نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

ارزیابی انرژی و اقتصادی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون با رویکرد چرخه حیات

محمدعلی رجایی‌فر[1*]، اسداله اکرم[2]، برات قبادیان[3]، شاهین رفیعی[4]، رضا عبدی[5]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه تبریز

۲- دانشیار مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

۳- دانشیار مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

٤- استاد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

۵- استادیار مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه تبریز

* ایمیل مکاتبه کننده:mohamad_rajaei@alumni.ut.ac.ir

چکیده

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی چرخه حیات انرژی و اقتصادی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون با استفاده از امواج فراصوت می‌باشد. بدین منظور تولید بیودیزل در قالب یک چرخه حیات متشکل از مراحل تولید کشاورزی زیتون، حمل و نقل، روغن‌کشی زیتون، روغن‌کشی تفاله زیتون و تولید بیودیزل بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که میزان انرژی ورودی در طی چرخه حیات تولید بیودیزل بر اساس مدل تخصیص جرم و تخصیص اقتصادی به‌ترتیب ۲٦۰۱/۹۱ و ۳۸۰۵/۰٤ مگاژول بر هکتار بوده است. میزان انرژی خروجی (بیودیزل) نیز ۳٤۸۹/۳٦ مگاژول بر هکتار محاسبه شد. شاخص‌های انرژی نیز برای تولید بیودیزل محاسبه شد که عبارت بودند از: بازده انرژی، بهره‌وری انرژی، خالص انرژی و نسبت انرژی فسیلی که با توجه به نوع مدل تخصیص (جرمی- اقتصادی) به‌ترتیب برابر با ۱/۳٤؛ ۰/۹۲ (بدون واحد)، ۰/۰٤؛ ۰/۰۳ لیتر بر مگاژول، ۱٤۱۳/۵۰؛ ۳۱۵/٦۸(-) مگاژول برهکتار و ۱/٦۷؛ ۰/۹۳ (بدون واحد) محاسبه شد. شاخص‌های اقتصادی محاسبه شده برای تولید بیودیزل عبارتند از: ارزش تولید ناخالص، بازده ناخالص، بازده خالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری که به‌ترتیب برابر با ۳/۲٤ میلیون ریال بر هکتار، ۱/۰۲ میلیون ریال بر هکتار، ۱/۰۱ میلیون ریال بر هکتار، ٤۵/ ۱ (بدون واحد) و ٤۸/٤۳ لیتر بر میلیون ریال محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: امواج فراصوت، ترانس استریفیکاسیون، بیودیزل، چرخه حیات، روغن تفاله زیتون.

مقدمه

اختراع موتورهای درون‌سوز و پیشرفت‌های بعدی در فناوری ساخت موتور، منجر به استفاده‌ی بسیار وسیع از منابع نفتی و تخلیه‌ی بسیار سریع این منابع گردیده است. اکنون به‌خوبی مشخص شده است که به دلیل استخراج بیش از ۸۰ میلیون بشکه نفت در روز، در آینده‌ای نه‌چندان دور جهان با بحران کاهش و یا حتی اتمام منابع سوخت‌های فسیلی به ویژه نفت مواجه خواهد شد. از سوی دیگر احتراق این سوخت‌ها باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه‌ی اوزون، آلودگی محیط زیست و اختلالات تنفسی در شهرهای بزرگ شده است. علاوه بر این مشکلات، وابستگی کشورهای مصرف کننده به کشورهای تولید کننده و صادر کننده‌ی محصولات نفتی و فرآورده‌های آن مانند بنزین و گازوییل بیشتر شده و در نتیجه قیمت فرآورده‌های نفتی بسیار افزایش یافته است؛ به‌گونه‌ای که امنیت انرژی این کشورها نامطمئن گردیده و به خطر افتاده است. با ظهور این مشکلات لزوم بهره‌مندی از انرژی‌های جایگزین، تجدیدپذیر و پاک آشکار گردیده و توجه سیاست‌گذاران بخش انرژی به تولید اینگونه سوخت‌ها معطوف گردیده است.

زیست‌توده یکی از منابع مهم انرژی‌های تجدیدپذیر است که مقام نخست عرضه انرژی جهان در میان منابع تجدیدپذیر را در اختیار دارد. سوخت‌های زیستی که از منابع زیست توده تولید می‌شوند، توانایی بالایی در رفع مشکلات یاد شده دارند. این سوخت‌ها که پایه‌ی گیاهی و یا حیوانی دارند در حین سوختن آلودگی بسیار کمتری نسبت به سوخت‌های فسیلی تولید می‌کنند (Dorado et al., 2003; Sheehan et a., 1998).

از بین سوخت‌های تجدیدپذیر، بیودیزل و بیواتانول پیشرفت زیادی کرده‌اند. بیودیزل یکی از انواع سوخت‌های زیستی است که ویژگی‌هایی بسیار شبیه به سوخت گازوییل دارد با این تفاوت که دارای مواد ناخوشایندی از قبیل گوگرد، نیتروژن و آروماتیک‌های پلی سایکلیک (Polycyclic) نیست. بیودیزل به عنوان استرهای مونوالکیل (Mono Alkyl Esters) اسیدهای چرب با زنجیره‌های بلند تعریف می‌شود که از روغن‌های گیاهی می‌توان بعنوان رایج‌ترین منبع آن یاد کرد. این سوخت را می‌توان بدون ایجاد تغییر در بویلرها (Boiler)، ماشین‌های گرمایی و موتورهای درون‌سوز (به صورت مخلوط با گازوییل) به کار برد (Ghobadian et al., 2004). بیودیزل ابتدا از روغن‌های گیاهی تولید می‌شد، اما منابع دیگری مثل چربی‌های حیوانی، جلبک، قارچ و باکتری در حال حاضر نیز برای تولید بیودیزل مورد استفاده یا مطالعه قرار می‌گیرند.

بزرگترین انتقادی که امروزه به تولید بیودیزل وارد می‌شود این‌است که بیودیزل می‌تواند مسیر تولید محصولات کشاورزی را به سمت خود منحرف نماید. بحث اصلی بر سر این است که برنامه‌های تولید محصولات کشاورزی برای انرژی با برنامه‌های تولید محصولات برای غذا در رقابت هستند و در نتیجه این رقابت کمبود مواد غذایی و افزایش قیمت آن‌ها را به دنبال خواهد داشت. به منظور رفع این انتقاد اساسی و همچنین کاهش هزینه ماده خام اولیه، استفاده از پسماند مواد غذایی و بقایای کشاورزی بعنوان منابع تولید بیودیزل می‌تواند گزینه خوبی باشد (Enweremadu et al., 2009). تفاله زیتون نیز یکی از منابع پسماند گیاهی است که می‌توان برای این منظور از آن استفاده کرد. زیتون گیاهی است که درصد روغن خوراکی استحصالی از آن حدود ۱۸ تا ۳۰ درصد است (De Graaff

and Eppink, 1999) و مابقی آن تفاله است که می‌توان از روغن آن بیودیزل تهیه کرد (Redel-Macías et al., 2012). اگرچه استفاده از این منبع انرژی جایگزین به تنهایی نمی‌تواند جایگزین وابستگی به سوخت گازوییل شود اما یکی از منابعی است که می‌تواند سوختی پاک و انرژی جایگزین فراهم کرده و به تقاضای پایدار انرژی کمک کند.

