یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

تاثیر دمای واکنش ترانس استریفیکاسیون بر راندمان انرژی تولید بیودیزل

گل محمد خوب بخت[1*]

[1]استادیار، گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران*(مسئول مکاتبات)؛ gol.m1360@yahoo.com

چکیده:

افزایش تقاضا برای انرژی و کاهش منابع نفتی منجر به جستجو برای جایگزین انرژی تجدیدپذیر و پایدار شده است .بیودیزل بهترین جایگزین برای سوخت دیزل است و همچنین برای سوخت زیست محیطی مناسب تر از سوخت دیزل است. در این تحقیق به بررسی تاثیر دمای واکنش در تیمارهای مختلف ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه بر روی راندمان تولید انرژی پرداخته شد. در این مطالعه نهاده ها شامل نیروی انسانی، پسماند روغن خوراکی، الکل (متانول)، کاتالیست، الکتریسیته و ستانده ها شامل بیودیزل، گلیسرول، اضافات الکل، آب، صابون، مونوگلیسرید و دی گلیسرید بودند. نتایج این تحقیق نشان داد دمای واکنش بر عملکرد واکنش ترنس استریفیکاسیون به روش مرسوم تاثیر گذار بود. انرژی مصرفی برای تولید هر لیتربیودیزل در دما های واکنش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۴۴/۷۱، ۳۹/۵۵ و ۳۴/۳۹ مگاژول به دست آمد. دمای واکنش ۶۰ درجه سلسیوس بیشترین عملکرد واکنش را در میان تیمارهای مورد آزمایش به خود اختصاص داد. راندمان مصرف انرژی برای دما های واکنش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۳۰ و ۱/۳۲ برآورد شد که با افزایش دمای واکنش از میزان تجدیدپذیری فرآیند تولید کاسته شد.

کلمات کلیدی: بیودیزل، دما، بازده انرژی، ترانس استریفیکاسیون.

Effect of transesterification reaction temperature on biodiesel production energy efficiency

Golmohammad Khoobbakht[1]

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

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

Abstract

The continuous increasing demand for energy and the diminishing tendency of petroleumresources has led to the search for alternative renewable and sustainable fuel. Biodiesel is best substitute for petro-diesel and also most advantageous over petro-diesel for its environmental friendliness. In this research, investigated.the effect of reaction temperature in different treatments of 40, 50 and 60 degrees on the energy efficiency . In this study, inputs included manpower, waste cooking oil, methanol, catalyst, electricity, and output including biodiesel, glycerin, excess alcohol, water, soap, monoglycerides and diglyceride. The results of this study showed that the reaction temperature affected the transcriptional reaction of the reaction using the conventional method.The energy used to product biodiesel at 40, 50 and 60 ° C reaction temperatures was 44.71, 39.55 and 34.39 MJ/lit, respectively.The reaction temperature of 60 ° C showed the highest reaction performance among the treatments. Energy consumption efficiency for temperatures of 40, 50 and 60° C were 1.28, 1.30 and 1.32 respectively and with increasing the temperature the amount of renewability was decreased.

Keywords: Biodiesel, temperature, Energy Efficiency, transesterification.

