



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



بررسی بازده انرژی تولید بیودیزل در زمانهای مختلف واکنش ترانس استریفیکاسیون

گل محمد خوب بخت^{۱*}

استادیار، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران^{*} (مسئول مکاتبات); gol.m1360@yahoo.com

چکیده:

کمبود سوخت‌های فسیلی، آلاینده‌گی بالای حاصل از سوختن آن‌ها و همچنین هزینه رو به رشدشان باعث شده که منابع بیوماس به خصوص بیودیزل به عنوان یک منبع انرژی مطلوب مورد توجه محققان قرار گیرد. بیودیزل به طور معمول از روش ترانس استریفیکاسیون تولید می‌شود که از واکنش دادن تری گلیسرید (ترکیبات اصلی روغن و چربی) با الکل‌های زنجیره کوتاه مثل متانول و اتانول به دست می‌آید. واکنش یک تری گلیسرید با الکل تنها در منطقه سطحی بین دو مایع ناهمگن رخ می‌دهد. در این تحقیق به بررسی بازده انرژی در زمانهای مختلف واکنش بر روی تولید بیودیزل حاصل از روغن پسماند پرداخته شد. در این مطالعه انرژی نهاده‌هایی 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. نتایج این تحقیق نشان داد که انرژی مصرفی برای تولید هر لیتر بیودیزل در زمان‌های واکنش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به ترتیب ۴۹/۸۴، ۳۴/۳۹ و ۳۶/۷۷ مگاژول به دست آمد و زمان واکنش ۶۰ دقیقه با تبدیل ۹۹٪ تری گلیسرید به استرهای اسید چرب بیشترین عملکرد واکنش را در میان تیمارهای مورد آزمایش به خود اختصاص داد. راندمان مصرف انرژی برای زمان‌های واکنش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۳۲ و ۱/۲۳ برآورد شد که با افزایش زمان واکنش از میزان تجدیدپذیری فرآیند تولید کاسته شده است.

کلمات کلیدی: بیودیزل، بازده انرژی، زمان، واکنش

Investigation of energy efficiency of biodiesel production at different times of transesterification reaction

Golmohammad Khoobakht^{1*}

¹Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

^{*}(Corresponding Author), gol.m1360@yahoo.com

Abstract

Fossil fuels shortage, the huge amount of pollution produced during burning and their increasing costs caused that, biomass resources especially biodiesel have been noticed by researchers. In a common way, biodiesel is produced using esterification method including reaction between triglyceride with short-chain alcohols like ethanol and methanol. The reaction between a triglyceride with alcohol only happens in the surface of two heterogeneous liquids. In this study, energy efficiency and the effect of time on the reaction to produce biodiesel from waste oil was investigated. In this research, the energy efficiency at different reaction times was investigated on the production of biodiesel from waste oil. 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. As well as to calculate the weight of waste oil fatty acid esters and triglycerides were measured. The results of this study showed that the energy used to produce each litre biodiesel at 30, 60 and 90 minutes reaction times was 49.44, 39.34 and 36.77 megajol respectively, and the reaction time was 60 minutes with conversion of 99% triglyceride to esters of fatty acid has the highest performance. Energy consumption efficiency for reaction times of 30, 60 and 90 minutes were 1.27, 1.32 and 1.23 respectively and with increasing the reaction time the amount of renewability was decreased

Key words: Biodiesel, Energy Efficiency, Time, Reaction.

