (RE) شامل نیروی کارگری و پسماند روغن خوراکی است. انرژی خروجی شامل انرژی بیودیزل و محصولات جانبی از جمله گلیسرول و اضافات الکل می باشد.

محتوای انرژی صابون، مونوگلیسرید و دی‌گلیسرید می‌بایست انرژی پیوند بین عناصر هر یک محاسبه شود. برای محاسبه این نوع انرژی، لازم است انرژی‌های پیوندی را خوانده و در تعدادشان ضرب نماییم و در نهایت با هم جمع کنیم. معادل انرژی‌های ورودی و خروجی برای تولید بیودیزل در **Error! Reference source not found.** آمده است. انرژی ورودی را می‌توان به دو دسته‌ی انرژی مستقیم (DE) و انرژی غیرمستقیم (IDE) تقسیم کرد. انرژی غیرمستقیم شامل

جدول ۱- محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید بیودیزل

Table 1. Energy inputs and outputs content in biodiesel production

مرجع	محتوای انرژی (MJ/Unit)	واحد	عنوان نهاده‌ها
(۱۲)	۱/۹۶	h	نیروی کارگری
(۱۲)	۲۵/۰۰	kg	پسماند روغن خوراکی
(۱۳)	۳۳/۶۷	kg	الکل (متانول)
(۱۴)	۱۹/۸۷	kg	کاتالیست (KOH)
(۱۲)	۱۱/۹۳	kW/h	الکتریسیته
(۱۲)	۶۸/۴۰	Kg	ماشین
			ستانده‌ها
(۱۵)	۳۷/۲۵	kg	بیودیزل
(۱۶)	۲۵/۳۰	L	گلیسرید
(۱۳)	۳۳/۶۷	L	اضافات الکل
(۱۷)	۰/۰۱	L	آب
(۱۹،۱۸)	۴۴/۵۵	kg	صابون
(۱۹،۱۸)	۶۶/۴۹	kg	مونوگلیسرید
(۱۹،۱۸)	۶۷/۲۶	kg	دیگلیسرید

$$\text{بازده انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول بر لیتر)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر لیتر)}} \quad (۱)$$

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد (کیلوگرم بر لیتر)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر لیتر)}} \quad (۲)$$

داده‌های اولیه‌ی انرژی ورودی و خروجی در نرم افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۰) وارد شد. شاخص‌هایی از جمله راندمان مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی در زیر آمده است (۲۰):

همچنین شیاهان و همکاران شاخص نسبت انرژی فسیلی را به-
دست آوردند (۱۴):

$$(3) \quad \text{انرژی خروجی سوخت تجدیدپذیر (مگاژول بر لیتر)} \\ \text{انرژی ورودی فسیلی (مگاژول بر لیتر)} = \text{نسبت انرژی فسیلی}$$

یک لیتر بیودیزل به روش استفاده از پرتو دهی فراصوت (تحت شرایط مورد مطالعه در تحقیق حاضر) در مقایسه با روش استفاده از ریز موج (تحت شرایط مورد مطالعه در تحقیق حاضر) نه تنها به پسماند روغن خوراکی کمتری نیاز است بلکه دیگر نهاده‌های مصرفی برای تولید یک لیتر بیودیزل در روش فراصوت در مقایسه با روش استفاده از ریز موج نیز کمتر بود. زیرا در روش پرتو دهی فراصوت با یک مقدار کمتر روغن مصرفی، سهم انرژی مصرفی بیشتری را در مقایسه با روش استفاده از ریز موج در واکنش ترانس استریفیکاسیون داشته است. سهم انرژی الکتریسیته به ازای تولید یک لیتر بیودیزل در روش های فراصوت، ریزموج و مرسوم به ترتیب برابر ۰/۰۶٪، ۰/۰۳٪ و ۱/۰۸٪ برآورد شد.

روش استفاده از ریزموج در واکنش ترانس استریفیکاسیون برای تولید بیودیزل کمترین انرژی الکتریسیته را مصرف کرد. به هر حال از آنجایی که بزرگترین سهم انرژی ورودی در فرآیند تولید بیودیزل مربوط به پسماند روغن خوراکی است و عملکرد واکنش برای این سه روش در شرایط مورد آزمایش بسیار نزدیک به هم بود، کل انرژی ورودی برای تولید یک لیتر بیودیزل تفاوت قابل توجهی نداشت. میزان سهم هر یک از نهاده‌ها در تیمارهای مربوط به روش‌های مختلف تولید بیودیزل در شکل (۴) نشان داده شده است.