۱- مقدمه

تأمین انرژی جهان و چگونگی مصرف آن از دیرباز یکی از دغدغه‌های ذهن بشر و مباحث روز دنیا بوده و هست و انسان همیشه مجبور به جستجو برای یافتن راه‌هایی برای کاهش هزینه‌های تولید آن کرده است. انرژی، بستر حرکت‌های اقتصادی را تعیین می‌کند و به پیروی از آن حرکت‌های اجتماعی، سیاسی و فرهنگی ملت‌ها، جهت و شکل می‌گیرند. اهرم انرژی، در دنیای کنونی، به قدری حیاتی است که به طور مستقیم منافع ملی کشورها را تحت تأثیر قرارداده و رابطه آن‌ها با یکدیگر را تعیین می‌کند. با توجه به افزایش تقاضای انرژی و مشکلات آلودگی توسط سوخت‌های فسیلی، توسعه سوخت‌های جایگزین از منابع تجدیدپذیر انرژی، امری لازم و ضروری است. 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(Sancho Araujo et al., 2010). در بین سوخت‌های تجدیدپذیر، سوخت‌های بدست آمده از بیوماس مواد کشاورزی مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است، زیرا باعث کاهش گازهای گلخانه ای و آلاینده‌ی هوا می‌شوند. همچنین باعث کاهش وابستگی به واردات سوخت و کاهش هزینه‌ی انرژی شده و بخشی از تقاضای انرژی جهانی را جوابگو می‌باشند(Ghobadian & Rahimi, 2004). بیوماس(زیست توده) رایج ترین فرم انرژی‌های تجدیدپذیر است و در میان فرم تجدیدپذیر انرژی، مهمترین منبع از منابع انرژی اولیه می‌باشد. این به عنوان ۱۰٪ از انرژی مصرفی جهان به حساب می‌آید و می‌تواند به شکل‌های قابل استفاده‌ی دیگر انرژی مثل سوخت‌های زیستی تغییر یابد(Sancho Araujo et al., 2010). بیو دیزل یکی از انواع بیوسوخت هاست و خواصی بسیار شبیه به سوخت دیزل دارد با این تفاوت که دارای مواد ناخوشایندی از قبیل گوگرد، نیتروژن و آروماتیکهای پلی سایکلیک نیست. بیودیزل به طور کلی از متیل استر یا اتیل استر تشکیل شده است و دارای چندین گروه آلکیلی با زنجیره های هیدروکربن C ۱۵ تا C۱۷ است که به عنوان اسیدهای چرب شناخته می‌شوند. این سوخت می‌تواند بدون ایجاد تغییر در بویلرها، ماشین‌های گرمایی و موتورهای درونسوز به جای سوخت دیزل به کار رود(Ghobadian & Rahimi, 2004).

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 می آید(Dantas et al., 2007). 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 نسبتانرژی مفید خروجی به انرژی ورودی یک ماشین است.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \qquad (۱)$$

انرژی خروجی می‌تواند بصورت انرژی الکتریکی، انرژی مکانیکی، کار یا گرما باشد. نکته مهم در محاسبه بازدهی تبدیل، مقدار مفید (و نه کل) انرژی خروجی‌ست که علاوه بر بازدهی، میزان موثر بودن چرخه ترمودینامیکی را نیز بیان‌می‌کند. مقدار انرژی که در سیستم‌های مختلف تولیدی مصرف می‌شود، نه فقط به نوع آن محصول بلکه به نوع مواد به کار گرفته شده در تولید آن محصول نیز بستگی دارد. به گونه‌ای که نحوه رفتار سیستم‌های مختلف تولیدی در به کارگیری نهاده‌ها و منابع انرژی متفاوت بوده و در هر سیستم تولیدی کارایی انرژی حاصله متفاوت بوده به نحوی که می‌تواند منجر به ناپایداری تولید گردد. یکی از روش‌های بسیار مفید در تحلیل و ارزیابی پایداری تولید، استفاده از انرژی به عنوان ابزار محاسبه می‌باشد. به طور کلی هدف از انجام این مقاله بررسی میزان انرژی ورودی و خروجی و بازده انرژی در تولید بیودیزل از پسماند روغنهای خوراکی به عنوان سوخت جایگزین موتورهای دیزل در زمان های مختلف واکنش ترنس استریفیکاسیون می‌باشد. در این راستا به بررسی کلیه عوامل انرژی بر و محاسبه مجموع انرژیهای مستقیم و غیرمستقیم و تجدید پذیروتجدید ناپذیرپرداخته می شود.