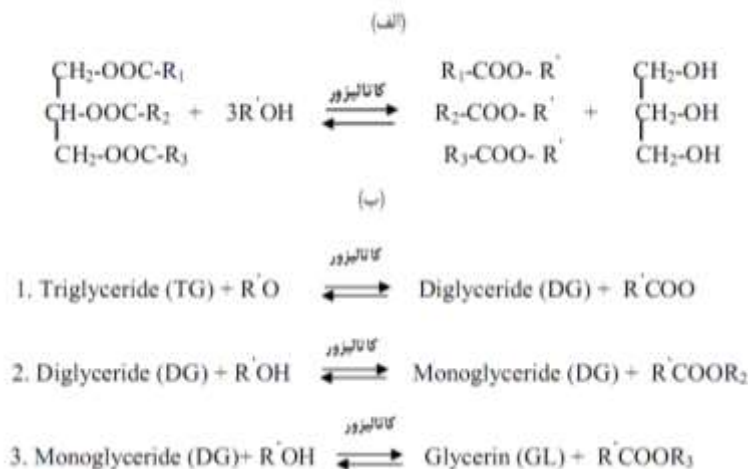


یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



مقدمه

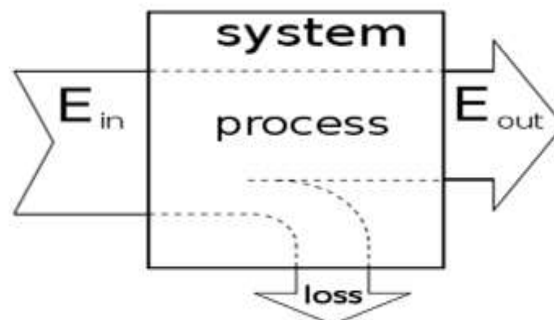
بیودیزل را می‌توان از هر ماده ای که حاوی اسیدهای چرب است بدست آورد. این اسیدهای چرب به مولکول‌های دیگر متصلند یا در حضور اسیدهای چرب آزاد می‌باشند. بنابراین روغن‌های گیاهی مختلف، چربی‌های حیوانی، روغن‌های پسماند و خوراکی مازاد را می‌توان به عنوان مواد خام برای تولید بیودیزل بکار برد (Hasimoglu et al., 2008). عمده ترین تکنولوژی تولید بیودیزل، واکنش تبادل استری روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی با الکل و در حضور کاتالیست می‌باشد. این تکنولوژی برای تولید تجاری بیودیزل، بویژه با استفاده از کاتالیست‌های قلیایی مثل هیدرواکسید پتاسیم و سدیم بسیار مناسب است (Palligarnai & Michael, 2008). واکنش تبادل استری با حضور کاتالیست‌های همگن (اسید یا پایه) یا غیر همگن (اسید، پایه، یا آنزیم) تسریع می‌شود. کاتالیست‌های قلیایی بخصوص سدیم و پتاسیم سرعت واکنش بالایی نسبت به کاتالیست‌های اسیدی برای تبادل استری تری گلیسریدها در بیودیزل دارند. واکنش تبادل استری کاتالیست‌های قلیایی همگن ۴۰۰۰ برابر سریعتر از واکنش کاتالیست‌های همگن اسیدی می‌باشد (GuanHua et al., 2010). در شکل ۱ فرآیند ترانس استریفیکاسیون تری گلیسرید در حضور الکل و تبدیل آن به استر مربوطه نشان داده شده است.



شکل ۱- ترانس استریفیکاسیون تری گلیسرید با الکل (الف) معادله عمومی، (ب) سه واکنش متوالی و برگشت پذیر R₁, R₂, R₃ و R' نشان دهنده گروههای آلکیلی

Figure 1. Transesterification of triglyceride with alcohol (a) general equation, (b) three successive and reversible reactions R₁, R₂, R₃ and R' represent alkylic groups

تولید بیودیزل یک فرآیند تبدیل انرژی است. در فرآیند تولید بیودیزل، جریان انرژی نیز جنبه بسیار مهمی در مدیریت تولید بیودیزل محسوب می‌شود. راندمان تبدیل انرژی نسبت انرژی مفید خروجی به انرژی ورودی یک ماشین است. انرژی خروجی می‌تواند بصورت انرژی الکتریکی، انرژی مکانیکی، کاریا گرما باشد. نکته مهم در محاسبه بازدهی تبدیل، مقدار مفید (و نه کل) انرژی خروجی است که علاوه بر بازدهی، میزان موثر بودن چرخه ترمودینامیک را نیز بیان می‌کند (شکل ۲).



