

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

محمدعلی رجایی فر^{۱*}، اسدالله اکرم^۲، برات قبادیان^۳، شاهین رفیعی^۴، رضا عبدی^۵

۱. کارشناس ارشد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران

۲. دانشیار مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران

۳. دانشیار مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ایران

۴. استاد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، ایران

۵. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۲/۱)

چکیده

هدف از تحقیق حاضر ارزیابی چرخه زندگی انرژی و اقتصادی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون با استفاده از امواج فراصوت است. بدین منظور تولید بیودیزل در قالب چرخه زندگی متشکل از مراحل تولید کشاورزی زیتون، حمل و نقل، روغن‌کشی زیتون، روغن‌کشی تفاله زیتون، و تولید بیودیزل بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان انرژی ورودی در طی چرخه زندگی تولید بیودیزل براساس مدل تخصیص جرم و تخصیص اقتصادی به ترتیب $۲۶۰۱/۹۱$ و $۳۸۰۵/۰۴$ مگاژول بر هکتار بوده است. میزان انرژی خروجی (بیودیزل) نیز $۳۴۸۹/۳۶$ 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) به ترتیب برابر با $۱/۳۴$ ؛ $۰/۹۲$ (بدون واحد)، $۰/۰۴$ ؛ $۰/۰۳$ لیتر بر مگاژول، $۱۴۱۳/۵۰$ ؛ $۳۱۵/۶۸$ (-) مگاژول بر هکتار، و $۱/۶۷$ ؛ $۰/۹۳$ (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 به ترتیب برابر با $۳/۲۴$ میلیون ریال بر هکتار، $۱/۰۲$ میلیون ریال بر هکتار، $۱/۰۱$ میلیون ریال بر هکتار، $۱/۴۵$ (بدون واحد)، و $۴۸/۴۳$ لیتر بر میلیون ریال محاسبه شد.

کلیدواژگان: امواج فراصوت، بیودیزل، ترانس استریفیکاسیون، چرخه زندگی، روغن تفاله زیتون.

مقدمه

اختراع موتورهای درون‌سوز و پیشرفت‌های بعدی در فناوری ساخت موتور، به استفاده بسیار وسیع از منابع نفتی و تخلیه بسیار سریع این منابع منجر شده است. اکنون به‌خوبی مشخص شده است که به‌دلیل استخراج بیش از ۸۰ میلیون بشکه نفت در روز، در آینده‌ای نه‌چندان دور جهان با بحران کاهش یا حتی اتمام منابع سوخت‌های فسیلی به‌ویژه نفت مواجه خواهد شد. از سوی دیگر احتراق این سوخت‌ها موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه اوزون، آلودگی محیط زیست، و اختلالات تنفسی در شهرهای بزرگ شده است. علاوه بر این مشکلات، وابستگی کشورهای مصرف‌کننده به کشورهای تولیدکننده و صادرکننده 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 شده و به خطر افتاده است. با ظهور این مشکلات لزوم بهره‌مندی از انرژی‌های جایگزین، تجدیدپذیر، و پاک آشکار شده و توجه سیاست‌گذاران بخش انرژی به تولید اینگونه سوخت‌ها معطوف گردیده است.

زیست‌توده 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 زیست‌توده تولید می‌شوند، توانایی بالایی در رفع مشکلات یادشده دارند. این سوخت‌ها که پایه گیاهی و یا حیوانی دارند در حین سوختن آلودگی بسیار کمتری در مقایسه با سوخت‌های فسیلی تولید می‌کنند (Dorado et al., 2003; Sheehan et al., 1998).

از بین سوخت‌های تجدیدپذیر، بیودیزل و بیواتانول پیشرفت زیادی کرده‌اند. بیودیزل 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

میکروامولسیون (Microemulsion) بررسی شده است که از بین آن‌ها ترانس‌استریفیکاسیون یا تبادل استری رایج‌ترین روشی است که امروزه در صنعت برای کاهش گرانبوی از آن استفاده می‌شود (Knothe *et al.*, 2005).