۱-۱- دمای واکنش

فرآیند ترانس استریفیکاسیون تحت تأثیر پارامترهای مختلفی قراردارد‌که از مهمترین‌های آنها می توان به نسبت مولی الکل به روغن، غلظت ماده کاتالیزور در واکنش، دما و زمان واکنش اشاره کرد(Ma & Hanna, 1999; Meher et al., 2005). دما به طور واضح بر واکنش و تولید محصول بیو دیزل موثر میباشد. دمای بالاتر واکنش میتواند گرانروی روغن را کاهش داده و در نتیجه با یک سرعت واکنش بیشترمنجر به کوتاهتر شدن زمان واکنش

---

[۱] Fatty acids mono-alkyl esters
[۲] Transesterification
[۳] Triglyceride

شود. به هر حال لئونوجئو، همچنین اورا و همکاران دریافتند وقتیکه دمای واکنش از مقدار بهینه بیشتر شود تولید محصول بیودیزل کاهش مییابد زیرا دمای واکنش بالاتر واکنش صابون سازی از تری گلیسرید را تسریع میکند(Leung & Guo, 2006; Eevera et al., 2009). دمای واکنش باید کمتر از نقطه جوش الکل در نظر گرفته شود تا اطمینان حاصل شود که الکل تبخیر شده به بیرون از واکنش تراوش نکند. متناسب با روغن مورد استفاده دمای بهینه واکنش در واکنشهای ترانس استریفیکاسیون با یک کاتالیزور قلیایی و به روش مرسوم بین ۵۰°C تا ۶۰°C در نظر گرفته می‌شود(Ma & Hanna, 1999; Leung & Guo, 2006).

۲- مواد و روش‌ها

این مطالعه در آزمایشگاه بیودیزل دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است. فرآیند تولید بیودیزل از طریق ترانس استریفیکاسیون با کاتالیزور قلیایی به نام هیدروکسیدپتاسیم انجام می‌گیرد. نمودار جریان مراحل این روش در شکل ۱ ارائه شده است. زمانی که روغن، الکل و هیدروکسیدپتاسیم در یک مخزن واکنش، تحت اختلاط قرار گیرد واکنش ترانس استریفیکاسیون آغاز خواهد شد. برای تولید بیودیزل در مرحله‌ی ترانس‌استریفیکاسیون، واکنش تری گلیسیرید(روغن) با الکل تنها در منطقه سطحی بین دو مایع ناهمگن رخ می‌دهد(Hanh et al., 2008).

شکل۱- نمودار جریان فرآیند تولید بیودیزل(Gui et al., 2008)

Figure 1. biodiesel production process flow diagrams (Gui et al., 2008).

۲-۱- جریان انرژی در تولید بیودیزل

نهاده‌های مورد استفاده برای تولید بیودیزل، شامل انرژی نیروی انسانی، پسماند روغن خوراکی، الکل (متانول)، کاتالیست (KOH)، الکتریسیته و انرژی ماشین تولید بیودیزل و ستانده‌ها، بیودیزل، گلیسرول، اضافات الکل، آب، صابون، مونوگلیسرید و دی گلیسیرید بودند. برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستانده‌ها از ضرایب انرژی متناظر با هر یک استفاده شد. برای محاسبه محتوای انرژی صابون، مونوگلیسرید و دی‌گلیسیرید می‌بایست انرژی پیوند[1] بین عناصر هر یک محاسبه شود. برای محاسبهاین 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 می‌دهد.

[1]- Bond Energies

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. شاخص‌های انرژی به طور خاص عبارتند از: نسبت انرژی (راندمان مصرف انرژی)، بهره‌وری انرژی، خالص انرژی ، شدت انرژی که طریقه محاسبه هر کدام از این شاخص‌ها به ترتیب در فرمول‌های ۲ تا ۵ بیان شده است(Mohammadshirazi et al., 2012).

