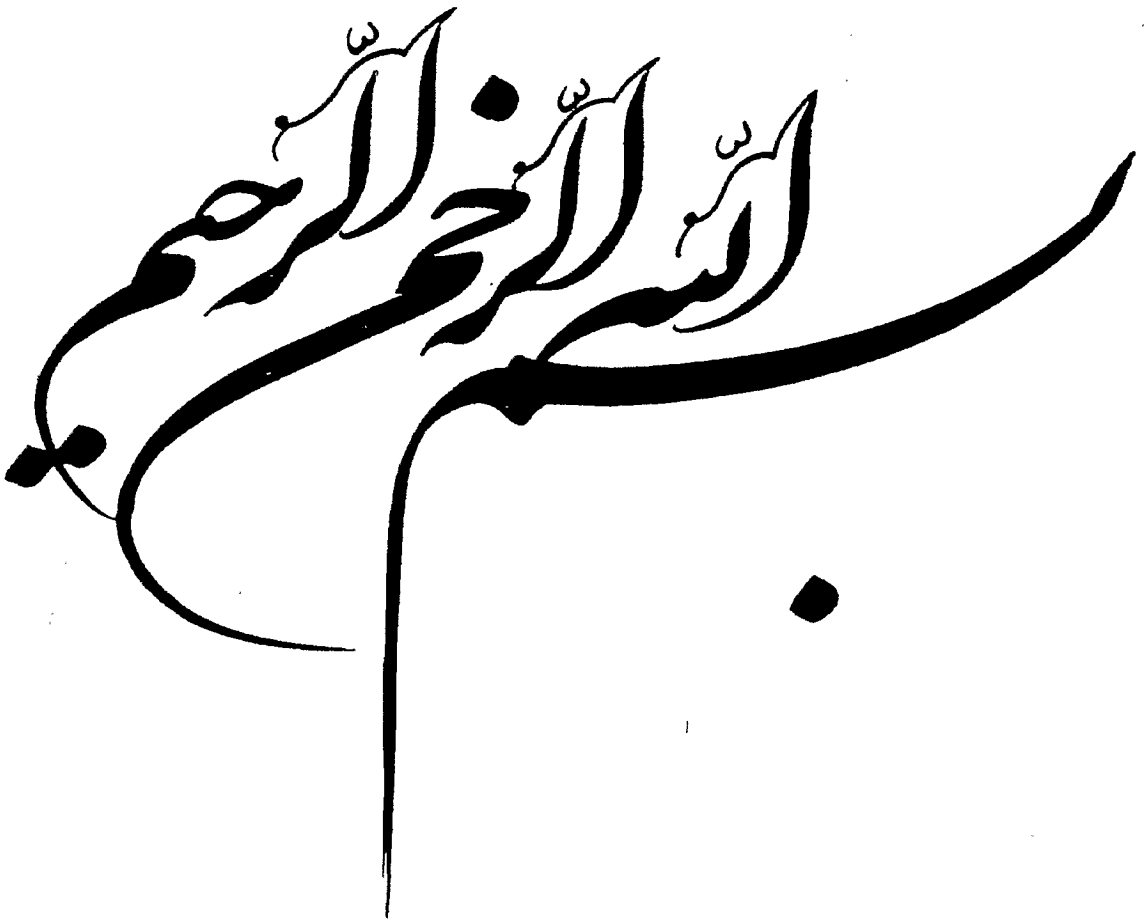


٥٤/١٨٨

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده کشاورزی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی

ارزیابی عملکرد تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل

علی زنوزی

۱۳۸۷ /۲/ ۵

استاد راهنما:

دکتر برات قبادیان

استاد مشاور:

دکتر تیمور توکلی هشجین

تابستان ۸۶

۹۴۱۸۸

تائید اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیأت داوران نسخه‌ی نهایی پایان‌نامه آقای **علی زنوزی** تحت عنوان **ارزیابی عملکرد تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل** را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه‌ی کارشناسی ارشد پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه‌ی علمی	امضا
۱- استاد راهنما	برات قبادیان	دانشیار	
۲- استاد مشاور	محمود کرمی	استاد	
۳- نماینده‌ی شورای تحصیلات تکمیلی			
۴- اساتید ناظر: ۱-	اکبر لطف‌اللهی سوارکلی		
۲-	دکتر محمد مهدی خوش‌تقاضا		

تقدیم به پدر و مادر بزرگوار و دلسوز

خواهر مهربان

و

استاد راهنمای ارجمند

چکیده

در این تحقیق ابتدا سوخت بیودیزل از روغن گیاهی پسماند و با استفاده از واکنش ترانس‌استریفیکاسیون تولید گردید. سپس خصوصیات مهم آن با استاندارد ASTM D-6751 مطابقت داده شد. پس از اطمینان از استاندارد بودن سوخت تولید شده، عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات ۵ تا ۲۵ درصد از سوخت بیودیزل و دیزل مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفت. نتیجه‌ی آزمایش‌ها نشان داد که با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل، توان و گشتاور موتور تراکتور MF-399 افزایش می‌یابد. علت این امر در پایین بودن کیفیت سوخت دیزل و یا بهسوزی بیودیزل به دلیل اکسیژن‌دار بودن این سوخت می‌باشد. مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه‌ی تراکتور نیز به دلیل ارزش حرارتی پایین بیودیزل، اندکی افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که ترکیب B_5D_{95} دارای بهترین عملکرد و کمترین افزایش مصرف سوخت ویژه می‌باشد. میزان مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه‌ی ترکیب $B_{25}D_{75}$ بسیار کمتر از ترکیب $B_{20}D_{80}$ می‌باشد. بنابراین، اگر هدف استفاده از مقادیر بیشتر بیودیزل باشد ترکیب $B_{25}D_{75}$ به دلیل مصرف سوخت کمتر بسیار مناسب‌تر از ترکیب $B_{20}D_{80}$ است. لذا، ترکیب $B_{25}D_{75}$ برای استفاده در موتور تراکتور MF-399 توصیه می‌شود. میزان بو و دود خروجی از اگزوز تراکتور نیز با استفاده از ترکیبات بیودیزل با سوخت دیزل به وضوح کاهش پیدا کرد. تغییر بو در نسبت $B_{25}D_{75}$ کاملاً آشکار بود.

واژه‌های کلیدی: بیودیزل، تراکتور MF-399، ترانس‌استریفیکاسیون، روغن گیاهی پسماند، استاندارد ASTM D-6751، ترکیبات سوخت.

