



## چالش های تولید و استفاده بیودیزل به عنوان جایگزینی برای سوخت های فسیلی

آرین یزدانی<sup>۱</sup>، مینا ادیبی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی شیمی، پژوهشکده علوم و فناوری های شیمیایی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار شیمی آلی، پژوهشکده علوم و فناوری های شیمیایی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

دریافت: ۹۳/۴/۲۹ پذیرش: ۹۴/۸/۱۱

### چکیده

منابع سوخت های فسیلی هر روز رو به کاهش است و استفاده از سوخت های زیستی در سال های اخیر مورد توجه محققین عرصه انرژی قرار گرفته است. در بین سوخت های زیستی بیودیزل مورد توجه بیش تری قرار گرفته است؛ چرا که با افزایش قیمت نفت در ارتباط است و دارای مزایای محیط زیستی می باشد. اما در کنار این مزایای، چالش هایی نیز در استفاده از بیودیزل به عنوان یک سوخت جایگزین وجود دارد. در این مقاله این چالش ها و گلوگاه جمع آوری و مورد بررسی قرار گرفته اند.

**واژگان کلیدی:** بیودیزل، بیوسوخت، چالش

### مقدمه

به علت محدودیت منابع انرژی فسیلی و افزایش نگرانی های محیط زیستی، نیاز به منابع انرژی جایگزین مورد توجه بسیار قرار گرفته است [۱]. در این خصوص بیوسوخت ها مخصوصاً بیودیزل توجه ویژه ای را به خود جلب کرده اند. بیوسوخت ها نسبت به سوخت های پایه فسیلی، دارای مزایای تکنیکی و محیط زیستی هستند. بیودیزل از ترانس استریفیکاسیون روغن های گیاهی یا چربی های حیوانی با افزایش متانول حاصل می شود. بیودیزل در خصوصیات پایه ای مانند عدد ستان، محتوی انرژی، ویسکوزیته و تغییرات فازی کاملاً شبیه دیزل مشتق شده از نفت خام است [۲]. اگرچه بیودیزل حاوی هیچ محصول نفتی نیست اما با پترو دیزل کاملاً سازگار بوده و می تواند با هر نسبتی با آن مخلوط گردد تا یک مخلوط پایدار بیوسوختی تشکیل دهد. این سازگاری باعث شده که بیودیزل به عنوان یکی از خوش آتیه ترین جایگزین های سوخت

\*adibim@ripi.ir

اتومبیل ها مطرح شود و همین امر سبب گردیده تا در سال های اخیر صنعت بیودیزل به سرعت توسعه پیدا کند. بر اساس گزارش سازمان همکاری اقتصادی و توسعه<sup>۱</sup> تولید بیودیزل می تواند تا سال ۲۰۱۹ به میزان تقریبی ۴۱ میلیارد لیتر برسد [۳].

انگیزه های دولت ها برای دنبال کردن توسعه بیودیزل پیچیده و چند بعدی است. نیروی پیش برنده کلیدی سیاست های دولتی توسعه بیودیزل به سه بخش تقسیم می شود:

نخست، در بحران انرژی پیش رو بیودیزل نقش بسیار مهمی در تقویت امنیت انرژی ملی بازی خواهد کرد. دوم، بیودیزل به عنوان یک انرژی تجدیدپذیر جایگزین سوخت های فسیلی در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای نقش دارد. سوم، تقاضای فزاینده محصولات روغنی برای تولید بیودیزل بر درآمد خالص مزارع اثر مثبت دارد. به این دلیل بیودیزل می تواند مانند یک شمشیر دو لبه باشد.

در ارتباط با تولید و استفاده بیوسوخت ها چالش ها و فرصت های گوناگون اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و فنی وجود دارد که این موضوعات را می توان به سه دسته کلی تقسیم کرد:

اثرات اجتماعی و اقتصادی: اثر تعدیل قیمت نفت، بحث غذا در مقابل سوخت، پتانسیل کاهش فقر، تولید بیوسوخت های پایدار

اثرات زیست محیطی: جنگل زدایی و فرسایش خاک، تاثیر بر منابع آب، از دست رفتن تنوع زیستی و آلودگی مسائل فنی: بهره وری انرژی و تعادل انرژی، نشر کربن، ایجاد تغییرات لازم برای موتورهای احتراق درون سوز

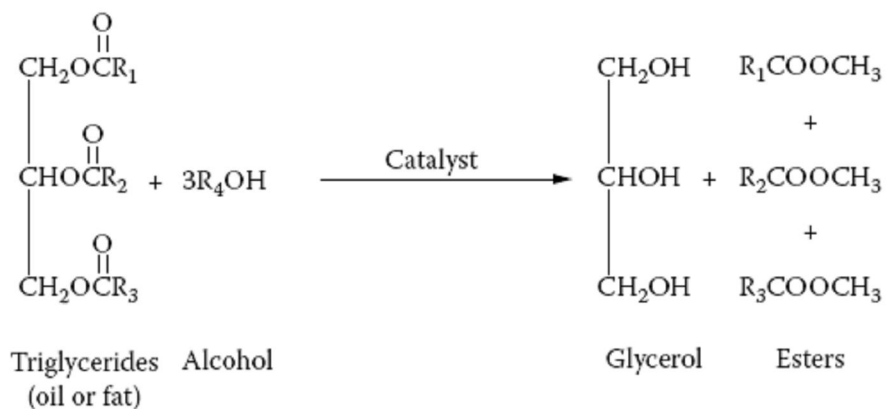
## مواد خام بیودیزل

بیودیزل از واکنش شیمیایی روغن های گیاهی یا چربی های حیوانی و متانول در حضور یک کاتالیزور ساخته می شود. این واکنش شیمیایی که مرسوم ترین آن ترانس استریفیکاسیون است مولکول های روغن را به متیل استر (بیودیزل) و گلیسرین تبدیل می کند (شکل ۱).

بیوچربی های متنوعی مانند روغن هسته انگور، کانولا، سویا، آفتابگردان و خرما، چربی های حیوانی و روغن ماکیان و ضایعات روغن آشپزی می توانند در تولید بیودیزل مورد استفاده قرار گیرند. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده، ماده خام بیودیزل به طور گسترده ای به آب و هوا، شرایط خاک منطقه و دسترسی به این منابع وابسته است.

در جدول ۱ برخی از خواص سوختی بیودیزل که از مواد خام گوناگون تولید شده، گردآوری شده است. در این جدول خواص دیزل و مونواسترهای الکیل اسید چرب با یکدیگر مقایسه شده است. بیودیزل مشخصاً خواص سوختی بهتری نسبت به دیزل دارد که از آنجمله عدد ستان و نقطه اشتعال بالاتر و روان سازی بهتر را می توان نام برد.

<sup>1</sup> Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)



شکل ۱. واکنش ترانس استریفیکاسیون روغن

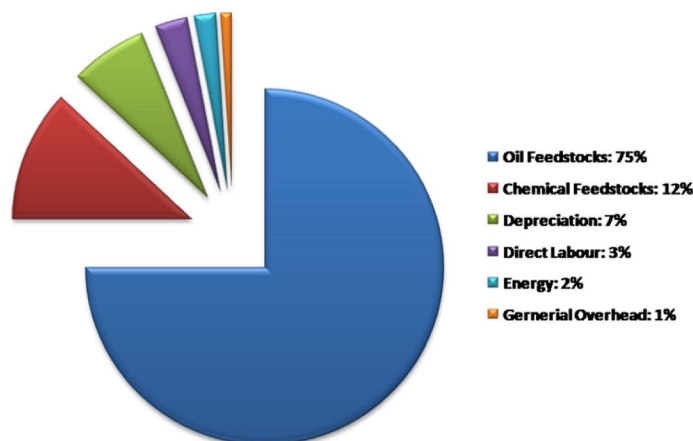


شکل ۲. منابع تولید بیودیزل در سراسر جهان [۴]

همان طور که در نمودار شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیش از ۷۵٪ هزینه تولید بیودیزل مربوط به مواد اولیه آن است. در واقع این موضوع یک تهدید جدی برای امکان پذیری اقتصادی صنعت بیودیزل است.