واکنش میان روغن یا چربی و 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 مؤثر استفاده شده 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 (به‌طور 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 می‌شود و نیز انتقال جرم را بهبود می‌بخشد. این تأثیرات در فرایند تولید بیودیزل می‌تواند جایگزین همزن مکانیکی و افزایش دمایی استفاده شده در روش مرسوم تولید بیودیزل قرار گیرد (Ji *et al.*, 2006). از آنجا که تحقیقات پیرامون استفاده از روش فراصوت همچنان ادامه دارد، بنابراین 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 فرایند تولید، مقدار محصول بیودیزل تولیدی، و هزینه‌های تولید بیودیزل از آن منبع است (De Souza *et al.*, 2010). به‌منظور بررسی عوامل یادشده، فرایند تولید بیودیزل از یک منبع گیاهی یا حیوانی را بایستی به‌صورت چرخه کاملاً به هم پیوسته از آغاز فرایند تولید مواد اولیه برای تهیه خوراک بیودیزل تا انتهای فرایند تولید بیودیزل در نظر گرفت که به آن چرخه زندگی تولید بیودیزل می‌گویند. بدین منظور، در تحقیق

آروماتیک‌های پلی‌سایکلیک (Polycyclic) نیست. بیودیزل به‌عنوان استرهای مونوالکیل (Mono Alkyl Esters) اسیدهای چرب با زنجیره‌های بلند تعریف می‌شود که از روغن‌های گیاهی می‌توان به‌عنوان رایج‌ترین منبع آن یاد کرد. این سوخت را می‌توان بدون ایجاد تغییر در بویلرها (Boiler)، ماشین‌های گرمایی، و موتورهای درون‌سوز (به‌صورت مخلوط با گازوییل) به‌کار برد (Ghobadian *et al.*, 2004). بیودیزل ابتدا از روغن‌های گیاهی تولید می‌شد، اما منابع دیگری مثل چربی‌های حیوانی، جلبک، قارچ، و باکتری در زمان حاضر نیز برای تولید بیودیزل مورد استفاده یا مطالعه قرار می‌گیرند.

بزرگترین انتقادی که امروزه به تولید بیودیزل وارد می‌شود این است که بیودیزل می‌تواند مسیر تولید محصولات کشاورزی را به سمت خود منحرف کند. بحث اصلی بر سر این است که برنامه‌های تولید محصولات کشاورزی برای انرژی با برنامه‌های تولید محصولات غذا در رقابت هستند و در نتیجه، این رقابت کمبود مواد غذایی و افزایش قیمت آن‌ها را به دنبال خواهد داشت. به‌منظور رفع این انتقاد اساسی و همچنین کاهش هزینه ماده خام اولیه، استفاده از پسماند مواد غذایی و بقایای کشاورزی به‌عنوان منابع تولید بیودیزل می‌تواند گزینه مناسبی باشد (Enweremadu *et al.*, 2009). تفاله زیتون نیز از منابع پسماند گیاهی است که می‌توان برای تولید بیودیزل 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 به‌تنهایی نمی‌تواند جایگزین وابستگی به سوخت گازوییل شود اما از منابعی است که می‌تواند سوختی پاک و انرژی جایگزین فراهم و به تقاضای پایدار انرژی کمک کند.

روغن‌های گیاهی به‌عنوان 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 گرانبوی سینماتیکی بالا است. گرانبوی سینماتیکی بالای این روغن‌ها باعث اشکال در پاشش و پودر شدن مناسب سوخت در محفظه احتراق می‌شود و اختلال در روانکاری و احتراق ناقص و رسوب کربن در سیلندر را به‌همراه خواهد داشت (Ma and Hanna, 1998). برای کاهش گرانبوی، استفاده از چهار روش ترانس‌استریفیکاسیون (Transesterification)، پیرولیز (Pyrolysis)، رقیق‌سازی، و

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 براساس مطالعات دیگر در این زمینه و با توجه به مراحل چرخه زندگی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون، به صورت رابطه ۱ در نظر گرفته شد (Sheehan *et al.*, 1998; Pradhan *et al.*, 2009).

$$TEC_a = (E_1 + E_2 + E_3)f_1 + E_4f_2 + E_5f_3 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن: TEC_a کل انرژی مصرفی تخصیص یافته در طول چرخه زندگی 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 و نقل 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 براساس 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 براساس جرم/ارزش روغن تفاله تولیدی، E_5 کل انرژی مصرفی در مرحله تولید بیودیزل (مگاژول به ازای بیودیزل تولیدی در هکتار)، و f_3 ضریب تخصیص جرمی/اقتصادی براساس جرم/ارزش بیودیزل تولیدی هستند.

