



فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineersearch.ir



بهینه‌سازی عملکرد موتور تراکتور با مخلوط سوخت زیستی، دیزل و اتانول به روش سطح پاسخ

زینب شعبانی^۱، شاهین رفیعی^{۲*}، برات قبادیان^۳، حجت احمدی^۴

^۱دانشگاه تهران، تهران، ایران، shabanizein@ut.ac.ir

^۲دانشگاه تهران، تهران، ایران، shahinrafiee@ut.ac.ir

^۳دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ghobadib@modares.ac.ir

^۴دانشگاه تهران، تهران، ایران، hjahmadi@ut.ac.ir

*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۹۱۲۳۶۶۲۶۳۱

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۳ مرداد ۱۳۹۲

پذیرش: ۲۹ آبان ۱۳۹۲

کلیدواژه‌ها:

سوخت زیستی

توان

مصرف سوخت ویژه

بهینه‌سازی چندهدفه

روش سطح پاسخ

چکیده

سوخت‌های گیاهی تجدیدپذیر و پاک به عنوان مناسب‌ترین جایگزین سوخت‌های سنگواره ای شناخته شده‌اند. سوخت‌های گیاهی، پایه گیاهی یا حیوانی دارند و در حین سوختن آلودگی بسیار کمتری را نسبت به سوخت‌های سنگواره‌ای تولید می‌کنند. تحقیقات بسیاری بر روی استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت زیستی و دیزل در موتور دیزل انجام شده است. در این تحقیق از مخلوط سوخت زیستی، دیزل و اتانول در موتور تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ استفاده شد و توان و مصرف سوخت ویژه موتور بررسی شد. از روش رویه پاسخ به منظور بررسی تأثیر سوخت زیستی (۵-۱۵٪)، اتانول (۲-۶٪) و سرعت موتور (۱۵۲۰-۱۹۰۰ دور در دقیقه) بر توان تولیدی موتور و مصرف سوخت ویژه و بهینه‌سازی فرآیند استفاده شد. بر اساس نتایج، سرعت موتور مؤثرترین عامل بر توان موتور بود. همچنین مقدار سوخت زیستی و سرعت موتور مهم‌ترین شاخص‌ها بر مقدار مصرف سوخت ویژه بودند. بر اساس آزمایش‌ها، شرایط بهینه برای بیشینه توان (۵۱،۴۸ کیلووات) و کمینه مصرف سوخت ویژه (۲۰۹،۴۵ میلی لیتر بر دقیقه)؛ مقدار سوخت زیستی ۱۵٪، اتانول ۳،۵۳٪ و دور ۱۷۸۷،۴ دور در دقیقه تعیین گردید.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱) مقدمه

با کاهش منابع سوخت‌های سنگواره ای و مسایل زیست محیطی ناشی از احتراق این نوع سوخت‌ها، پژوهشگران و دولت‌ها توجه ویژه‌ای به سوخت‌های زیستی به جای دیزل تولیدی از منابع نفتی دارند. تحقیقات بسیاری بر روی استفاده از مخلوط سوخت زیستی، اتانول و دیزل در موتور انجام شده است.

رحیمی و همکاران از سوخت دیسترو (مخلوطی از دیزل، سوخت زیستی از روغن آفتابگردان و اتانول زیستی از ضایعات سیب زمینی) در موتور دیزل استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشینه توان و گشتاور موتور با سوخت دیسترو به مقدار جزئی کاهش و متوسط مصرف سوخت ویژه افزایش می‌یابد [۱].

راسلاویچس و بازاراس سوخت D-RME-E^۱ (شامل ۳۰٪ سوخت زیستی، ۷۰٪ دیزل و به مقدار ۵٪ از کل حجم مخلوط، اتانول) را روی موتور تراکتور در مزرعه بررسی کردند. نتایج نشان داد که این ترکیب سوختی باعث کاهش در توان موتور نمی‌شود و در دامنه خطای آزمایش حدود ۲٪ با صرفه تر از B30 خالص (بدون اتانول) است [۲].