شکل ۲- جریان انرژی در یک فرآیند

Figure 2. Energy flow in a process



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسستم و مکانیزاسیون ایران



بیان انرژی یک ابزار مناسب برای تخمین شدت و مقبولیت محیطی محصولات تولیدی با توجه به مصرف سوخت های فسیلی و تخمین انرژی برگشتی و محصولات می باشد (Ceccon & Giovanardi, 2002). در این زمینه روش کاملا استاندارد و تعریف شده ای موجود نمی باشد، زیرا بودجه بندیهای انرژی به شدت به موقعیت محل مورد نظر، ساختار و سیستم کشاورزی مزارع، ساختار فنی کشاورزی و مکانیزه بودن آن، سطح و مقدار بارزده و راندمان و ... وابسته می باشد. مخصوصا تعیین مرزهای سیستم و نحوه اطلاعات کاملا با یکدیگر متفاوت هستند (Biermann et al., 1999).

مقدار انرژی که در سیستم های مختلف تولیدی مصرف می شود، نه فقط به نوع آن محصول بلکه به نوع مواد به کار گرفته شده در تولید آن محصول نیز بستگی دارد. به گونه ای که نحوه رفتار سیستم های مختلف تولیدی در به کارگیری نهاده ها و منابع انرژی متفاوت بوده و در هر سیستم تولیدی کارایی انرژی حاصله متفاوت بوده به نحوی که می تواند منجر به ناپایداری تولید گردد. یکی از روش های بسیار مفید در تحلیل و ارزیابی پایداری تولید، استفاده از انرژی به عنوان ابزار محاسبه می باشد. فریدمن و همکاران دریافتند که سرعت تبدیل استرهای اسید چرب متناسب با زمان واکنش افزایش می یابد. در شروع، به خاطر اختلاط و پراکندگی غیر یکسان الکل داخل روغن و واکنش کند صورت میگیرد. اما بعد از مدتی واکنش خیلی سریع ادامه مییابد (Freedman et al., 1984). معمولا با یک کاتالیزور قلیایی محصول در یک زمان واکنش کمتر از ۹۰ دقیقه به بیشینه خود می رسد و سپس با گذشت بیشتر زمان، تعادل واکنش نسبتا ثابت باقی میماند (Leung & Guo, 2006; Alamu et al., 2007). با این وجود، گذشت زمان بیشتر از حد بهینه، تولید محصول را به خاطر واکنش برگشتی ترانس استریفیکاسیون کاهش خواهد داد و در نتیجه منجر به کاهش استرها و تبدیل بیشتر اسیدهای چرب به صابون خواهد شد (Evever et al., 2009; Ma et al., 1998). با این حال کاتالیزورهای اسیدی به علت سرعت کم واکنش، نیاز به دمای واکنش بالا، نسبت بالای الکل به روغن، جداسازی مشکل کاتالیز بعد از واکنش و مشکلات جدی محیط زیست یک انتخاب مناسب در کاربردهای تجاری محسوب نمی شود (Jacobson et al., 2008; Wang et al., 2006). ونگ و همکاران در مطالعه ای روی استفاده از کاتالیزور اسیدی در ترانس استریفیکاسیون روغن پسماند گزارش کردند که عملکرد متیل استرهای اسید چرب با افزایش زمان واکنش، یک نسبت بالاتری از متانول به روغن و غلظت بالاتری از کاتالیزور بدست آمد. در این مطالعه تبدیل روغن پسماند به بیودیزل بیشتر از ۹۰٪ در یک واکنش به مدت ۱۰ ساعت با نسبت متانول به روغن ۲۰:۱ و ۴٪ اسید سولفوریک گزارش شد (Wang et al., 2006). در مطالعه ای دیگر فریدمن و همکاران (۱۹۸۴) یک تبدیل روغن به بیودیزل بیشتر از ۹۹٪ با استفاده از ۱٪ اسید سولفوریک و نسبت متانول به روغن ۳۰:۱ به مدت ۶۹ ساعت واکنش گزارش کردند. این گزارش ها نشان می دهد که ترانس-استریفیکاسیون با استفاده از کاتالیزورهای اسیدی در مقایسه با کاتالیزورهای بازی به زمان واکنش بسیار بیشتری نیاز دارد (Freedman et al., 1984).