فهرست مطالب

فصل اول

مقدمه و هدف

۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ تعریف مسئله ۲
۱-۳ اهداف تحقیق ۳

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱ مختصری از اصول فرآوری روغن‌های گیاهی ٤
۲-۲ استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان سوخت در موتورهای دیزل ٥
۲-۳ بیودیزل ۷
۲-۴ روش‌های تولید بیودیزل ۸
۲-۴-۱ پیرولیز ۹
۲-۴-۲ میکروامولسیون ۹
۲-۴-۳ ترانس‌استریفیکاسیون ۹
۲-۴-۳-۱ الکل ۱۰
۲-۴-۳-۲ واکنشگر ۱۰
۲-۴-۳-۳ روغن پسماند ۱۱
۲-۴-۳-۴ واکنش ترانس‌استریفیکاسیون ۱۱
۲-۴-۳-۵ واکنش‌های جانبی ۱۲
۲-۴-۳-۶ گلیسیرین ۱۲
۲-۴-۴ عملکرد موتورهای درونسوز با استفاده از بیودیزل ۱۳
۲-۴-۵ مزایای اقتصادی بیودیزل ۱٤
۲-۴-۶ مزایای زیست محیطی بیودیزل ۱٤

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱ روش‌های تولید بیودیزل ۱۷
۳-۲ تولید بیودیزل به روش ترانس‌استریفیکاسیون ۱۷
۳-۲-۱ آماده سازی روغن‌های گیاهی ۱۸
۳-۲-۲ حل کردن واکنشگر KOH در الکل ۲۰
۳-۲-۳ تیتراسیون ۲۱
۳-۲-۴ واکنش ترانس‌استریفیکاسیون ۲۲
۳-۲-۵ بازیافت متانول ۲۳
۳-۲-۶ تفکیک گلیسیرین از بیودیزل ۲۳
۳-۲-۷ آبشویی بیودیزل ۲٤

۳-۳ اندازه‌گیری خواص بیودیزل ۲۶
۳-۳-۱ گرانروی سینماتیکی ۲۷
۳-۳-۲ نقطه اشتعال ۲۷
۳-۳-۳ نقطه ریزش روغن و نقطه‌ی ابری شدن ۲۸
۳-۳-۴ تعیین رنگ بیودیزل ۲۸
۳-۳-۵ تعیین مقدار گلیسیرین آزاد ۲۸
۳-۳-۶ آزمون تعیین میزان خوردگی مس ۲۸
۳-۳-۷ محتوای آب و رسوبات ۲۹
۳-۳-۸ چگالی بیودیزل ۲۹
۳-۴ تهیه‌ی ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل ۲۹
۳-۵ اندازه‌گیری توان و گشتاور ۲۹
۳-۶ اندازه‌گیری مصرف سوخت ۳۲
۳-۶-۱ کالیبره کردن جریان سنج ۳۳
۳-۷ مشخصات موتور تراکتور MF-399 ..... ۳۳
۳-۸ روابط گشتاور، توان و مصرف سوخت ویژه ۳۵
۳-۸-۱ گشتاور ۳۵
۳-۸-۲ توان موتور ۳۵
۳-۸-۳ مصرف سوخت ویژه ۳۵
۳-۹ منحنی‌های مشخصه‌ی موتورهای درونسوز ۳۶
۳-۹-۱ منحنی گشتاور - دور ۳۷
۳-۹-۲ منحنی توان - دور ۳۷
۳-۹-۳ منحنی مصرف سوخت ویژه - دور ۳۸
۳-۱۰ روش تحلیل نتایج ۳۹

فصل چهارم
نتایج و بحث

۴-۱ تولید سوخت ۴۰
۴-۲ داده‌های آزمون موتور تراکتور MF399 ..... ۴۱
۴-۳ تحلیل آماری داده‌های حاصل از آزمون تراکتور MF-399 ..... ۴۱
۴-۳-۱ جدول تجزیه‌ی واریانس ۴۱
۴-۳-۲ مقایسه‌ی میانگین ترکیبات ۴۲
۴-۴ تحلیل نتایج با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ۴۳
۴-۵ ارزیابی عملکرد تراکتور MF-399 ..... ۴۸

فصل پنجم
نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه‌گیری ۶۴
۵-۲ پیشنهادها ۶۶
منابع ۶۷

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱: برخی از خواص روغن کلزا در مقایسه با سوخت دیزل..... ۶
جدول ۲-۲: رابطه‌ی نسبت‌های مختلف روغن کلزا به سوخت دیزل و مصرف سوخت ویژه..... ۶
جدول ۲-۳: تولید و ظرفیت تولید بیودیزل در چند کشور اروپایی در سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ ..... ۷
جدول ۲-۴: نتایج بررسی آلاینده‌ها حاصل از مخلوط بیودیزل و دیزل..... ۱۴
جدول ۲-۵: مقایسه انتشارات اگزوزدر هنگام استفاده از ترکیبات بیودیزل و سوخت دیزل..... ۱۶
جدول ۳-۱: چگالی متانول، روغن، گلیسیرین و بیودیزل..... ۲۳
جدول ۳-۲: برخی از خصوصیات مهم بیودیزل به همراه شماره‌ی استاندارد وحدود مجاز..... ۲۷
جدول ۳-۳: ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل..... ۲۹
جدول ۳-۴: مشخصات موتور تراکتور MF-399 تحت آزمایش..... ۳۴
جدول ۴-۱: خواص بیودیزل تولید شده به همراه استانداردهای مربوطه..... ۴۰
جدول ۴-۲: جدول تجزیه‌ی واریانس صفات گشتاور و توان..... ۴۲
جدول ۴-۳: جدول تجزیه‌ی واریانس صفات مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه..... ۴۲
جدول ۴-۴: مقادیر افزایش / کاهش توان موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص..... ۵۸
جدول ۴-۵: مقادیر افزایش / کاهش گشتاور موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص ۵۹
جدول ۴-۶ : مقادیر افزایش مصرف سوخت موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص..... ۶۱
جدول ۴-۷: مقادیر افزایش مصرف سوخت ویژه‌ی موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص..... ۶۲

فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱: مراحل تهیه‌ی روغن از دانه‌ی روغنی کلزا..... ۵
شکل۲-۲: واکنش ترانس‌استریفیکاسیون..... ۱۰
شکل ۲-۳: تری گلیسیرید..... ۱۱
شکل ۲-۴: واکنش تشکیل گلیسیرین از نمک گلیسیرید..... ۱۲
شکل ۳-۱: مراحل تولید استر (بیودیزل) از روغن‌های گیاهی به روش ترانس‌استریفیکاسیون..... ۱۸
شکل ۳-۲: روغن پسماند: الف- قبل از فرآوری، ب- بعد از فرآوری..... ۱۹
شکل ۳-۳: استفاده از همزن مغناطیسی برای انحلال KOH در متانول..... ۲۰
شکل ۳-۴: تیتراسیون روغن پسماند..... ۲۱
شکل ۳-۵: انجام واکنش ترانس‌استریفیکاسیون..... ۲۲
شکل ۳-۶: جداسازی گلیسیرین از بیودیزل..... ۲۴
شکل۳-۷: آبشویی بیودیزل..... ۲۵
شکل۳-۸: شفاف شدن آب حاصل از آبشویی..... ۲۵
شکل ۳-۹: شفاف‌سازی به کمک حرارت..... ۲۶
شکل ۳-۱۰: دینامومتر NJ- FROMENT Σ5 برای اندازه‌گیری پارامترهای تراکتور..... ۳۰
شکل ۳-۱۱: دستگاه کنترل از راه دور دینامومتر..... ۳۰
شکل ۳-۱۲: رابط محور PTO تراکتور و دینامومتر..... ۳۱
شکل ۳-۱۳: نحوه‌ی قرارگیری دینامومتر بر روی سکو و اتصال محور آن به تراکتور..... ۳۱
شکل ۳-۱۴: جریان سنج اندازه‌گیری مصرف سوخت..... ۳۲
شکل ۳-۱۵: استفاده از مخزن فرعی به جای باک تراکتور جهت تغذیه‌ی ترکیبات سوختی..... ۳۳
شکل ۳-۱۶: تراکتور MF-399 تحت آزمایش..... ۳۴
شکل ۳-۱۷: منحنی تغییرات گشتاور بر حسب دور موتور..... ۳۷
شکل ۳-۱۸: منحنی تغییرات توان بر حسب دور موتور..... ۳۸
شکل ۳-۱۹: منحنی تغییرات مصرف سوخت ویژه بر حسب دور موتور..... ۳۹
شکل ۴-۱: منحنی عملکرد شبکه در حین آموزش برای مقادیر توان و گشتاور..... ۴۴
شکل ۴-۲: منحنی رگرسیونی بین پاسخ شبکه و خروجی‌های مطلوب برای توان..... ۴۵
شکل ۴-۳: منحنی رگرسیونی بین پاسخ شبکه و خروجی‌های مطلوب برای گشتاور..... ۴۵
شکل ۴-۴: منحنی عملکرد شبکه در حین آموزش برای مقادیر مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه ۴۶
شکل ۴-۵: منحنی رگرسیونی بین مقادیر مطلوب و پاسخ شبکه در پیش‌بینی مصرف سوخت..... ۴۷
شکل ۴-۶: منحنی رگرسیونی بین مقادیر مطلوب و پاسخ شبکه در پیش‌بینی مصرف سوخت ویژه..... ۴۷
شکل ۴-۷: رابطه‌ی بین توان- دور برای ترکیبات مختلف سوخت دیزل- بیودیزل..... ۵۰
شکل ۴-۸: رابطه‌ی بین گشتاور- دور برای ترکیبات مختلف سوخت دیزل- بیودیزل..... ۵۱

شکل ۴-۹: رابطه‌ی بین مصرف سوخت- دور برای ترکیبات مختلف سوخت دیزل- بیودیزل..... ۵۲
شکل ۴-۱۰: رابطه‌ی بین مصرف سوخت ویژه- دور برای ترکیبات مختلف سوخت دیزل- بیودیزل..... ۵۳
شکل ۴-۱۱: منحنی‌های توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه برای ترکیب B_0D_{100}..... ۵۴
شکل ۴-۱۲: منحنی‌های توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه برای ترکیب B_5D_{95}..... ۵۵
شکل ۴-۱۳: منحنی‌های توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه برای ترکیب $B_{10}D_{90}$..... ۵۵
شکل ۴-۱۴: منحنی‌های توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه برای ترکیب $B_{15}D_{85}$..... ۵۶
شکل ۴-۱۵: منحنی‌های توان، گشتاور، مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه برای ترکیب $B_{20}D_{80}$..... ۵۷
شکل ۴-۱۶: منحنی‌های توان، گشتاور، مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه برای ترکیب $B_{25}D_{75}$..... ۵۷
شکل ۴-۱۷: درصد افزایش توان موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص..... ۶۰
شکل ۴-۱۸: درصد افزایش گشتاور موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص..... ۶۰
شکل ۴-۱۹: درصد افزایش مصرف سوخت موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص..... ۶۱
شکل ۴-۲۰: درصد افزایش مصرف سوخت ویژه موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص..... ۶۳

فصل اول
مقدمه و هدف

۱-۱ مقدمه

اختراع موتورهای درونسوز و پیشرفت‌های بعدی در تکنولوژی ساخت موتور، منجر به استفاده‌ی بسیار وسیع از منابع نفتی و تخلیه‌ی بسیار سریع این منابع گردیده است. اکنون بخوبی مشخص شده است که به دلیل استخراج بیش از ۸۰ میلیون بشکه نفت در روز، در آینده‌ی نه‌چندان دور جهان با بحران کاهش و یا حتی اتمام منابع سوخت‌های فسیلی بویژه نفت مواجه خواهد شد. از سوی دیگر احتراق این سوخت‌ها باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه‌ی اوزون و 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 بیشتر شده و در نتیجه قیمت فرآورده‌های نفتی بسیار افزایش یافته است. بگونه‌ای که امنیت انرژی این کشور نامطمئن گردیده و به خطر افتاده است.