$$\text{بازده انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول بر لیتر)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر لیتر)}} \quad (۲)$$

$$\text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد (کیلوگرم بر لیتر)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر لیتر)}} \quad (۳)$$

$$\text{خالص انرژی} = \text{انرژی خروجی} - \text{انرژی ورودی} \quad (۲۴)$$

$$\text{ارزش شدت انرژی} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر لیتر)}}{\text{عملکرد (کیلوگرم بر لیتر)}} \quad (۵)$$

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
			Inputs
(Singh & Mittal., 1992)	1.96	h	Labor force
(Singh & 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 & Mittal., 1992)	11.93	kW/h	Electricity
(Singh & Mittal., 1992)	68.4	Kg	Machine
			Output
(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

انرژی نهاده‌های تولید را می‌توان به دو گروه عمده انرژی مستقیم[۱]و انرژی غیرمستقیم تقسیم نمود. منظور از انرژی مستقیم نوعی از انرژی است که به صورت مستقیم و بی‌واسطه منجر به انجام کار یا فعالیت می‌شود. انرژی نیروی انسانی، الکل والکتریسیته مصرفی برای تولیدبیودیزل جزء منابع انرژی مستقیم به شمار می‌روند. منظور از انرژی غیرمستقیم نوعی از انرژی است که قبلا برای تولید نهاده‌ها مصرف شده است؛ مانند انرژی پسماند روغن خوراکی، کاتالیزور و انرژی ماشین. در تقسیم‌بندی دیگر، در صورتی‌که امکان تولید و تبدیل شکلی از انرژی در کوتاه‌مدت وجود داشته باشد آن را تجدیدپذیر[۲]و در صورتی که این امکان وجود نداشته باشد، آن را تجدیدناپذیر[۳]در نظر می‌گیرند. منابع انرژی تجدیدناپذیر شامل الکل، کاتالیزور، ماشین و الکتریسیته است؛ درحالی‌که منابع انرژی تجدیدپذیر شامل بیودیزل و محصولات جانبی از جمله گلیسرول و اضافات الکل می‌باشد.

۱- ۳- بحث و نتایج

میزان انرژی ورودی هر یک از نهاده ها و انرژی خروجی ستانده ها در تیمارهای مربوط به دما های مختلف واکنش ترانس استریفیکاسیون در جدول ۳ ارائه شده است. انرژی مصرفی برای تولید هر لیتربیودیزل در دما های واکنش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۴۴/۷۱، ۳۹/۵۵ و ۳۴/۳۹ مگاژول بوده است. در دما های واکنش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس سهم انرژی مصرفی مربوط به پسماند روغن خوراکی شامل ۷۷٪، ۷۵٪ و ۷۳٪ از کل انرژی های ورودی در واکنش می باشد. همانطور که مشخص شد در همه تیمارهای مربوط به زمان واکنش بیشترین سهم انرژی های ورودی مربوط

[۱] Direct Energy
[۲] Renewable Energy
[۳] Nonrenewable Energy

به انرژی پسماند روغن خوراکی می باشد. افزایش دمای واکنش به طور مستقیم انرژی نهاده الکتریسیته را افزایش می دهد. انرژی الکتریسیته در این تیمارها نیز سهم کوچکی در انرژی های ورودی فرایند تولید بیودیزل به خود اختصاص داده است. با افزایش دمای واکنش از ۴۰ به ۶۰ درجه سلسیوس سهم انرژی الکتریسیته در انرژی های ورودی ۱/۲٪ به ۱/۸٪ افزایش یافته است. همانطور که سهم انرژی الکتریسیته با افزایش دمای واکنش از ۴۰ به ۶۰ درجه سلسیوس روند افزایشی داشته است، سهم انرژی پسماند روغن خوراکی با افزایش دمای واکنش روند نزولی داشته است. افزایش دمای واکنش در بازه مورد آزمایش باعث افزایش عملکرد شد به طوریکه بیشترین عملکرد تولید بیودیزل در دمای ۶۰ درجه سلسیوس براورد شد. این روند افزایشی عملکرد باعث شده است که مقدار انرژی صرف شده برای تولید یک لیتر بیودیزل روند نزولی داشته باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که اگر چه افزایش دما به طور مستقیم انرژی الکتریسیته مصرفی را افزایش داد اما به طور غیر مستقیم و با شدت بیشتر از طریق بالا بردن عملکرد تولید بیودیزل در واکنش ترانس استریفیکاسیون باعث کاهش کل انرژی های ورودی برای تولید یک لیتر بیودیزل شده است.