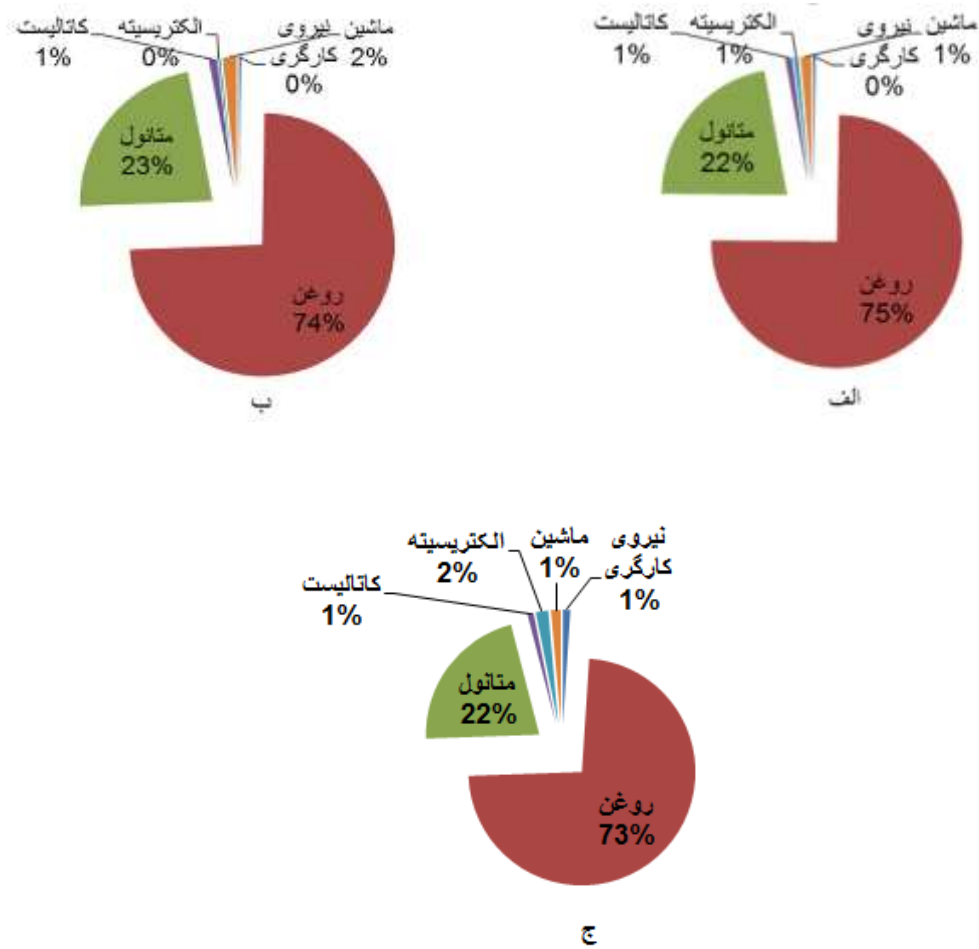
شایان ذکر است که تنها انرژی فسیلی (تجدید ناپذیر) درمخرج کسراست، بدین منظور که حذف‌صالی این شاخص تعیین میزان تجدیدپذیر بودن است.