با ظهور این مسائل و مشکلات، تحقیقات بسیار وسیعی برای یافتن سوخت‌های جایگزین مناسب در جهان انجام گرفته است. در این بین، سوخت‌های گیاهی تجدیدپذیر و پاک جایگاه ویژه‌ای را در سبد سوختی کشورها به خود اختصاص داده‌اند. این سوخت‌ها پایه‌ی گیاهی و یا حیوانی دارند (قبادیان، ۱۳۸۰؛ Ghobadian and Rahimi, 2004; Carraretto *et al.*, 2004) و در حین سوختن آلودگی بسیار کمتری نسبت به سوخت‌های فسیلی تولید می‌کنند (نجفی و همکاران، ۱۳۸۴؛ Dorado *et al.*, 2003; Nurun Nabi *et al.*, 2006). این سوخت‌ها را می‌توان از بقایای مواد کشاورزی و پسماند مواد غذایی برای استفاده در موتورهای درونسوز و ماشین‌های حرارتی بدست آورد (قبادیان و خاتمی‌فر، ۱۳۸۴؛ Dorado *et al.*, 2003; Usta *et al.*, 2005). از بین سوختهای گیاهی، بیودیزل و بیو اتانول پیشرفت زیادی کرده‌اند. بیودیزل به عنوان استرهای مونوالکیل اسیدهای چرب با زنجیره‌های بلند تعریف می شود که از روغن گیاهی به دست می آید (خاتمی‌فر، ۱۳۸۵؛ Ghobadian *et al.*, 2006; Ghobadian and Khatamifar, 2005;Usta,2005). بیواتانول هم از قند گیاهان تولید می شود (رحیمی، ۱۳۸۴؛ Sukumar *et al.*, 2005; Ghobadian and Rahimi, 2004; Ghobadian *et al.*, 2006; Rahimi *et al.*, 2006). مهمترین خاصیت سوخت‌های گیاهی تجدیدپذیری و زیست‌دوستی آن‌ها می‌باشد که نگرانی ناشی از اتمام

آن‌ها نیز وجود ندارد. هر کشوری با توجه به فراوانی محصول گیاهی در آن کشور می‌تواند اقدام به تولید سوخت از آن محصول نموده و بدین ترتیب بخشی از نیاز سوختی خود و یا کل آن را برطرف نماید.

۱-۲ تعریف مسئله

افزایش هشدارهای ناشی از اثرات زیانبار آلودگی هوا باعث بوجود آمدن اجبار در اجرای قوانین مبارزه با آلودگی هوا گردیده است. این امر باعث تشویق بسیاری از محققان برای بررسی راه‌های ممکن در استفاده از سوخت‌های جایگزین به جای نفت و مشتقات آن شده است. در بین سوخت‌های تجدیدپذیر، سوخت‌های بدست آمده از بیوماس مواد کشاورزی مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته است زیرا باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ی هوا می‌شوند. همچنین باعث کاهش وابستگی به واردات سوخت و کاهش هزینه‌ی انرژی شده و بخشی از تقاضای انرژی جهانی را جوابگو می‌باشند.

بیوسوخت‌ها از مواد بیولوژیکی مانند روغن‌های گیاهی، روغن‌های پسماند حاصل از رستوران‌ها و غذاخوری‌ها، چربی‌های حیوانی و محصولات پسماند حاصل از گیاهان و جنگل‌ها بدست می‌آیند و می‌توانند به صورت خالص یا مخلوط با سوخت‌های فسیلی در سامانه‌های حمل و نقل، گرمایش منازل، ساختمان‌ها و کارخانجات و همچنین در فرآیندهای صنعتی به‌کار روند. در بین این سوخت‌ها، بیودیزل که از روغن‌های مختلف گیاهی (سویا، آفتابگردان، ذرت، کلزا، پنبه‌دانه، نارگیل، نخل، برزک و .....) تولید می‌شود به چند دلیل مناسب به نظر می‌رسد.

بیودیزل یکی از انواع بیوفیول‌ها می‌باشد و خواصی بسیار شبیه به سوخت دیزل دارد با این تفاوت که دارای مواد ناخوشایندی از قبیل گوگرد، نیتروژن و آروماتیک‌های پلی سایکلیک نمی‌باشد. بیودیزل به طور کلی از متیل استر یا اتیل استر تشکیل شده است و دارای چندین گروه آلکیلی با زنجیره‌های هیدروکربن C15 تا C17 می‌باشد که به عنوان اسیدهای چرب شناخته می‌شوند. این سوخت می‌تواند بدون ایجاد تغییر در بویلرها و موتورهای درونسوز به جای سوخت دیزل به‌کار رود (Lee *et al.*, 2004).

بیودیزل به علت داشتن مزایای زیر به عنوان بهترین جایگزین سوخت دیزل شناخته می‌شود (Jose *et al.*, 1999; Gavett *et al.*, 1992; Raneses *et al.*, 1999; Dorado *et al.*, 2003; Usta,2005; Nurun Nabi *et al.*, 2006):

۱- بیودیزل جایگزین سوخت‌های با پایه‌ی نفتی می‌باشد که باعث کاهش وابستگی به واردات سوخت و مشتقات نفتی می‌شود.

۲- بیودیزل تجدیدپذیر می‌باشد و برای رسیدن به هدف جایگزینی در کشورهایی مانند اتحادیه‌ی اروپا، استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر به مقدار ٪۱۲ کل انرژی خروجی تا سال ۲۰۱۰ هدف‌گذاری شده است.

۳- بیودیزل دارای تراز انرژی مناسبی می‌باشد.
۴- بیودیزل باعث کاهش مقدار گازهای گلخانه‌ای می‌شود که منطبق بر توافق‌نامه‌ی قرارداد کیوتو می‌باشد.
۵- بیودیزل دارای انتشارات مضر بسیار کمی می‌باشد و این یک مزیت بسیار مهم برای این سوخت بویژه در مناطق حساس به آلودگی‌های محیط از قبیل شهرهای بزرگ و معادن می‌باشد.
۶- بیودیزل سوخت تجزیه‌پذیر و غیر سمی می‌باشد و این یک مزیت در نشتی‌های مخازن و زیست دریایی و سایر محیط‌های حساس به سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شود.
۷- استفاده از مازاد موادکشاورزی برای تولید بیودیزل، می‌تواند به اقتصاد روستاها کمک نماید.

با در نظر گرفتن مزایای فوق برای بیودیزل علاقه‌ی بسیار زیادی برای بسط و توسعه‌ی کارخانه‌های تولید بیودیزل بوجود آمده است.

در بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف کنندگان سوخت، موتورهای دیزل ماشین‌های کشاورزی می‌باشند. در بین ماشین‌های کشاورزی تراکتور و کمباین بیشترین مصرف کننده‌ی سوخت دیزل می‌باشند و با توجه به تعداد عملیات متنوع و ساعات کاری در طول سال، تراکتورها بیشترین مصرف کننده سوخت در بخش کشاورزی می‌باشند.