روش تولید بیودیزل

در این تحقیق از روش ترانس استریفیکاسیون با کاتالیزور بازی به دلیل مزایا و برتری‌های آن به نسبت روش‌های دیگر استفاده شد. همچنین برای انجام واکنش ترانس استریفیکاسیون به جای فرایندهای مرسوم، از فرایند امواج فراصوت استفاده شده است. در این مطالعه از یک دستگاه منبع فراصوت مدل UP400S، ساخت شرکت هیلشیر (Hielscher) آلمان به عنوان منبع تولیدکننده امواج فراصوت استفاده شد. این دستگاه دارای توان بیشینه ۴۰۰ وات در فرکانس ثابت ۲۴ کیلوهرتز است. 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 است. در شکل ۱ سامانه تولید بیودیزل با استفاده از امواج فراصوت نشان داده شده است.

حاضر بررسی جریان انرژی و اقتصادی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون در قالب چرخه زندگی انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

هدف و چارچوب مطالعه

هدف از تحقیق حاضر تحلیل انرژی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون در طی چرخه زندگی آن و تولید بیودیزل از این منبع با استفاده از سامانه فراصوت است. در کنار این هدف نیز محاسبه عملکرد اقتصادی این فرایند در طی چرخه زندگی آن مد نظر است. بدین منظور، چارچوب مطالعه ارزیابی چرخه زندگی 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 است. مراحل اول، دوم، و سوم این مطالعه در سال ۹۰ در شهرستان رودبار استان گیلان (به عنوان 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 زندگی، واحد کاری توصیف‌کننده عملیات اصلی انجام شده توسط یک سیستم تولیدی (یا خدماتی) است که میزان در نظر گرفته شدن این تابع در مطالعه ارزیابی چرخه زندگی 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 زندگی

داده‌های پیش‌زمینه (Foreground Data)

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

داده‌های پس‌زمینه (Background Data)

داده‌های پس‌زمینه داده‌های مواد کلی، انرژی، حمل و نقل، و مانند اینها... هستند که معمولاً در پایگاه‌های داده و منابع یافت می‌شوند. در مطالعه حاضر، با توجه به نهادهای مصرف شده در هر کدام از مراحل چرخه زندگی و همچنین ستاندها، داده‌های پس‌زمینه از منابع استخراج و طبق جدول‌های ۱ و ۲ تنظیم شده است.

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)، و شدت دامنه ارتعاشی (بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد)، و زمان انجام واکنش (۳ تا ۹ دقیقه برای این آزمایش) است (با ثابت در نظر گرفتن مقادیر ثابت برای متغیرهای روغن به الکل، دمای انجام واکنش، و عمق قرارگیری پروب در مخلوط واکنش براساس مطالعه مشابه صورت گرفته بر روغن پسماند خوراکی است (Fayyazi *et al.*, 2014). پس از انجام آزمایش، بهترین تیمار برای تولید بیودیزل با روش فراصوت معرفی شد.



شکل ۱. سامانه تولید بیودیزل با استفاده از امواج فراصوت

جدول ۱. محتوای انرژی نهاده‌ها

مرجع	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد	نهاده/استانده نهاده‌ها
(Singh and Mittal, 1992)	۱/۹۶	h	الف) تولید کشاورزی
(Kitani, 1992)	۴۶/۳	l	۱. نیروی کارگری
(Mohammadi <i>et al.</i> , 2010)	۱۲۰	kg	۲. سوخت بنزین
		kg	۳. سموم شیمیایی
		kg	۴. کود شیمیایی
(Mohammadshirazi <i>et al.</i> , 2012)	۷۸/۱		الف) نیتروژن
(Mohammadshirazi <i>et al.</i> , 2012)	۱۷/۴		ب) فسفات
(Mohammadshirazi <i>et al.</i> , 2012)	۱۳/۷		پ) پتاسیم
(Heidari <i>et al.</i> , 2012)	۱/۱۲		ج) سولفور
(Tabatabaie <i>et al.</i> , 2012)	۱/۰۲	m ³	۵. آب آبیاری
(Tabatabaie <i>et al.</i> , 2012)	۳/۶	kWh	۶. الکتریسیته
(Mohammadshirazi <i>et al.</i> , 2012)	۰/۳	kg	۷. کود دامی
		kg	۸. ماشین
(Guzmán and Alonso, 2008)	۹۲/۸		الف) تانکر سم پاش (۱۰۰ لیتری)
(Guzmán and Alonso, 2008)	۸۸/۵		ب) سم پاش پشتی موتوری
			پ) حمل و نقل
(Kitani, 1992)	۴۷/۸	l	۱. سوخت گازوئیل
(Singh and Mittal, 1992)	۱/۹۶	h	۲. نیروی کارگری
			ج) روغن کشی زیتون
(Kitani, 1992)	۴۹/۵	m ³	۱. گاز طبیعی
(Pishgar-Komleh <i>et al.</i> , 2013)	۱۱/۲۱	kWh	۲. الکتریسیته
(Singh and Mittal, 1992)	۱/۹۶	H	۳. نیروی کارگری
(Heidari <i>et al.</i> , 2012)	۶۴/۸	Kg	۴. الکتروموتور
(Heidari <i>et al.</i> , 2012)	۶۲/۷	Kg	۵. فولاد
			د) روغن کشی تفاله زیتون
(Sheehan <i>et al.</i> , 1998)	۲۲/۳۱	l	۱. هگزان
(Pishgar-Komleh <i>et al.</i> , 2013)	۱۱/۲۱	kWh	۲. الکتریسیته
			ه) تولید بیودیزل
(De Souza <i>et al.</i> , 2010)	۳۷/۶۰	kg	۱. الکل (متانول)
(Mohammadshirazi, 2012)	۱۹/۸۷	kg	۲. پتاسیم هیدروکسید