بحث و نتایج

راندمان انرژی در فرایند تولید بیودیزل به روش های

مرسوم، فراصوت و ریزموج

با توجه به شکل (۴) انرژی مصرفی برای تولید هر لیتر بیودیزل در روش‌های فراصوت، ریزموج و مرسوم به ترتیب ۳۳/۷۳، ۳۴/۳۹ و ۳۵/۷۵ مگاژول بدست آمد همچنین در روش‌های فراصوت، ریزموج و مرسوم سهم انرژی مصرفی مربوط به پسماند روغن خوراکی شامل ۰/۷۵٪، ۰/۷۳٪ و ۰/۷۴٪ از کل انرژی های ورودی در واکنش می باشد. همانطور که مشخص شد در همه روش‌های فراصوت، ریزموج و مرسوم بیشترین سهم انرژی های ورودی مربوط به انرژی پسماند روغن خوراکی می باشد. در مقایسه روش های مذکور، سهم انرژی مربوط به پسماند روغن خوراکی برای روش فراصوت بیشتر بود. عملکرد واکنش در روش پرتو دهی فراصوت ۰/۵٪ بیشتر از روش استفاده از ریزموج بود در حالی که سهم انرژی پسماند روغن خوراکی در این روش ۰/۲٪ بیشتر از روش استفاده از ریزموج در واکنش ترانس استریفیکاسیون بود. بنابراین می توان نتیجه گرفت برای تولید



شکل ۴- درصد نهادهای انرژی برای تولید بیودیزل: الف) روش فراصوت؛ ب) روش ریز موج؛ ج) روش مرسوم.

Figure 4. Percentage of energy inputs for biodiesel production: A) sonication; b) microwave method; c) conventional method.

شاخص راندمان مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی و عملکرد تولید بیودیزل برای روش‌های فراصوت، ریزموج و مرسوم در واکنش ترانس استریفیکاسیون در جدول (۲) آمده است. راندمان مصرف انرژی شاخص بسیار مهمی برای مقایسه سه روش‌های مورد تحقیق در تولید بیودیزل از جنبه انرژی است.

بیودیزل تولیدی به عنوان محصول اصلی خروجی فرایند ثابت (یک لیتر) می‌باشد، به همین دلیل مازاد انرژی خروجی مربوط به ضایعات فرایند یا مواد واکنش نداده می‌باشد. از آنجایی که عملکرد واکنش در روش‌های مرسوم و فراصوت برابر یکدیگر (۹۹٪) بود، انرژی خروجی بیشتر در روش فراصوت، نشان دهنده این است که پتانسیل تولید انرژی بیشتر در روش فراصوت در مقایسه با روش مرسوم بیشتر است.

جدول ۲- شاخص های انرژی و عملکرد در تولید بیودیزل به روش های مختلف

Table 2. Indicators of energy and performance in the production of biodiesel in different ways

شاخص ها	واحد	فراصوت	ریزموج	مرسوم
نسبت انرژی	-	۰/۸۷	۰/۸۰	۰/۷۷
بهره وری انرژی	kg MJ ⁻¹	۰/۰۳	۰/۰۲۸	۰/۰۲۹
عملکرد تولید بیودیزل		۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۹

از ریز موج در واکنش ترانس استریفیکاسیون، راندمان انرژی تولید بیودیزل با این روش حدود ۰/۴٪ بیشتر از راندمان انرژی تولید بیودیزل به روش مرسوم است. در حالی که عملکرد واکنش ترانس استریفیکاسیون در روش استفاده از ریزموج در واکنش ترانس استریفیکاسیون حدود ۰/۵٪ کمتر از روش مرسوم بود. به نظر می رسد اگر شرایط واکنش بهینه شوند می توان عملکرد بالاتری با استفاده از ریزموج انتظار داشت. اما با این وجود و تحت همین شرایط آزمایش انجام شده، روش استفاده از ریز موج در واکنش ترانس استریفیکاسیون راندمان انرژی بالایی داشت به طوری که اختلاف چندانی با راندمان انرژی تولید بیودیزل با استفاده از پرتوهای فراصوت مشاهده نشد. تقسیم بندی انرژی ورودی شامل انرژی های مستقیم، غیرمستقیم، تجدید پذیر و تجدیدناپذیر در تولید بیودیزل به روش های فراصوت، ریزموج و مرسوم در جدول (۳) ارائه شده است.