طبق ترازنامه انرژی کشور ایران در سال ۱۳۸۴، مصرف سوخت دیزل با ۴/۹ درصد رشد نسبت به سال ۸۳ به ۲۸۶۹۵ میلیون لیتر رسید. از این مقدار در حدود ۱۳ درصد از مصرف گازوئیل (سوخت دیزل) کشور در بخش کشاورزی بوده است (۳,۷۲۹,۹۹۱,۰۰۰ لیتر). به بیان دیگر در آن سال، روزانه بیش از ۱۰ میلیون لیتر گازوئیل در بخش کشاورزی مصرف شده است (بی نام، ۱۳۸۵). در سال ۱۳۸۳، ۱۲۳,۴۳۹ دستگاه تراکتور با عمر کمتر از ۱۳ سال که در فاصله زمانی بین سالهای ۱۳۷۰ و ۱۳۷۳ تولید شده، در کشور وجود داشت (بی نام، ۱۳۸۳). با توجه به مزایای ذکر شده در مورد بیودیزل، استفاده از این سوخت در بخش کشاورزی و بویژه در موتور تراکتورها به جای سوخت دیزل ضروری به نظر می‌رسد. بررسی‌های انجام شده در مجلات علمی و جستجوهای اینترنتی، اطلاعات علمی معتبری از تحقیقات انجام شده در کاربرد سوخت بیودیزل به صورت خالص و یا ترکیب با سوخت دیزل در موتور تراکتور را چه در دنیا و چه در ایران بدست نداد. لذا با توجه به خلاء اطلاعات علمی و فنی پیرامون عملکرد تراکتور با سوخت بیودیزل در داخل کشور، استفاده از این سوخت در موتور تراکتور و بررسی دقیق عملکرد آن ضروری به نظر می رسد.

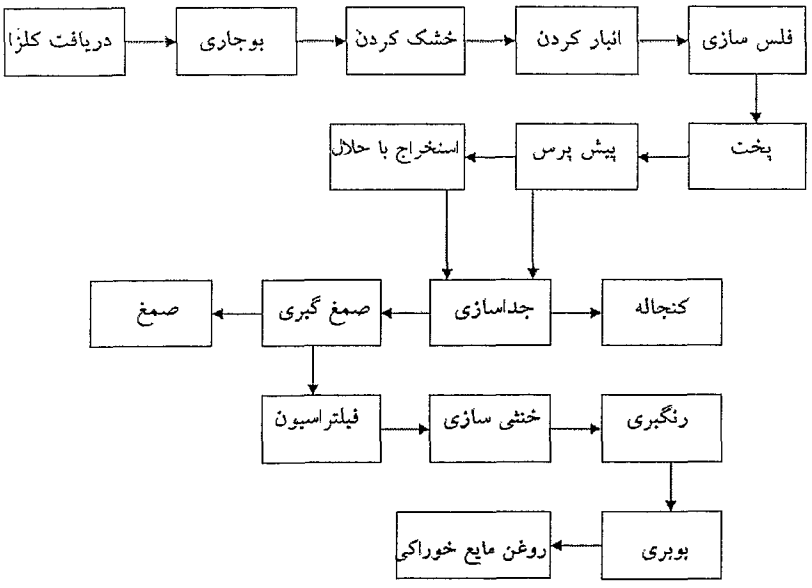
۱-۳ اهداف تحقیق

هدف از این تحقیق آزمایش و ارزیابی عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل و بررسی تغییر در میزان توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه این تراکتور می‌باشد.

فصل دوم
مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱ مختصری از اصول فرآوری روغن‌های گیاهی

در فرآوری روغن از دانه‌های روغنی، دو محصول با ارزش یعنی روغن و کنجاله بدست می‌آیند. در فرآیند معمول، دانه‌ی روغنی (کلزا، سویا، آفتابگردان، ذرت و...) پس از حمل به کارخانه بوجاری و خشک می‌شود و در رطوبت معادل ۹ درصد در سیلو نگهداری می‌گردد. بالاتر بودن رطوبت می‌تواند سبب افزایش صدمه‌ی ناشی از تنفس یا کپک زدن دانه شود. پایین‌تر بودن رطوبت نیز سبب خرد شدن دانه می‌گردد. دانه‌ی خشک و تمیز ابتدا به مرحله‌ی فلس‌سازی ارسال شده و در رطوبت بهینه، فلس‌هایی با ضخامت حدود ۰/۳ میلی‌متر از آن حاصل می‌شود. در مرحله‌ی پخت آنزیم‌های موجود در دانه غیر فعال شده و همچنین خروج روغن در مرحله‌ی استخراج تسهیل می‌شود. فلس پخت شده به پیش پرس ارسال می‌شود و تا حدود ۷۰- ۶۵ درصد روغن موجود در فلس‌ها به این ترتیب جدا می‌شود. در مرحله‌ی استخراج با حلال، باقیمانده روغن نیز جدا شده و پیش از جداسازی حلال از روغن و کنجاله، روغن خام به مراحل بعدی تصفیه فرستاده می‌شود. در مورد کلزا کنجاله‌ی حاصل دارای حدود ۳۵ درصد پروتئین، ۲ درصد چربی و ۱۲ درصد فیبر بوده و دارای ارزش غذایی مناسبی در تغذیه‌ی دام می‌باشد. روغن به منظور صمغ‌گیری با آب داغ مخلوط شده و صمغ آن ته‌نشین می‌شود. روغن حاصله نیز فیلتر می‌شود و برای تبدیل شدن به روغن خوراکی، به تصفیه‌خانه پمپ می‌گردد. در تصفیه‌خانه بعد از خنثی شدن توسط سود کاستیک، بوسیله‌ی خاک فعال رنگ‌بر، رنگ‌بری شده و اگر تولید روغن مایع مدنظر باشد به دستگاه بی‌بوکننده پمپ می‌شود و در صورتی که نیاز به هیدروژناسیون جزئی یا کامل باشد به دلیل وجود مقادیر ناچیز گوگرد از کاتالیست‌های مقاوم‌تر استفاده می‌گردد و یا هیدروژناسیون طی دو مرحله انجام می‌گیرد. مراحل ذکر شده به طور شماتیک در شکل (۲-۱) نشان داده شده است (نوروزی، ۱۳۸۲).