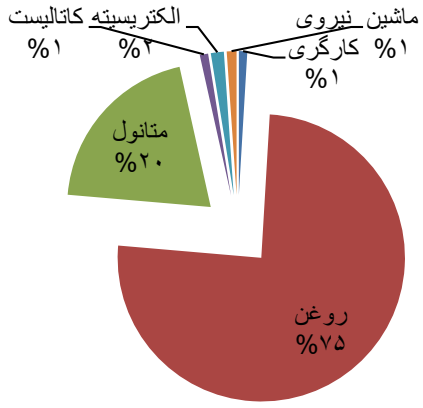
جدول ۳- الگوی انرژی برای تولید بیودیزل در دماهای مختلف واکنش

Table 3. Energy pattern for the Production of Biodiesel at Different Temperatures of the Reaction

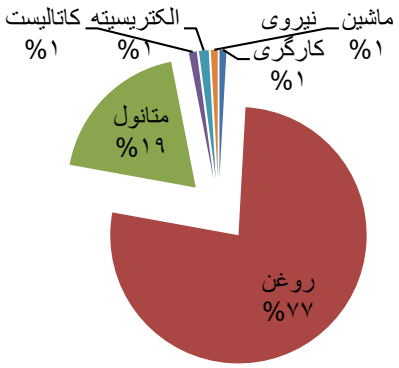
temperatures						unit	Amount of inputs and outputs
60		50		40			
(%)	Total energy (MJ L^{-1})	%) (	Total energy (MJ L^{-1})	(%)	Total energy (MJ L^{-1})		
							Inputs
1.026	0.353	0.941	0.372	0.876	0.392	(h)	Labor force
73.422	25.25	75.413	29.833	76.96	34.417	(L)	Waste cooking oil
21.539	7.407	20.143	7.968	19.074	8.530	(L)	methanol
0.867	0.298	0.937	0.371	0.992	0.444	(kg)	Catalyst (KOH)
1.769	0.608	1.457	0.576	1.218	0.545	(kWh)	Electricity
1.392	0.479	1.095	0.433	0.867	0.388	(h)	Machine
34.395	34.395		39.555		44.714		Total energy input
							Output
82.302	37.25	72.626	37.25	64.986	37.25	(L)	biodiesel
6.149	2.783	5.755	2.952	5.444	3.120	(L)	glyceride
5.951	2.694	5.470	2.806	5.091	2.918	(L)	Alcohol additions
0.0000663	0.00003	0.000052	0.0000267	0.0000407	0.0000233	(L)	Water
2.362	1.069	2.171	1.114	2.021	1.158	(L)	Soap
2.057	0.931	8.297	4.255	13.224	7.58	(L)	Monoglycerides
1.189	0.538	5.682	2.915	9.231	5.291	(L)	Di glycerides
	45.265				57.317		Total energy (output)

همانطور که در جدول ۳ مشخص است، افزایش دما از ۴۰ به ۶۰ درجه سلسیوس، مقدار انرژی مورد نیاز مربوط به پسماند روغن خوراکی برای تولید یک لیتر بیودیزل را از ۳۴ مگاژول به ۲۵ مگاژول کاهش داده است در حالی‌که انرژی الکتریسیته مورد نیاز تنها ۱۰۰ کیلو ژول افزایش یافت. به هرحال