**جدول ۱. برخی خواص دیزل و بیودیزل تهیه شده از منابع گوناگون [۴]**

نقطه ریزش (°C)	نقطه ابری (°C)	نقطه اشتعال (°C)	عدد ستان	دانسیته (gr/cm <sup>3</sup> @ 21 °C)	ویسکوزیته سینماتیک (mm <sup>2</sup> /s @ 40 °C)	سوخت
-۲۵	-۱۸	۵۵	۵۱/۰	۰/۸۲۰-۰/۸۶۰	۲/۰-۴/۵	دیزل
-۴	-۰/۵	۱۳۱	۵۰/۹	۰/۸۸۴	۴/۰۸	سویا
-۱۰/۸	-۴	۱۵۵	۵۲/۹	۰/۸۸۲	۴/۸۳	هسته انگور
۱۲	۱۶	۱۳۵	۵۷/۳	۰/۸۶۴	۴/۷۱	خرما
-۷	۱	۱۸۳	۴۹/۰	۰/۸۸۰	۴/۶۰	آفتاب گردان
-	۴	۱۶۳	۵۷/۱	۰/۸۷۵	۴/۴۰	جاتروفا
۹	۱۲	۱۵۰	۵۸/۸	۰/۸۷۷	۵/۰۰	چربی حیوانی
-	۶	۱۶۹	۵۱/۳	۰/۸۸۵	۴/۳۰	مایه صابونی


**شکل ۳. شکست هزینه کلی در تولید بیودیزل [۴]**

قیمت محصولات روغنی اصلی در بازار بین المللی در جدول ۲ نشان داده شده است. با افزایش قیمت روغن گیاهی در سال های اخیر، هزینه تولید بیودیزل بالاتر خواهد رفت و بیودیزل مزایای رقابتی خود را به علت قیمت بالا از دست خواهد داد. از طرفی دیگر مشکلات مرتبط با امنیت خوراک و تغییرات زمین نیز افزایش یافته اند.

**جدول ۲. قیمت محصولات روغنی اصلی بر حسب دلار آمریکا بر تن [۴]**

تاریخ	سویا	آفتاب گردان	بادام زمینی	خرما	هسته انگور	نارگیل
۱۹۹۸	۴۸۳	۵۶۰	۸۰۱	۴۸۶	۴۸۲	۷۴۸
۲۰۰۴	۵۴۵	۷۰۳	۱۱۰۲	۳۹۲	۶۶۰	۶۳۶
۲۰۰۹	۹۱۹	۹۳۷	۱۲۵۵	۷۴۹	۹۱۲	۷۸۴

بنابراین یک راه حل بالقوه برای مقابله با این مشکل استفاده از مواد خام جایگزین مانند مایه های صابون، روغن های اسیدی، روغن های تال، روغن های استفاده شده در آشپزی، چربی های ضایعاتی رستوران ها،

چربی های گوناگون حیوانی، روغن های گیاهی غیر خوراکی و روغن های حاصل از درختان و میکروارگانسیم هایی مانند جلبک ها است. همچنین از اصلاحات ژنتیکی برای بهبود ویژگی های مطلوب بیودیزل استفاده می شود [۵-۱۲].

در بین همه مواد اولیه نسل جدید بیودیزل، میکروجلبک ها دارای روشن ترین آینده هستند. میکروجلبک ها مانند سایر گیاهان، از خورشید و دی اکسید کربن استفاده می کنند تا روغن بسازند اما آنها این سنتز را بسیار موثرتر و کارآمدتر از سایر گیاهان انجام می دهند. فرایند ساخت سوخت بیودیزل از میکروجلبک ها شامل چهار مرحله اصلی کشت، برداشت، استخراج و تبدیل می باشد.

گونه های مختلف جلبک مقادیر متفاوتی روغن تولید می کنند. برخی از گونه های جلبک به علت محتوی روغن بالا، نزدیک به ۵۰٪، برای تولید بیودیزل ایده آل هستند. همان طور که جدول ۳ نشان می دهد، بازدهی روغن بسیاری از جلبک ها از بهترین محصولات روغنی نیز به طور چشمگیری بیش تر است [۱۳-۱۶].

جدول ۳. بازدهی روغن از محصولات مختلف [۴]

محصولات روغنی	بازدهی (گالن در هر ۴۰۴۷ متر مربع در هر سال)
ذرت	۱۸
سویا	۴۸
کافیشه <sup>۱</sup>	۸۳
آفتاب گردان	۱۰۲
هسته انگور	۱۲۷
روغن خرما	۶۳۵
میکروجلبک	۵۰۰۰-۱۵۰۰۰

میکروجلبک ها در بین ارگانسیم هایی که فتوسنتز می کنند، سریع ترین رشد را دارند. تقریباً ۴۶ تن روغن/هکتار/سال می تواند از جلبک های کف دریا به دست آید. علاوه بر این جلبک می تواند تقریباً در هر جایی حتی در فاضلاب و آب شور رشد کند و نیازی به زمین بارور یا محصولات خوراکی ندارد [۱۷].

### تکنولوژی های تبدیل بیودیزل

موتور دیزل برای استفاده مستقیم از روغن های گیاهی دارای ویسکوزیته بالا و فراریت پایین و حلقه های اشباع نشده، مناسب نیست [۱۸]. این روغن ها می بایستی پالایش شوند تا به سوختی با کیفیت تبدیل شوند. روش های مرسوم برای به کارگیری روغن گیاهی در موتور دیزل اختلاط مستقیم روغن با سوخت دیزلی و یا تهیه میکرومولسیون از روغن، الکل و سورفکتانت هستند. هر دو روش فیزیکی بوده و می توانند ویسکوزیته روغن گیاهی را کاهش دهند، ولی قادر به رفع مشکل ته نشینی کربن، آلودگی و روان سازی نمی باشند. پیرولیز، ترانس استریفیکاسیون و استفاده از متانول فوق بحرانی، تکنیک هایی هستند که برای

<sup>1</sup>Safflower

حل مشکلات مرتبط با ویسکوزیته بالای سوخت می توانند مورد استفاده قرار بگیرند. مقایسه ای بین این تکنولوژی ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقایسه بین تکنولوژی های آماده سازی اصلی [۴]

تکنولوژی	مزیت	عیب
رقیق سازی یا میکرومولسیون	فرایند ساده	۱- ویسکوزیته بالا ۲- فراریت بد ۳- پایداری بد
تفکافت (پیرولیز)	۱- فرایند ساده ۲- بدون آلودگی	۱- نیازمند دمای بالا ۲- تجهیزات گران ۳- خلوص پایین
ترانس استریفیکاسیون کاتالیزوری	۱- خصوصیات سوخت به دیزل نزدیک است ۲- راندمان بالای تبدیل ۳- هزینه کم ۴- مناسب برای تولیدات صنعتی	۱- مقدار اسید چرب و آب باید کم باشد (برای کاتالیست بازی) ۲- به علت شستشو و خنثی سازی محصول آلودگی ایجاد می شود ۳- همراه با واکنش های جانبی است ۴- جداسازی محصولات واکنش سخت است
ترانس استریفیکاسیون به روش فوق بحرانی	۱- بدون نیاز به کاتالیست ۲- زمان واکنش کم ۳- تبدیل بالا ۴- انطباق پذیری خوب	۱- نیازمند دما و فشار بالا ۲- هزینه تجهیزات بالا ۳- مصرف انرژی زیاد

روش مناسب تر که امروزه بیش تر مرسوم است روش ترانس استریفیکاسیون روغن با کمک یک الکل کوتاه زنجیر است. مهم ترین پارامترهای فرآیندی در این عملیات دمای واکنش، نسبت الکل به روغن گیاهی، مقدار کاتالیست، شدت اختلاط، نوع کاتالیست و روغن خام مورد استفاده می باشند [۱۹-۲۲]. در این فرآیند ویسکوزیته روغن گیاهی کاهش و ارزش های گرمایی حفظ می شوند. از آن جا که زنجیره مولکولی به یک سوم کاهش می یابد، عدد ستان افزایش می یابد.