شکل۲-۱: مراحل تهیه‌ی روغن از دانه‌ی روغنی کلزا

۲-۲ استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان سوخت در موتورهای دیزل

از روغن‌های گیاهی از جمله روغن کلزا به عنوان سوخت در موتور دیزل استفاده شده است. این روغن‌ها دارای مشکلاتی از جمله پایین بودن کیفیت اشتعال می‌باشند. همه‌ی آن‌ها دارای ویسکوزتیه‌ی بالا بوده و نیاز به پمپ انژکتور و انژکتورهای مخصوص دارند. با استفاده از مخلوط کردن این روغن‌ها با مشتقات نفتی، تا حدودی می‌توان مشکل ویسکوزتیه‌ی بالای روغن را از بین برد.

گرانروی بالای روغن‌های گیاهی باعث اتمیزه نشدن مناسب آن‌ها و در نتیجه احتراق ناقص سوخت می‌شود. وجود ذرات بزرگ روغن گیاهی پس از پاشیده شدن به درون سیلندر باعث ایجاد دوده می‌گردد. همچنین با تشکیل لایه‌ای از سوخت محترق نشده روی دیواره‌ی سیلندر، کار سامانه‌ی روانکاری را مختل می‌نماید. کوبش که در بارهای کم موتور و دماهای پایین به وجود می‌آید، ناشی از پایین بودن عدد ستان روغن‌های گیاهی می‌باشد. روغن‌های گیاهی دارای تاخیر در اشتعال زیاد و احتراق آرام‌تری نسبت به سوخت دیزل می‌باشند. در نتیجه فشار حداکثر احتراق نیز پایین‌تر از سوخت دیزل می‌باشد. برای جبران تاخیر در اشتعال، زمان تزریق سوخت ۳/۵ درجه میل‌لنگ آوانس می‌شود که این خود منجر به کاهش عملکرد موتور می‌گردد. تفاوت‌های زیادی بین خواص روغن کلزا و سوخت دیزل وجود دارد. از جمله این تفاوت‌ها، اتمیزه شدن و قابلیت احتراق آن را می‌توان نام برد. به دلیل مسدود شدن انژکتور و همچنین نیاز به پمپ فشار بالا موتورهای روغن گیاهی‌سوز نمی‌توانند به صورت پاشش مستقیم عمل کنند. در جدول (۲-۱) برخی از خواص روغن کلزا در مقایسه با سوخت دیزل نشان داده شده است (Nwafor, *et al*, 2000).

جدول ۲-۱: برخی از خواص روغن کلزا در مقایسه با سوخت دیزل

پارامتر	سوخت دیزل	روغن کلزا
چگالی	۰/۸۴۴ gr/cm^3	۰/۹۱۸ gr/cm^3
گرانروی	۰/۰۴۵ Poise	۰/۶۶۷ Poise
ارزش حرارتی خالص	۴۲/۷ MJ/kg	۳۶/۸۹ MJ/kg

همان‌گونه که ذکر شد از روغن‌های گیاهی نمی‌توان به طور مستقیم، بدون اصلاح روغن و یا سامانه‌ی سوخت‌رسانی به عنوان سوخت در موتورهای دیزل استفاده نمود، زیرا گرانروی آن‌ها به صورت قابل ملاحظه‌ای بیشتر از سوخت دیزل و ارزش حرارتی خالص آن‌ها کمتر از سوخت دیزل می‌باشد. برای جایگزین نمودن روغن گیاهی به عنوان سوخت در موتورهای دیزل باید بعضی از خواص آن را اصلاح کرد. روغن گیاهی را می‌توان با سوخت دیزل مخلوط کرد تا گرانروی آن اندکی پایین بیاید ولی با افزایش نسبت روغن به سوخت دیزل، مصرف سوخت ویژه افزایش می‌یابد. افزایش قابل ملاحظه در مصرف سوخت ویژه در نسبت‌های روغن بالاتر از ۳۰ درصد مشاهده می‌شود. جدول ۲-۲ رابطه‌ی نسبت‌های مختلف روغن کلزا به سوخت دیزل و مصرف سوخت ویژه را نشان می‌دهد (He, *et al.*, 2002).

علاوه بر افزایش مصرف سوخت، مشکلات دیگری نظیر گرفتگی پمپ انژکتور، مجاری سوخت‌رسانی و انژکتورها بوجود می‌آید و رسوبات کربن بر روی نوک انژکتورها تشکیل می‌شود که باعث تغییر مسیر پاشش و کاهش کیفیت اشتعال می‌گردد.

جدول ۲-۲: رابطه‌ی نسبت‌های مختلف روغن کلزا به سوخت دیزل و مصرف سوخت ویژه

نسبت روغن کلزا به کل مخلوط روغن کلزا و سوخت دیزل	مصرف سوخت ویژه (g/kw.h)	
	۷/۳۵kw/۲۰۰۰ rpm	۸/۲kw/۲۰۰۰ rpm
۰	۲۶۶/۶۷	۲۷۸/۹۱
٪۱۰	۲۷۴/۲۹	۲۸۵/۹۹
٪۲۰	۲۷۶/۶۰	۲۹۰/۸۸
٪۳۰	۲۸۰/۱۴	۲۹۲/۷۶
٪۵۰	۲۹۶/۸۷	۳۰۲/۵۹
٪۷۰	۳۰۴/۳۵	۳۱۱/۹۷

نکته‌ی دیگری که باید در مورد نسبت مخلوط، مورد توجه قرار گیرد، پایداری مخلوط در دمای محیط است. در مخلوط روغن کلزا با سوخت دیزل، هنگامی که نسبت روغن کلزا به ۴۰ درصد یا بیشتر می‌رسد، در مدت یک تا دو هفته، مخلوط دو فازه می‌شود. با افزایش نسبت به ۵۰ درصد، این پدیده در هفته‌ی اول ظاهر می‌گردد (He, *et al.*, 2002).

با توجه به مطالب ذکر شده، مشاهده می‌گردد که در استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان سوخت چه به طور خالص و چه به صورت ترکیب با سوخت دیزل، مشکلاتی وجود دارد. لذا، باید عملیاتی بر روی این روغن‌ها انجام گیرد تا خواص آن با سوخت دیزل مطابقت داشته باشد و نیاز به ایجاد تغییرات را در موتور دیزل به حداقل رسانده، پایداری و ارزش حرارتی بیشتری داشته و مصرف ویژه‌ی آن پایین بیاید. این مشکلات باعث گردیده است تا روغن خام به بیودیزل تبدیل شود. بنابراین بیودیزل پس از تبدیل دیگر دارای مشکلات سابق نخواهد بود.