جدول ۲. محتوای انرژی ستاندها

مرجع	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد	ستانده
(Kaltsas <i>et al.</i> , 2007)	۱۷/۷۰	kg	زیتون
(Guzmán and Alonso, 2008)	۳۷/۶۰	kg	روغن زیتون
(Kaltsas <i>et al.</i> , 2007)	۲۰/۷۵	kg	تفاله زیتون
(Krohn and Fripp, 2012)	۳۷/۲۰	kg	بیودیزل
(Mohammadshirazi, 2012)	۲۵/۳	l	گلیسرین

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 مطالعه شده به ترتیب ۱۹۰۸۱/۷۶ مگاژول بر هکتار و ۵۵۴۷۱/۸ مگاژول بر هکتار محاسبه شده است. گزمان و آلونسو (۲۰۰۸) میزان مصرف انرژی در باغهای زیتون متداول در کشور اسپانیا را به ترتیب ۵۶۳۵۰ مگاژول بر هکتار و ۴۱۳۷۰ مگاژول بر هکتار بیان کردند (Guzmán and Alonso, 2008). همچنین انرژی ستانده در این مطالعه به ترتیب ۱۳۷۳۵۰ مگاژول بر هکتار و ۱۲۳۱۳۷ مگاژول بر هکتار به دست آمده است. کالتساس و همکاران (۲۰۰۷) نیز مقدار کل انرژی مصرفی و ستانده در تولید زیتون در کشور یونان را به ترتیب برابر ۶۹۴۳۱ مگاژول بر هکتار و ۱۷۴۹۴۱ مگاژول بر هکتار به دست 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 ۱۵۰۰ درخت 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 مطالعه شده بوده است.

در میان نهادههای مصرف شده، سهم کودهای شیمیایی (با ۷۶/۱۱ درصد) از سایر نهادههای مصرفی بیشتر است. به طور جزئی تر بیشترین سهم از کل انرژی نهادهها را کود نیتروژن با سهم ۶۷/۰۵ درصد به خود اختصاص داده است و پس از آن کود پتاس با سهم ۶/۵۱ درصد و نیروی کارگری با ۵/۴۷ درصد بیشترین سهم از کل انرژی مصرفی نهادهها را به خود اختصاص داده اند.

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

عنوان	متوسط میزان مصرف	متوسط میزان مصرف انرژی (مگاژول بر هکتار)
نهاده		
نیروی کارگر (h)	۵۳۲/۳۰	۱۰۴۳/۳۱
سوخت بنزین (L)	۵/۲۲	۲۴۱/۶۹
کودشیمیایی (kg)		
الف) نیتروژن	۱۶۳/۸۲	۱۲۷۹۴/۰۶
ب) فسفات	۲۳/۴۳	۴۰۷/۷۱
ج) پتاس	۹۰/۶۶	۱۲۴۲/۱۵
د) سولفور	۶۹/۴۷	۷۷/۸۱
۴. کود دامی (kg)	۳۰۵۲/۰۳	۹۱۵/۶۱
۵. آب آبیاری (m ³)	۹۳۹/۶۰	۹۵۸/۴۰
۶. الکتریسیته (kW h)	۲۲۴/۷۷	۸۰۹/۱۸
۷. سموم شیمیایی (kg)	۴/۶۶	۵۵۹/۲۷
۸. ماشین (h)		
الف) تانکر سم پاش (۱۰۰ لیتری)	۴/۱۷	۲۵/۸۰
ب) سم پاش پشتی موتوری	۱۵/۳۲	۶/۷۷
کل انرژی نهاده		۱۹۰۸۱/۷۶
ستانده		
زیتون (kg)	۳۱۳۴	۵۵۴۷۱/۸