روغن‌های گیاهی به عنوان سوخت برای موتورهای دیزلی، اولین بار توسط رادولف دیزل استفاده شد. اصلی‌ترین مسئله‌ای که مانع استفاده مستقیم از این روغن‌های گیاهی در موتورهای دیزلی امروزی می‌شود، داشتن گرانروی سینماتیکی بالا است. گرانروی سینماتیکی بالای این روغن‌ها باعث اشکال در پاشش و پودر شدن مناسب سوخت در محفظه احتراق شده، و نیز اختلال در روانکاری و احتراق ناقص و رسوب کربن در سیلندر را به همراه خواهد داشت (Ma and Hanna, 1999). برای کاهش گرانروی، استفاده از چهار روش ترانس‌استریفیکاسیون (Transesterification)، پیرولیز (Pyrolysis) ، رقیق‌سازی و میکروامولوسیون (Microemulsion) مورد بررسی قرار گرفته است که از بین آن‌ها ترانس‌استریفیکاسیون یا تبادل استری رایج‌ترین روشی است که امروزه در صنعت برای کاهش گرانروی از آن استفاده می‌شود (Knothe et al., 2005).

واکنش میان یک روغن یا چربی و یک الکل، ترانس‌استریفیکاسیون نامیده می‌شود. محصول این واکنش بیودیزل و گلیسرین است. چون روغن و الکل با هم مخلوط نمی‌شوند و واکنش آن‌ها با هم مدت زمان زیادی طول می‌کشد، استفاده از کاتالیزور، همزدن مکانیکی با شدت زیاد و افزایش دما، زمان تولید بیودیزل را تا حدی کاهش می‌دهد (Ghobadian and Khatamifar, 2005) لیکن این کاهش تا حدی نیست که انتظارات را برآورده کند. با توجه به این موضوع، برای بررسی تولید بیودیزل از یک منبع، همواره بایستی از روش‌هایی استفاده کرد که مدت زمان واکنش و انرژی مصرفی آن را به حداقل برساند. یافتن راه حلی برای این مسئله موضوع تحقیق بسیاری از پژوهشگران بوده است. یکی از این روش‌های موثر مورد استفاده برای تولید بیودیزل تابش امواج فراصوت است (Hingu et al., 2010; Stavarache et al., 2007; Teixeira et al., 2009; Ji et al., 2006).

به امواجی که دارای فرکانس بالاتر از محدوده قابل شنیدن برای انسان (به طور معمول بیش از ۲۰ کیلوهرتز) هستند، امواج فراصوت گفته می‌شود. این امواج همانند صوت وقتی به جامد یا مایع تابیده می‌شوند، تولید ارتعاشات مکانیکی می‌کنند. این ارتعاشات مکانیکی در مایع باعث حفره‌زایی و افزایش دما شده و نیز انتقال جرم را بهبود می‌بخشد. این اثرات در فرآیند تولید بیودیزل می‌تواند جایگزین همزن مکانیکی و افزایش دمایی مورد استفاده در روش مرسوم تولید بیودیزل قرار گیرد (Ji et al., 2006). از آنجا که تحقیقات پیرامون استفاده از روش فراصوت همچنان ادامه دارد، لذا تولید بیودیزل با استفاده از این روش در ایران نیز تازگی داشته و مسئله‌ای است که نیازمند تحقیق است؛ از این‌رو در تحقیق حاضر تولید بیودیزل با استفاده از این روش انجام گرفته است.

مهم‌ترین عوامل برای ارزیابی تولید بیودیزل از یک منبع، تراز انرژی فرآیند تولید، مقدار محصول بیودیزل تولیدی و هزینه‌های تولید بیودیزل از آن منبع است (De Souza et al., 2010). به‌منظور بررسی عوامل یاد شده، فرآیند تولید بیودیزل از یک منبع گیاهی یا حیوانی را بایستی به صورت یک چرخه کاملاً به هم پیوسته از آغاز فرآیند تولید مواد اولیه به منظور تهیه خوراک بیودیزل تا انتهای فرآیند تولید بیودیزل در نظر گرفت که به آن چرخه حیات تولید

بیودیزل می‌گویند. بدین منظور، در تحقیق حاضر بررسی جریان انرژی و اقتصادی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون در قالب چرخه حیات انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

هدف و چارچوب مطالعه

هدف از انجام تحقیق حاضر تحلیل انرژی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون در طی چرخه حیات آن و تولید بیودیزل از این منبع با استفاده از سامانه‌ی فراصوت می‌باشد. در کنار این هدف نیز محاسبه عملکرد اقتصادی این فرآیند در طی چرخه حیات آن مد نظر است. بدین منظور، چارچوب مطالعه ارزیابی چرخه حیات حاضر متشکل از پنج مرحله تولید کشاورزی محصول زیتون در باغ‌ها، حمل و نقل زیتون به کارخانه‌های روغن‌کشی، روغن‌کشی زیتون، روغن‌کشی تفاله زیتون و تولید بیودیزل در آزمایشگاه می‌باشد. مراحل اول، دوم و سوم این مطالعه در سال ۹۰ در شهرستان رودبار استان گیلان (به‌عنوان یکی از قطب‌های تولید زیتون در ایران) و مرحله چهارم و پنجم نیز در سال ۹۱ در آزمایشگاه بیودیزل مرکز تحقیقات بیوانرژی و آزمایشگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت.

واحد کاری (Functional Unit)

در مطالعات ارزیابی چرخه حیات، واحد کاری توصیف کننده عملیات اصلی انجام شده توسط یک سیستم تولیدی (یا خدماتی) است که میزان در نظر گرفته شدن این تابع در مطالعه ارزیابی چرخه حیات توسط آن نشان داده می‌شود (Guinée, 2001). در این مطالعه واحد کاری بر مبنای بیودیزل تولیدی به ازای یک هکتار در نظر گرفته شده است.

سیاهه نویسی چرخه حیات

داده های پیش زمینه (Foreground Data)

داده‌های پیش زمینه داده‌هایی هستند که برای مدل کردن یک سامانه خاص مورد نیاز می‌باشند. این داده‌ها به طور معمول داده‌هایی هستند که سامانه تولید یک محصول خاص را توصیف می‌کنند. نحوه جمع‌آوری داده‌های پیش زمینه در مراحل پنج‌گانه در بخش هدف و چارچوب مطالعه ذکر شده است.