۲-۳ بیودیزل

بیودیزل، اتیل استر یا متیل استری است که از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تولید شده و به عنوان سوخت در موتورهای دیزل یا ماشین‌های حرارتی استفاده می‌گردد (Ghobadian and Rahimi, 2004).

بیودیزل سوخت تجدیدپذیر غیر سمی و بدون گوگرد و ترکیبات آروماتیک است. بیودیزل به عنوان استرهای مونو الکیل اسیدهای چرب با زنجیرهای طولانی تعریف می‌شود (خاتمی فر، ۱۳۸۵؛ Ghobadian *et al.*, 2006; Ghobadian and Khatamifar, 2005; Usta, 2005). در بین کشورهای اروپایی آلمان با ۵۰ درصد کل تولید بیودیزل در اروپا، مقام اول و فرانسه با ۳۰ درصد در مقام دوم می باشد. تولید و ظرفیت تولید بیودیزل در اروپا (EU) در جدول (۲-۳) نشان داده شده است (Anonymous, 2006). تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که بیودیزل بهترین و مناسب‌ترین جایگزین سوخت دیزل محسوب می‌شود از این رو، ظرفیت تولید و همچنین تولید سوخت بیودیزل در کشورهای مختلف جهان و بویژه در کشورهای اروپایی رو به گسترش است (جدول ۲-۳).

جدول ۲-۳: تولید و ظرفیت تولید بیودیزل در چند کشور اروپایی در سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ (هزار تن)

سال / کشور	۲۰۰۴		۲۰۰۵		۲۰۰۶
	ظرفیت تولید	تولید	ظرفیت تولید	تولید	ظرفیت تولید
آلمان	۱۰۸۸	۱۰۳۵	۱۹۰۳	۱۶۶۹	۲۶۸۱
فرانسه	۵۰۲	۳۴۸	۵۳۲	۴۹۲	۷۷۵
ایتالیا	۴۱۹	۳۲۰	۸۲۷	۳۹۶	۸۵۷
جمهوری چک	۰	۶۰	۱۸۸	۱۳۳	۲۰۳
لهستان	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۵۰
اتریش	۱۰۰	۵۷	۱۲۵	۸۵	۱۳۴
اسلواکی	۰	۱۵	۸۹	۷۸	۸۹
اسپانیا	۷۰	۱۳	۱۰۰	۷۳	۲۲۴
دانمارک	۴۴	۷۰	۸۱	۷۱	۸۱
انگلیس	۱۵	۹	۱۲۹	۵۱	۴۴۵

در ایران واردات بنزین همچنان با روند صعودی برخوردار بوده و از روزانه ۵۲۵,۰۰۰,۰۰۰ لیتر در سال ۱۳۷۹، به ۲,۴۸۱,۰۰۰,۰۰۰ لیتر در سال ۱۳۸۴ رسیده است. به عبارت دیگر طی ۶ سال اخیر، واردات بنزین بیش از ۴/۵ برابر شده است و تخمین آن برای سال ۱۳۸۶ به مبلغی بالغ بر ۹ میلیارد دلار می‌رسد. افزون بر آن واردات گازوئیل در سال ۱۳۸۴ نیز با رشد ۷۰/۶ درصد نسبت به سال قبل، به ۲۹۰,۰۰۰ لیتر در روز افزایش یافته است (بی‌نام، ۱۳۸۵). با توجه به آمار ذکر شده و کاهش منابع نفتی، در کشور ما نیز به صورت کلان به این سوخت‌ها توجه شده به طوری که در برنامه چهارم توسعه کشور نیز تمهیداتی برای تحقیق در مورد این سوخت‌ها اندیشیده شده است (Ghobadian and Rahimi, 2004). تولید سوخت‌های گیاهی از فاضلاب و زباله‌هایی که منبع آلی دارند در سطح آزمایشی انجام شده است (رحیمی، ۱۳۸۴) و در مواردی دستگاه‌هایی برای تولید سوخت‌های گیاهی طراحی و ساخته شده است (قبادیان، ۱۳۷۵؛ خاتمی فر، ۱۳۸۵). یکی از این دستگاه‌ها که در دانشگاه تربیت مدرس ساخته شده است، BDI-80 می‌باشد که توانایی تولید ۸۰ لیتر بیودیزل را با استفاده از روش ترانس‌استریفیکاسیون دارا می‌باشد.

برای تهیه‌ی بیودیزل، روغن‌ها با یک الکل مخلوط شده و یک واکنشگر مانند هیدروکسید پتاسیم همراه با آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتیجه‌ی واکنش روغن با الکل در کنار واکنشگر مناسب در دما و فشار تعیین شده، تولید استر و گلیسیرین است. گلیسیرین محصول جانبی با ارزشی است و در صنایع صابون‌سازی، تولید مواد غذایی و آرایشی استفاده می‌گردد (خاتمی فر، ۱۳۸۵). آزمایش‌ها نشان داده‌اند که بازده کار بیودیزل شبیه به سوخت دیزل است با این تفاوت که محتوای انرژی بیودیزل اندکی کمتر از دیزل شماره ۲ و اندکی بیشتر از دیزل شماره ۱ بوده ولی از نظر کاهش آلایندگی بهتر است (Dorado *et al.*, 2003; Nurun Nabi *et al.*, 2006).

تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از بیودیزل باعث کاهش میزان هیدروکربن‌های سوخته نشده (UHC)، دی اکسید کربن (CO_2)، منواکسید کربن (CO)، اکسیدهای سولفور (SO_X) و ذرات جامد منتشر شده از اگزوز می‌شود. فقط میزان کمی افزایش در اکسیدهای نیتروژن (NO_X) بوجود می‌آید که می‌توان با تنظیم زمانبندی تزریق سوخت مقدار آن را کاهش داد (Lee *et al.*, 2004; Dorado *et al.*, 2003).

۲-۴ روش‌های تولید بیودیزل

سه روش مهم که برای تولید بیودیزل به کار می‌رود پیرولیز[1]، میکروامولسیون[2] و ترانس استریفیکاسیون[3] می‌باشد (Fukuda *et al.*, 2001). در ادامه به شرح مختصر این سه روش پرداخته می‌شود.