سویابه و همکاران از روغن سبوس برنج به عنوان ماده‌ای افزودنی به ترکیب سوخت دیزل-اتانول برای موتور دیزل استفاده کردند. آنها عملکرد و دود خروجی را در موتور دیزل پاشش مستقیم زمانی، با سوخت دیزل معمولی، سوخت زیستی روغن سبوس برنج، ترکیبی از دیزل و سوخت زیستی روغن سبوس برنج و سه ترکیب دیزل-سوخت زیستی-اتانول، روی کل دامنه بار موتور بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین بازده حرارتی در ۱۵٪ اتانول در ترکیب دیزل-سوخت زیستی-اتانول مشاهده شد. مونوکسیدکربن و دود به طور چشمگیری با مقدار بیشتر اتانول در ترکیب کاهش یافت. هیدروکربن‌ها، اکسید نیتروژن و دی اکسید کربن با افزایش مقدار اتانول در ترکیب افزایش یافت اما مقدار هیدروکربن‌ها هنوز کمتر از دیزل بود [۳].

آیدین و ایلکک از سوخت زیستی در موتورهای دیزل و از اتانول به عنوان افزودنی به آن استفاده کردند. در این تحقیق، امکان استفاده از مقدارهای بیشتر سوخت زیستی در موتور دیزل اصلاح نشده بررسی شد. نتایج نشان داد که عملکرد موتور با استفاده از BE20 بخصوص در مقایسه با B20 بهبود یافت و آلایندگی‌های خروجی بوضوح کاهش یافتند [۴].

زنوزی و همکاران تأثیر سوخت زیستی حاصل از روغن پسماند آشپزی را روی عملکرد موتور تراکتور MF 399 با استفاده از ترکیبات ۵ تا ۲۵٪ از سوخت زیستی و دیزل بررسی کردند. آزمایش‌ها نشان داد که با استفاده از ترکیبات سوخت زیستی و دیزل، توان و گشتاور موتور تراکتور افزایش می‌یابد و مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه

تراکتور به دلیل ارزش حرارتی کمتر سوخت زیستی اندکی افزایش یافت [۵].

نجفی در تحقیقی تأثیر سوخت زیستی روغن پسماند را بر متغیرهای عملکرد و آلایندگی موتور دیزل تک استوانه لیستر بررسی کرد. سپس الگوی شبکه عصبی مصنوعی بر اساس داده‌های تجربی توسعه داده شد. نتایج الگو نشان داد که الگوی شبکه عصبی ارائه شده توانایی بسیار بیشتری در پیش‌بینی متغیرهای عملکرد و آلایندگی موتور دارد بدون آنکه به آزمون‌های پرهزینه و وقت‌گیر موتور نیاز باشد [۶].

در کلیه منابع، متغیرهایی مانند توان، مصرف سوخت و آلایندگی‌ها اندازه‌گیری شده‌اند ولی تحقیقی با در نظر گرفتن تمامی اهداف برای تعیین بهترین مخلوط انجام نشده است. هدف از این تحقیق، دستیابی به شرایط بهینه ترکیب سوخت زیستی، اتانول و دیزل در موتور دیزل با استفاده از روش سطح پاسخ برای تعیین مقادیر بهینه شاخص‌ها است. در این تحقیق از روش سطح پاسخ برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ترکیب سوخت زیستی، اتانول و سرعت موتور با هدف توان بیشتر و مصرف سوخت ویژه کمتر استفاده شد. در ابتدا توان و مصرف سوخت ویژه موتور با استفاده از مخلوط‌های مختلف سوخت زیستی، اتانول و دیزل اندازه‌گیری شد. سپس این متغیرهای اندازه‌گیری شده با استفاده از روش سطح پاسخ بهینه‌سازی شدند.

۲) مواد و روش‌ها

روغن‌های گیاهی یا چربی حیوانات استرهای اسیدهای مونوکربوکسیلیک اشباع و غیراشباع با تری هیدرید الکل گلیسیریداند. این استرها تری گلیسیرید نام دارند که می‌تواند با الکل در حضور واکنشگر واکنش دهند. این واکنش ترانس استریفیکاسیون نام دارد [۷]. از این رو از سال ۱۹۹۱ میلادی تولید سوخت زیستی در برخی از کشورهای جهان به صورت جدی شروع شده است. در ابتدا روغن‌های گیاهی خوراکی مانند سویا، خردل و آفتابگردان مواد اولیه عمده سوخت زیستی بودند [۸]. تولید بیشتر توانست منجر به ناهماهنگی در بازار غذای جهانی به علت افزایش جدی قیمت‌های روغن، که به صورت عمده در کشورهای در حال توسعه اثر می‌گذارد، شود. از این رو به منظور عدم استفاده از محصولات غذایی و به خاطر محدودیت منابع در دسترس برای کشاورزی و نیز به منظور بهبود مسائل زیست محیطی، دانه‌های روغنی غیر خوراکی به عنوان مواد اولیه جایگزین بررسی شدند [۹]. دانه‌های گیاهان روغنی غیرخوراکی می‌توانند در حاشیه زمین‌ها که مناسب برای محصولات خوراکی نیستند، کشت شوند و هزینه کشت به علت اینکه این گیاهان می‌توانند عملکرد بهتر بدون مراقبت شدید را داشته باشند، کمتر است. چون هزینه مواد اولیه در حدود ۶۰-۸۰٪ هزینه کل تولید سوخت زیستی را دارند، انتخاب ماده اولیه درست خیلی مهم است [۱۰].

¹ Diesel-rape methyl ester-ethanol

بررسی همزمان چندین پاسخ ابتدا شامل ایجاد الگوی سطح پاسخ مناسب برای هر متغیر پاسخ و سپس تلاش برای یافتن مجموعه‌ای از شرایط عملیاتی است که همه متغیرهای پاسخ را بهینه کند یا حداقل آن‌ها را در محدوده‌ای مطلوب نگه دارد [۱۱].

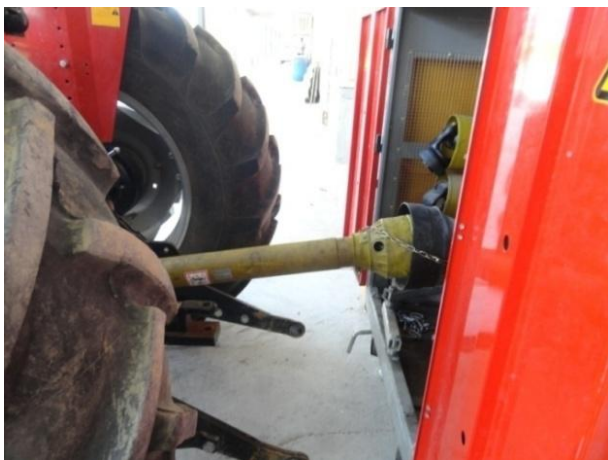
با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافت و کلیه ضرایب الگوی رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل شاخص‌ها، قابل برآوردند. مهمترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل شاخص‌ها است. از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد [۱۲].

جدول ۱: مشخصات موتور تراکتور MF-399

نوع موتور	A63544 پرکینز
کارخانه سازنده	شرکت موتورسازان تراکتورسازی ایران
تعداد استوانه	۶
نسبت تراکم	۱۶:۱
پیمایش دسته سمبه	۱۲۷ میلی لیتر
قطر استوانه	۹۸٫۶ میلی لیتر
حجم استوانه	۵٫۸ لیتر
ترتیب احتراق	۱-۳-۵-۲-۴
توان بیشینه در ۲۲۰۰ د.د.د.	۸۲ کیلووات
گشتاور بیشینه در ۱۳۰۰ د.د.د.	۳۷۶ نیوتن متر

جدول ۲: مخلوط‌های سوخت زیستی- اتانول- دیزل

مقدار سوخت زیستی	مقدار اتانول			مقدار سوخت زیستی
	صفر	۲٪	۴٪	
صفر	D100	-	-	-
۵٪	-	B5E2	B5E4	B5E6
۱۰٪	-	B10E2	B10E4	B10E6
۱۵٪	-	B15E2	B15E4	B15E6



شکل ۱: تراکتور متصل به لگام ترمز

در این تحقیق از تراکتور MF-399 در دانشگاه تربیت مدرس تهران برای آزمایش‌ها استفاده شد. جدول ۱ مشخصات موتور این تراکتور نشان می‌دهد. سرعت استاندارد تواندهی PTO (Power Take Off) با محور ۲۱ دنده، در ۱۰۰۰ د.د.د. (دور بر دقیقه)، ۱۹۰۰ د.د.د. موتور است و با محور ۶ دنده، در ۵۴۰ د.د.د.، ۱۸۹۳ د.د.د. موتور است. به عبارت دیگر، نسبت دور PTO به سرعت موتور در محور ۲۱ دنده، ۱٫۹ به ۱ و در محور ۶ دنده، ۳٫۵۱ به ۱ است. توان بیشینه این موتور ۸۲ کیلووات و توان بیشینه PTO نیز ۶۹٫۹ کیلووات است که به مقدار ۱۴٫۷۵٪ افت توان را در سامانه انتقال توان نشان می‌دهد. بخشی از افت توان به دلیل انحراف محل آزمون از شرایط دما و فشار استاندارد (به دلیل ارتفاع از سطح دریا) می‌باشد. سوخت زیستی در مرکز تحقیقات سوخت زیستی ایران واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تولید شد. سوخت‌های مصرفی در این تحقیق در جدول ۲ نشان داده شده است. انتخاب مقادیر مختلف سوخت زیستی و اتانول بر اساس خواص سوخت ترکیبی (دمای اشتعال و گرانی) که باید نزدیک به سوخت دیزل باشند، انتخاب شد.

سوخت‌های آماده شده پس از اندازه‌گیری خواصی از قبیل دمای اشتعال و گرانی، در تراکتور استفاده شد. توان، گشتاور و مصرف سوخت در سرعت‌های ۸۰۰، ۸۵۰، ۹۰۰، ۹۵۰ و ۱۰۰۰ د.د.د. محور تواندهی (PTO) و ۱۵۲۰، ۱۶۱۵، ۱۷۱۰، ۱۸۰۵ و ۱۹۰۰ د.د.د. موتور، اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری توان و گشتاور در موتور تراکتور MF-399، با استفاده از سوخت دیزل و دیسترویل از لگام ترمز نوع Σ5 ساخت شرکت NJ-FROMENT انگلستان استفاده شد (شکل ۱).

لگام ترمز به وسیله محور PTO به تراکتور متصل می‌شود و با اعمال بار به تراکتور، مقدار توان و گشتاور موتور را در هر دور محاسبه می‌کند. اعمال بار به موتور به صورت خودکار یا دستی و به کمک پایش از دور لگام ترمز انجام شد. برای اندازه‌گیری مصرف سوخت از مخزنی فرعی به جای مخزن سوخت برای نگهداری مخلوط‌های سوخت استفاده شد. مخلوط‌های سوخت از داخل این مخزن فرعی به سمت سامانه سوخت رسانی هدایت شدند و همچنین مسیر برگشتی به جای مخزن سوخت به داخل همان مخزن بازمی‌گشت تا در محاسبات خطا ایجاد نشود.

روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی و آماری برای شبیه‌سازی و تحلیل مسائلی است که متغیر پاسخ از چندین متغیر تأثیر می‌پذیرد و هدف بهینه کردن متغیر پاسخ است. در برخی موارد برای ارزیابی نهایی فرآیند باید چندین مشخصه خروجی را همزمان در نظر گرفت. بدین ترتیب هر فرآیند با چند سطح پاسخ مطرح می‌شود.

مجموع مربعات خطای خالص، مجموع مربعات تفاوت‌های بین هر Y مشاهده شده و میانگین همه Y ها مطابق با X مشابه است. مجموع مربعات عدم برازش، مجموع مربعات وزنی تفاوت‌های بین هر میانگین Y مشاهده شده مطابق با X مشابه و Y برازش شده متناظر است، وزن در هر تعداد مقادیر Y مشاهده شده برای آن X بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} & \sum (\text{مقدار برازش شده} - \text{مقدار مشاهده شده})^2 \\ & + \sum (\text{میانگین محلی} - \text{مقدار مشاهده شده})^2 \\ & + \sum (\text{مقدار برازش شده} - \text{میانگین محلی})^2 \times \text{وزن} \\ & F = \frac{\text{درجه آزادی} / \text{مجموع مربعات عدم برازش}}{\text{درجه آزادی} / \text{مجموع مربعات خطا خالص}} \quad (5) \end{aligned}$$

در آمار P-Value عبارتست از مقدار احتمال این که آزمون منتهی به رد فرض صفر گردد، در حالی که فرض صفر درست است. آن آزمونی آماری احتمالی است که مقدار سازگاری داده های نمونه را با فرض صفر اندازه می گیرد. این مقدار خلاصه ای فشرده از یافته‌های نمونه‌ای در آزمونی آماری معرفی می‌کند و غالباً در گزارش‌های منتشر شده آزمون آماری و در خروجی برنامه‌های رایانه‌ای قاعده تصمیم مبتنی بر p-value عبارتست از:

- اگر $p\text{-value} \leq \alpha$ فرض صفر را نتیجه بگیرد.

- اگر $p\text{-value} > \alpha$ فرض مقابل را نتیجه بگیرد [۱۳].

شایستگی الگو با استفاده از R^2 ، R^2 تنظیم شده^۱ و R^2 پیش‌بینی شده^۲ ارزیابی شد. ضریب تعیین (R^2) به عنوان نسبت تغییرات وصف شده با الگو به تغییرات کل بیان می‌شود که معیاری از درجه تناسب برازش است. بنابراین هرچه مقدار R^2 به یک نزدیک تر شود، قدرت الگو برازش یافته در وصف تغییرات پاسخ به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل بیشتر است. چنین عنوان می‌شود که برای شبیه‌سازی با برازش خوب، مقدار R^2 باید حداقل ۰.۸ باشد [۱۴]. بزرگ بودن R^2 همیشه دلالت بر مناسب بودن الگو نمی‌کند. افزودن متغیری اضافی به الگو قطع نظر از این که متغیر تصادفی به طور آماری معنی‌دار است یا نه، همواره R^2 را افزایش می‌دهد. بنابراین ترجیحاً از R^2 تنظیم‌شده برای ارزیابی شایستگی الگو استفاده می‌شود که باید بیشتر از ۰.۸۵ باشد [۱۵]. از نرم افزار Design Expert 8.0.7.1 برای تحلیل اطلاعات و رسم نمودارها از روش سطح پاسخ استفاده گردید. پس از بدست آوردن الگوی مذکور، تحلیل سطح پاسخ بر روی الگو انجام می‌گیرد. بدین صورت که شاخصهای مؤثر بر پاسخ و مقدار اثر هر کدام شناسایی می‌گردند، اثر متقابل شاخصها بر روی هم تعیین و آنگاه نقاط بهینه که شرایط شدنی مسأله را رعایت کنند، تعیین می‌گردند.

در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی با سه متغیر مستقل، شامل مقدار سوخت زیستی، مقدار اتانول و سرعت موتور در سه سطح، به

در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل مقدار سوخت زیستی، مقدار اتانول و سرعت موتور در سه سطح ارزیابی شد. برای یکسان کردن متغیرها با واحدهای مختلف و قرار دادن در معادله الگو، متغیرها مطابق معادله آتی شماره‌گذاری شدند:

$$x_i = (x_i - \bar{x}_i) / \Delta x_i \quad (1)$$

در این جا، x_i مقدار واقعی متغیر مستقل فرآیند، \bar{x}_i مقدار واقعی متغیر مستقل در نقطه مرکزی و Δx_i تغییر پله‌ای است.

در مرحله دوم طرح آماری گزینش شده و معادله شبیه سازی، برازش و ارزیابی شد. شبیه‌سازی در RSM عموماً معادله درجه دوم است. در روش RSM برای هر متغیر وابسته الگویی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل شاخص‌های متغیرها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می‌نماید، شبیه‌سازی چند متغیره بدین صورت بیان می‌شود:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_j^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

که x_j سطح شاخص Z ام و Y سطح پاسخ است.

شبیه‌سازی‌های ریاضی برای هر پاسخ به وسیله تجزیه رگرسیون خطی چندگانه، ارزیابی شدند. شبیه‌سازی با الگوی درجه دوم دربرگیرنده جملات اثر متقابل آغاز شد. جملات معنی‌دار در الگو با استفاده از تجزیه واریانس (ANOVA) برای هر پاسخ یافت شد. معنی‌دار بودن با تعیین سطح احتمال اینکه عدد F محاسبه شده از داده‌ها کمتر از ۵٪ باشد، داوری شد. مقدار F محاسبه شده از معادله آتی محاسبه و سپس با F جدول مقایسه می‌شود.

$$F = \frac{\text{مجموع مربعات تیمار}}{\text{میانگین مربعات خطا}} \quad (3)$$

در آمار، مجموع مربعات عدم برازش یکی از اجزا مجموع مربعات تجزیه واریانس است که در صورت کسر آزمون F فرض صفر استفاده می‌شود که نشان می‌دهد الگوی ارائه شده بخوبی برازش می‌کند. برای این که مجموع مربعات عدم برازش از مجموع مربعات باقیمانده متفاوت باشد، باید بیشتر از مقدار متغیر پاسخ برای حداقل یکی از مقادیر مجموعه متغیرهای پیشگویی کننده باشد. برای مثال، برازش خطی را در نظر گرفته:

$$Y = \alpha x + \beta \quad (4)$$

به وسیله روش حداقل مربعات، مقادیر α و β طوری تخمین زده می‌شود که مجموع مربعات باقیمانده را حداقل کند یعنی، مجموع مربعات تفاوت بین مقدار Y مشاهده شده و Y برازش شده. برای محاسبه مجموع مربعات عدم برازش که متفاوت از مجموع مربعات باقیمانده است، باید بیش از یک مقدار Y برای هر یک یا بیشتر از مقدار X مشاهده شود. بنابراین اجزای مجموع مربعات خطا یعنی مجموع مربعات باقیمانده (خطا) دو بخش دارد: مجموع مربعات خطای خالص و مجموع مربعات عدم برازش.

1 Adjusted-R²

2 Predicted-R²

هر متغیر پاسخ، داده شود. شاخص مطلوبیت نهایی بدین شرح محاسبه می‌گردد:

$$D = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{v_i} \right)^{\frac{1}{\sum v_i}} \quad (۸)$$

که در آن، v_i عددی است که تعیین کننده اهمیت پاسخ i ام است که ممکن است نوعاً عددی صحیح بین ۱ تا ۵ باشد؛ ۵ تعیین کننده بیشترین مقدار اهمیت و ۱ نشان دهنده کمترین مقدار اهمیت خواهد بود. در این مطالعه توابع مطلوبیت با معیار توان بیشینه و مصرف سوخت کمینه، محاسبه شدند.

۳) نتایج و بحث

۳-۱) آزمون سوخت

ویژگی‌های سوخت‌ها به منظور استفاده در موتورها باید مطابق با استانداردهای جهانی باشد. با توجه به این استانداردها مقدار مناسب بودن سوخت‌ها برای استفاده در موتورهای درون‌سوز تعیین می‌گردد. سوخت‌های گیاهی موتورهای اشتعال تراکمی باید دارای ویژگی‌هایی مشابه با دیزل باشند. استاندارد ASTM D7467 برای ترکیب سوخت زیستی از ۶ تا ۲۰٪ و استاندارد ASTM D6751-09 برای سوخت زیستی خالص استفاده می‌شود. جدول‌های ۱ و ۲ ویژگی‌های مهم سوخت، روش آزمون و محدوده پذیرش هر متغیر را بترتیب برای استاندارد ASTM D7467 و ASTM D6751-09 نشان می‌دهد.

پس از آماده‌سازی مخلوط‌های سوخت، برخی از ویژگی‌های آن‌ها در آزمایشگاه‌های سوخت زیستی دانشگاه تربیت مدرس، اندازه‌گیری شد. جدول ۳ اعداد بدست آمده برای ویژگی‌های مهم مخلوط سوخت‌ها و سوخت زیستی خالص را نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که با توجه به استاندارد ASTM D6751-09 سوخت زیستی روغن کرچک گرانروی قویتر و دمای اشتعال بسیار گرمتری نسبت به محدوده‌های استاندارد دارد و بنابراین نمی‌توان این سوخت را به صورت خالص در موتور دیزل استفاده کرد. این نتایج مطابق با نتایجی است که سایر محققان گزارش کردند [۱۸]. با این وجود، کلیه مخلوط‌های سوخت دیسترویل در محدوده مجاز استاندارد ASTM D7467 قرار دارند و می‌توان کلیه این مخلوط‌ها را در موتور دیزل استفاده کرد. سوخت زیستی باعث افزایش گرانروی و اتانول باعث کاهش گرانروی دیزل می‌شود به طوری که مخلوط B5E2 دارای گرانروی شبیه به دیزل است ولی مخلوط B15E2 باعث افزایش حدود ۵۰٪ گرانروی سوخت شده است. سهم اتانول در کاهش گرانروی سوخت زیستی زیاد است چون با اضافه کردن حتی ۲٪ اتانول به مخلوط سوخت زیستی کاهش شدیدی در گرانروی مخلوط اتفاق می‌افتد. دمای اشتعال کلیه مخلوط‌های سوختی به دلیل خنک بودن دمای اشتعال اتانول، خنکتر از استاندارد است و این باعث اشتعال زودتر مخلوط‌ها نسبت به سوخت زیستی می‌شود. بنابراین