داده های پس زمینه (Background Data)

داده‌های پس زمینه داده‌های مواد کلی، انرژی، حمل و نقل و ... می‌باشند که معمولا در پایگاه‌های داده و منابع یافت می‌شوند. در مطالعه حاضر، با توجه به نهاده‌های مصرف شده در هر کدام از مراحل چرخه حیات و همچنین ستانده‌ها، داده‌های پس زمینه از منابع استخراج و طبق جدول ۱ و۲ تنظیم شده است.

تخصیص

در این مطالعه برای اختصاص دادن جریان انرژی مصرفی به محصولات تولیدی از روش‌های تخصیص جرم و تخصیص اقتصادی استفاده شده است.

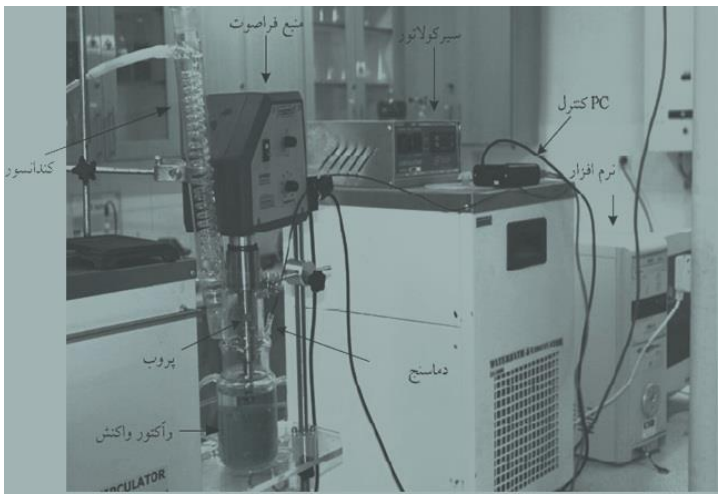
مدل تخصیص استفاده شده در تحقیق حاضر بر اساس مطالعات دیگر در این زمینه و با توجه به مراحل چرخه حیات تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون، به‌صورت زیر در نظر گرفته شد (Sheehan et al., 1998; Pradhan et al., 2009).

$$TEC_a = (E_1+E_2+E_3)\, f_1+E_4 f_2+E_5 f_3 \quad (۱)$$

که در آن TEC_a کل انرژی مصرفی تخصیص یافته در طول چرخه حیات تولید بیودیزل (مگاژول به ازای بیودیزل تولیدی در هکتار)، E_1 کل انرژی مصرفی در مرحله تولید کشاورزی زیتون (مگاژول به ازای بیودیزل تولیدی در هکتار)، E_2 کل انرژی مصرفی در مرحله حمل ونقل محصول به کارخانه‌های روغن‌کشی (مگاژول به ازای بیودیزل تولیدی در هکتار)، E_3 کل انرژی مصرفی در مرحله روغن‌کشی زیتون (مگاژول بر هکتار محصول بیودیزل تولیدی)، f_1 ضریب تخصیص جرمی/ اقتصادی بر اساس جرم/ارزش تفاله تولیدی، E_4 کل انرژی مصرفی در مرحله روغن‌کشی تفاله زیتون (مگاژول به ازای بیودیزل تولیدی در هکتار)، f_2 ضریب تخصیص جرمی/ اقتصادی بر اساس جرم/ارزش روغن تفاله تولیدی، E_5 کل انرژی مصرفی مرحله تولید بیودیزل (مگاژول به ازای بیودیزل تولیدی در هکتار) و f_3 ضریب تخصیص جرمی/اقتصادی بر اساس جرم/ارزش بیودیزل تولیدی می‌باشند.

روش تولید بیودیزل

در این تحقیق از روش ترانس استریفیکاسیون با کاتالیزور بازی به خاطر مزایا و برتری‌های آن نسبت به روش‌های دیگر استفاده شد. همچنین برای انجام واکنش ترانس استریفیکاسیون به جای فرآیندهای مرسوم، از فرآیند امواج فراصوت استفاده شده است. در این مطالعه از یک دستگاه منبع فراصوت مدلUP400S، ساخت شرکت هیلشیر (Hielscher) آلمان به عنوان منبع تولید کننده امواج فراصوت استفاده شد. این دستگاه دارای توان بیشینه ٤۰۰ وات در فرکانس ثابت ۲٤ کیلو هرتز می‌باشد. همچنین این دستگاه دارای قابلیت تنظیم پالس ارتعاش میله (Cycle) (بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد)، شدت دامنه ارتعاشی (Amplitude) (بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد) و زمان انجام واکنش (۳ تا ۹ دقیقه برای این آزمایش) می‌باشد. در شکل (۱) سامانه‌ی تولید بیودیزل با استفاده از امواج فراصوت نشان داده شده است.



شکل ۱ : سامانه تولید بیودیزل با استفاده از امواج فراصوت

به منظور حداکثرسازی میزان تولید متیل استر اسیدهای چرب و حداقل سازی انرژی فراصوت مصرفی واکنش ترانس استریفیکاسیون، ماتریس آزمایشی طراحی شد که شامل محدوده‌های عملکرد متغیرهای پالس ارتعاش میله (بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد)، شدت دامنه ارتعاشی (بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد) و زمان انجام واکنش (۳ تا ۹ دقیقه برای این آزمایش) می‌باشد (با ثابت در نظر گرفتن مقادیر ثابت برای متغیرهای روغن به الکل، دمای انجام واکنش و عمق قرارگیری پروب در مخلوط واکنش بر اساس مطالعه مشابه صورت گرفته بر روی روغن پسماند خوراکی (Fayyazi et al., 2014). پس از انجام آزمایش، بهترین تیمار برای تولید بیودیزل با استفاده از روش فراصوت معرفی گردید.

جدول۱: محتوای انرژی نهاده ها.