جریان انرژی در مرحله حمل و نقل زیتون

مرحله حمل و نقل محصول زیتون به کارخانههای روغن کشی به عنوان دومین مرحله در چرخه زندگی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون در نظر گرفته شد. مقدار مصرف نهادهها در این مرحله و انرژی مصرفی آنها در جدول ۴ ذکر شده است. همان طور که جدول ۴ نشان می دهد مقدار کل انرژی مصرفی در مرحله حمل و نقل زیتون ۷۴/۲۸ مگاژول بر هکتار است. بیشترین سهم نهاده در این مرحله به سوخت گازوییل با سهم انرژی مصرفی ۹۲ درصد اختصاص داشته است. همچنین نتایج نشان داد که متوسط فواصل بین مزارع و کارخانهها در منطقه مطالعه شده ۷ کیلومتر بوده است.

مصرفی در این مرحله را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ۶ برای روغن‌کشی یک کیلوگرم تفاله زیتون، مقدار کل انرژی مصرفی برابر ۲/۷۹ مگاژول بر کیلوگرم به‌دست آمده است. میزان مصرف‌شده هگزان در جدول ۶، نشان‌دهنده میزان اتلاف هگزان است زیرا این ماده به‌هنگام روغن‌کشی در چرخه‌ای بسته دائماً در حال بازیافت است. با توجه به اینکه در این مطالعه از هر کیلوگرم تفاله ۱۲۰ گرم روغن (۱۲ درصد) استخراج شده است بنابراین انرژی مصرفی استخراج ۱۲۰ گرم روغن تفاله معادل ۲/۷۹ 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 (Maleek, 2000). شایان ذکر است که با توجه به میزان تفاله تولیدی در یک هکتار (۹۸۹/۲۸ کیلوگرم)، میزان ۱۱۸/۷۱ کیلوگرم روغن تفاله زیتون را می‌توان از یک هکتار محصول زیتون استحصال کرد.

جدول ۶. مقدار مصرف نهاده‌ها و انرژی مصرفی نهاده‌ها در مرحله روغن‌کشی تفاله زیتون (به‌ازای هر کیلوگرم تفاله)

عنوان	متوسط میزان مصرف (واحد بر کیلوگرم تفاله)	متوسط میزان 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 به‌صورت دامنه ارتعاشی ۱۰۰ درصد، پالس ارتعاشی ۲۰ درصد، و زمان واکنش ۵/۹۴ دقیقه انتخاب شد. این نقطه کمترین انرژی فراصوت مصرفی (۷۷۳۴/۸۷ ژول) و بیشترین میزان تولید متیل استر اسیدهای چرب (۹۰/۴۰ درصد) را با توجه به شرایط آزمایش دارد. نتایج مصرف انرژی نهاده‌ها و میزان تولید ستانده‌ها در مرحله تولید بیودیزل در جدول ۷ جمع‌آوری شده است.

با توجه به نتایج جدول ۷ 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 به‌خود 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 (۵/۸۴ مگاژول بر لیتر بیودیزل) (Mohammadshirazi, 2012)، بیودیزل حاصل از

جدول ۴. مقدار مصرف انرژی مصرفی نهاده‌ها در مرحله حمل‌ونقل (به‌ازای هر هکتار)

عنوان	متوسط میزان مصرف (واحد بر هکتار)	متوسط میزان مصرف انرژی (مگاژول بر هکتار)
۱. نیروی کارگر (h)	۳	۵/۸۸
۲. سوخت گازوییل (l)	۱/۴۳	۶۸/۴۰
کل انرژی نهاده		۷۴/۲۸

جدول ۵. مقدار مصرف نهاده‌ها، انرژی مصرفی نهاده‌ها و ستانده‌ها در مرحله روغن‌کشی زیتون (به‌ازای هر هکتار)