۱- مواد و روش ها

در این مطالعه برای تولید بیودیزل، انرژی نیروی انسانی، پسماند روغن خوراکی، الکل (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. در این مطالعه برای تولید بیودیزل، انرژی نیروی انسانی، پسماند روغن خوراکی، الکل (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 ی محتوی انرژی صابون، مونوگلیسرید و دی گلیسرید می بایست انرژی پیوند (بین عناصر هر یک محاسبه شود. برای محاسبه های نوع انرژی، لازم است انرژی های پیوندی را خوانده و در تعدادشان ضرب نماییم و در نهایت با هم جمع کنیم. جدول ۱ انرژی پیوند عناصر مختلف را نشان می دهد.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



جدول ۱- انرژی پیوند (kCal/mol)

Table 1. binding energy (kCal / mol)

ΔH°	Double bond	ΔH°	Single bond	ΔH°	Single bond
146	C=C	150	B-F	104.2	H-H
109	N=N	125	B-O	83	C-C
119	O=O	73	C-N	38.4	N-N
147	C=N	86	N-CO	35	O-O
192	C=O (CO2)	85.5	C-O	36.6	F-F
177	C=O (aldehyde)	110	O-CO	52	Si-Si
178	C=O (ketone)	65	C-S	50	P-P
179	C=O (ester)	116	C-F	54	S-S
179	C=O (amide)	81	C-Cl	58	Cl-Cl
177	C=O (halide)	68	C-Br	46	Br-Br
138	C=S (CS2)	51	C-I	36	I-I
143	N=O (HONO)	90	C-B	99	H-C
110	P=O (POCl3)	76	C-Si	93	H-N
70	P=S (PSCl3)	70	C-P	111	H-O
128	S=O (SO2)	55	N-O	135	H-F
93	S=O (DMSO)	87	S-O	103	H-Cl
84	P=P	135	Si-F	87.5	H-Br
117	P≡P	90	Si-Cl	71	H-I
258	C≡O	110	Si-O	90	H-B
200	C≡C	79	P-Cl	81	H-S
226	N≡N	65	P-Br	75	H-Si
213	C≡N	90	P-O	77	H-P

معادل انرژی‌های ورودی و خروجی برای تولید بیودیزل در جدول ۲ آمده است. انرژی ورودی را می‌توان به دو دسته‌ی انرژی مستقیم (DE) و انرژی غیرمستقیم (IDE) تقسیم کرد. انرژی غیرمستقیم شامل انرژی پسماند روغن خوراکی، کاتالیزور و انرژی ماشین تولید بیودیزل است در حالی که انرژی مستقیم شامل انرژی نیروی انسانی، الکترولیت مصرفی برای تولید بیودیزل است. انرژی‌های غیر قابل تجدیدپذیر (NRE) شامل الکترولیت، کاتالیزور، ماشین‌ها، الکترولیت‌ها و انرژی‌های تجدیدپذیر (RE) شامل نیروی کارگری و پسماند روغن خوراکی است. انرژی خروجی شامل انرژی بیودیزل و محصولات جانبی از جمله گلیسرول و اضافات الکترولیت است.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