نهاده/ستانده	واحد	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد)	مرجع
نهاده‌ها			
الف- تولید کشاورزی			
۱. نیروی کارگری	h	۱/۹٦	(Singh and Mittal, 1992)
۲. سوخت بنزین	l	٤٦/۳	(Kitani, 1992)
۳. سموم شیمیایی	kg	۱۲۰	(Mohammadi et al., 2010)
٤. کود شیمیایی	kg		
الف- نیتروژن		۷۸/۱	(Mohammadshirazi et al., 2012)
ب- فسفات		۱۷/٤	(Mohammadshirazi et al., 2012)
پ- پتاسیم		۱۳/۷	(Mohammadshirazi et al., 2012)
ج- سولفور		۱/۱۲	(Heidari et al., 2012)
۵. آب آبیاری	m^3	۱/۰۲	(Tabatabaie et al., 2012)

٦. الکتریسیته	kW h	۳/٦	(Tabatabaie et al., 2012)
۷. کود دامی	kg	۰/۳	(Mohammadshirazi et al., 2012)
۸. ماشین	kg		
الف- تانکر سم‌پاش (۱۰۰ لیتری)		۹۲/۸	(Guzmán and Alonso, 2008)
ب- سم‌پاش پشتی موتوری		۸۸/۵	(Guzmán and Alonso, 2008)
ب- حمل ونقل			
۱. سوخت گازوییل	l	٤۷/۸	(Kitani, 1992)
۲. نیروی کارگری	h	۱/۹٦	(Singh and Mittal, 1992)
ج- روغن‌کشی زیتون			
۱. گاز طبیعی	m^3	٤۹/۵	(Kitani, 1992)
۲. الکتریسیته	kW h	۱۱/۲۱	(Pishgar-Komleh et al., 2013)
۳. نیروی کارگری	h	۱/۹٦	(Singh and Mittal, 1992)
٤. الکتروموتور	kg	٦٤/۸	(Heidari et al., 2012)
۵. فولاد	kg	٦۲/۷	(Heidari et al., 2012)
د- روغن‌کشی تفاله زیتون			
۱. هگزان	l	۲۲/۳۱	(Sheehan et al., 1998)
۲. الکتریسیته	kW h	۱۱/۲۱	(Pishgar-Komleh et al., 2013)
ه- تولید بیودیزل			
۱. الکل (متانول)	kg	۳۷/٦۰	(De Souza et al., 2010)
۲. پتاسیم هیدروکسید	kg	۱۹/۸۷	(محمد شیرازی، ۱۳۹۱)

جدول۲: محتوای انرژی ستانده‌ها

ستانده	واحد	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد)	مرجع
زیتون	kg	۱۷/۷۰	(Kaltsas et al., 2007)
روغن زیتون	kg	۳۷/٦۰	(Guzmán and Alonso, 2008)
تفاله زیتون	kg	۲۰/۷۵	(Kaltsas et al., 2007)
بیودیزل	kg	۳۷/۲۰	(Krohn and Fripp, 2012)
گلیسیرین	l	۲۵/۳	(محمد شیرازی، ۱۳۹۱)

بحث و نتایج

جریان انرژی در مرحله تولید کشاورزی محصول زیتون در باغ‌ها

مقدار متوسط مصرف نهاده‌ها در یک هکتار باغ زیتون در طول یک فصل زراعی و همچنین میزان محصول تولیدی در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول ۳، مقدار کل انرژی مصرفی و ستانده در تولید زیتون در منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب ۱۹۰۸۱/۷٦ مگاژول بر هکتار و ٥٥٤۷۱/۸ مگاژول بر هکتار محاسبه شده است. گزمان و آلونسو (۲۰۰۸) میزان مصرف انرژی در باغ‌های زیتون متداول در کشور اسپانیا را به‌ترتیب ٥٦۳٥۰ مگاژول بر هکتار و ٤۱۳۷۰ مگاژول بر هکتار بیان کردند (Guzmán and Alonso, 2008). همچنین انرژی ستانده در این مطالعه به‌ترتیب ۱۳۷۳٥۰ مگاژول بر هکتار و ۱۲۳۱۳۷ مگاژول بر هکتار به‌دست آمده است. کالتساس و همکاران (۲۰۰۷) نیز مقدار کل انرژی مصرفی و ستانده در تولید زیتون در کشور یونان را به‌ترتیب برابر ٦۹٤۳۱ مگاژول بر هکتار و ۱۷٤۹٤۱ مگاژول بر هکتار به‌دست آوردند (Kaltsas et al., 2007). علت اصلی بالاتر بودن کل انرژی مصرفی برای محصول زیتون در مطالعات یاد شده تراکم بیشتر درخت به ازای هر هکتار (حدود ۱۰۰۰ تا ۱٥۰۰درخت در هر هکتار در مطالعات یاد شده) و استفاده بیشتر از انواع ماشین‌های کشاورزی (بین ۱۰ تا ۱۲ هزار مگاژول و در حدود ۱۸ تا ۳۰ درصد از کل انرژی مصرفی) به دلیل شیب بسیار کم زمین‌های مورد مطالعه بوده است.

در میان نهاده‌های مصرف شده، سهم کودهای شیمیایی (با ۷٦/۱۱ درصد) از سایر نهاده‌های مصرفی بیشتر است. به‌طور جزیی‌تر بیشترین سهم از کل انرژی نهاده‌ها را کود نیتروژن با سهم ٦۷/۰٥ درصد به خود اختصاص داده است و پس از آن کود پتاس با سهم ٦/٥۱ درصد و نیروی کارگری با ٥/٤۷ درصد بیشترین سهم از کل انرژی مصرفی نهاده‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۳: مقدار انرژی نهاده‌ها و محصول در منطقه مورد مطالعه (در هر هکتار).

عنوان	متوسط میزان مصرف	متوسط میزان مصرف/تولید انرژی (مگاژول بر هکتار)
نهاده		
۱. نیروی کارگر (h)	٥۳۲/۳۰	۱۰٤۳/۳۱
۲. سوخت بنزین (L)	٥/۲۲	۲٤۱/٦۹
۳. کودشیمیایی (kg)		
الف) نیتروژن	۱٦۳/۸۲	۱۲۷۹٤/۰٦
ب) فسفات	۲۳/٤۳	٤۰۷/۷۱
ج) پتاس	۹۰/٦٦	۱۲٤۲/۱٥
د) سولفور	٦۹/٤۷	۷۷/۸۱
٤. کود دامی (kg)	۳۰٥۲/۰۳	۹۱٥/٦۱
٥. آب آبیاری (m^3)	۹۳۹/٦۰	۹٥۸/٤۰

٦. الکتریسیته (kW h)	۲۲٤/۷۷	۸۰۹/۱۸
۷. سموم شیمیایی (kg)	٤/٦٦	٥٥۹/۲۷
۸. ماشین (h)		
الف) تانکر سم‌پاش (۱۰۰ لیتری)	٤/۱۷	۲٥/۸۰
ب) سم‌پاش پشتی موتوری	۱٥/۳۲	٦/۷۷
کل انرژی نهاده		۱۹۰۸۱/۷٦
ستانده		
زیتون(kg)	۳۱۳٤	٥٥٤۷۱/۸

جریان انرژی در مرحله حمل و نقل زیتون

مرحله حمل و نقل محصول زیتون به کارخانه‌های روغن‌کشی به‌عنوان دومین مرحله در چرخه حیات تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون در نظر گرفته شد. مقدار مصرف نهاده‌ها در این مرحله و انرژی مصرفی آن‌ها در جدول ٤ ذکر شده است. همان‌طور که جدول ٤ نشان می‌دهد مقدار کل انرژی مصرفی در مرحله حمل و نقل زیتون ۷٤/۲۸ مگاژول بر هکتار می‌باشد. بیشترین سهم نهاده در این مرحله به سوخت گازوییل با سهم انرژی مصرفی ۹۲ درصد اختصاص داشته است. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که متوسط فواصل بین مزارع و کارخانه‌ها در منطقه مورد مطالعه ۷ کیلومتر بوده است.