[1] -Pyrolysis
[2] -Micro-emulsification
[3] -Transesterification

۲-۴-۱ پیرولیز

در این روش برای تولید بیودیزل از بازساخت حرارتی استفاده می‌گردد و با استفاده از حرارت در حضور گاز نیتروژن یا اکسیژن موادی از قبیل آلکان[۱]، آلکن[۲]، آلکادین[۳]، آروماتیک[۴] و اسید کربوکسیلیک تولید می‌گردد (Fukuda *et al.*, 2001). در اثر این عمل گرانروی روغن پایین آمده و عدد ستان آن بالا می‌رود. در اثر پیرولیز مقدار آب و رسوبات، خوردگی مس و گوگرد کاهش یافته ولی مقدار خاکستر و ذرات کربن و دمای نقطه‌ی ابری شدن افزایش می‌یابد.

روش پیرولیز همانند روش تهیه‌ی سوخت دیزل از نفت خام است و اکسیژن موجود در سوخت در اثر حرارت خارج می‌گردد و به این ترتیب مقدار CO خروجی از اگزوز افزایش می‌یابد (Fukuda *et al.*, 2001).

۲-۴-۲ میکروامولسیون

اگر برای کاهش گرانروی روغن از حلال‌هایی مانند متانول، اتانول و ۱- بوتانول استفاده گردد، محلول بدست آمده را میکروامولسیون می‌نامند. این محلول همسان‌گرد (Isotropic)، شفاف و به صورت ترمودینامیکی پایدار است. میکروامولسیون از ذرات آب، روغن، سورفکتانت[۵] و کوسورفکتنت[۶] (مولکول‌های آمفی فیلیک[۷]) تشکیل شده است (Fukuda *et al.*, 2001).

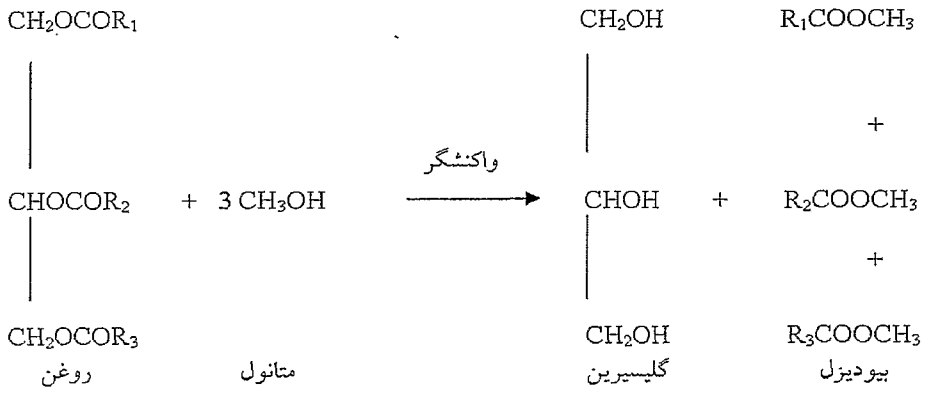
این امولسیون غیر یونی و دارای گرانروی ۶/۳۱ mm^2/s در دمای ۴۰ ^{o}C می‌باشد. عدد ستان آن ۲۵، محتوای گوگرد ۰/۰۱ ٪ و مقدار خاکستر آن کمتر از ۰/۰۱ ٪ می‌باشد. با افزایش مقدار ۱- بوتانول میزان گرانروی پایین می‌آید (Fukuda *et al.*, 2001).

۲-۴-۳ ترانس‌استریفیکاسیون

در روش ترانس‌استریفیکاسیون، روغن (تری‌گلیسرید) با الکل در حضور واکنشگر مناسب واکنش می‌دهد. این روش الکلیزیز[۸] هم نامیده می‌شود. در شکل (۲-۲) واکنش ترانس‌استریفیکاسیون نشان داده شده است (Felizardo *et al.*, 2005; Gerpen, 2005, Karmee and Chadha, 2005).

---

[1] -Alkane
[2] -Alkene
[3] -Alkadiene
[4] -Aromatic
[5] -Surfactant
[6] -Cosurfactant
[7] -Amphiphilic
[8] -Alcoholysis



شکل۲-۲: واکنش ترانس‌استریفیکاسیون

گروه‌های R نشان داده شده در شکل (۲-۲) دارای ۱۶ تا ۲۲ کربن می‌باشند و اسیدهای چرب[1] نامیده می‌شوند. اسیدهای چرب دارای انواع اشباع و غیراشباع می‌باشند که نوع غیراشباع می‌توانند باعث پلیمری شدن و تولید صمغ در موتور، روغن روانکاری و انژکتورها گردند (Demirbas, 2003).

۲-۴-۳-۱ الکل

الکل‌های مناسب برای انجام واکنش ترانس‌استریفیکاسیون متانول، اتانول، پروپانول و بوتانول می‌باشند (Patzer and Norris, 2002 ; Vicente *et al.*, 2004).

متانول و اتانول پرکاربردترین الکل‌ها در واکنش ترانس‌استریفیکاسیون می‌باشند و بین این دو الکل، متانول با توجه به ارزانی و خواص فیزیکی و شیمیایی بهتر نسبت به اتانول بهترین الکل برای واکنش ترانس‌استریفیکاسیون می‌باشد. این الکل دارای فرمول شیمیایی CH_3OH می‌باشد. متانول سبک، فرار، بی‌رنگ، قابل اشتعال و سمی بوده و از نوع الکل‌های آلیفاتیک[2] است. نقطه‌ی جوش متانول $64/7\ ^{o}C$ و نقطه‌ی انجماد آن $-97/8\ ^{o}C$ می‌باشد. چگالی متانول $780\ Kg/m^3$ در دمای $5\ ^{o}C +$ می‌باشد.

۲-۴-۳-۲ واکنشگر

برای انجام واکنش ترانس‌استریفیکاسیون علاوه بر روغن و الکل به مقدار تقریباً ۱ ٪ وزن روغن، واکنشگر نیز به واکنش اضافه می‌شود (Korus *et al.*, 1993). واکنشگرها به سه دسته‌ی اسیدی بازی و آنزیمی تقسیم می‌شوند (Leung and Koo, 2000). از بین این واکنشگرها، بهترین واکنشگر نوع بازی است. زیرا دارای سرعت بسیار بالا و بازده ۱۰۰ ٪ می‌باشد.

---

[1] -Fatty acids
[2] -Aliphatic