متداول ترین الکل های زنجیره کوتاه مورد استفاده در ترانس استریفیکاسیون عبارتند از متانول، اتانول، پروپانول و بوتانول. متانول به علت قیمت پایین تر به طور تجاری مورد استفاده قرار می گیرد [۷]. نظر به برگشت پذیر بودن واکنش، خروجی بیودیزل به طور مستقیم تحت تاثیر نسبت واکنشگرها، میزان کاتالیست و شرایط واکنش قرار می گیرد. بنابراین استفاده از متانول بیش تر در واکنش منجر به تولید بیش تر بیودیزل خواهد شد؛ اما متانول بیش تر به معنای هزینه بیش تر است. فرآیند بچ یا پیوسته با کاتالیست قلیایی فعال شده و نسبت مولی ۶ به ۱ به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد [۲۳-۲۶].

سه نوع متداول کاتالیست برای واکنش ترانس استریفیکاسیون وجود دارد: کاتالیست های لیپاز، کاتالیست های اسیدی مانند اسیدهای سولفوریک [۲۷ و ۲۸]، هیدروکلریک [۲۸]، یا سولفونیک [۲۹] و کاتالیست های قلیایی مانند هیدروکسید سدیم یا پتاسیم، کربنات ها یا آلکوکسیدها [۳۰ و ۳۱].

در مواردی که مواد اولیه خام درصد بالایی از اسیدهای آزاد چرب یا آب دارند، کاتالیزورهای قلیایی با اسیدهای آزاد چرب واکنش داده و تشکیل صابون می دهند. آب می تواند باعث هیدرولیز تری گلیسیریدها به دی گلیسیریدها شود و اسیدهای آزاد چرب بیش تری به وجود آورد. هر دو واکنش نامطلوب بوده و بازدهی تولید بیودیزل را کاهش می دهند [۳۲-۳۴].

شدت این مشکلات می تواند با استفاده از کاتالیست های ترانس استریفیکاسیون ناهمگن کاهش یابد. یک مقایسه بین کاتالیست های همگن و ناهمگن در جدول ۵ ارائه شده است. مزیت استفاده از کاتالیست ناهمگن، جداسازی ساده و سریع آن از مخلوط واکنش بدون نیاز به استفاده از عامل خنثی کننده است. علاوه بر این چنین کاتالیست هایی می توانند مجدداً تولید و استفاده شوند و دارای خواص خوردگی کم تری هستند که منجر به عملیات ایمن تر، ارزان تر و دوستدار محیط زیست آن ها می شود [۳۵]. بنابراین تمایل روز افزون نسبت به احتمال جایگزین کردن هیدروکسیدهای قلیایی، کربنات ها یا آلکوکسیدهای فلزی همگن با کاتالیست های جامد ناهمگن که در متانول نیز قابل حل شدن نیستند، وجود دارد [۳۶-۴۰]. انواع مختلفی از کاتالیست های جامد مانند اکسیدهای فلزات قلیایی خاکی و واسطه در ترانس استریفیکاسیون روغن های گیاهی برای تولید بیودیزل به کار گرفته شده اند [۴۱-۴۷].

جدول ۵. مقایسه ای بین کاتالیست همگن و ناهمگن

فاکتورها	کاتالیست همگن	کاتالیست ناهمگن
نرخ واکنش	سریع و تبدیل بالا	تبدیل متوسط
عملیات اضافی	کاتالیست نمی تواند مجدداً فعال شود، بایستی خنثی شود که منجر به تولید ضایعات شیمیایی می شود.	کاتالیست می تواند مجدداً فعال گردد.
متدولوژی فرایند	استفاده محدود	بستر سیال پیوسته متدولوژی پیوسته عملیات ممکن غیر حساس
حضور آب / اسیدهای چرب	حساس	غیر حساس
استفاده مجدد کاتالیست	امکان پذیر نیست	امکان پذیر است
هزینه	نسبتاً گران	بصورت بالقوه ارزان تر است

یکی از روش های کاهش محدودیت برای کاتالیست های ناهمگن در واکنش های فاز مایع استفاده از بسترهای کاتالیستی مانند آلومینا [۴۸ و ۴۹]، اکسید روی [۵۰]، سیلیکا [۵۱] و اکسید زیرکونیوم [۵۲]

است. این عمل می تواند محدودیت انتقال جرم را در واکنش سه فازی بهبود ببخشد. علاوه بر این به وسیله مهار کردن اکسیدهای فلزی در داخل منافذ، بسترهای کاتالیستی می توانند از کلوخه شدن فازهای فعال حین واکنش جلوگیری کنند [۴۶].

در سالهای اخیر با توسعه نانو تکنولوژی و با توجه به سطح ویژه و فعالیت کاتالیستی بالای نانوکاتالیست ها، نانوذرات با پایه کاتالیستی در واکنش ترانس استریفیکاسیون مورد استفاده قرار گرفته اند. همچنین برخی از محققین سعی کرده اند که با افزودن مواد مغناطیسی به نانوکاتالیست ها بازدهی جداسازی در واکنش ترانس استریفیکاسیون را افزایش دهند.

گذشته از کاتالیست ها، مطالعات سنتز بیودیزل بر تقویت تکنولوژی هایی مانند اولتراسونیک و میکروویو نیز متمرکز شده است. از آنجایی که روغن ها و متانول به طور کامل قابل امتزاج با یکدیگر نیستند، کیفیت اختلاط به عنوان یکی از مهم ترین فاکتورهای موثر بر بازدهی ترانس استریفیکاسیون مطرح است [۵۴]. نتایج نشان داده که استفاده از امواج مافوق صوت با فرکانس پایین منجر به صرفه جویی در زمان و اقتصاد واکنش خواهد شد.

از تکنولوژی میکروویو نیز در سنتز بیودیزل استفاده شده است. از آنجا که مخلوط روغن گیاهی و متانول حاوی پیوندهای قطبی و یونی است، انتشار میکروویو می تواند در بالا بردن دمای واکنش به صورت سریع موثر باشد.

سایر تکنولوژی ها که می توانند در شدت بخشیدن به ترانس استریفیکاسیون استفاده شوند عبارتند از: همزن های استاتیک [۵۵]، ریز کانال ها [۵۵، ۵۶]، جریان نوسانی [۵۷] و کاویتاسیون [۵۸] می شوند. این تکنولوژی ها می توانند سرعت واکنش را افزایش و نسبت مولی الکل به روغن و انرژی ورودی را از طریق تقویت انتقال جرم و حرارت کاهش دهند، بدین ترتیب محصول پیوسته ای در راکتور به دست می آید [۵۹].

### خلوص بیودیزل و کسب استانداردهای بین المللی

در صورت عدم احراز کیفیت لازم بیودیزل برای کارکرد مناسب در موتورهای اتومبیل نمی توان تولید آن را به صورت تجاری گسترش داد. از این رو یکی از مهم ترین مسائل مربوط به تولید بیودیزل، مسئله خلوص آن است و برای دستیابی به استانداردهای بین المللی بیودیزل (مانند EN14214)، تخلیص محصول نهایی دارای اهمیت ویژه ای می باشد. بیودیزلی که بر روی آن عملیاتی صورت نگرفته دارای چندین ناخالصی است: گلیسرول آزاد، صابون، یون فلزی، متانول، اسیدهای چرب آزاد، کاتالیست، آب و گلیسریدها. عمر موتور در اثر سطح بالای ناخالصی ها می تواند کاهش پیدا کند. جدول ۶ اثر ناخالصی ها را نشان می دهد.





## جدول ۶. اثر ناخالصی ها بر عملکرد بیودیزل

ناخالصی	اثر
اسیدهای چرب آزاد	خوردگی ثبات اکسایشی کم
آب	هیدرولیز (تشکیل FFA) خوردگی رشد باکتری‌ها (انسداد فیلتر)
متانول	مقادیر پایین چگالی و گرانیروی نقطه اشتعال پایین (مشکلات حمل و نقل، ذخیره سازی و استفاده) خوردگی قطعات ساخته شده از آلومینیوم و روی
گلیسیریدها	ویسکوزیته بالا تشکیل رسوب در انژکتور (باقیمانده کربن) تبلور
فلزها (صابون، کاتالیست)	رسوب در انژکتور (باقیمانده کربن) انسداد فیلتر (خاکستر سولفات) تضعیف موتور
گلیسرین	مشکل ته نشینی افزایش انتشار آلدئیدها و اکرولئین

به منظور خالص سازی بیودیزل تولید شده و حذف ناخالصی های موجود در آن روش های متعددی در دنیا مطرح گردیده که در زیر به تعدادی از متداول ترین آنها اشاره می شود.