جدول ٤: مقدار مصرف / انرژی مصرفی نهاده‌ها در مرحله حمل و نقل (به ازای هر هکتار).

عنوان	متوسط میزان مصرف (واحد بر هکتار)	متوسط میزان مصرف انرژی (مگاژول بر هکتار)
۱. نیروی کارگر(h)	۳	٥/۸۸
۲. سوخت گازوییل (l)	۱/٤۳	٦۸/٤۰
کل انرژی نهاده		۷٤/۲۸

جریان انرژی در مرحله روغن‌کشی زیتون

پس از جمع‌آوری اطلاعات از کارخانه‌های روغن‌کشی در منطقه رودبار، نتایج انرژی مصرفی و ستانده‌ها در جدول ٥ جمع‌آوری گردیده است. کارخانه‌های مورد مطالعه در منطقه، از انرژی‌های الکتریسیته و گاز طبیعی برای به‌کار انداختن الکتروموتورها و تولید گرما برای خطوط روغن‌کشی استفاده می‌کردند. نتایج جدول ٥ نشان می‌دهد که مقدار کل انرژی مصرفی در مرحله روغن‌کشی زیتون ۱٦۰٤/۲٤ مگاژول بر هکتار بوده است. با توجه به اطلاعات پرسشنامه‌ای جمع‌آوری شده، میانگین روغن استحصالی به ازای هر هکتار کشت زیتون ۲۰ درصد بوده است که

برابر میانگین ٦٢٦/٧٩ کیلوگرم روغن به ازای هر هکتار (و انرژی ٢٣٥٦٧/٣٠ مگاژول بر هکتار) بوده است. همچنین میزان ٩٨٩/٢٨ کیلوگرم تفاله زیتون نیز از هر هکتار باغ زیتون به‌دست می‌آید (٢٠٥٢٧/٥٦ مگاژول بر هکتار).

جریان انرژی در مرحله روغن‌کشی تفاله زیتون

پس از روغن‌کشی زیتون، تفاله‌های باقی مانده با استفاده از حلال هگزان روغن‌کشی شدند. جدول ٦ مقدار نهاده و میزان انرژی مصرفی در این مرحله را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ٦ برای روغن کشی یک کیلوگرم تفاله زیتون، مقدار کل انرژی مصرفی برابر ٢/٧٩ مگاژول بر کیلوگرم به‌دست آمده است. میزان مصرف شده هگزان در جدول ٦، نشان دهنده میزان اتلاف هگزان است زیرا این ماده به‌هنگام روغن‌کشی در یک چرخه بسته دائماً در حال بازیافت است. با توجه به اینکه در این مطالعه از هر کیلوگرم تفاله ١٢٠ گرم روغن (١٢ درصد) استخراج شده است لذا انرژی مصرفی استخراج ١٢٠ گرم روغن تفاله معادل ٢/٧٩ مگاژول است. در مقیاس صنعتی نیز می‌توان با استفاده از یک دستگاه روغن‌کشی هگزان با مصرف الکتریسیته بسیار ناچیز و اتلاف هگزان کمتر، روغن‌کشی را انجام داد (مالک، ١٣٧٩). لازم به ذکر است که با توجه به میزان تفاله تولیدی در یک هکتار (٩٨٩/٢٨ کیلوگرم)، میزان ١١٨/٧١ کیلوگرم روغن تفاله زیتون را می‌توان از یک هکتار محصول زیتون استحصال نمود.

جدول ٥: مقدار مصرف نهاده‌ها، انرژی مصرفی نهاده‌ها و ستانده‌ها در مرحله روغن‌کشی زیتون (به ازای هر هکتار).

عنوان	متوسط میزان مصرف/تولید (واحد بر هکتار)	متوسط میزان مصرف/تولید انرژی (مگاژول بر هکتار)
نهاده		
١. نیروی کارگر(h)	٣	٥/٨٨
٢. الکتریسیته (kW h)	٧٥	٨٤٠/٧٥
٣. گاز طبیعی (m3)	١٥	٧٤٢/٥٠
٤. الکتروموتور (kg)	٤٠٠	٠/٦
٥. فولاد (kg)	١٠٠٠٠	١٤/٥١
کل انرژی نهاده		١٦٠٤/٢٤
ستانده		
١. روغن زیتون (kg)	٦٢٦/٧٩	٢٣٥٦٧/٣٠
٢. تفاله زیتون (kg)	٩٨٩/٢٨	٢٠٥٢٧/٥٦

جدول ٦: مقدار مصرف نهاده‌ها و انرژی مصرفی نهاده‌ها در مرحله روغن‌کشی تفاله زیتون (به ازای هر کیلوگرم تفاله).

عنوان	متوسط میزان مصرف (واحد بر کیلوگرم تفاله)	متوسط میزان مصرف انرژی (مگاژول بر کیلوگرم تفاله)
۱. الکتریسیته (kW h)	۰/۰۷	۰/۷۸
۲. هگزان (l)	۰/۰۹	۲/۰۱
کل انرژی نهاده		۲/۷۹

جریان انرژی در مرحله تولید بیودیزل

پس از اجرای ماتریس آزمایشی طراحی شده برای انجام واکنش ترانس استریفیکاسیون با سامانه فراصوت، نقطه بهینه واکنش به صورت دامنه ارتعاشی ۱۰۰ درصد، پالس ارتعاشی ۲۰ درصد و زمان واکنش ٥/٩٤ دقیقه انتخاب شد. این نقطه دارای کمترین انرژی فراصوت مصرفی (۷۷۳٤/۸۷ ژول) و بیشترین میزان تولید متیل استر اسیدهای چرب (۹۰/٤۰ درصد) با توجه به شرایط آزمایش می‌باشد. نتایج مصرف انرژی نهاده‌ها و میزان تولید ستانده‌ها در مرحله تولید بیودیزل در جدول ۷ جمع‌آوری گردیده است.

جدول۷: مقدار نهاده مصرفی، میزان انرژی مصرفی و ستانده در مرحله تولید بیودیزل.