جدول ۲- محتوای انرژی نهاده ها و ستانده ها در تولید بیودیزل

Table 2. Energy inputs and outputs content in biodiesel production

Reference	Energy content (MJ/Unit)	(unit)	Title
<i>Inputs</i>			
(Singh and Mittal., 1992)	1.96	h	Labor force
(Singh and Mittal., 1992)	25	kg	Waste cooking oil
(Hou et al., 2009)	33.67	kg	methanol
(Sheehan et al., 1998)	19.87	kg	Catalyst(KOH)
(Singh and Mittal., 1992)	11.93	kW/h	Electricity
(Singh and Mittal., 1992)	68.4	Kg	Machine
<i>Output</i>			
(Brian & Krohn, 2012)	37.25	kg	biodiesel
(Anonymous., 2012a)	25.3	L	glyceride
(Hou et al., 2009)	33.67	L	Alcohol additions
(Anonymous., 2012b)	0.01	L	Water
(Anonymous., 2012c; Anonymous., 2012d)	44.55	kg	Soap
(Anonymous., 2012c; Anonymous., 2012d)	66.49	kg	Monoglycerides
(Anonymous., 2012c; Anonymous., 2012d)	67.26	kg	Di glycerides

داده های اولیه انرژی ورودی و خروجی در نرم افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۰) وارد شد. شاخص هایی از جمله راندمان مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، خالص انرژی حاصله، شدت انرژی و ارزش شدت انرژی در زیر آمده است.

$$\text{انرژی خروجی (مگاژول بر لیتر)} \\ \text{انرژی ورودی (مگاژول بر لیتر)} = \text{بازده انرژی} \quad (1)$$

$$\text{عملکرد (کیلوگرم بر لیتر)} \\ \text{انرژی ورودی (مگاژول بر لیتر)} = \text{بهره‌وری انرژی} \quad (2)$$

$$\text{انرژی ورودی} - \text{انرژی خروجی} = \text{خالص انرژی} \quad (3)$$

$$\text{انرژی ورودی (مگاژول بر لیتر)} \\ \text{عملکرد (کیلوگرم بر لیتر)} = \text{ارزش شدت انرژی} \quad (4)$$

۱-۳- بحث و نتایج

میزان انرژی ورودی هر یک از نهاده ها و انرژی خروجی ستانده ها در تیمارهای مربوط به زمان های مختلف واکنش ترانس استریفیکاسیون در جدول ۳ ارائه شده است. انرژی مصرفی برای تولید هر لیتر بیودیزل در زمان های واکنش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به ترتیب ۴۹/۸۴، ۳۴/۳۹ و ۳۶/۷۷ مگاژول بوده است. در زمان های واکنش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه سهم انرژی مصرفی مربوط به پسماند روغن خوراکی شامل ۷۸٪، ۷۳٪ و ۷۳٪ از کل انرژی های ورودی در واکنش می باشد. در همه تیمارهای مربوط به زمان واکنش بیشترین سهم انرژی های ورودی مربوط به انرژی پسماند روغن خوراکی می باشد. افزایش زمان واکنش به طور مستقیم انرژی نهاده الکتریسیته را افزایش می دهد. انرژی الکتریسیته سهم کوچکی در انرژی های ورودی فرایند تولید بیودیزل به



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی مینای کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

خود اختصاص داده است. با افزایش زمان واکنش از ۳۰ تا ۹۰ دقیقه سهم انرژی الکتریسیته در انرژی های ورودی $1/10\%$ به $2/3\%$ افزایش یافته است. با آنکه سهم انرژی الکتریسیته با افزایش زمان واکنش از ۶۰ به ۹۰ دقیقه، افزایش یافت ولی سهم انرژی پسماند روغن خوراکی به عنوان بزرگترین نهاده انرژی ورودی ثابت ماند. افزایش زمان واکنش از ۶۰ به ۹۰ دقیقه باعث کاهش ۷ درصدی عملکرد واکنش شد که همین امر باعث افزایش انرژی ورودی به ازای تولید یک لیتر بیودیزل می شود. بنابراین برای تولید یک لیتر بیودیزل می بایست مقدار بیشتری پسماند روغن خوراکی مصرف کرد. به عبارت دیگر نهاده انرژی پسماند روغن خوراکی تقریباً هماهنگ با افزایش انرژی ورودی برای تولید یک لیتر بیودیزل افزایش می یابد و بنابراین سهم انرژی پسماند روغن خوراکی تقریباً ثابت ماند. بنابراین به دلیل کوچک بودن سهم انرژی الکتریسیته در فرایند تولید بیودیزل، افزایش زمان واکنش تاثیر معنی داری بر سهم انرژی پسماند روغن خوراکی نداشت. میزان سهم هر یک از نهاده ها در تیمارهای مربوط به زمان های مختلف واکنش ترانس استریفیکاسیون در شکل ۳ نشان داده شده است.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