عنوان	متوسط میزان مصرف/تولید (واحد بر هکتار)	متوسط میزان مصرف/تولید انرژی (مگاژول بر هکتار)
۱. نیروی کارگر (h)	۳	۵/۸۸
۲. الکتریسیته (kW h)	۷۵	۸۴۰/۷۵
۳. گاز طبیعی (m ³)	۱۵	۷۴۲/۵۰
۴. الکتروموتور (kg)	۴۰۰	۰/۶
۵. فولاد (kg)	۱۰۰۰۰	۱۴/۵۱
کل انرژی نهاده ستانده		۱۶۰۴/۲۴
۱. روغن زیتون (kg)	۶۲۶/۷۹	۲۳۵۶۷/۳۰
۲. تفاله زیتون (kg)	۹۸۹/۲۸	۲۰۵۲۷/۵۶

جریان انرژی در مرحله روغن‌کشی زیتون

پس از جمع‌آوری اطلاعات از کارخانه‌های روغن‌کشی در منطقه رودبار، نتایج انرژی مصرفی و ستانده‌ها در جدول ۵ جمع‌آوری شده است. کارخانه‌های مطالعه‌شده در منطقه، از انرژی‌های الکتریسیته و گاز طبیعی برای به‌کارانداختن الکتروموتورها و تولید گرما برای خطوط روغن‌کشی استفاده می‌کردند. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که مقدار کل انرژی مصرفی در مرحله روغن‌کشی زیتون ۱۶۰۴/۲۴ مگاژول بر هکتار بوده است. با توجه به اطلاعات پرسشنامه‌ای جمع‌آوری‌شده، میانگین روغن استحصالی به‌ازای هر هکتار کشت زیتون ۲۰ درصد بوده است که برابر میانگین ۶۲۶/۷۹ کیلوگرم روغن به‌ازای هر هکتار (انرژی ۲۳۵۶۷/۳۰ مگاژول بر هکتار) بوده است. همچنین میزان ۹۸۹/۲۸ کیلوگرم تفاله زیتون نیز از هر هکتار باغ زیتون به‌دست می‌آید (۲۰۵۲۷/۵۶ مگاژول بر هکتار).

جریان انرژی در مرحله روغن‌کشی تفاله زیتون

پس از روغن‌کشی زیتون، تفاله‌های باقی‌مانده با استفاده از حلال هگزان روغن‌کشی شدند. جدول ۶ مقدار نهاده و میزان انرژی

شاخص‌های انرژی در چرخه زندگی

شاخص‌های انرژی در چرخه زندگی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون در جدول ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، شاخص بازده انرژی تولید بیودیزل با استفاده از مدل تخصیص جرم و اقتصادی به ترتیب ۱/۳۴ و ۰/۹۲ به دست آمد. در مطالعه مشابه، بازده انرژی برای تولید بیودیزل از پسماند روغن خوراکی به دست آمده است (Mohammadshirazi, 2012). بازده انرژی برای تولید بیودیزل از روغن نخل نیز ۵/۴ به دست آمده است (De Souza et al., 2010). علت این تفاوت در بالا بودن درصد روغن گیاه نخل (۲۱ درصد) در مقایسه با 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 کردند و متذکر شدند 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.

بهره‌وری انرژی نیز با توجه به مدل تخصیص جرم و اقتصادی به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۳ مگاژول بر لیتر به دست آمده است که از مطالعه مشابه در زمینه روغن پسماند بالاتر است. خالص انرژی نیز در دو مدل یاد شده به ترتیب برابر ۱۴۱۳/۵۰ و ۲۱۰/۳۳ مگاژول بر هکتار به دست آمده است. شایان 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) است در حالی که در مطالعه چن و چن میزان انرژی خالص در تولید بیودیزل از روغن کلزا منفی ارزیابی شده است (۲۴۷۵/۶ مگاژول بر هکتار) (Chen and Chen, 2011).

جدول ۸. شاخص‌های انرژی در چرخه زندگی تولید بیودیزل

شاخص	مدل تخصیص جرم	مدل تخصیص اقتصادی
بازده انرژی	۱/۳۴	۰/۹۲
بهره‌وری انرژی (l/MJ)	۰/۰۴	۰/۰۳
خالص انرژی (MJ/ha)	۱۴۱۳/۵۰	-۳۱۵/۶۸
نسبت انرژی فسیلی	۱/۶۷	۰/۹۳
انرژی مستقیم (MJ/ha)	۴۹۷/۷	۸۷۳/۳۳
انرژی غیرمستقیم (MJ/ha)	۲۱۰۴/۲۱	۲۹۳۱/۷۱
انرژی تجدیدپذیر (MJ/ha)	۱۹۰/۳۹	۴۸/۵۶
انرژی تجدیدناپذیر (MJ/ha)	۲۴۱۱/۵۲	۳۷۵۶/۴۸

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 مطالعه شده و در نتیجه بالاتر بودن میزان اسید چرب آزاد در روغن تفاله زیتون است که انجام پیش واکنش استریفیکاسیون را ضروری می‌سازد.