در تولید بیودیزل راندمان مصرف انرژی برای روش های فراصوت، ریزموج و مرسوم به ترتیب به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۰ و ۰/۷۷ برآورد شد. یعنی اینکه بازای ۱ مگاژول نهاده برای تولید بیودیزل، به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۰ و ۰/۷۷ مگاژول ستانده تولید می شود. این شاخص انرژی به همراه شاخص عملکرد اطلاعات بسیار مفیدی ارائه می دهد. نیاز است که برنامه ریزان و مدیران برنامه های کلان برای تولید بیودیزل دو هدف عملکرد واکنش و راندمان انرژی را مد نظر قرار دهند. در مقایسه بین سه روش مذکور روش استفاده از پرتوهای فراصوت با عملکرد و راندمان انرژی بالاتر در مقایسه با روش های دیگر مورد تحقیق بهترین روش برآورد شد. عملکرد روش مرسوم به اندازه روش استفاده از پرتوهای فراصوت بود اما راندمان انرژی روش مرسوم حدود ۱۳٪ از راندمان انرژی تولید بیودیزل به روش پرتوهای فراصوت کمتر بود. به عبارت دیگر با استفاده از روش مرسوم می توان به اندازه روش مدرن پرتوهای فراصوت بیودیزل تولید کرد. اما باید مقدار انرژی بیشتری را صرف تولید کرد. در مورد روش استفاده

جدول ۳- کل انرژی ورودی در قالب انرژی مستقیم، غیرمستقیم و انرژی تجدید پذیر و تجدیدناپذیر.

Table 3. Total energy input energy in the form of direct, indirect and renewable and nonrenewable energy.

شکل انرژی	فراصوت	درصد	ریزموج	درصد	مرسوم	درصد
انرژی مستقیم	۷/۷۰۸	۲۲/۸۵۳	۸/۲۷۴	۲۲/۷۳۱	۸/۳۶۹	۲۴/۳۳۴
انرژی غیر مستقیم	۲۶/۰۲۷	۷۷/۱۶۲	۲۷/۴۷۳	۷۵/۴۷۶	۲۶/۰۲۷	۷۵/۶۸۱
انرژی تجدیدپذیر	۲۵/۳۴۸	۷۵/۱۵۰	۲۶/۵۹۸	۷۳/۰۷۱	۲۵/۶۰۳	۷۴/۴۴۸
انرژی تجدیدناپذیر	۸/۳۸۷	۲۴/۸۶۵	۹/۱۴۹	۲۵/۱۳۶	۸/۷۹۳	۲۵/۵۶۷

و انرژی ماشین می شود. همچنین منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید دانه های روغنی شامل نیروی کارگری و پسماند روغن خوراکی است در حالی که سایر نهاده ها به عنوان منابع انرژی

همانطور که گفته شد انرژی های مستقیم شامل انرژی نهاده های نیروی کارگری، الکل و الکتریسیته می باشد در حالی که انرژی های غیر مستقیم شامل انرژی پسماند روغن خوراکی، کاتالیست

3. Tan, M.E., Van Gerpen, J.H. 1999. Kinematic viscosity of biodiesel and its blends with diesel fuel. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 76, 1511-1513.
4. Pinto, A.C., Guarieiro, L.L.N., Rezende, M.J.C., Ribeiro, N.M., Torres, E.A., Lopes, W.A., Pereira, P.A.P., de Andrade, J.B. 2005. Biodiesel: An Overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 16, 1313-1335.
5. Lima, J.R.O., da Silva, R.D., da Silva, C.C.M., dos Santos, L.S.S., dos Santos Jr., J.R., Moura, E.M., de Moura, C.V.R. 2007. Biodiesel from babassu (*Orbignya sp.*) synthesized via ethanolic route. *Química Nova* 30, 600-603.
6. Hanh, H.D., Dong, N.T., Starvarache, C., Okitsu, K., Maeda, Y., Nishimura, R. 2008. Methanolysis of triolein by lowfrequency ultrasonic irradiation. *Energ. Convers.Manage* 49, 276-280.
7. Bispo, M.S., da Boa Morte, E.S., Korn, M.G.A., Teixeira, L.S.G., Korn, M., Costa, A.C.S. 2005. Determination of Pb in river water samples by inductively coupled plasma optical emission spectrometry after ultrasound-assisted co-precipitation with manganese dioxide. *Spectrochim. Acta Part B: Atom. Spectrosc* 60, 653-658.
8. Mason, T.J. and Lorimer, J.P. 2002. *Applied sonochemistry*, Wiley Online Library.
9. Gui, M.M., Lee, K.T., Bhatia, S., 2008. Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy* 33, 1646-1653.
10. Kappe, C.O. and Stadler A. 2005. *Microwave in Organic and Medicinal Chemistry*, Wiley-VCH.