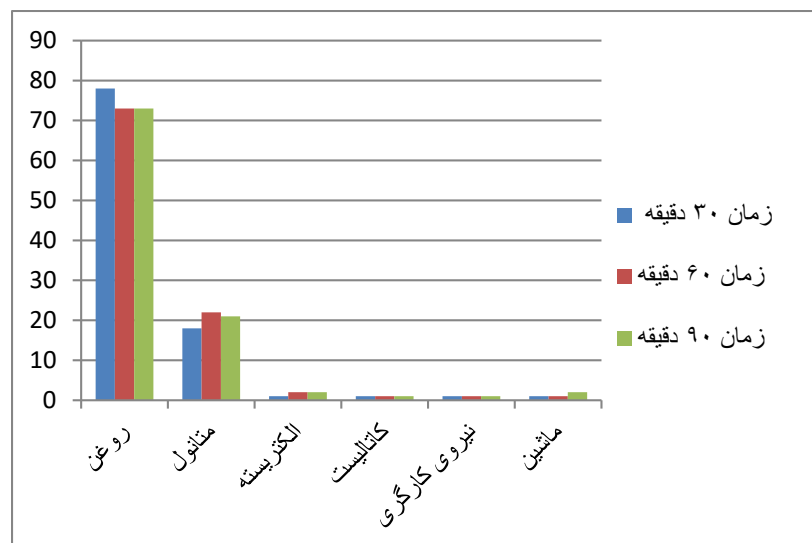


جدول ۳- الگوی انرژی برای تولید بیودیزل در زمان‌های مختلف واکنش

Table 3. Energy Model for Biodiesel Production at Different Reaction Time

Time						unite	Amount of inputs and outputs
90		60		30			
%	Total energy (MJL ⁻¹)	%	Total energy (MJL ⁻¹)	%	Total energy (MJL ⁻¹)		
							Inputs
1.280	0.470	1.026	0.353	0.825	0.412	(h)	Labor force
72.749	26.75	73.422	25.25	78.203	39	(L)	Waste cooking oil
21.061	7.744	21.539	7.407	18.230	9.091	(L)	methanol
0.865	0.318	0.867	0.298	1.056	0.517	(kg)	(KOH) Catalyst
2.368	0.871	1.769	0.608	1.029	0.513	(kWh)	Electricity
1.674	0.616	1.392	0.479	0.686	0.342	(h)	Machine
	36.769		34.395		49.874		Total energy input
							Output
82.266	37.25	82.302	37.25	58.81	37.25	(L)	biodiesel
6.146	2.783	6.149	2.783	5.193	3.289	(L)	glyceride
5.949	2.694	5.951	2.694	4.784	3.030	(L)	Alcohol additions
0.00008	0.00004	0.00006	0.00003	0.00003	0.00002	(L)	Water
2.558	1.158	2.362	1.069	1.899	1.203	(L)	Soap
2.349	1.062	2.057	0.931	17.216	10.904	(L)	Monoglycerides
0.743	0.336	1.189	0.538	12.105	7.668	(L)	Di glycerides
	45.285		57.317		45.285		Total energy output

انرژی خروجی تیمارهای مربوط به زمان‌های واکنش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به ترتیب ۴۵/۲۸، ۴۵/۲۶ و ۴۳/۳۴ مگاژول بوده است. انرژی خروجی تیمارهای مربوط به زمان‌های واکنش ۶۰ و ۹۰ دقیقه تقریباً برابر بود. اما انرژی‌های ورودی این دو تیمار متفاوت بود که باعث اختلاف در نسبت انرژی فرآیند تولید بیودیزل می‌شود.