جدول ۷. مقدار نهاده مصرفی، میزان انرژی مصرفی، و ستانده در مرحله تولید بیودیزل.

عنوان	میزان مصرف/تولید (واحد بر لیتر بیودیزل)	میزان مصرف/تولید (مگاژول بر لیتر بیودیزل)
نهاده		
۱. الکتريسيته (kWh)	۰/۳۲	۱/۱۵
۲. الکل (kg)	۰/۲۳۱	۸/۷
۳. کاتالیزور (kg)	۰/۰۱۱	۰/۲۲
کل انرژی نهاده ستانده		۱۰/۰۷
۱. بیودیزل (kg)	۰/۸۶۹	۳۲/۳۳
۲. گلیسرین (l)	۰/۰۹	۲/۲۸

مقدار الکل مصرفی در طی پیش‌واکنش ۱۱۰/۶۳ گرم به ازای هر لیتر بیودیزل تولیدی است که این میزان ۴/۱۶ مگاژول انرژی مصرفی به ازای هر لیتر بیودیزل تولیدی را به دنبال خواهد داشت. علت بالاتر بودن میزان اسیدهای چرب در روغن مطالعه شده به نسبت بسیاری از روغن‌های دیگر چون 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 ۴ 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 به موقع 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 پیش‌واکنش (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، بنابراین میزان ۹۳/۸۰ کیلوگرم یا ۱۰۷/۹۴ لیتر بیودیزل را می‌توان از یک هکتار محصول زیتون به دست آورد.

انجام پیش واکنش (مصرف الکل، هیدروکلریک اسید، و الکتروسیسته) است.

همچنین بیشترین سهم هزینه‌ها به‌ازای هر لیتر بیودیزل تولیدی مربوط به هزینه خرید تفاله زیتون (۶۴/۶۲ درصد)، الکل (۱۴/۱۴ درصد)، و پتاسیم هیدروکسید (۱۳/۳۲ درصد) است. نتایج تحقیق آمیگون و همکاران (۲۰۰۸) در زمینه پیش‌بینی هزینه‌های تولید بیودیزل در آفریقای جنوبی نشان داد قسمت عمده هزینه‌های تولید بیودیزل مربوط به مواد خام است (۶۶ تا ۸۵ درصد) (Amigun et al., 2008).

جدول ۹. شاخص‌های اقتصادی در تولید بیودیزل

مقدار	واحد	شاخص
۳/۲۴	میلیون ریال بر هکتار	ارزش تولید ناخالص
۱/۰۲	میلیون ریال بر هکتار	بازده ناخالص
۱/۰۱	میلیون ریال بر هکتار	بازده خالص
۱/۴۵	-	نسبت سود به هزینه
۴۸/۴۳	لیتر بر میلیون ریال	بهره‌وری

جدول ۹ نشان‌دهنده شاخص‌های اقتصادی محاسبه شده در تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون است. بر این اساس شاخص نسبت سود به هزینه ۱/۴۵ برآورد شد 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 صنعتی‌شدن 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 کلی

در تحقیق حاضر جریان انرژی و اقتصادی در طی چرخه زندگی تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون به‌عنوان سوخت جایگزین موتورهای دیزلی بررسی شد. با توجه به نتایج این مطالعه، راهکار تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون راهکار مناسبی به‌نظر می‌رسد اگرچه نیازمند بهینه‌سازی انرژی در مرحله تولید کشاورزی محصول است. بدین منظور استفاده از ارقام روغنی به‌جای 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 درنهایت حذف پیش‌واکنش (و کاهش انرژی مصرفی تولید بیودیزل) شوند.