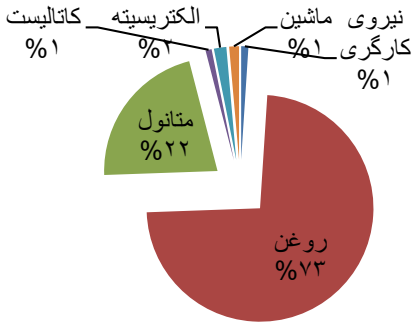
می توان نتیجه گرفت که دمای واکنش ترانس استریفیکاسیون یکی از مهمترین مشخصه های واکنش محسوب می شود که برای دستیابی به یک عملکرد مطلوب با صرف مقدار انرژی کمتر می توان دمای واکنش را تا ۶۰ درجه سلسیوس افزایش داد تا بتوان مقدار انرژی بسیار بیشتری را حاصل نمود. میزان سهم هر یک از نهاده ها در تیمارهای مربوط به دما های مختلف واکنش ترانس استریفیکاسیون در شکل ۲ نشان داده شده است.



(ب)



(الف)



(ج)

۲- شکل ۲- درصد نهاده‌ی انرژی برای تولید بیودیزل در دماهای مختلف واکنش: الف) دمای ۴۰ درجه؛ ب) دمای ۵۰ درجه ؛ ج) دمای۶۰ درجه.

Figure 2. Energy percentage for producing biodiesel at different temperatures. Reaction: a) temperature 40 degrees; b) temperature of 50 degrees; c) temperature of 60

انرژی خروجی تیمارهای مربوط به دما های واکنش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۵۷/۳۲، ۵۱/۲۹ و ۴۵/۲۶ مگاژول بوده است. همانطور که مشخص است با افزایش دمای واکنش ترانس استریفیکاسیون از ۴۰ به ۶۰ درجه سلسیوس انرژی خروجی فرایند به ازای تولید یک لیتر بیودیزل افزایش یافت. در محصولات خروجی واکنش بیودیزل به عنوان محصول اصلی و گلیسرول به عنوان محصول جانبی محسوب می شود. بقیه محصولات یا به عنوان ضایعات از چرخه تولید بیرون می روند و یا به عنوان مواد خام الکلی و استری در واکنش های بعدی دوباره وارد فرایند تولید بیودیزل می شوند. به هرحال این چرخه نشان می دهد که در صورت ثابت بودن مقدار بیودیزل خروجی به عنوان محصول اصلی و گلیسرول به عنوان محصول جانبی، پایین بودن مقدار بقیه ستانده های فرایند و مطابق آن مقدار انرژی خروجی مربوط به بقیه ستانده ها نشان دهنده مطلوبیت بیشتر فرایند تولید می باشد. اگر فرایند تولید به خصوص واکنش ترانس استریفیکاسیون به خوبی انجام شده باشد به ازای تولید یک لیتر بیودیزل ضایعات کمتری تولید شده و بالطبع آن انرژی خروجی کمتری را هم خواهیم داشت. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که به ازای تولید یک لیتر بیودیزل هرچه انرژی خروجی فرایند کمتر باشد نشان دهنده این است که فرایند تولید مطلوب تر و ضایعات انرژی کمتر می باشد. شاخص راندمان مصرف انرژی، انرژی ویژه، بهره‌وری انرژی، خالص انرژی، برای تیمارهای مربوط به دما های مختلف واکنش ترانس استریفیکاسیون در جدول ۴ آمده است.

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

Table 4. Energy Indicators for biodiesel production at different reaction temperatures

temperatures			Unit	Energy Index
60	50	40		
1.316	1.297	1.282	-	Energy ratio
39.806	44.949	50.812	MJ kg^{-1}	Specific energy
0.029	0.025	0.022	kg MJ^{-1}	energy efficiency
10.869	11.736	12.603	MJ L^{-1}	Pure Energy