تجدید ناپذیر شناخته می‌شوند. همان طور که جدول (۳) نشان می‌دهد سهم انرژی مستقیم در کل انرژی ورودی برای روش های ریزموج و فراصوت ۲۲٪ در حالی که برای روش مرسوم ۲۴٪ برآورد شد. بنابراین در روش مرسوم انرژی هایی که به طور مستقیم در جریان تولید وارد می‌شوند بیشتر است. شاخص تجدیدپذیری نیز در روش استفاده از پرتودهی فراصوت با ۷۵٪ از کل انرژی ورودی بالاترین مقدار را در مقایسه با روش های دیگر داشت.

نتیجه گیری

در این تحقیق واکنش های ترانس استریفیکاسیون به سه روش مرسوم (استفاده از همزن)، روش پرتودهی فراصوت و روش استفاده از ریز موج انجام شد و همچنین بازده روش مرسوم با روش های نوین (فراصوت و ریز موج) از جنبه انرژی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که انرژی مصرفی برای تولید هر لیتر بیودیزل در روش های فراصوت، ریزموج و مرسوم به ترتیب ۳۳/۷۳، ۳۵/۷۵ و ۳۴/۳۹ مگاژول بود و در تولید بیودیزل راندمان مصرف انرژی برای روش های فراصوت، ریزموج و مرسوم به ترتیب به ترتیب ۸۷، ۸۰ و ۷۷ درصد بدست آمد. همچنین شاخص تجدیدپذیری نیز در روش استفاده از پرتودهی فراصوت با ۷۵٪ از کل انرژی ورودی بالاترین مقدار را در مقایسه با روش های دیگر داشت.

References

1. Sancho Araujo, V.K.W., Hamacher, S., Scavarda, L.F., 2010. Economic assessment of biodiesel production from waste frying oils. *Bioresource Technology* 101, 4415-4422.
2. Dantas, M.B., Almeida, A.A.F., Conceição, M.M., Fernandes Jr., V.J., Santos, I.M.G., Silva, F.C., Soledade, L.E.B., Souza, A.G. 2007. CHARACTERIZATION AND KINETIC COMPENSATION EFFECT OF CORN BIODIESEL. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 87, 847-851.

17. Anonymous. 2012b. Energy density. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density.
18. Anonymous. 2012c. Molecular Weight Calculator. Available at: <http://www.lenntech.com/calculators/molecular/molecular-weight-calculator.htm>.
19. Anonymous. 2012d. Standard Bond Energies. Available at: <http://www.cem.msu.edu/~reusch/OrgPage/bndenrgy.htm>.
20. Mohammadshirazi, A., Akram, A., Rafiee, S., Mousavi Avval, S.H., Bagheri, E., 2012. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield in tangerine production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 4515–4521.
21. Bang, J.H., Suslick, K.S. 2010. Applications of Ultrasound to the Synthesis of Nanostructured Materials. *Adv. Mater.* 22: 1039–1059.
22. Breccia, A., Esposito, B., Fratadocchi, G.B. and Fini, A. 1999. Reaction between methanol and commercial seed oils under microwave irradiation. *Journal of microwave power and electromagnetic energy* 34, 2-7.
11. Schubert, H. and Regier, M. 2005. The microwave processing of foods, Woodhead.
12. Singh, S., Mittal, J.P., Energy in production agriculture. New Delhi: Mittol Pub; 1992
13. Hou, H., Wang, M., Bloyd, C., Putsche, V., 2019. Life-cycle assessment of energy use and greenhouse gas emissions of soybean-derived biodiesel and renewable fuels. *Environmental Science & Technology* 43, 750–756.
14. Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M., 1998. Life Cycle entory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. National Renewable Energy Laboratory, N.R.E.L.
15. Brian, J., Krohn, Matthias Fripp., 2012. A life cycle assessment of biodiesel derived from the “niche filling” energy crop camelina in the USA, *Applied Energy* 92, 92–98.
16. Anonymous. 2012a. Biodiesel experiment. Available at: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/06-07/Biodiesel/experiment.htm.