عنوان	میزان مصرف/تولید (واحد بر لیتر بیودیزل)	میزان مصرف/تولید انرژی (مگاژول بر لیتر بیودیزل)
نهاده		
۱. الکتریسیته (kW h)	۰/۳۲	۱/۱۵
۲. الکل (kg)	۰/۲۳۱	۸/۷
۳. کاتالیزور (kg)	۰/۰۱۱	۰/۲۲
کل انرژی نهاده		۱۰/۰۷
ستانده		
۱. بیودیزل (kg)	۰/۸٦۹	۳۲/۳۳
۲. گلیسیرین (l)	۰/۰۹	۲/۲۸

با توجه به نتایج جدول۷، مقدار کل انرژی مصرفی برای تولید یک لیتر بیودیزل ۱۰/۰۷ مگاژول بوده است که از این میزان، بیشترین مصرف را نهاده الکل و الکتریسیته به خود اختصاص داده‌اند. میزان انرژی مصرفی الکل در تولید بیودیزل در این مطالعه بالاتر از میزان انرژی مصرفی الکل برای تولید بیودیزل از پسماند روغن خوراکی (٥/٨٤ مگاژول بر لیتر بیودیزل)(محمد شیرازی، ۱۳۹۱)، بیودیزل حاصل از روغن نخل (۳/۳ مگاژول بر لیتر بیودیزل) (De

(Souza et al., 2010) و بیودیزل حاصل از روغن سویا (۳/۷ مگاژول بر لیتر بیودیزل) (Chen and Chen, 2011) است. علت این امر پایین بودن کیفیت تفاله در منطقه مورد مطالعه و در نتیجه بالاتر بودن میزان اسید چرب آزاد در روغن تفاله زیتون است که انجام پیش واکنش استریفیکاسیون را ضروری می‌سازد. مقدار الکل مصرفی در طی پیش واکنش ۱۱۰/٦۳ گرم به ازای هر لیتر بیودیزل تولیدی است که این میزان ٤/۱٦ مگاژول انرژی مصرفی به ازای هر لیتر بیودیزل تولیدی را به‌دنبال خواهد داشت. علت بالاتر بودن میزان اسیدهای چرب در روغن مورد مطالعه نسبت بسیاری از روغن‌های دیگر نظیر روغن پسماند، نخل، سویا و کلزا می‌تواند در اثر روغن‌کشی با کیفیت پایین در کارخانه‌های منطقه، استفاده از میوه‌های با کیفیت پایین (ارقام خوراکی برای روغن‌کشی)، فاصله زمانی زیاد بین برداشت و روغن‌کشی (بیش از ٤ روز)، وجود بیماری‌های قارچی در میوه و دیر برداشت کردن میوه باشد. لزوم استفاده از ارقام روغنی به جای خوراکی، کاهش فاصله زمانی برداشت تا روغن‌کشی و برداشت به‌موقع همگی جزء راه‌هایی هستند که می‌توانند باعث تولید تفاله‌ای با درصد روغن بیشتر، محتوای اسید چرب آزاد کمتر در روغن تفاله زیتون و در نهایت حذف پیش واکنش (و کاهش انرژی مصرفی تولید بیودیزل) شوند.

با توجه به نتایج آزمایش در این مرحله، از هر کیلوگرم روغن تفاله زیتون میزان ۷۹۰/۱۵ گرم بیودیزل تولید می‌شود. لذا میزان ۹۳/۸۰ کیلوگرم یا ۱۰۷/۹٤ لیتر بیودیزل را می‌توان از یک هکتار محصول زیتون استحصال نمود.

شاخص‌های انرژی در چرخه حیات

شاخص‌های انرژی در چرخه حیات تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون در جدول ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، شاخص بازده انرژی تولید بیودیزل با توجه به مدل تخصیص جرم و اقتصادی به‌ترتیب ۱/۳٤ و ۰/۹۲ به‌دست آمد. در مطالعه مشابه، بازده انرژی برای تولید بیودیزل از پسماند روغن خوراکی ۱/۱۹ به دست آمده است (محمد شیرازی، ۱۳۹۱). بازده انرژی برای تولید بیودیزل از روغن نخل نیز ۵/٤ به دست آمده است (De Souza et al., 2010). علت این تفاوت در بالا بودن درصد روغن گیاه نخل (۲۱ درصد) نسبت به تفاله زیتون و همچنین بالاتر بودن محصول روغن (۳/۵ تا ۵ تن) در هر هکتار برای این گیاه است. چن و چن بازده انرژی در تولید بیودیزل از روغن کلزا ۱/۱ ارزیابی کرده و متذکر شدن که علت اصلی پایین بودن بازده انرژی، پایین بودن عملکرد کلزا در هکتار است (Chen and Chen, 2011). افزایش تراکم درخت‌ها در هکتار می‌تواند راهکار مناسبی برای این منطقه باشد.

جدول۸: شاخص‌های انرژی در چرخه حیات تولید بیودیزل.

شاخص	مدل تخصیص جرم	مدل تخصیص اقتصادی
بازده انرژی	۱/۳٤	۰/۹۲
بهره‌وری انرژی (l/MJ)	۰/۰٤	۰/۰۳
خالص انرژی (MJ/ha)	۱٤۱۳/۵۰	-۳۱۵/٦۸
نسبت انرژی فسیلی	۱/٦۷	۰/۹۳
انرژی مستقیم (MJ/ha)	٤۹۷/۷	۸۷۳/۳۳

انرژی غیر مستقیم (MJ/ha)	۲۱۰٤/۲۱	۲۹۳۱/۷۱
انرژی تجدیدپذیر (MJ/ha)	۱۹۰/۳۹	٤۸/٥٦
انرژی تجدیدناپذیر(MJ/ha)	۲٤۱۱/٥۲	۳۷٥٦/٤۸

بهره‌وری انرژی نیز با توجه به مدل تخصیص جرم و اقتصادی به‌ترتیب ۰/۰٤ و ۰/۰۳ مگاژول بر لیتر به‌دست آمده است که از مطالعه مشابه در زمینه روغن پسماند بالاتر است. خالص انرژی نیز در دو مدل یاد شده به‌ترتیب برابر ۱٤۱۳/٥۰ و ۲۱۰/۳۳ مگاژول بر هکتار به‌دست آمده است. لازم به ذکر است که مقدار خالص انرژی به دلیل پایین بودن میزان محصول زیتون در هکتار، بسیار پایین است. برای مثال مقدار خالص انرژی برای تولید بیودیزل از روغن نخل ۱۲۸۷۱۰ مگاژول بر هکتار (با احتساب تخصیص جرم) می‌باشد در حالیکه در مطالعه چن و چن میزان انرژی خالص در تولید بیودیزل از روغن کلزا منفی ارزیابی شده است (۲٤۷٥/٦- مگاژول برهکتار) (Chen and Chen, 2011).

مهم‌ترین شاخص ارزیابی در چرخه حیات تولید بیودیزل نسبت انرژی فسیلی است. نسبت انرژی فسیلی برای تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون با توجه به مدل تخصیص جرم و اقتصادی به‌ترتیب ۱/٦۷ و ۰/۹۳ به دست آمده است. در مطالعه مشابه نسبت انرژی فسیلی در تولید بیودیزل از پسماند روغن خوراکی ۱/۰۰ به دست آمده است (محمد شیرازی، ۱۳۹۱). نسبت انرژی فسیلی در تولید بیودیزل از کلزا توسط جانیولیس ۱/۲ (Janulis, 2004) و توسط لوینگتون ۱/۷۸ (Levington, 2000) به دست آمده است. میزان این شاخص در برخی از مطالعات بالاتر از مطالعه حاضر است. برای مثال شی‌هان و همکاران در مطالعه خود بر روی تولید بیودیزل از روغن سویا، شاخص انرژی فسیلی را ۳/۲ گزارش کرده‌اند (Sheehan et al., 1998). علت اصلی پایین‌تر بودن نسبت انرژی فسیلی در این مطالعه نسبت به مطالعات یاد شده پایین‌تر بودن میزان عملکرد روغن تفاله زیتون در هکتار است.

با توجه به جدول ۸ می‌توان دریافت که سهم انرژی غیرمستقیم در تولید بیودیزل بسیار بیشتر از سهم انرژی غیر مستقیم است. همچنین سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر نیز بسیار بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر است. محمد شیرازی (۱۳۹۱) نیز نتایج مشابهی را در مطالعه بر روی تولید بیودیزل از پسماند روغن خوراکی گزارش کرده است (محمد شیرازی، ۱۳۹۱). انرژی مستقیم شامل انرژی نیروی کارگری، انرژی الکتریسیته، انرژی آب آبیاری، انرژی بنزین، انرژی گازوییل، انرژی گاز طبیعی است در حالی‌که انرژی غیرمستقیم شامل انرژی کود دامی، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، انرژی ماشین، الکتروموتور، فولاد، هگزان، الکل و کاتالیزورها می‌باشد. همچنین انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی نیروی کارگری، انرژی آب آبیاری و انرژی کود دامی هستند در حالی که سایر نهاده‌ها به عنوان منابع انرژی تجدیدناپذیر شناخته می‌شوند.

شاخص‌های اقتصادی در چرخه حیات

هزینه تولید یک لیتر بیودیزل روغن تفاله زیتون و درآمد ناشی از آن بترتیب ۲۰٦٤٥/۷ ریال و ۳۰۲۷۰ ریال برآورد شده است. همچنین جمع هزینه‌ها و درآمدهای تولید بیودیزل به ازای یک هکتار محصول زیتون به‌ترتیب

۲۲۲۸۵٦۷/۰۲ ریال و ۳۲٦۷۳٤۳/۸ ریال برآورد شده است. در مطالعه مشابه در زمینه پسماند روغن خوراکی، جمع هزینه‌ها و درآمدها به ترتیب برابر است با ۱٦۲۳۰ و ۳۰٦٤۰ ریال بازای هر لیتر بیودیزل تولیدی برآورد شده است (محمد شیرازی، ۱۳۹۱). علت بیشتر شدن هزینه‌ها در مطالعه حاضر درصد پایین روغن در تفاله زیتون، لزوم روغن‌کشی از تفاله (مصرف هگزان و الکتریسیته) و لزوم انجام پیش واکنش (مصرف الکل، هیدروکلریک اسید و الکتریسیته) می‌باشد.

همچنین بیشترین سهم هزینه‌ها به ازای هر لیتر بیودیزل تولیدی مربوط به هزینه خرید تفاله زیتون (٦٤/٦۲ درصد)، الکل (۱٤/۱٤ درصد) و پتاسیم هیدروکسید (۱۳/۳۲ درصد) می‌باشد. در تحقیقی که توسط آمیگون و همکاران (۲۰۰۸) در رابطه با پیش‌بینی هزینه‌های تولید بیودیزل در آفریقای جنوبی انجام شد چنین نتیجه گیری شد که قسمت عمده هزینه‌های تولید بیودیزل مربوط به مواد خام می‌باشد (٦٦ تا ۸۵ درصد) (Amigun et al., 2008).

جدول۹: شاخص‌های اقتصادی در تولید بیودیزل.

شاخص	واحد	مقدار
ارزش تولید ناخالص	میلیون ریال بر هکتار	۳/۲٤
بازده ناخالص	میلیون ریال بر هکتار	۱/۰۲
بازده خالص	میلیون ریال بر هکتار	۱/۰۱
نسبت سود به هزینه	-	۱/٤۵
بهره وری	لیتر بر میلیون ریال	٤۸/٤۳

جدول ۹ نشان‌دهنده شاخص‌های اقتصادی محاسبه شده در تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون می‌باشد. بر این اساس شاخص نسبت سود به هزینه ۱/٤۵ برآورد گردید که در مقایسه با مطالعه مشابه در زمینه پسماند روغن خوراکی (با نسبت فایده به هزینه ۱/۸۸) کمتر است. علت این مسئله نیز بالاتر بودن هزینه‌های متغیر در مطالعه حاضر با توجه به دلایل یاد شده است. پیش‌بینی می‌شود که با صنعتی شدن مراحل روغن‌کشی تفاله زیتون و تهیه بیودیزل، هزینه‌ها کمتر از مقدار محاسبه شده در این مطالعه باشند زیرا مطالعات در مقیاس آزمایشگاهی هزینه‌برتر از مقیاس صنعتی هستند.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر جریان انرژی و اقتصادی در طی چرخه حیات تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون به عنوان سوخت جایگزین موتورهای دیزلی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج این مطالعه، راهکار تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون راهکار مناسبی به‌نظر می‌رسد اگرچه نیازمند بهینه سازی انرژی در مرحله تولید کشاورزی محصول می‌باشد. بدین منظور استفاده از ارقام روغنی به جای خوراکی در مرحله کاشت زیتون، کاهش فاصله زمانی

برداشت زیتون تا روغن‌کشی، افزایش تراکم درخت‌ها در هکتار و برداشت به‌موقع همگی جزء راه‌هایی هستند که می‌توانند باعث تولید میزان تفاله بیشتر با درصد روغن بالاتر، محتوای اسید چرب آزاد کمتر در روغن تفاله زیتون و در نهایت حذف پیش واکنش (و کاهش انرژی مصرفی تولید بیودیزل) شوند.

منابع و مآخذ

۱. مالک، ف. ۱۳۷۹. چربیها و روغنهای خوراکی نباتی ، انتشارات فرهنگ و قلم، تهران، ایران.