راندمان مصرف انرژی مهمترین شاخص انرژی برای تولید بیودیزل است. در تولید بیودیزل راندمان مصرف انرژی برای دما های واکنش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۳۰ و ۱/۳۲ براورد شده است، بدین معنی که بازای ۱ مگاژول نهاده برای تولید بیودیزل، به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۳۰ و ۱/۳۲ مگاژول ستانده تولید می‌شود. بنابراین دمای واکنش ۶۰ درجه سلسیوس بیشترین راندمان مصرف انرژی را در مقایسه با دیگر دما های واکنش در این تحقیق داشته است. دمای واکنش ۶۰ درجه سلسیوس بیشترین عملکرد را نیز به خود اختصاص داد. بنابراین یک مقدار بهینه از دمای 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 هرحال افزایش دمای واکنش از حد بهینه نه تنها باعث کاهش عملکرد می شود بلکه می تواند راندمان انرژی را نیز کاهش دهد. تقسیم‌بندی انرژی ورودی شامل انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید بیودیزل با دما های مختلف واکنش مورد آزمایش در جدول ۵ ارائه شده است.

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

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

temperatures						Energy form
%	60	%	50	%	40	
24.334	8.369	22.548	8.917	21.168	9.466	Direct Energy
75.681	26.027	77.465	30.637	78.819	35.248	Indirect energy
74.448	25.603	76.373	30.206	77.837	34.809	renewable energy
25.567	8.792	23.639	9.350	22.151	9.906	unrenewable energy

همانطور که گفته شد انرژی‌های مستقیم شامل انرژی نهاده‌های نیروی کارگری، الکل و الکتریسیته می‌باشد در حالی که انرژی‌های غیر مستقیم شامل انرژی پسماند روغن خوراکی،کاتالیست و انرژی ماشین می‌شود. همچنین منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید دانه‌های روغنی شامل نیروی کارگری و پسماند روغن خوراکی است در حالی که سایر نهاده‌ها به عنوان منابع انرژی تجدیدناپذیر شناخته می‌شوند. همان طور که جدول ۵ نشان می‌دهد هر چه دما 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 دمای واکنش از میزان تجدیدپذیری فرآیند تولید کاسته شده است به طوریکه در دمای واکنش ۴۰ درجه سلسیوس سهم انرژی های تجدیدپذیر ۷۸٪ برآورد شد در حالیکه در دمای واکنش ۶۰ درجه سلسیوس این سهم به ۷۴٪ کاهش یافته است.

۳- ۴- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد تولید بیودیزل در دماهای ۴۰°C، ۵۰°C و ۶۰°C در واکنش ترنس استریفیکاسیون به روش مرسوم به ترتیب ۷۲٪، ۸۳٪ و ۹۹٪ به دست آمد و بنابراین دمای واکنش ۶۰ درجه سلسیوس به عنوان بهترین دمای واکنش انتخاب شد. انرژی مصرفی برای تولید هر لیتربیودیزل در دما های واکنش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۴۴/۷۱، ۳۹/۵۵ و ۳۴/۳۹ مگاژول بوده است.در تولید بیودیزل راندمان مصرف انرژی برای دما های واکنش ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۳۰ و ۱/۳۲ براورد شده است، همچنین با افزایش دمای واکنش از میزان تجدیدپذیری فرآیند تولید کاسته شده است به طوریکه در دمای واکنش ۴۰ درجه سلسیوس سهم انرژی های تجدیدپذیر ۷۸٪ برآورد شد در حالیکه در دمای واکنش ۶۰ درجه سلسیوس این سهم به ۷۴٪ کاهش یافته است.

۴- ۵- مراجع

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.

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.

Dantas, M.B., Almeida, A.A.F., Conceicão, 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.

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.

Ghobadian, B., & Rahimi, H.(2004). *Biofuels-Past*, Peresent and Future Perspective, the 4th International Iran and Russia Conference, Shahre kord, Iran, September, 2004.

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.

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.

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.

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., & Hanna, M.A. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70, 1-15.

Meher, L.C., Vidya Sagar, D., & Naik, S.N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10, 248–268.

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.

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.

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.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران