بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده‌ی فناوری کشاورزی و منابع طبیعی
گروه آموزشی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی کشاورزی گرایش مکانیک ماشین‌های کشاورزی

عنوان:

تاثیر مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل بر عملکرد، ارتعاشات و صدای موتور دیزل

استاد راهنما:
دکتر بهمن نجفی

استاد مشاور:
دکتر حجت احمدی

پژوهشگر:
بهنام پورمهدی مقدم طیول

مهر ۱۳۹۲

دانشکده فناوری کشاورزی ومنابع طبیعی
گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

عنوان:

تاثیر مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل بر عملکرد، ارتعاشات و صدای موتور دیزل

توسط:

بهنام پورمهدی مقدم طیول

پایان‌نامه برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی کشاورزی - مکانیک ماشین‌های کشاورزی

از
دانشگاه محقق اردبیلی
اردبیل- ایران

ارزیابی وتصویب شده توسط کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی: عالی

دکتر بهمن نجفی، دانشیار (استاد راهنما و رئیس کمیته‌ی داوران) .....

دکتر حجت احمدی، دانشیار (استاد مشاور) .....

دکتر امیرحسین افکاری سیاح، دانشیار (داور داخلی) .....

دکتر ترحم مصری گندشمین، استادیار (داور داخلی) .....

مهر-۱۳۹۲

تقدیم به پروردگارم

او که به من

مادری چون خورشید،

پدری چون دریا،

و خواهری چون چشمه

عطا کرده است.

سپاس بی‌کران پروردگار را که دل‌ها را به نور دانش منور ساخت. پروردگارا تو را سپاس می‌گویم به خاطر تمام نعمت‌هایی که بر من عطا نموده‌ای و عاجزانه دست به سوی تو دارم تا لطف و عنایت خود را شامل حال بنده‌ی حقیرت گردانی.

اینک که به لطف ایزد منان توفیق به پایان رساندن پایان‌نامه و این دوره‌ی تحصیل نصیبم شده بر خود فرض می‌دانم مراتب سپاس خود را تقدیم بزرگوارانی کنم که مرا در عرصه علم و زندگی یاری نموده‌اند.

از استاد راهنمای عزیز و بزرگوارم، جناب آقای دکتر بهمن نجفی که همواره با راهنمایی‌های ارزنده خود نه تنها پشتوانه‌ی علمی بنده در نگارش پایان‌نامه بودند، بلکه در سایر امور زندگی، اخلاق و معرفت نیز حق معلمی برگردن اینجانب دارند.

از جناب آقای دکتر جت احمدی که در سمت استاد مشاور پایان‌نامه از محضرشان بهره‌مند گشتم.

از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر امیرحسین افتخاری و دکتر ترحم مصری، که زحمت داوری پایان‌نامه را تقبل نموده‌اند و همواره با گشاده‌دستی راهگشای بنده بودند.

از اساتید گرامی آقایان دکتر شمس اله عبداله پور، دکتر رضا عبدی، دکتر غلامحسین شاهقلی، دکتر حسین بهفر، دکتر حسین نوید و دکتر علی‌اصغر محمودی که در طول دوران تحصیل معلم علم و اب بنده بوده‌اند.

از دوستان عزیزم آقایان مهندس حسن مالک‌اژدر، مهندس هادی دوست حقی و مهندس سینا خلیل‌وندی که بنده را در اجرای آزمایشات و نوشتن پایان‌نامه یاری نمودند.

از مدیریت محترم شرکت موتورسازی ایدم تبریز و سایر اعضای آن مجموعه بویژه جناب آقای مهندس جداری که با آغوش باز و امکانات خود ما را در اجرای این پژوهش یاری کردند.

در پایان از همراهی و مساعدت پدر و مادر مهربانم، دوست و برادر عزیزم مهندس عادل رضوانی و سایر دوستان و همکلاسی‌های عزیزم و تمام کسانی که در طی مدت تحصیل محبت و مهرشان در گوشه‌ی ذهن و قلبم جای دارد.

نام خانوادگی دانشجو: پورمهدی مقدم طیول **نام:** بهنام

عنوان پایان‌نامه:

تاثیر مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل بر عملکرد، ارتعاشات و صدای موتور دیزل

استاد راهنما: دکتر بهمن نجفی

استاد مشاور: دکتر حجت احمدی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی کشاورزی

گرایش: مکانیک ماشین‌های کشاورزی **دانشگاه:** محقق اردبیلی

دانشکده: فناوری کشاورزی و منابع طبیعی **تاریخ دفاع:** ۱۳۹۲/۰۷/۰۶ **تعداد صفحات:** ۱۰۰

چکیده

افزایش تقاضا و قیمت سوخت‌های فسیلی و کاهش ذخایر آن و همچنین افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از این سوخت‌ها باعث گرایش محققان برای یافتن سوخت‌های جایگزین شد؛ که بیودیزل یکی از آن‌هاست. با توجه به بحران سوخت‌های فسیلی و همچنین مزایای بی‌شمار سوخت‌های جایگزین استفاده‌ی گسترده از این سوخت‌ها در آینده نه چندان دور امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود؛ بنابراین بررسی تأثیرات این سوخت‌ها بر روی موتورها و محیط‌زیست امری ضروری است. تحقیق حاضر در نظر دارد تا پارامترهای عملکردی، آلاینده‌های خروجی از موتور و ارتعاشات آن را به ازای مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل و دیزل مورد بررسی قرار دهد. در این تحقیق، بیودیزل از روغن پسماند خوراکی به روش ترانس‌استریفیکاسیون تهیه و به نسبت‌های ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ حجمی با گازوئیل مخلوط و از گازوئیل به عنوان سوخت شاهد استفاده شد. پارامترهای عملکردی، آلایندگی و میزان ارتعاشات این مخلوط‌ها بر اساس استاندارد ECE-R49 (سرعت ثابت) در سرعت‌های ۱۵۰۰ و ۲۲۰۰ دور در دقیقه و چهار سطح بار ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ حالت تمام بار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش میزان بیودیزل مخلوط، انتشار گازهای دی‌اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و دوده کاهش و میزان اکسیژن موجود در گازهای خروجی افزایش می‌یابد ولی در مورد انتشار هیدروکربن‌های نسوخته نمی‌توان نظر قطعی صادر کرد. همچنین با افزایش میزان بیودیزل مخلوط، گشتاور و توان موتور تقریباً ثابت بوده ولی دمای گازهای خروجی از موتور کاهش و مقدار لاندا افزایش می‌یابد. تحلیل سیگنال‌ها در حوزه‌ی زمان نشان داد با افزایش سرعت و بار موتور میزان ارتعاشات آن افزایش می‌یابد در حالی که افزایش در میزان بیودیزل مخلوط سوخت، ارتعاشات و صدا را کاهش می‌دهد. از طرفی آنالیز سیگنال‌های ارتعاش در حوزه‌ی فرکانس نشان داد که بیشترین مقادیر ارتعاشات برای تمام نمونه‌های سوخت در بازه‌ی فرکانسی ۰ تا ۳۲۰ هرتز قرار دارد. نتایج نشان داد که فرکانس‌های مربوط به مقادیر ماکزیمم ارتعاشات با تغییر سرعت موتور تغییر می‌یابد ولی تغییر میزان بیودیزل مخلوط سوخت و همچنین بار موتور تغییری در این فرکانس‌ها ایجاد نمی‌کند؛ ولی دامنه‌ی ارتعاشات موتور در فرکانس‌های فوق را تغییر می‌دهد یعنی با افزایش میزان بیودیزل مخلوط و کاهش بار موتور دامنه‌ی ارتعاشات در این فرکانس‌ها کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: سوخت جایگزین، بیودیزل، عملکرد، آلایندگی، ارتعاشات و صدا، موتور دیزل

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب **صفحه**

فصل اول: مقدمه و پیشینه تحقیق

۱-۱مقدمه ۲

۱-۲ مروری بر تحقیقات پیشین ۱۷

۱-۲-۱ تحقیقات انجام گرفته در زمینه‌ی عملکرد موتور ۱۷

۱-۲-۲ تحقیقات انجام گرفته در زمینه آلایندگی موتور ۲۰

۱-۲-۳ تحقیقات انجام‌گرفته در زمینه اندازه‌گیری توأم عملکرد و آلایندگی موتور ۲۲

۱-۲-۴ تحقیقات انجام گرفته در زمینه‌ی ارتعاشات ۲۶

۱-۳ اهداف پژوهش ۳۲

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱مراحل تولید سوخت بیودیزل ۳۴

۲-۱-۱ خالص‌سازی روغن پسماند ۳۵

۲-۱-۲ آماده‌سازی روغن و اتوکسید ۳۵

۲-۱-۳ مخلوط کردن روغن و اتوکسید ۳۷

۲-۱-۴ خنثی‌سازی محلول و ته‌نشین نمودن نمک ۳۷

۲-۱-۵ جداسازی الکل و گلیسیرین از اتیل استر با آب‌شویی ۳۸

۲-۱-۶ جداسازی سوخت بیودیزل ۳۹

۲-۲ اندازه‌گیری خواص سوخت بیودیزل ۴۰

۲-۲-۱ اندازه‌گیری دانسیته‌ی نمونه‌های سوخت ۴۱
۲-۲-۲ اندازه‌گیری ویسکوزیته‌ی نمونه‌های سوخت ۴۲
۲-۲-۳ اندازه‌گیری نقطه‌ی اشتعال نمونه‌های سوخت ۴۳
۲-۲-۴ اندازه‌گیری نقطه ابری شدن و ریزش نمونه‌های سوخت ۴۴
۲-۳روش و استاندارد آزمون موتور ۴۴
۲-۴ نحوه‌ی انجام آزمون موتور ۴۶
۲-۵ تجهیزات مورد استفاده در آزمون موتور ۴۷
۲-۶ فرکانس احتراق موتور و فرکانس نمونه‌برداری ارتعاشات ۵۰
۲-۷ تحلیل داده‌های ارتعاش ۵۱
۲-۷-۱ تحلیل داده‌ها در حوزه‌ی فرکانس ۵۱
۲-۷-۲ تحلیل آماری داده‌ها در حوزه‌ی زمان ۵۱
۲-۸ ریشه میانگین مربعات (RMS) ۵۲

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱ نتایج اندازه‌گیری خواص مخلوط‌های سوخت ۵۴
۳-۲ نتایج آزمون‌های تجربی عملکرد موتور ۵۶
۳-۲-۱ گشتاور موتور ۵۶
۳-۲-۲ توان موتور ۵۸
۳-۲-۳ دمای گازهای خروجی از اگزوز ۶۰
۳-۲-۴ لاندا (λ) ۶۲
۳-۳ نتایج آزمون‌های تجربی آلایندگی موتور ۶۴
۳-۳-۱ انتشار دی‌اکسیدکربن CO_2 ..... ۶۴

۳-۳-۲ انتشار اکسیدهای نیتروژن NOx ۶۶
۳-۳-۳ انتشار دوده Soot ۶۸
۳-۳-۴ انتشار هیدروکربن‌های نسوخته UHC ۷۰
۳-۳-۵ میزان اکسیژن موجود در گازهای خروجی O_2 ..... ۷۲
۳-۴ نتایج حاصل از اندازه‌گیری ارتعاشات ۷۴
۳-۴-۱ تجزیه و تحلیل آماری در حوزه‌ی زمان ۷۴
۳-۴-۱-۱ اثر مخلوط سوخت بر اندازه‌ی ارتعاشات ۷۵
۳-۴-۱-۲ اثر دور موتور بر اندازه‌ی ارتعاشات ۷۶
۳-۴-۱-۳ اثر بار موتور بر اندازه‌ی ارتعاشات ۷۷
۳-۴-۱-۴ اثر متقابل مخلوط سوخت و دور موتور بر اندازه‌ی ارتعاشات ۷۸
۳-۴-۱-۵ اثر متقابل مخلوط سوخت و بار موتور بر اندازه‌ی ارتعاشات ۸۰
۳-۴-۲ تحلیل در حوزه‌ی فرکانس ۸۱
۳-۵ صدای موتور ۸۲

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه‌گیری ۸۶
۴-۲ پیشنهادات ۸۷
منابع ۸۹
پیوست‌ها ۹۸

فهرست جداول

شماره و عنوان جدول **صفحه**

جدول ۱-۱: برخی خواص فیزیکی روغن کلزا در مقایسه با سوخت دیزل ۴

جدول ۱-۲: میزان تولید روغن پسماند در کشورهای مختلف ۹

جدول ۱-۳: تولید و ظرفیت تولید بیودیزل در چند کشور اروپایی در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶.... ۱۰

جدول ۱-۴: بررسی آماری مقالات مرتبط با تأثیر بیودیزل بر عملکرد و آلایندگی موتور..... ۲۵

جدول ۲-۱: شماره و حدود مجاز استانداردهای اندازه‌گیری خواص بیودیزل..... ۴۱

جدول ۲-۲: مشخصات موتور مورد آزمایش ۴۵

جدول ۲-۳: ماتریس آزمون ۴۶

جدول ۲-۴: دقت و محدوده اندازه‌گیری دستگاه‌های مورد استفاده در آزمون موتور ۴۹

جدول ۳-۱: خواص مخلوط‌های سوخت بیودیزل و دیزل ۵۵

جدول ۳-۲: تجزیه‌ی واریانس ریشه‌ی میانگین مربعات دامنه‌ی ارتعاشات..... ۷۵

جدول ۳-۳: مقایسه میانگین‌های ارتعاش موتور در سوخت‌ها و بارهای مختلف ۸۰

فهرست اشکال

شماره و عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱: روند تولید نفت خام در جهان ۲
شکل ۱-۲: دسته‌بندی کلی روغن‌های مورد استفاده در ترانس‌استریفیکاسیون ۸
شکل ۱-۳: روند تولید سوخت بیودیزل در جهان ۱۰
شکل ۱-۴: یک جایگاه سوخت بیودیزل در اروپا ۱۱
شکل ۱-۵: تغییرات توان ناشی از تغییر در میزان بیودیزل مخلوط ۱۷
شکل ۱-۶: نمودار تغییرات گشتاور نسبت به دور برای سوخت‌های مختلف ۱۸
شکل ۱-۷: نمودار تغییر دمای خروجی اگزوز نسبت به دور برای سوخت‌های مختلف ۱۸
شکل ۲-۱: روغن پسماند خالص‌سازی شده، هیدروکسیدسدیم و اتانول ۳۴
شکل ۲-۲: حرارت دادن روغن ۳۶
شکل ۲-۳: مخلوط کردن اتانول با هیدروکسیدسدیم ۳۶
شکل ۲-۴: مخلوط نمودن روغن و اتوکسید ۳۷
شکل ۲-۵: ته‌نشین شدن نمک ۳۸
شکل ۲-۶: فازهای ایجادشده در مرحله‌ی آخر آب‌شویی ۳۹
شکل ۲-۷: ترتیب مراحل تولید بیودیزل ۴۰
شکل ۲-۸: دستگاه ویسکوزمتر بروکفیلد مدل DV-II Prime ۴۲
شکل ۲-۹: اندازه‌گیری نقطه‌ی اشتعال به روش فنجان باز ۴۳
شکل ۲-۱۰: نمایی از سکوی موتور مورد آزمایش ۴۷
شکل ۲-۱۱: دینامومتر و اتاق کنترل تجهیزات و ثبت داده‌ها ۴۸
شکل ۲-۱۲: دستگاه آلاینده‌سنج مورد استفاده جهت اندازه‌گیری میزان گازهای خروجی موتور ۴۸
شکل ۲-۱۳: دستگاه ارتعاش‌سنج و حسگر آن ۴۹
شکل ۲-۱۴: محل نصب سنسور بر روی موتور و جهت اندازه‌گیری ارتعاشات ۵۰
شکل ۳-۱: گشتاور تولیدی موتور در سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۵۷

شکل ۳-۲: گشتاور تولیدی موتور در سرعت ۲۲۰۰ دور در دقیقه ۵۸
شکل ۳-۳: توان تولیدی موتور در سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۵۹
شکل ۳-۴: توان تولیدی موتور در سرعت ۲۲۰۰ دور در دقیقه ۵۹
شکل ۳-۵: دمای گازهای خروجی از موتور در سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۶۱
شکل ۳-۶: دمای گازهای خروجی از موتور در سرعت ۲۲۰۰ دور در دقیقه ۶۱
شکل ۳-۷: تغییرات لاندا در سرعت موتور ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۶۳
شکل ۳-۸: تغییرات لاندا در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور در دقیقه ۶۳
شکل ۳-۹: میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۶۵
شکل ۳-۱۰: میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در سرعت ۲۲۰۰ دور در دقیقه ۶۵
شکل ۳-۱۱: میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن در سرعت موتور ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۶۷
شکل ۳-۱۲: میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور در دقیقه ۶۷
شکل ۳-۱۳: میزان انتشار دوده در سرعت موتور ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۶۹
شکل ۳-۱۴: میزان انتشار دوده در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور در دقیقه ۶۹
شکل ۳-۱۵: میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته در سرعت موتور ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۷۱
شکل ۳-۱۶: میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور در دقیقه ۷۲
شکل ۳-۱۷: میزان اکسیژن موجود در گازهای خروجی در سرعت موتور ۱۵۰۰ دور در دقیقه ۷۳
شکل ۳-۱۸: میزان اکسیژن موجود در گازهای خروجی در سرعت موتور ۲۲۰۰ دور در دقیقه ۷۳
شکل ۳-۱۹: میانگین ارتعاشات موتور برای مخلوط‌های سوخت ۷۶
شکل ۳-۲۰: میانگین ارتعاشات موتور برای سرعت‌های مختلف ۷۷
شکل ۳-۲۱: میانگین ارتعاشات موتور برای بارهای مختلف ۷۸
شکل ۳-۲۲: اثر متقابل مخلوط سوخت و دور موتور بر میانگین ارتعاشات ۷۹
شکل ۳-۲۳: میزان ارتعاشات برای تمام مخلوط‌های سوخت در سرعت‌های مختلف ۷۹
شکل ۳-۲۴: میزان ارتعاشات برای تمام مخلوط‌های سوخت در بارهای مختلف ۸۱
شکل ۳-۲۵: نمودار فرکانسی سوخت دیزل در سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه و بار موتور ۱۰۰٪ ۸۲

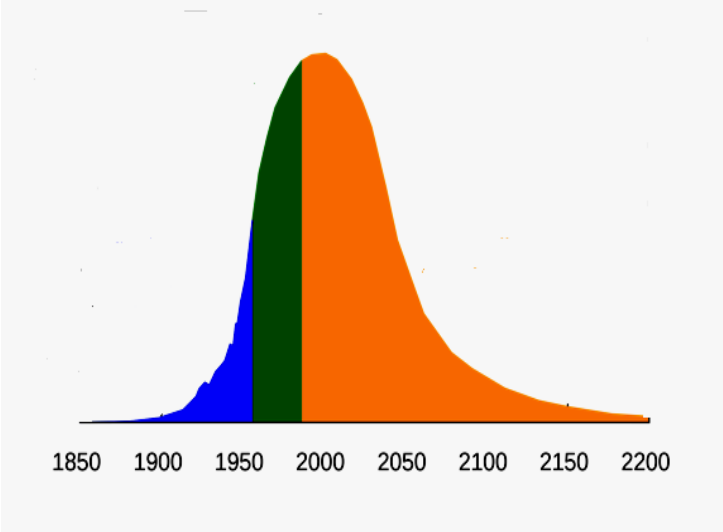
فصل اول

مقدمه و پیشینه تحقیق

۱-۱ مقدمه

انرژی یکی از اساسی‌ترین و مسئله‌سازترین موضوعات جهان امروز است. توسعه همه‌جانبه کشورها و رشد صنعت، تقاضا برای انرژی را در دنیا افزایش داده است. در حال حاضر، مهم‌ترین منبع تولید انرژی در موتورها و ماشین‌های حرارتی سوخت‌های فسیلی می‌باشند. استفاده‌ی بیش از حد از سوخت‌های فسیلی باعث کاهش منابع این سوخت‌ها، افزایش قیمت محصولات نفتی، افزایش آلودگی و مسائل زیست‌محیطی، وابستگی بیش از حد به کشورهای صادرکننده‌ی نفت- به گونه‌ای که امنیت انرژی کشورهای واردکننده به خطر افتاده است- و بسیاری مشکلات دیگر شده است (قبادیان،۱۳۸۰؛ کارارتو[1] و همکاران، ۲۰۰۴).

بر اساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده، همان طوری که در شکل (۱-۱) مشاهده می‌شود، حداکثر تولید نفت خام در جهان بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ خواهد بود و به احتمال زیاد تا پایان قرن حاضر منابع نفت خام دنیا تمام خواهند شد. بر همین اساس در سال‌های اخیر قیمت نفت خام و فرآورده‌های آن (مانند سوخت دیزل) نیز افزایش چشمگیری داشته است (مالک‌اژدر،۱۳۹۱).



شکل ۱-۱: روند تولید نفت خام در جهان (مالک‌اژدر،۱۳۹۱)

کاهش شدید مواد سوختی نظیر سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش قیمت جهانی آن از یک طرف و صنعتی شدن کشورها و وابستگی شدید آن‌ها به انرژی از طرف دیگر سبب شده که محققان همواره به دنبال منابع جایگزین جدیدی باشند؛ که از جمله منابع انرژی ارزان‌قیمت و در دسترس می‌توان به سوخت‌های بیولوژیکی اشاره کرد (نجفی و همکاران،۱۳۸۵).

[1] Carraretto

رادولف دیزل برای اولین بار در موتور اشتعال تراکمی خود، روغن بادام‌زمینی را در ۱۰ آگوست ۱۸۹۳ میلادی-روز جهانی بیودیزل- در شهر آوگسبرگ آلمان، به عنوان سوخت استفاده کرد. وی باور داشت که آینده‌ی موتور دیزل با استفاده از سوخت‌های بیولوژیک رقم خواهد خورد و در یکی از سخنرانی‌هایش در سال ۱۹۱۲ میلادی گفت: 'در حال حاضر استفاده از روغن‌های گیاهی ممکن است ناچیز باشد ولی در آینده، زمانی خواهد رسید که این سوخت‌ها به همان اندازه‌ی سوخت‌های فسیلی مهم باشند.' بعد از آن، استفاده از سوخت‌ها با پایه‌ی گیاهی در طول تاریخ با افت و خیزهای گوناگونی روبرو شد. بر اثر افزایش کشف منابع نفتی، پیشرفت تکنولوژی و کاهش قیمت سوخت‌های فسیلی، مصرف این سوخت‌ها نسبت به سوخت‌های با پایه‌ی بیولوژیکی، افزایش چشمگیری داشت. بر همین اساس، سوخت دیزل به عنوان سوخت اصلی و به عنوان سوختی که بیش‌ترین کاربرد را در موتورهای اشتعال تراکمی دارد، شناخته شد. رشد صنعت و موتوریزه شدن آن، افزایش تقاضا و قیمت سوخت‌های فسیلی و کاهش ذخایر آن و همچنین افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از این سوخت‌ها باعث گرایش محققان به سمت سوخت‌های جایگزین شد؛ بنابراین تحقیقات روی روغن‌های گیاهی جهت استفاده از آن‌ها در موتور دیزل تجدید شد (نجفی،۱۳۸۵؛ چاناکچی[1] و همکاران،۲۰۰۸).

پس از پدیدار شدن مشکلات موجود بر سر راه استفاده از سوخت‌های فسیلی، در ابتدای امر محققان سعی بر آن داشتند تا روغن‌ها را به طور مستقیم و بدون تغییر، در موتورهای دیزل مورد استفاده قرار دهند. تحقیقات هم نشان می‌دهد که روغن‌ها را می‌توان به عنوان سوخت جایگزین در موتورهای دیزل استفاده نمود. روغن‌های گیاهی در آزمایش‌های کوتاه مدت موتور دارای عملکرد مناسب و سطوح آلاینده‌های خروجی مورد قبولی هستند. از جمله روغن‌هایی که به عنوان سوخت مورد استفاده قرار گرفت می‌توان به روغن کلزا، روغن نخل، روغن سویا و ... اشاره نمود (فیض‌اله‌نژاد، ۱۳۸۶).

ولی وجود مشکلات متعدد، از جمله نیاز به تغییر در سیستم سوخت‌رسانی به دلیل ویسکوزیته‌ی بالاتر روغن خام نسبت به سوخت دیزل که باعث بروز مشکلاتی نظیر اتمیزه نشدن مناسب روغن و گرفتگی پمپ انژکتور، مجاری سوخت‌رسانی و انژکتورها می‌شود، تشکیل کک در مناطق مختلف موتور مثل بدنه‌ی اتاق احتراق و نوک انژکتورها که باعث تغییر مسیر پاشش و کاهش کیفیت اشتعال و احتراق ناقص می‌گردد، تشکیل لایه‌ای از سوخت محترق نشده روی دیواره‌ی سیلندر که کار سیستم روانکاری را مختل می‌نماید، تأخیر در اشتعال زیاد و احتراق آرام‌تر و در نتیجه کاهش فشار حداکثر احتراق نسبت به سوخت دیزل، پایین بودن ارزش حرارتی خالص روغن‌ها نسبت به سوخت دیزل و ... باعث شد تا محققان به فکر پیدا کردن راه‌حل مناسب‌تری برای کاربردی کردن استفاده از این روغن‌ها در موتورها باشند (وافِر[2]، ۲۰۰۰؛ فیض‌اله‌نژاد، ۱۳۸۶).

مهم‌ترین مشکلات مناسب نبودن روغن‌های گیاهی به عنوان جایگزین سوخت دیزل ویسکوزیته‌ی

[1] Canakci
[2] Nwafor

بالا، فراریت کم و غیر اشباع بودن این روغن‌ها می‌باشد. به عنوان مثال در جدول (۱-۱) تفاوت برخی خواص سوخت دیزل و روغن کلزا قابل مشاهده می‌باشد (زنوزی، ۱۳۸۶).

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

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

بنابراین محققان برای بهبود خواص روغن و مناسب کردن آن به منظور استفاده به عنوان سوخت در موتور دیزل به فکر راه چاره افتادند. در ابتدا سعی بر آن بود تا با مخلوط کردن روغن با سوخت دیزل بر این مشکلات غلبه شود؛ به عنوان مثال سیمز[1] و همکارانش در نیوزلند از مخلوط ۵۰ درصد روغن کلزا و مک‌کاتچن در شرکت تراکتورسازی کاترپیلار از مخلوط ۳۰ درصد روغن سویا با سوخت دیزل استفاده کردند (سیمز و همکاران،۱۹۸۴؛ جونز و پترسون[2]، ۲۰۱۱).

با مخلوط شدن روغن با سوخت دیزل تا حدی از مقدار ویسکوزیته‌ی آن کاسته می‌شود، ولی با افزایش درصد روغن در مخلوط، میزان مصرف سوخت ویژه افزایش خواهد یافت. مشکل دیگری که در مخلوط کردن روغن و سوخت دیزل وجود دارد، دو فازه شدن مخلوط حاصل پس از گذشت مدت زمان معینی می‌باشد (زنوزی، ۱۳۸۶).

بنابراین در استفاده از روغن‌ها به عنوان سوخت چه به طور خالص و چه به صورت ترکیب با سوخت دیزل، مشکلاتی وجود دارد. لذا، به منظور استفاده از روغن‌های گیاهی یا حیوانی در موتورهای احتراق داخلی، باید عملیاتی بر روی این روغن‌ها انجام گیرد تا ساختار مولکولی روغن به اجزاء ساده‌تری شکسته شود و خواص آن با سوخت دیزل مطابقت داشته باشد تا نیاز به ایجاد تغییرات در موتور دیزل را به حداقل رساند (گرپن[3]، ۲۰۰۵).

[1] Sims
[2] Jones and Peterson
[3] Gerpen

تاکنون سه روش پیرولیز[1]، میکروامولسیون[2] و ترانس‌استریفیکاسیون[3] برای اصلاح ساختار و جایگزین نمودن روغن‌ها به جای سوخت دیزل توسعه پیدا کرده است.

در پیرولیز، بهبود خواص روغن به وسیله‌ی تغییرات شیمیایی و به واسطه بکار بردن حرارت که باعث تبدیل ترکیبات پیچیده به ترکیبات ساده‌تر می‌شود، انجام می‌گیرد. این فرآیند به عنوان کراکینگ[4] (تجزیه مواد هیدروکربنی) نیز شناخته می‌شود. در این روش با استفاده از حرارت در حضور گاز نیتروژن یا اکسیژن موادی از قبیل آلکان، آلکن، آلکادین، آروماتیک و اسید کربوکسیلیک تولید می‌گردد. روش پیرولیز همانند روش تهیه‌ی سوخت دیزل از نفت خام است و اکسیژن موجود در سوخت در اثر حرارت خارج می‌گردد. با وجود اینکه این تکنیک باعث بهبود برخی از خواص روغن مانند ویسکوزیته و عدد ستان می‌گردد ولی به دلیل هزینه‌های بالا، غیراقتصادی می‌باشد (فوکودا[5] و همکاران،۲۰۰۱؛ بنرجی و چاکربورتی[6]، ۲۰۰۹).

میکروامولسیون روش دیگری برای بهبود خواص روغن می‌باشد. در این روش الکل‌هایی مثل متانول، اتانول و پروپانول به عنوان افزودنی جهت کاهش ویسکوزیته استفاده می‌شوند. همچنین الکل‌های سنگین‌تر به عنوان فعال‌کننده سطحی و نیترات‌های آلکیل، جهت بهبود عدد ستان بکار می‌روند. کاهش ویسکوزیته، افزایش عدد ستان و ویژگی‌های پاششی خوب باعث ترغیب به استفاده از این تکنیک می‌شود؛ ولی استفاده درازمدت از روغن‌های فرآوری شده با این روش به عنوان سوخت، سبب بروز مشکلاتی مانند چسبندگی سوزن انژکتور، تشکیل رسوب کربن و احتراق ناقص می‌گردد (بنرجی و چاکربورتی، ۲۰۰۹).

در ترانس‌استریفیکاسیون که به آن الکلیز[7] هم گفته می‌شود، الکل استر با یک الکل دیگر در طی یک فرآیند جایگزین می‌گردد. این فرآیند شبیه فرآیند هیدرولیز است با این تفاوت که به جای آب، الکل جایگزین می‌شود. به طور کلی فرآیند ترانس‌استریفیکاسیون از طریق واکنش تری گلیسیرید (به عنوان اسید چرب) با الکل در حضور کاتالیزور انجام می‌گیرد که منجر به شکست شیمیایی مولکولی روغن و تبدیل آن به متیل یا اتیل استرها می‌شود (پاتزِر[8]، ۲۰۰۲؛ آروموگام[9]، ۲۰۰۷).

این واکنش در شرایط طبیعی و در دمای اتاق با سرعت تقریباً پایینی انجام می‌شود. بنابراین به منظور افزایش سرعت واکنش و دست‌یابی به حداکثر میزان محصولات، اغلب در محیط واکنش از کاتالیزور استفاده می‌شود. کاتالیزورهای این واکنش به سه دسته کاتالیزورهای اسیدی، کاتالیزورهای بازی

[1] Pyrolysis
[2] Micro-emulsion
[3] Transesterification
[4] Cracking
[5] Fukuda
[6] Banerjee and Chakraborty
[7] Alcoholysis
[8] Patzer
[9] Arumugam

و کاتالیزورهای آنزیمی طبقه‌بندی می‌شوند. که در میان این کاتالیزورها، کاتالیزورهای بازی مثل هیدروکسید سدیم، هیدروکسید پتاسیم و ... بیش‌ترین کاربرد را در فرآیند ترانس‌استریفیکاسیون دارند. از جمله مزایای این کاتالیزورها می‌توان به سرعت و بازده بالای واکنش، صرفه‌ی اقتصادی، استفاده از فشار و دمای پایین برای انجام واکنش، سادگی فرآیند و سازگاری با محیط‌زیست و ... اشاره نمود. به عنوان مثال با استفاده از هیدروکسید سدیم می‌توان بیش‌ترین سرعت را در واکنش ایجاد نمود (خاتمی فر،۱۳۸۴؛ آروموگام، ۲۰۰۷؛ ویسنته[1] و همکاران،۲۰۰۴).

الکل‌های مناسب برای انجام این واکنش اتانول، متانول، پروپانول و بوتانول می‌باشند. متانول و اتانول پرکاربردترین الکل‌ها در واکنش ترانس‌استریفیکاسیون هستند (زنوزی، ۱۳۸۶).

محصولات نهایی واکنش ترانس‌استریفیکاسیون گلیسیرین و یک استر می‌باشد. گلیسیرین- گلیسیرول هم نامیده می‌شود- به عنوان محصول جانبی واکنش، ماده‌ای شفاف، بی‌رنگ، بی‌بو، دارای گرانروی بالا و فرمول شیمیایی $C_3H_8O_3$ بوده و به عنوان یک محصول با ارزش در صنایع مختلفی از جمله آرایشی و دارویی کاربرد دارد. استر تولیدشده نیز با نام بیودیزل (محصولی که واکنش با هدف رسیدن به آن انجام شده است) و به عنوان سوخت، در موتور دیزل و سایر موارد بکار گرفته می‌شود.

بر اساس تعریف استاندارد آزمون و مواد آمریکا[2] بیودیزل عبارت است از «منوآلکیل استرهای اسیدهای چرب با زنجیره‌ی بلند که از مواد خام چرب تجدیدپذیر مانند روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تهیه می‌گردد». در حقیقت بیودیزل یک نوع متیل یا اتیل استر با فرمول شیمیایی به ترتیب $3C_{19}H_{35}COOCH_3$ و $3C_{19}H_{35}COOCH_5$ است. به طور کلی خواص اتیل استرها مشابه متیل استرها می‌باشد. متیل استرها و اتیل استرها دارای ارزش حرارتی تقریباً یکسانی هستند. ویسکوزیته‌ی اتیل استرها کمی بالاتر و نقطه‌ی ابری شدن و نقطه‌ی ریزش آن‌ها کمی پایین‌تر از متیل استرها می‌باشد (مک‌کرمیک[3] و همکاران،۲۰۰۶).

در واقع تولید سوخت پاک (سوخت حاصل از روغن‌های گیاهی) یا به عبارتی بیودیزل به سال‌ها قبل از اختراع موتور دیزل، یعنی به سال ۱۸۵۳ میلادی بر می‌گردد که توسط دو دانشمند آلمانی به نام‌های دافی و پاتریک به روش ترانس‌استریفیکاسیون تولید گردید. در واقع همین موضوع استفاده از سوخت‌های جایگزین در موتورهای درونسوز بود که منجر به اختراع موتور اشتعال تراکمی توسط رادولف دیزل گردید؛ ولی نام بیودیزل اولین بار در آمریکا و در سال ۱۹۹۲ میلادی توسط «موسسه تحقیقات ملی بیودیزل آمریکا[4]» روی این محصول نهاده شد (نجفی،۱۳۸۵؛ نجفی و همکاران،۱۳۸۶).

از مهم‌ترین مزایای بیودیزل به عنوان جانشینی برای سوخت دیزل می‌توان به آلایندگی کمتر نسبت

[1] Vicente
[2] American Society for Testing and Materials(ASTM)
[3] McCormick
[4] American National Biodiesel Board

به سوخت دیزل به دلیل دارا بودن اکسیژن و انجام احتراق کامل، کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای در جو نسبت به سوخت دیزل، تجدیدپذیر بودن، روانکاری و عملکرد بهتر موتور، ذخیره و نگهداری ایمن‌تر به دلیل بالا بودن نقطه اشتعال آن نسبت به سوخت‌های فسیلی، عدد ستان بالا، قابلیت تجزیه بیولوژیکی که این ویژگی در هنگام ورود مواد سوختی به طبیعت و در حین عملیات حمل‌ونقل و انبارداری حائز اهمیت است و... اشاره نمود (زنوزی،۱۳۸۶؛ اسپیدال[1]، ۲۰۰۰؛ ژانگ[2]، ۲۰۰۳؛ شی‌هان[3] و همکاران،۱۹۹۸).

با توجه به مسائل فوق، در بین سوخت‌های زیستی، سوخت بیودیزل به دلیل ساختار و رفتار شبیه به سوخت دیزل برای استفاده در موتورهای اشتعال تراکمی مناسب است. انواع دیگر سوخت‌های زیستی مثل بیوگاز با مشکل محتوای پایین انرژی و مشکلات ذخیره‌سازی و بیواتانول با مشکل محتوای پایین انرژی و عدد ستان پایین مواجه‌اند و علاوه بر این نمی‌توان آن‌ها را به طور مستقیم در موتورهای موجود بکار برد و می‌بایست اصلاحات ساختاری روی موتور صورت گیرد (قانعی و همکاران،۱۳۸۹).

از طرفی از جمله مهم‌ترین معایب بیودیزل قیمت بالای آن نسبت به دیزل فسیلی می‌باشد. امروزه هزینه‌ی تولید بیودیزل ۱/۵ تا ۳ برابر هزینه تولید سوخت‌های فسیلی می‌باشد؛ ولی با توجه به نگرانی‌هایی که در مورد کاهش منابع و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی وجود دارد، در آینده‌ای نزدیک هزینه‌ی تولید بیودیزل با سوخت‌های فسیلی قابل رقابت بوده و به عنوان یک سوخت در دسترس و معقول برای موتورها خواهد بود.

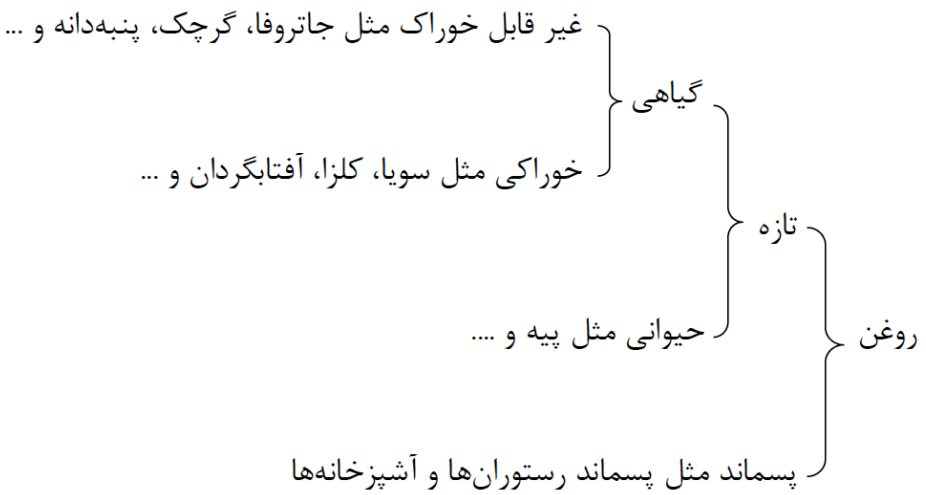
بخش عمده هزینه تولید بیودیزل (حدود ۸۰٪) ناشی از هزینه بالای تهیه مواد اولیه می‌باشد. مواد اولیه تولید بیودیزل در کشورهای مختلف - با توجه به فراوانی محصول گیاهی در آن کشور- متفاوت می‌باشد ولی تقریباً می‌توان آن را از هر نوع روغن گیاهی تولید کرد (قانعی و همکاران،۱۳۸۹؛ آجاو[4]، ۲۰۰۰). از جمله منابع عمده تولید بیودیزل در کشورهای مختلف می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (اتحادیه نفت هند[5]، ۲۰۱۱):

- روغن کلزا: بزرگ‌ترین منبع تأمین روغن (در حدود ۸۰ درصد) در جهان می‌باشد که می‌تواند تأثیر بسزایی در تعیین ماده اولیه فرآیند در بسیاری از کشورها داشته باشد.
- روغن آفتابگردان: بیشتر در ایتالیا و جنوب فرانسه کاربرد دارد.
- روغن سویا: در ایالات متحده و اروپا مهم‌ترین منبع تولید بیودیزل است (گای[6] و همکاران، ۲۰۰۸).

[1] Speidel
[2] Zhang
[3] Sheehan
[4] Ajav
[5] Petroleum Federation of India
[6] Gui

- روغن نخل: از میوه‌ی خاصی به دست می‌آید و در مالزی کاربرد وسیعی برای تولید بیودیزل دارد.
- بذر کتان و روغن زیتون: در اسپانیا کاربرد دارد.
- روغن پیه گاو: در ایرلند کاربرد دارد.
- جاتروفا: در کشورهای آفریقایی، هندوستان و نیکاراگوئه کاربرد دارد.
- روغن پسماند: در فرانسه کاربرد دارد.

همان طور که در شکل (۱-۲) مشاهده می‌شود می‌توان منابع تولید بیودیزل را به صورت کلی زیر دسته‌بندی نمود (دنیس[1] و همکاران،۲۰۱۰):



شکل ۱-۲: دسته‌بندی کلی روغن‌های مورد استفاده در ترانس‌استریفیکاسیون (دنیس و همکاران،۲۰۱۰)

استفاده از روغن‌های گیاهی و حیوانی تصفیه‌شده و خوراکی به عنوان منبع تولید سوخت معقول به نظر نمی‌رسد؛ چرا که تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی خوراکی علاوه بر از بین بردن مواد غذایی باعث به وجود آمدن رقابت شدید در بازار شده و قیمت‌ها را به سرعت افزایش می‌دهد. از جمله راهکارهای مناسب برای یافتن منابع ارزان‌تر برای تهیه بیودیزل می‌توان به استفاده از روغن‌های غیرخوراکی، روغن‌های خوراکی ارزان‌قیمت و از همه مهم‌تر روغن پسماند خوراکی اشاره کرد (قانعی و همکاران،۱۳۸۹).

بر اساس آمار، سالانه ۲۰ میلیون تن روغن و چربی در سراسر دنیا استفاده می‌شود. روغن پسماند جمع‌آوری شده در شهر گوانگجو- سومین شهر پرجمعیت چین- سالانه ۲۰،۰۰۰ تن بوده و این رقم در اتحادیه اروپا به ۰/۷ تا ۱ میلیون تن می‌رسد. بر اساس تخمینی، روغن پسماند جمع‌آوری شده از

[1] Dennis