۲. محمد شیرازی، ا. ۱۳۹۱. تحلیل نهاده–ستانده ی انرژی و اقتصادی در تولید بیودیزل از پسماند روغن‌های خوراکی. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

3. Amigun, B., Müller-Langer, F., Von Blottnitz, H. 2008. Predicting the costs of biodiesel production in Africa: learning from Germany. Energy for Sustainable Development 12, 5-21.
4. Chen, H., Chen, G. 2011. Energy cost of rapeseed-based biodiesel as alternative energy in China. Renewable energy 36, 1374-1378.
5. De Graaff, J., Eppink, L. 1999. Olive oil production and soil conservation in southern Spain, in relation to EU subsidy policies. Land use policy 16, 259-267.
6. De Souza, S.P., Pacca, S., De Avila, M.T., Borges, J.L.B. 2010. Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel. Renewable energy 35, 2552-2561.
7. Dorado, M., Ballesteros, E., Arnal, J., Gomez, J., Lopez, F. 2003. Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil .Fuel 82, 1311-1315.
8. Enweremadu, C., Mbarawa, M. 2009. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 2205-2224.
9. Fayyazi, E., Ghobadian, B., Najafi, G., Hosseinzadeh, B. 2014. Genetic Algorithm Approach to Optimize Biodiesel Production by Ultrasonic System, Chemical Product and Process Modeling, 9: 59-70.
10. Ghobadian, B., Khatamifar, M. 2005. Producing Biodiesel from Waste Edible Oils. Proceedings of the 2nd National Conference on Agricultural Products Losses.
11. Ghobadian, B., Rahimi, H. 2004. Biofuels-past, present and future perspective. International Iran and Russian congress of agricultural and natural science. Shahre cord university. Shahre cord. Iran.
12. Guzmán, G.I., Alonso, A.M. 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. Agricultural Systems 98, 167-176.
13. Heidari, M.D., Omid, M., Mohammadi, A. 2012. Measuring productive efficiency of horticultural greenhouses in Iran: A data envelopment analysis approach. Expert Systems with Applications 39, 1040-1045.
14. Hingu, S.M., Gogate, P.R. and Rathod, V.K. 2010. Synthesis of biodiesel from waste cooking oil using sonochemical reactors. Ultrasonics sonochemistry, 17: 827-832.
15. J. Guinée. 2001. Handbook on life cycle assessment—operational guide to the ISO standards, The International Journal of Life Cycle Assessment, 6: 255-255.
16. Janulis, P. 2004. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. Renewable energy 29, 861-871.

17. Ji, J., Wang, J., Li, Y ,.Yu, Y. and Xu, Z. 2006. Preparation of biodiesel with the help of ultrasonic and hydrodynamic cavitation. Ultrasonics, 44: e411-e414.
18. Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Nanos, G.D., Kalburtji, K.L. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. Agriculture, Ecosystems & Environment 122, 243-251.
19. Kitani, O. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, vol. V, Energy and Biomass Engineering. St Joseph, MI: ASAE publication.
20. Knothe, G., Van Gerpen, J.H., Krahl, J. 2005. The biodiesel handbook. AOCS press Champaign, IL.
21. Krohn, B.J., Fripp, M. 2012. A life cycle assessment of biodiesel derived from the "niche filling" energy crop camelina in the USA. Applied Energy 92, 92-98.
22. Levington. 2000. Energy balances in the growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for bioethanol. Levington agriculture report for the British Association for biofuels and oils.
23. Ma, F., Hanna, M.A. 1999. Biodiesel production: a review. Bioresource technology 70, 1-15.
24. Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Rafiee, H. 2010. Energy inputs–yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. Renewable energy 35, 1071-1075.
25. Mohammadshirazi, A., Akram, A., Rafiee, S., Mousavi Avval, S.H., Bagheri Kalhor, 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.
26. Pishgar-Komleh, S.H., Omid, M., Heidari, M.D. 2013. On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emissions in greenhouse cucumber production in Yazd province. Energy.
27. Pradhan, A., Shrestha, D., McAloon, A., Yee, W., Haas, M., Duffield, J., Shapouri, H. 2009. Energy life-cycle assessment of soybean biodiesel. Agricultural Economic Repoert.
28. Redel-Macías, M., Hervás-Martínez, C., Pinzi, S., Gutiérrez, P., Cubero-Atienza, A., Dorado, M. 2012. Noise prediction of a diesel engine fueled with olive pomace oil methyl ester blended with diesel fuel. Fuel 98, 280-287.
29. Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M., Shapouri, H. 1998. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final report. National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US).
30. Singh, S., Mittal, J. 1992. Energy in production agriculture. Mittal Publications.
31. Stavarache ,C., Vinatoru, M., Maeda, Y. and Bandow, H. 2007. Ultrasonically driven continuous process for vegetable oil transesterification. Ultrasonics sonochemistry, 14:413-417.
32. Tabatabaie, S.M.H., Rafiee, S., Keyhani, A. 2012. Energy consumption flow and econometric models of two plum cultivars productions in Tehran province of Iran. Energy.
33. Teixeira, L.S.G., Assis, J.C.R., Mendonça, D.R., Santos, I.T.V., Guimarães, P.R.B, Pontes, L.A.M. and Teixeira, J.S.R. 2009. Comparison between conventional and ultrasonic preparation of beef tallow biodiesel. Fuel Processing Technology, 90: 1164-1166.

Energy and economic assessment of biodiesel production from olive pomace oil: a lifecycle approach

Abstract

Nowadays, there is an increasing demand for alternative fuels such as biodiesel and bioethanol due to oil reserves limitation and environmental problems which are made from fossil fuel usage. The aims of this study were to assess the energy and economic flows of biodiesel production from olive pomace oil using transesterification method with ultrasound waves. For this purpose biodiesel production from this feedstock were examined through a life-cycle process with considering five main stages of agricultural production, transportation, olive oil extraction, pomace oil extraction and biodiesel production. The results revealed that total energy input were 2601.91 and 3805.04 MJ/ha based on mass-based allocation and economic-based allocation model, respectively. Total energy output (biodiesel as the final outcome) was found to be as 34898.36 MJ/ha. Some energy indicators for production of biodiesel include: energy efficiency, energy productivity, net energy and fossil energy ratio (FER), which were 1.34-0.92 (with no unit), 0.04-0.03 l/MJ, 1413.50-(-) 315.68 MJ/ha, 1(with no unit), respectively for mass-based and economic-based allocation. The share of indirect energy and non-renewable energy were higher than the share of direct energy and renewable energy. Analysis of economic performance indicates that total production value, gross return, net return, benefit to cost (ratio) and productivity were 3.24 million Rial/ha, 1.02 million Rial/ha, 1.01 million Rial/ha, 1.45 (with no unit) and 48.43 l/ million Rial respectively.

Keywords: Biodiesel production, Lifecycle, Olive pomace oil, Transesterification, Ultrasound waves.