### تقطیر

در برخی گزارشات منتشر شده در مورد تخلیص بیودیزل، ترکیباتی را که دارای نقطه جوش بالا می باشند را می توان به کمک تقطیر از بیودیزل جدا ساخت. برای این منظور از تبخیر کننده ها و یا ستون های پر شده متداول استفاده می شود. در مرحله نهایی با قرار دادن بیودیزل تبخیر شده در سرما به مدت ۲۴ ساعت و سپس صاف کردن آن، متیل استر کاملاً مناسب برای آب و هوای سرد به دست خواهد آمد.

### رزین های تبادل یونی

از رزین های تبادل یونی جهت خنثی سازی نمک های سدیم و یا پتاسیم اسیدهای چرب که از واکنش این اسیدها با کاتالیزور طی فرآیند ترانس استریفیکاسیون به وجود می آیند، استفاده می شود.

## جذب

در شیوه دیگر تخلیص خشک جهت جداسازی کاتالیزور و ناخالصی‌ها از یک جاذب که در واقع پودر سیلیکات منیزیم بسیار ریز است استفاده می‌شود. در این روش تخلیص، ابتدا متانول اضافی به روش تقطیر جدا می‌شود. متیل استر باقیمانده با ۱ الی ۲ درصد جاذب مخلوط می‌شود. پس از صاف کردن این مخلوط، محصول نهایی حاصل می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد، روش‌های شستشوی خشک عموماً از دو طریق تبادل یونی یا پودر سیلیکات منیزیم انجام می‌شوند. هر دو فرآیند مزیت عدم استفاده از آب را دارند که خود بسیاری از مشکلات را حل می‌کند. اما به غیر از برخی از تبلیغات نسبتاً ناکافی، اطلاعات در مورد عملکرد آن‌ها بسیار کم است.

## شستشو با آب

روش شستشوی سنتی مرطوب به‌طور گسترده برای حذف آلاینده‌های اضافی و مواد شیمیایی باقی مانده از بیودیزل استفاده می‌شود. از آن‌جا که گلیسرین و متانول به میزان زیادی در آب انحلال پذیر هستند، شستشوی آبی در حذف این دو آلاینده بسیار موثر است و این مطلب باعث شده است که همچنان متداول‌ترین روش خالص سازی بیودیزل باشد. مزیت دیگر این روش این است که هر باقی مانده نمک‌های سدیم و صابون که محصول جانبی اسیدهای چرب آزاد هستند را به سبب انحلال در آب حذف کند.

در حالی که در برخی موارد ثابت شده است که خصوصیات و ویژگی‌های مورد نیاز به‌وسیله شستشوی مرطوب حاصل می‌شود، به‌کارگیری این روش برخی از معایب را افزایش می‌دهد. به‌طور مثال علاوه بر تولید پساب آلوده، باعث افزایش هزینه و زمان تولید نیز می‌شود.

در فرآیندهایی که از کاتالیزور همگن استفاده می‌کنند عمل تخلیص به کمک شستشو با آب و در دو مرحله انجام می‌شود. محصول در ابتدا با محلول رقیق اسید و سپس با آب خالص شسته می‌شود. حضور اسید در آب شستشو به جداسازی کاتالیزور باقیمانده در محصول کمک می‌کند. این طریقه شستشو در فرآیندهای صنعتی مانند (CD) Connemann Diesel، Lurgi PSI و IFP بکار می‌رود.

شستشو با آب یک روش استاندارد برای جداسازی ناخالصی‌های موجود در بیودیزل است، اما تنها انتخاب نیست. مؤسسه تحقیقاتی آیداهو از گلیسرین به جای آب برای استخراج ناخالصی‌ها استفاده می‌کند. مخترعین این شیوه ادعا کرده‌اند که فرآیند آن‌ها منحصر به فرد بوده و باعث جداسازی متانول عمل نکرده به صورت خشک می‌شود و توانایی بازیابی کاتالیزور قلیایی را دارد.

انتخاب تکنولوژی مناسب برای جداسازی گلیسرین و آب از بیودیزل برای موفقیت این فرآیند بسیار مهم است. این انتخاب به عواملی مانند کیفیت مورد نیاز، سرعت جریان و اقتصاد بستگی دارد. همچنین سرمایه اولیه، نحوه عملیات، دفع ضایعات و هزینه‌های نگهداری، همگی باید در نظر گرفته شوند.

فاکتورهای اضافی موثر بر جداسازی‌های مایع-مایع شامل کشش سطحی، ویسکوزیته، دانسیته و دما است. چنانچه کشش سطحی کم‌تر از  $20 \text{ dyn/cm}$  باشد، احتمال تشکیل امولسیون وجود دارد که این موضوع

جداسازی را سخت تر می کند. ویسکوزیته بالا، تفاوت دانسیته کم و دمای بالا نیز می تواند بر سهولت جداسازی اثر منفی بگذارند [۶۰].

## محرک های کلیدی بیودیزل

### امنیت عرضه انرژی

امنیت عرضه انرژی به معنای عرضه کافی و قابل اعتماد انرژی است. دلیل اصلی بسیاری از کشورها از پیوستن به جرگه تولید و مصرف بیودیزل، تامین امنیت انرژی است [۶۱]. در آینده قابل پیش بینی، سوخت های فسیلی به حکم فرمایی در عرضه انرژی ادامه خواهند داد ولی بر هزینه های تولید آنها افزوده شده و عرضه آنها تحت تسلط تعداد اندکی تولید کننده اصلی است که بسیاری از آنها در منطقه غیر قابل پیش بینی خاورمیانه قرار دارند [۶۲-۶۴]. مطابق گزارش آژانس بین المللی انرژی<sup>۱</sup> تقاضای انرژی آسیا بین سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۳۰، به ویژه در بخش حمل و نقل تا ۷۶ درصد افزایش خواهد یافت [۶۵].

### اثرات محیط زیستی

افزایش علاقه به استفاده از بیودیزل، اثرات زیست محیطی استفاده از آن را برجسته ساخته است. هواداران بیودیزل عنوان می کنند که برخلاف سوخت های فسیلی که دی اکسید کربن دفن شده طی میلیون ها سال را در سطح زمین آزاد می کنند، بیودیزل از زیست توده ها تولید می شود که در طول چرخه حیات از نظر کربن خنثی هستند، بدین معنی که همان میزان کربنی که در طی سوختن آزاد می کنند در طی رشد محصول و عملیات فتوسنتز از هوای محیط جذب می کنند. لذا سوخت های زیستی پتانسیل جایگزینی سوخت های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای را دارند [۶۶ و ۶۷]. براساس برنامه آنالیز اثر دوره ای استاندارد سوخت های تجدیدپذیر، میزان انتشار گازهای گلخانه ای در اثر استفاده از بیودیزل حاصل از روغن سویا در فوریه ۲۰۱۰، به طور متوسط ۵۷ درصد کاهش و بیودیزل تولید شده از ضایعات چربی ۸۶ درصد کاهش را در مقایسه استفاده از دیزل فسیلی نشان داده است [۶۸].

اطمینان به اینکه بیودیزل یک منبع قابل قبول انرژی کم کربن است و در مقایسه با سوخت های فسیلی گازهای گلخانه ای بیش تری را ذخیره می کند، باعث شده که این بیوسوخت به یک عامل در جهت دستیابی به استاندارد جهانی برای کم کردن انتشار گازهای گلخانه در آینده شود. هدف اتحادیه اروپا این است که تا سال ۲۰۲۰ میزان انتشارات گازهای گلخانه ای خود را تا یک پانزدهم کاهش دهد؛ به این منظور این اتحادیه در نظر دارد تا از هر ۱۰ وسیله نقلیه یک وسیله توسط بیوسوخت ها سوخت دهی شود و این مسئله باعث یک خیز در تقاضا برای بیودیزل خواهد شد.

<sup>1</sup>International Energy Agency: IEA

## چالش های بیودیزل

### اثرات محیط زیستی

با این حال تاثیر بیودیزل بر محیط زیست به طور گسترده‌ای متفاوت است. بیودیزل همیشه تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش نمی دهد. در نتیجه باید راهی پیدا کرد که موازنه گازهای گلخانه‌ای را برای استفاده از بیودیزل به عنوان یک بیوسوخت نشان داد. یک ابزار مفید برای نشان دادن موازنه گازهای گلخانه‌ای ارزیابی چرخه زندگی<sup>۱</sup> است. در این ارزیابی برای موازنه گازهای گلخانه‌ای، مراحل کاشت و برداشت محصولات کشاورزی (از جمله استفاده از کود و آفت کش، تکنولوژی آبیاری و عملیات روی خاک)، پردازش مواد خام به بیودیزل، حمل و نقل مواد خام و محصول نهایی، انبار و توزیع و خرده فروشی بیودیزل، همگی می‌توانند اثر قابل توجهی بر نتایج حاصله داشته باشند [۶۹-۷۱].

توسعه صنعت بیودیزل به طور مستقیم و یا غیر مستقیم ممکن است باعث اثرات منفی روی محیط زیست مانند از بین رفتن جنگل‌های انبوه نخستین به عنوان بزرگ‌ترین مکان‌های جذب کربن و فقدان تنوع زیستی شود [۱۲]. علاوه بر این از بین رفتن جنگل‌های انبوه در بعضی از مناطق حتی منجر به تغییرات آب و هوایی می شود.

### امنیت غذایی، تغییرات استفاده از زمین و منابع آب

همزمان با رشد جمعیت در جهان طی چهار دهه آینده تقاضا برای خوراک و آب در سراسر جهان به افزایش ادامه خواهد داد. در طول چند سال گذشته افزایش هزینه‌ها در تولید منابع بیودیزل (مانند سویا و کلزا) تا حداقل ۵۰ درصد، به مزیت نسبی و رقابت کشورها صدمه زده است. در حالی که رشد در بخش بیودیزل می‌تواند به افزایش قیمت روغن سویا و سایر منابع بیودیزل کمک کند؛ رقابت در این بخش می‌تواند توسط چنین تغییرات قیمت‌ها و سایر عوامل اقتصادی، به طور منفی تحت تاثیر قرار بگیرد.

از طرف دیگر تولید بیودیزل به ویژه برای کشورهای در حال توسعه، اشتغال در بخش کشاورزی را نیز افزایش داده است. اما مانند بسیاری از انواع دیگر کشاورزی، کارگران و کشاورزان فاقد تجربه کافی در ارتباط با شرایط کاری بوده و ممکن است برای کسب درآمد بیشتر، کشت خود را از محصولات خوراکی به منابع بیودیزل تغییر دهند و این منجر به افزایش بهای مواد خوراکی شود. در این میان قیمت بالاتر کالا پیامدهای منفی برای وارد کنندگان خوراک در بر داشته و برای کشورهای با درآمد کم و کمبود خوراک، در برخی موارد قیمت محصولات خوراکی بشدت افزایش خواهد یافت [۷۲].

تغییر محصولات به منظور تولید بیودیزل در مقیاس‌های بزرگ نیازمند استفاده چشمگیر زمین‌های زراعی می‌شود. حتی استفاده‌های معتدل بیودیزل تقریباً تمامی زمین‌های زراعی در برخی کشورهای اروپایی را مصرف می‌کند. اگر چنین اتفاقی در سراسر جهان صورت گیرد، اثر آن بر روی تامین غذای جهانی می‌تواند

<sup>1</sup> Life Cycle Assessment

نگرانی های عمده ای را ایجاد نماید و حتی می تواند منجر به این گردد که برخی کشورهای صادر کننده مواد غذایی خود به وارد کننده آن تبدیل شوند. علاوه بر این افزایش تولید بیودیزل بوسیله رشد بیش تر محصولات کشاورزی روغنی بدون در نظر گرفتن کیفیت و در دسترس بودن آب بر اساس منطقه، می تواند فشار زیادی بر منابع آب در بخش هایی از جهان به ویژه در کشورهای در حال توسعه ایجاد کند [۷۲].

### ذخیره سازی و حمل و نقل بیودیزل

ذخیره سازی و حمل و نقل بیودیزل به مدیریت خاصی نیاز دارد. برخی خواص بیودیزل آن را برای استفاده در غلظت های بالا نامطلوب می سازد. برای مثال، بیودیزل خالص در دماهای پایین به خوبی جریان پیدا نمی کند. این مسئله می تواند در آب و هوای سرد، برای مشتریانی که تانک های ذخیره شان در فضای باز قرار دارد ایجاد مشکل نماید. عیب مرتبط دیگر بیودیزل این است که بیودیزل نمی تواند توسط خط لوله منتقل گردد و باید توسط کامیون یا قطار جابه جا شود که هزینه ها را افزایش می دهد [۷۳].

### مشکلات استفاده از بیودیزل در مناطق سردسیر

بیودیزل نسبت به دیزل معمولی، برای استفاده در دماهای پایین چندان مناسب نیست. نقطه ابری شدن، دمایی است که در آن ظاهر یک نمونه از سوخت شروع به ابری شدن می کند؛ این مطلب نشان دهنده آن است که کریستال های مومی شروع به تشکیل می کنند. در دماهای پایین تر سوخت تبدیل به ژل می شود و دیگر قابلیت پمپ شدن نخواهد داشت. نقطه ریزش دمایی است که در پایین تر از آن سوخت دیگر جریان نمی یابد. از آنجاکه نقاط ابری شدن و ریزش بیودیزل بالاتر از نقاط مشابه برای دیزل معمولی است، عملکرد بیودیزل در شرایط سرد به طور محسوسی بدتر از دیزل معمولی است. در دماهای پایین، سوخت دیزلی کریستال های مومی تشکیل می دهد که می توانند باعث گرفتگی خطوط سوخت یا فیلترها در سیستم سوخت رسانی خودرو شوند. بنابراین در دماهای یک زمستان سخت خودروهایی که با مخلوط بیودیزلی کار می کنند مشکلات بیش تری را در مقایسه با خودروهایی که با دیزل معمولی کار می کنند نشان می دهند. نگرانی های عمده ای در مورد اثر استفاده از بیودیزل بر روی دوام موتور وجود دارد [۷۳].

### تأثیر بیودیزل بر حل شدن قطعات خودرو

بیودیزل دارای خواص حلالی عالی است. از این رو هرگونه رسوب در فیلتر و در سیستم های سوخت رسانی ممکن است توسط بیودیزل حل شود و در نتیجه نیاز به جایگزینی فیلتر وجود دارد. دیزل معمولی رسوباتی را در سیستم های سوخت رسانی وسیله نقلیه ایجاد می کند و چون بیودیزل می تواند این رسوبات را سست کند، آن ها می توانند حرکت کنند و خطوط سوخت و فیلتر را مسدود کنند.

همچنین خاصیت حلالیت بیودیزل می تواند باعث مشکلات دیگری در سیستم سوخت رسانی شود. بیودیزل ممکن است با آبندهایی که در سیستم های سوخت رسانی خودروها و ماشین آلات قدیمی استفاده شده است، ناسازگار باشد. این مطلب این ضرورت را ایجاد می کند که در صورت استفاده از بیودیزل، آن قسمت-ها جایگزین شوند [۷۳].

### سیاست‌ها و مشوق های دولتی

به طور کلی سیاست انرژی ممکن است شامل معاهدات بین المللی، قانون فعالیت های تجاری، مشوق هایی برای سرمایه گذاری، دستورالعمل های تولید انرژی، تبدیل و استفاده، مالیات و غیره باشد [۷۴]. سیاست-های انرژی فعلی مسائل زیست محیطی از جمله فناوری های دوستدار محیط زیست برای افزایش عرضه انرژی و تشویق تولید انرژی پاک، استفاده کارآمدتر انرژی، آلودگی هوا، اثرات گلخانه ای (عمدتاً کاهش انتشار دی اکسید کربن)، گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوا را در نظر می گیرند [۷۵-۷۸].

سیاست انرژی به طور مستقیم بر توسعه صنعت بیودیزل تاثیر می گذارد. به عنوان سیاست گذار، دولت نقش اساسی در تعیین این خط سیر دارد و مهم تر از همه توسعه بیودیزل به ویژه با استفاده از مشوق های مناسب مانند معافیت های مالیاتی، کنترل قیمت ها، اهداف و یارانه های مستقیم می تواند تاثیر گذار باشد [۷۹-۸۱].

در حال حاضر انگیزه های بسیاری مانند کشت و زرع محصول در زمین های کشاورزی رها شده، اجرای مالیات بر کربن، پرداخت یارانه برای کشت محصولات کشاورزی غیر خوراکی و معافیت از مالیات برای روغن توسط برخی دولت ها برای توسعه صنعت بیودیزل و حفظ پایداری آن وجود دارد [۸۲ و ۸۳].

در حال حاضر، به طور کلی آگاهی عمومی در مورد صنعت بیودیزل هنوز به صورت کم باقی مانده است. اکثریت مردم در مورد مسائل بیودیزل یا اصلاً آگاهی ندارند و یا دارای دانش محدودی هستند. بنابراین دولت ها باید پیشرفت صنعت بیودیزل را افزایش دهند و آگاهی عمومی را در مورد آن بالا ببرند [۲].

استفاده از بیودیزل در بخش حمل و نقل اروپایی بسیار رایج شده است. در سال ۲۰۱۰ در حدود ۷۰۰۰۰ جایگاه جهت سوخت گیری اتوبوس ها از گاز طبیعی وجود داشته که ۹۰۰۰ جایگاه از آن ها بیودیزل بوده که حدود ۱۳ درصد از کل می باشد. [۸۴]

فرانسه به منظور حمایت از صنعت سوخت زیستی در سال ۲۰۱۱، بودجه ای بین ۶۱۲ میلیون یورو تا ۸۰۰ میلیون یورو برای بیودیزل اختصاص داده است. همچنین در این سال در حدود ۱۵۷ میلیون یورو معافیت مالیاتی برای مصرف بیودیزل در نظر گرفته شد [۸۵].

کشور سوئد التزامی برای ترکیب سوخت های زیستی با بنزین و دیزل مقرر نکرده است، اما سوخت های ترکیبی با نسبت های پایینی از سوخت های زیستی به مالیات غیر مستقیم وابسته است؛ در حالی که سوخت های ترکیبی با نسبت بالا مثل E85 و ED95 و بیودیزل خالص (FAME ۱۰۰٪) از معافیت کامل مالیاتی برخوردار می شوند. در کشور سوئد از دهه ۱۹۵۰ برای جریان الکتریسیته مالیات وضع شده و از



سال ۱۹۹۱ برای انتشار CO<sub>2</sub> هم مالیات در نظر گرفته شده است. کشور سوئد بالاترین نرخ مالیات برای انتشار CO<sub>2</sub> در بخش غیر تجاری را به خود اختصاص داده است [۸۶].

در سال ۲۰۰۶ مقرراتی تحت عنوان RPS که ایالات مختلف آمریکا را به آن وا می داشت که بخشی از انرژی مورد نیاز خود را از منابع تجدید پذیر تامین کنند. از این رو ایالات مختلف مقررات متفاوتی را بدین منظور تنظیم کردند که در آن‌ها استفاده از گنجانده شده است [۸۷]. به عنوان مثال در ایالت ایندیانا، اعتبار مالیاتی برای تولید بیودیزل و معافیت مالیاتی برای استفاده از آن در سوخت های ترکیبی در نظر گرفته شده است [۸۸].

در برنامه بیودیزل برزیل نیز مقرراتی تنظیم گشته است که به مرور استفاده از بیودیزل افزایش پیدا کند. قانون فدرال برزیل، شماره ۱۱۰۹۷، که در ژانویه ۲۰۰۵ مصوب گردید بیودیزل را به عنوان سوخت جدید به بازار انرژی برزیل معرفی کرده است. به طوریکه تا ژانویه ۲۰۰۸ می بایست حداقل ۲٪ بیودیزل با ۹۸٪ دیزل مخلوط گردد که تحت عنوان B2 شناخته می شود. این روند باید به گونه ای رشد نماید که به B100 یعنی استفاده از بیودیزل خالص منجر گردد. علاوه بر این قانون ۱۱۱۱۶ مصوب ماه می ۲۰۰۵ به کاهش مالیات بر بیودیزل بر اساس نوع خوراک بکار رفته شده کمک نمود [۸۹].

علاوه بر این یک رژیم مالیاتی ویژه در برزیل برای تولید کنندگان و واردکنندگان بیودیزل اجرا می شود که از دو برنامه تشکیل شده است: برنامه های اجتماعی (PIS<sup>۱</sup>) و کمک به صندوق تامین اجتماعی (COFINS<sup>۲</sup>). این رژیم مالیاتی شامل حال فروش مجدد بیودیزل بوسیله عمده فروشان، توزیع کننده گان و خرده فروشان نمی شود. بر اساس این رژیم مالیاتی، تولیدکننده گان و واردکنندگان می توانند یا نرخ ۶/۱۵ درصدی PIS و ۲۸/۳۲ درصدی CONFINS که بر درآمد ناخالص حاصل از فروش بیودیزل وضع شده است را انتخاب کنند و یا یک مقدار ثابت از PIS و CONFINS که بر اساس مترمکعب بیودیزل تجاری مطرح می شود [۹۰].

### نتیجه گیری

امروزه با توجه به ملاحظات زیست محیطی و افزایش مصرف سوخت های فسیلی ضرورت استفاده از سوخت های تجدیدپذیر از جمله بیودیزل بر کسی پوشیده نیست. بیودیزل به عنوان یک سوخت زیستی در اغلب کشورهای جهان به ویژه اروپا، آمریکا، استرالیا و برخی از کشورهای آسیایی توسعه چشم گیری داشته است. در این میان با توجه به مشکلات پیش رو که در اثر استفاده از سوخت های فسیلی پیش آمده است حتی کشورهایی که دارای منابع غنی نفتی هستند نیز از این مقوله جدا نمانده و اقدامات وسیعی را در این زمینه با کمک کشورهای پیشتاز در صنعت بیودیزل آغاز نموده اند. به دنبال مزایایی که این سوخت دارد معایب و چالش هایی نیز در تولید و مصرف آن به چشم می خورد. برخی از این چالش ها به عملکرد بیودیزل نسبت به پترودیزل در موتور خودرو برمی گردد (مانند نقطه ریزش، افزایش مقدار NOx، مقاومت اکسایشی

<sup>1</sup> Programa de Integração Social

<sup>2</sup> Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social or COFINS

کم‌تر، کاهش ارزش حرارتی و غیره) و برخی دیگر تابع محل جغرافیایی منطقه مورد نظر است که به‌عنوان مثال می‌توان به مسئله تامین خوراک اولیه با توجه به شرایط اقلیمی، یارانه و مشوق‌های دولتی، وجود سوخت‌های فسیلی و رقابت اقتصادی این دو نوع سوخت اشاره کرد. برای کشور ایران علاوه بر وجود مشکلات فنی از جمله تغییرات لازم در موتورهای خودروها به منظور استفاده از سوخت ترکیبی، تامین خوراک اولیه برای تهیه بیودیزل یکی از چالش‌های اصلی می‌باشد. ایران نه تنها برای تامین روغن خوراکی نیازمند واردات می‌باشد بلکه از نظر تامین زمین و آب کشاورزی نیز در مضیقه می‌باشد. به این چالش‌ها باید قیمت پایین سوخت‌های فسیلی که از یارانه دولتی نیز بهره می‌برند نیز باید اضافه کرد که مانع از سرمایه‌گذاری‌های لازم در زمینه تولیدات بیودیزل می‌گردد. از این رو در نظر گرفتن تمامی این چالش‌ها و دستیابی به بهترین راهکار برای رفع آن‌ها، جهت ورود بیودیزل به سبد سوخت کشور بسیار حائز اهمیت است.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از پژوهشگاه صنعت نفت و معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری (ستاد توسعه فناوری انرژی‌های نو) به دلیل حمایت مالی اعلام می‌دارد.