شکل ۳- درصد نهاده‌ی انرژی برای تولید بیودیزل در زمان‌های مختلف واکنش.

Figure 3. Energy percentage for producing biodiesel at different reaction times.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



شاخص راندمان مصرف انرژی، انرژی ویژه، بهره‌وری انرژی، خالص انرژی، برای تیمارهای مربوط به زمان های مختلف واکنش ترانس استریفیکاسیون در جدول ۴ آمده است. راندمان مصرف انرژی مهمترین شاخص انرژی برای تولید بیودیزل است. در تولید بیودیزل راندمان مصرف انرژی برای زمان های واکنش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۳۲ و ۱/۲۳ برآورد شده است، بدین معنی که بازای ۱ مگاژول نهاده برای تولید بیودیزل، به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۳۲ و ۱/۲۳ مگاژول ستانده تولید می‌شود. بنابراین زمان واکنش ۶۰ دقیقه بیشترین راندمان مصرف انرژی را در مقایسه با دیگر زمان های واکنش در این تحقیق داشته است. زمان واکنش ۶۰ دقیقه بیشترین عملکرد را نیز به خود اختصاص داد. بنابراین یک مقدار بهینه از زمان واکنش ترانس استریفیکاسیون اگرچه باعث افزایش انرژی مصرفی الکتریسیته شده است ولی به دلیل آنکه عملکرد واکنش را به نسبت بیشتری افزایش داده است باعث شده که در نهایت راندمان انرژی افزایش یابد. به هر حال افزایش زمان واکنش از حد بهینه نه تنها باعث کاهش عملکرد شد بلکه راندمان انرژی را نیز کاهش داد.

جدول ۴- شاخص های انرژی در تولید بیودیزل در زمان های مختلف واکنش

Table 3. energy indices on biodiesel production in different time period of reaction

time			Unit	Energy index
90	60	30		
1.231	1.316	1.27	-	Energy ratio
41.783	39.086	56.675	MJ kg ⁻¹	Specific energy
0.0272	0.029	0.02	kg MJ ⁻¹	energy efficiency
8.516	10.87	13.47	MJ L ⁻¹	Pure Energy

تقسیم بندی انرژی ورودی شامل انرژی های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید بیودیزل با زمان های مختلف واکنش مورد آزمایش در جدول ۵ ارائه شده است. 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 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 تجدیدناپذیر شناخته می شوند. همان طور که جدول ۵ نشان می دهد هر چه زمان واکنش ترانس استریفیکاسیون افزایش یافته است سهم انرژی مستقیم در فرآیند تولید بیودیزل نیز افزایش یافته در حالیکه سهم انرژی غیر مستقیم کاهش یافته است. همچنین با افزایش زمان واکنش از میزان تجدیدپذیری فرآیند تولید کاسته شده است به طوریکه در زمان واکنش ۳۰ دقیقه سهم انرژی های تجدیدپذیر ۷۹٪ برآورد شد در حالیکه در زمان واکنش ۹۰ دقیقه این سهم به ۷۵٪ کاهش یافته است.

جدول ۵- کل انرژی ورودی در قالب انرژی مستقیم، غیرمستقیم و انرژی تجدید پذیر و تجدیدناپذیر.

Table 5. Total input energy in the form of direct, indirect and renewable energy.

time						Energy form
%	90	%	60	%	30	
24.709	9.085	24.334	8.369	20.083	10.015	Direct Energy
75.288	27.683	75.681	26.027	79.925	39.859	Indirect energy
74.029	27.220	74.448	25.603	79.029	39.412	renewable energy
25.968	9.548	25.567	8.792	20.979	10.462	unrenewable energy



۴- نتیجه گیری

از میان نهاده های موجود برای تولید بیودیزل در زمانهای مختلف واکنش بیشترین سهم انرژی های ورودی مربوط به انرژی پسماند روغن خوراکی بود. به دلیل کوچک بودن سهم انرژی الکتریسیته در فرایند تولید بیودیزل، افزایش زمان واکنش تاثیر معنی داری بر سهم انرژی پسماند روغن خوراکی نداشت. زمان واکنش ۶۰ دقیقه بیشترین عملکرد واکنش را در میان تیمارهای مورد آزمایش به خود اختصاص داد. راندمان مصرف انرژی برای زمان های واکنش ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۳۲ و ۱/۲۳ برآورد شد که با افزایش زمان واکنش از میزان تجدیدپذیری فرآیند تولید کاسته شده است.

۵- مراجع

- Alamu, O.J., Waheed, M.A., & Jekayinfa, S.O. (2007). Biodiesel production from Nigerian palm kernel oil: effect of KOH concentration on yield, *Energy for Sustainable Development*, 11, 77–82 ,
- Anonymous. (2012a). *Biodiesel experiment*. Available at: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/06-07/Biodiesel/experiment.htm.
- Anonymous. (2012b). *Energy density*. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density.
- Anonymous. (2012c). *Molecular Weight Calculator*. Available at: <http://www.lenntech.com/calculators/molecular/molecular-weight-calculator.htm>.
- Anonymous. (2012d). *Standard Bond Energies*. Available at: <http://www.cem.msu.edu/~reusch/OrgPage/bndenrgy.htm>.
- Biermann, S., Rathke, G. W., Hulsbergen, K. J., & iepenbrock, W.D. (1999). *Energy recovery by crops in dependence on the input of mineral fertilizer*. Martin – Lutter King University.
- Brian, J., & Krohn, M. F. (2012). A life cycle assessment of biodiesel derived from the “niche filling” energy crop camelina in the USA, *Applied Energy*, 92, 92–98.
- Cecon, C., & Giovanardi, R. (2002). Energy balance of four systems in north eastern Italy. *Italy Journal Agron*, 6, 73-78,
- Eevera, T., Rajendran, K., & Saradha, S. (2009). Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions, *Renewable Energy*, 34, 762–765.
- Freedman, B., Pryde, E.H., & Mounts, T.L. (1984). Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *Journal of American Oil Chemist Society*, 61, 1638–1643.
- GuanHua, H., Feng, C., Dong, W., & Xue, W. (2010). Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Applied Energy*, 87, 38–46.
- Hasimoglu, C., Ciniviz, M., Ozsert, I., Icingur, Y., Parlak, A., & Salman, M.C. (2008). Performance characteristics of a low heat rejection diesel engine operating with biodiesel, *Renewable Energy*, 33, 1709–15.
- Hou, H., Wang, M., Bloyd, C., & Putsche, V. (2009). Life-cycle assessment of energy use and greenhouse gas emissions of soybean-derived biodiesel and renewable fuels. *Environmental Science & Technology*, 43, 750–756
- Jacobson, K., Gopinath, R., Meher, J.C., & Dalai, A.K. (2008). Solid acid catalyzed biodiesel production from waste cooking oil. *Appl Catal*, 85, 86–91.
- Leung, D.Y.C., & Guo, Y. (2006). Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production, *Fuel Process Technology*, 87, 883–890.
- Ma, F., Clements, L.D., & Hanna, M.A. (1998). The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 41, 1261–1264.
- Palligarnai, T.V., & Michael, B. (2008). Biodiesel production current state of the art and challenges. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. doi: 10.1007/s10295-008-0312-2.
- 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.
- Singh, S., & Mittal, J.P. (1992). *Energy in production agriculture*, New Delhi: Mittol Pub;
- Wang, Y., Qu, S., Liu, P., Xue, F., & Tang, S. (2006). Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil. *J Mol Catal A*: 252, 107–112.