مهم‌ترین شاخص ارزیابی در چرخه زندگی تولید بیودیزل نسبت انرژی فسیلی است. نسبت انرژی فسیلی برای تولید بیودیزل از روغن تفاله زیتون با توجه به مدل تخصیص جرم و اقتصادی به ترتیب ۱/۶۷ و ۰/۹۳ به‌دست آمده است. در مطالعه مشابه نسبت انرژی فسیلی در تولید بیودیزل از پسماند روغن خوراکی ۱/۰۰ به‌دست آمده است (Mohammadshirazi, 2012). نسبت انرژی فسیلی در تولید بیودیزل از کلزا توسط جانولیسی ۱/۲ (Janulis, 2004) و توسط لوینگتون ۱/۷۸ (Levington, 2000) به‌دست آمده است. میزان این شاخص در برخی از مطالعات بالاتر از مطالعه حاضر است. برای مثال شی‌هان و همکاران در مطالعه خود 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 در مقایسه با مطالعات یادشده 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 غیرمستقیم است. همچنین سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر نیز بسیار بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر است. محمد شیرازی (۲۰۱۲) نیز نتایج مشابهی را در مطالعه بر تولید بیودیزل از پسماند روغن خوراکی گزارش کرده است (Mohammadshirazi, 2012). انرژی مستقیم شامل انرژی نیروی کارگری، انرژی الکتروسیسته، انرژی آب آبیاری، انرژی بنزین، انرژی گازوییل، انرژی گاز طبیعی است در حالی که انرژی غیرمستقیم شامل انرژی کود دامی، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، انرژی ماشین، الکتروموتور، فولاد، هگزان، الکل، و کاتالیزورها است. همچنین انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی نیروی کارگری، انرژی آب آبیاری، و انرژی کود دامی هستند در حالی که سایر نهاده‌ها به‌عنوان منابع انرژی تجدیدناپذیر شناخته می‌شوند.

شاخص‌های اقتصادی در چرخه زندگی

هزینه تولید یک لیتر بیودیزل روغن تفاله زیتون و درآمد ناشی از آن به‌ترتیب ۲۰۶۴۵/۷ ریال و ۳۰۲۷۰ ریال برآورد شده است. همچنین جمع هزینه‌ها و درآمدهای تولید بیودیزل به‌ازای یک هکتار محصول زیتون به ترتیب ۲۲۲۸۵۶۷/۰۲ ریال و ۳۲۶۷۳۴۳/۸ ریال برآورد شده است. در مطالعه مشابه در زمینه پسماند روغن خوراکی، جمع هزینه‌ها و درآمدها به ترتیب ۱۶۲۳۰ و ۳۰۶۴۰ ریال به‌ازای هر لیتر بیودیزل تولیدی برآورد شده است (Mohammadshirazi, 2012). علت بیشتر شدن هزینه‌ها در مطالعه حاضر درصد پایین روغن در تفاله زیتون، لزوم روغن‌کشی از تفاله (مصرف هگزان و الکتروسیسته)، و لزوم

REFERENCES

- 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.
- Chen, H., Chen, G. (2011). Energy cost of rapeseed-based biodiesel as alternative energy in China. *Renewable energy*, 36, 1374-1378.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ghobadian, B., Khatamifar, M. (2005). Producing Biodiesel from Waste Edible Oils. *Proceedings of the 2nd National Conference on Agricultural Products Losses*. 14-17 Oct., Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- J. Guinée. (2001). Handbook on life cycle assessment—operational guide to the ISO standards. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6: 255-255.
- Janulis, P. (2004). Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. *Renewable energy*, 29, 861-871.
- 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: 411-414.
- 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.
- Kitani, O. (1999). CIGR Handbook of Agricultural Engineering, vol. V, Energy and Biomass Engineering. St Joseph, MI: ASAE publication.
- Knothe, G., Van Gerpen, J.H., Krahl, J. (2005). *The biodiesel handbook*. AOCS press Champaign, IL.
- 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.
- 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.
- Ma, F., Hanna, M.A. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource technology*, 70, 1-15.
- Malek, F. (2000) *Edible vegetable fats and oils*. Tehran: Farhang and ghalam Pub. (In Farsi)
- 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.
- Mohammadshirazi, A. (2012) Input-output energy and economic analysis of producing biodiesel from wasted edible oils. M.S. thesis, University of Tehran. (In Farsi)
- 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.
- 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*, 59, 63-71.
- Pradhan, A., Shrestha, D., McAloon, A., Yee, W., Haas, M., Duffield, J., Shapouri, H. (2009). *Energy life-cycle assessment of soybean biodiesel*. Agricultural Economic Report.
- 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.
- 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).
- Singh, S., Mittal, J. (1992). *Energy in production agriculture*. Mittal Publications.
- Stavarache, C., Vinatoru, M., Maeda, Y. and Bandow,

- H. (2007). Ultrasonically driven continuous process for vegetable oil transesterification. *Ultrasonics sonochemistry*, 14:413-417.
- 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*, 44, 211-216.
- 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.