### منابع

1. Zhang P.D., Yang Y.L., Shi J., Zheng Y.H., Wang L.S., Li X.R., Opportunities and challenges for renewable energy policy in China, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol.13, 2009, pp 439–449
2. Lim S., Teong L.K., Recent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia: an overview, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 14, 2010, pp 938–954.
3. OECD-FAO, *Agriculture outlook, 2011-2020*.
4. Lin L., Cunshan Z., Vittayapadung S., Xiangqian S., Mingdong D., Opportunities and challenges for biodiesel fuel, *Applied Energy*, Vol. 88, 2011, pp 1020–1031.
5. Ghadge S.V., Raheman H., Biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil having high free fatty acids, *Biomass Bioenergy*, Vol. 28, 2005, pp 601–605.
6. Veljkovic' V.B., Lacic'evic' S.H., Stamenkovic' O.S., Todorovic' Z.B., Lazic' M.L., Biodiesel production from tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seed oil with a high content of free fatty acids, *Fuel*, Vol. 85, 2006, pp 2671–2675.
7. Ramadhas A.S., Jayaraj S., Muraleedharan C., Biodiesel production from high FFA rubber seed oil, *Fuel*, Vol. 84, 2005, pp 335–340.
8. Achten W.M.J., Verchot L., Franken Y.J., Mathijs E, Singh V.P., Aerts R., *Jatropha* biodiesel production and use, *Biomass Bioenergy*, Vol. 32, 2008, pp 1063–1084.
9. Moser B.R., Biodiesel production, properties, and feedstocks, *In Vitro Cell Dev, Biol. Plant*, Vol. 45, 2009, pp 229–266.
10. Demirbas A.H., Inexpensive oil and fats feedstocks for production of biodiesel, *Energy Educ. Sci. Technol. Part A*, Vol. 23, 2009, pp 1–13.
11. Li Y., Zhang X.D., Sun L., Fatty acid methyl esters from soapstocks with potential use as biodiesel, *Energy Convers. Manage.* Vol.51, 2010, pp 2307–2311.





12. Oner C., Altun S., Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine, *Appl. Energy*, Vol. 86, 2009, pp 2114–2120.
13. Chisti Y., Biodiesel from microalgae, *Biotechnol. Adv.*, Vol. 25, 2007, pp 294–306.
14. Becker E.W., *Microalgae: biotechnology and microbiology*, Cambridge (New York), Cambridge Univ. Press, 1994.
15. Riesing T.F., Cultivating algae for liquid fuel production, 2005, <http://oakhavenpc.org>.
16. Demirbas M.F., Microalgae as a feedstock for biodiesel, *Energy Educ. Sci. Technol. Part A*, Vol. 25, 2010, pp 31–43.
17. Demirbas A., Fatih D.M., Importance of algae oil as a source of biodiesel, *Energy Convers. Manage*, 2010, doi:10.1016/j.enconman.2010.06.05.
18. Srivastava A., Prasad R., Triglycerides-based diesel fuels, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 4, 2000, pp 111–133.
19. Demirbas A., Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats, *Energy Convers. Manage.* Vol. 49, 2008, pp 125–130.
20. Balat M., Balat H., Progress in biodiesel processing, *Appl. Energy*, Vol. 87, 2010, pp 1815–1835.
21. Marchetti J.M., Miguel V.U., Errazu A.F., Possible methods for biodiesel production, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 11, 2007, pp 1300–1311.
22. Hariharan V.S., Reddy K.V., Rajagopal K., Study of the performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine using sea lemon oil based fuels, *Indian J. Sci. Technol.*, Vol. 2, 2009, pp 43–47.
23. Veljkovic V.B., Stamenkovic O.S., Todorovic Z.B., Lazic M.L., Skala D.U., Kinetics of sunflower oil methanolysis catalyzed by calcium oxide, *Fuel*, Vol. 88, 2009, pp 1554–1562.
24. Miguel V., Trubiano G., Perez G., Borio D.O., Errazu A.F., Kinetic analysis of enzymatic esterification of fatty acids and ethanol, *Stud. Surf. Sci. Catal.*, Vol. 133, 2001, pp 619–624.
25. Freedman, B., Pryde, E.H., Mounts, T.L., Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Vol. 61, 1984, pp 1638–1643.
26. Zhang Y., Dube M.A., McLean D.D., Kates M., Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment, *Bioresour. Technol.*, Vol. 89, 2003, pp 1–16.
27. Aranda D., Santos R., Tapanes N., Acid-catalyzed homogeneous esterification reaction for biodiesel production from palm fatty acids, *Catal. Lett.*, Vol. 122, 2008, pp 20–25.
28. Boucher M.B., Unker S.A., Hawley K.R., Variables affecting homogeneous acid catalyst recoverability and reuse after esterification of concentrated omega-9 polyunsaturated fatty acids in vegetable oil triglycerides, *Green Chem.*, Vol. 10, 2008, pp 1331–1336.
29. Lotero E., Liu Y., Lopez D.E., Suwannakarn K., Bruce D.A., Goodwin J.G., Synthesis of biodiesel via acid catalysis, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 44, 2005, pp 5353–5363.
30. Liu Y., Lotero E., Goodwin J.G., Mo X.H., Transesterification of poultry fat with methanol using Mg–Al hydrotalcite derived catalysts, *Appl. Catal. A*, Vol. 331, 2007, pp 138–148.
31. Helwani Z., Othman M.R., Aziz N., Kim J., Fernando W.J.N., Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: a review, *Appl. Catal. A*, Vol. 363, 2009, pp 1–10.
32. Demirbas A., Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Convers. Manage*, 2010, doi:10.1016/j.enconman.2010.06.05.
33. Yin J.Z., Xiao M., Song J.B., Biodiesel from soybean oil in supercritical methanol with co-solvent, *Energy Convers. Manage*, Vol. 49, 2008, pp 908–912.



34. Arzamendi G., Campo I., Arguinarena E., Sánchez M., Montes, M., Gandía L.M., Synthesis of biodiesel with heterogeneous NaOH/alumina catalysts: comparison with homogeneous NaOH, *Chem. Eng. J.*, Vol. 134, 2007, pp 123–130.
35. Lukic' I., Krstic' J., Jovanovic' D., Skala D., Alumina/silica supported  $K_2CO_3$  as a catalyst for biodiesel synthesis from sunflower oil, *Bioresour. Technol.*, Vol. 100, 2009, pp 4690–4696.
36. Noiroj K., Intarapong P., Luengnaruemitchai A., Jai-in S., A comparative study of KOH/ $Al_2O_3$  and KOH/NaY catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil, *Renew. Energy*, Vol.34, 2009, pp 1145–1150.
37. MacLeod C.S., Harvey A.P., Lee A.F., Wilson K., Evaluation of the activity and stability of alkali-doped metal oxide catalysts for application to an intensified method of biodiesel production, *Chem. Eng. J.*, Vol. 135, 2008, pp 63–70.
38. Martin Alonso D., Mariscal R. Moreno-Tost Z., Poves M.D., López Granados M., Potassium leaching during triglyceride transesterification using K/c- $Al_2O_3$  catalysts, *Catal. Commun.*, Vol.8, 2007, pp 2074–2080.
39. Guo F., Peng Z.G., Dai J.Y., Xiu Z.L., Calcined sodium silicate as solid base catalyst for biodiesel production, *Fuel Process Technol.*, Vol.91, 2010, pp 322–328.
40. Xie W.L., Peng H., Chen L.G., Calcined Mg–Al hydrotalcites as solid base catalysts for methanolysis of soybean oil, *J. Mol. Catal. A: Chem.*, Vol.246, 2006, pp 24–32.
41. Granados M.L., Poves M.D.Z., Alonso D.M., Mariscal R., Cabello, Galisteo F., Moreno-Tost R., Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide, *Appl. Catal. B.*, Vol. 73, 2007, pp 317–326.
42. Fujita S.I., Bhanage B.M., Kanamaru H., Arai M., Synthesis of 1, 3-dialkylurea from ethylene carbonate and amine using calcium oxide, *J. Mol. Catal. A: Chem.*, Vol. 230, 2005, pp 43–48.
43. Liu X., He H., Wang Y., Zhu S.L., Piao X.L., Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst, *Fuel*, Vol. 87, 2008, pp 216–221.
44. Arzamendi G., Arguiñarena E., Campo I., Zabala S., Gandía L.M., Alkaline and alkaline-earth metals compounds as catalysts for the methanolysis of sunflower oil, *Catal. Today*, Vol. 133–135, 2008, pp 305–313.
45. Liu X., He H., Wang Y., Zhu S., Transesterification of soybean oil to biodiesel using SrO as a solid base catalyst, *Catal. Commun.*, Vol. 8, 2007, pp 1107–1111.
46. Zabeti M., Daud W., Aroua M., Activity of solid catalysts for biodiesel production: a review, *Fuel Process. Technol.*, Vol. 90, 2009, pp 770–777.
47. Wen Z.Z., Yu X.H., Tu S.T., Yan J.Y., Dahlquist E., Synthesis of biodiesel from vegetable oil with methanol catalyzed by Li-doped magnesium oxide catalysts, *Appl. Energy*, Vol. 87, 2010, pp 743–748.
48. Xie W., Peng H., Chen L., Transesterification of soybean oil catalyzed by potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst, *Appl. Catal. A*, Vol. 300, 2006, pp 67–74.
49. Xie W., Li H., Alumina-supported potassium iodide as a heterogeneous catalyst for biodiesel production from soybean oil, *J. Mol. Catal. A: Chem.*, Vol. 255, 2006, pp 1–9.
50. Yang Z., Xie W., Soybean oil transesterification over zinc oxide modified with alkali earth metals, *Fuel Process. Technol.*, Vol. 88, 2007, pp 631–638.
51. Albuquerque M.C.G., Jiménez-Urbistondo I., Santamaría-González J., CaO supported on mesoporous silicas as base catalysts for transesterification reactions, *Appl. Catal. A*, Vol. 334, 2008, pp 35–43.
52. Sunita G., Devassy B.M., Vinu A., Synthesis of biodiesel over zirconiasupported isopoly and heteropoly tungstate catalysts, *Catal. Commun.*, Vol. 9, 2007, pp 696–702.



53. Stavarache C., Vinatoru M., Maeda Y., Aspects of ultrasonically assisted transesterification of various vegetable oils with methanol, *Ultrason. Sonochem.*, Vol. 14 2007, pp 380–386.
54. Thompson J.C., He B.B., Biodiesel production using static mixers, *Trans ASABE*, Vol. 50, 2007, pp 161–165.
55. Canter N., Making biodiesel in a microreactor, *Tribol. Lubr. Technol.*, Vol. 62, 2006, pp 7–15.
56. Sun J., Ju J., Ji L., Zhang L.X., Xu N.P., Synthesis of biodiesel in capillary microreactors, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol.47, 2008, pp 1398–1403.
57. Harvey A.P., Mackley M.R., Seliger T., Process intensification of biodiesel production using a continuous oscillatory flow reactor, *J. Chem. Technol.*, Vol. 78, *Biotechnol.*, 2003, pp 338–341.
58. Kelkar M.A., Gogate P.R., Pandit A.B., Cavitation as a novel tool for process intensification of biodiesel synthesis, In: *Proceedings of the 6<sup>th</sup> international symposium on catalysis in multiphase reactors*, Pune, India, 2007.
59. Qiu Z.Y., Zhao L.N., Weatherley L., Process intensification technologies in continuous biodiesel production, *Chem. Eng. Process*, Vol. 49, 2010, pp 323–330.
60. <http://www.utahbiodieselsupply.com/washingsupplies.php#drypro>
61. Yan J., Lin T., Biofuels in Asia, *Appl. Energy*, Vol. 86, 2009, pp1–10.
62. International Energy Agency (IEA), *World energy outlook*, 2006.
63. International Energy Agency (IEA), *World energy outlook*, 2008.
64. Gupta E., Oil vulnerability index of oil-importing countries, *Energy Policy*, Vol. 36, 2008, pp 1195–1211.
65. International Energy Agency (IEA), *World energy outlook I*, 2009.
66. Yan J., Alvfors P., Eidensten L., Svedberg G., A future for biomass, *Mech. Eng.*, Vol. 119, 1997, pp 94–96.
67. Wahlund B., Yan J., Westermarck M., Increasing biomass utilisation in regional energy systems: a comparative study of CO<sub>2</sub> reduction and cost for different bioenergy processing options, *Biomass Bioenergy*, Vol. 26, 2004, pp 531–544.
68. EPA, *Renewable fuel standards program regulatory impact analysis*, 2010.
69. Thamsiroj T., Murphy J.D., Is it better to import palm oil from Thailand to produce biodiesel in Ireland than to produce biodiesel from indigenous Irish rape seed?, *Appl. Energy*, Vol. 86, 2009, pp 595–604.
70. Stoeglehner G., Narodoslawsky M., How sustainable are biofuels? Answers and further questions arising from an ecological footprint perspective, *Bioresour. Technol.*, Vol. 100 2009, pp 3825–3830.
71. Zah R., Faist M., Reinhard J., Birchmeier D., Standardized and simplified lifecycle assessment (LCA) as a driver for more sustainable biofuels, *J. Cleaner Prod.*, Vol. 17, 2009, pp102–105.
72. National Research Council (NRC), *Water implications of biofuels production in the United States*, 2007, 2008, <http://books.nap.edu>.
73. <http://www.bdpedia.com/biodiesel/alt/alt.html>
74. Demirbas A., New liquid biofuels from vegetable oils via catalytic pyrolysis, *Energy Educ. Sci. Technol.*, Vol. 21, 2008, pp 1–59.
75. Hammond G.P., Kallu S., McManus M.C., Development of biofuels for the UK automotive market, *Appl. Energy*, Vol. 85, 2008, pp 506–515.
76. Monni S., Raes F., Multilevel climate policy: the case of the European Union, Finland and Helsinki, *Environ. Sci. Policy*, Vol. 11, 2008, pp 743–755.

77. Sawyer R.F., Science based policy for addressing energy and environmental problems, Proc. Combust. Inst., Vol. 2, 2009, pp 45–56.
78. Hoekman S.K., Biofuels in the U.S. challenges and opportunities, Renew. Energy, Vol. 4, 2009, pp 14–22.
79. Phalan B., The social and environmental impacts of biofuels in Asia: an overview, Appl. Energy, Vol. 86, 2009, pp 21–29.
80. Kaditi E.A., Bio-energy policies in a global context, J. Cleaner Prod., Vol. 17, 2009, pp 4–8.
81. Pinto A.C., Guarieiro L.L.N., Rezende M.J.C., Ribeiro N.M., Torresll E.A., Lopesll W.A., Biodiesel: an overview, J. Braz. Chem. Soc., Vpl. 16, 2005, pp 1313–1330.
82. Ewing M., Msangi S., Biofuels production in developing countries: assessing tradeoffs in welfare and food security, Environ. Sci. Policy, Vol. 12, 2009, pp 520–528.
83. Wassell J.C.S., Dittmer T.P., Are subsidies for biodiesel economically efficient, Energy Policy, Vol. 34, 2006, pp 3993–4001.
۸۴. آخرین وضعیت تجدیدپذیر ها تا پایان سال ۲۰۱۱، سازمان انرژی های نو ایران، گروه آگاه سازی و روابط بین الملل، شهریور ۱۳۹۱.
85. Charles C., Keller M., Moerenhout T., Biofuels at what cost? A review of costs and benefits of France's biofuel policies. A research report, international institute for sustainable development, 2013.
86. Energy Policies of IEA Countries 2013, Review Sweden, 2013.
87. Federal Laws and Incentives for Biodiesel, USA department of energy.
88. Indiana Laws and Incentives for Biodiesel, USA department of energy.
89. Rodrigues R.A., Accarini J.H., Brazil's biodiesel program, 2009.
90. Taxes and incentives for renewable energy, KPMG international, September 2013.