منظور بررسی تأثیر نوع سوخت و سرعت موتور بر عملکرد موتور و بهینه‌سازی فرآیند مذکور استفاده شد. مرحله سوم شامل ارائه تصویری معادله الگو و تعیین شرایط عملیاتی بهینه است که به وسیله نمودار رویه پاسخ انجام می‌گیرد. برای تعیین سطوح بهینه شاخصها، مقدار مطلوبیت کل آزمایش‌های پیش‌بینی شده را در نظر می‌گیریم.

در هنگام بهینه کردن معمولاً چندین متغیر پاسخ باید بهینه شوند. تعدادی از این متغیرها باید بیشینه شوند و تعدادی باید کمینه شوند. در بسیاری از موارد این پاسخ‌ها به هم وابستگی دارند؛ برای مثال افزایش پاسخ ممکن است تأثیر معکوس بر دیگری داشته باشد که بدین ترتیب وضعیت را پیچیده تر می‌سازد. رویکردهای متعددی برای غلبه بر این مسئله استفاده شدند. یکی از آنها دستورعمل بهینه‌سازی اجباری را به کار می‌برد؛ دومی نمودارهای کرانه‌ای^۱ متغیرهای پاسخ متفاوت را اضافه می‌کند و رویکرد سوم شامل حل کردن مسئله پاسخ‌های چندگانه از طریق استفاده از تابع مطلوبیت است که تمامی پاسخها را با معیاری ترکیب می‌کند [۱۶]. آزمایش‌هایی که دارای مقادیر مطلوبیت کل بیشتری نسبت به بقیه می‌باشند به عنوان حل بهینه انتخاب می‌شوند. بسته به اینکه پاسخ ویژه Y_i باید بیشینه یا کمینه گردد، توابع هدف متفاوتی $d_i(Y_i)$ می‌تواند استفاده شود [۱۷].

متغیرهای L_i ، U_i و T_i را بترتیب به عنوان مقادیر کمتر، بیشتر و هدف که برای پاسخ Y_i مطلوب اند، در نظر بگیرید. در صورتی که پاسخ باید بیشینه شود، در این حالت تابع اختصاصی آن با نمای s که تعیین کننده اهمیت مطلوبیت رسیدن به مقدار هدف است، خواهد بود. برای $s = 1$ تابع مطلوبیت به طور خطی به سمت T_i افزایش می‌یابد که بیانگر مقدار کافی پاسخ است؛ برای $s < 1$ تابع محدب است و برای $s > 1$ تابع مقعر خواهد بود:

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & \hat{Y}_i(x) < L_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i} \right)^s & L_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq T_i \\ 1 & \hat{Y}_i(x) \geq T_i \end{cases} \quad (۶)$$

در صورتی که پاسخ به حداقل کاهش یابد، در این حالت تابع مطلوبیت اختصاصی آن با T_i است. T_i نشان دهنده مقداری کوچک کافی برای پاسخ است:

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 1 & \hat{Y}_i(x) < T_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i} \right)^s & L_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq U_i \\ 0 & \hat{Y}_i(x) \geq U_i \end{cases} \quad (۷)$$

پس از آنکه مقادیر مطلوبیت برای هر متغیر پاسخ محاسبه شد، آنها با محاسبه میانگین هندسی‌شان، به شکل شاخص مطلوبیت واحد D ترکیب می‌شوند. تغییرات بیشتر برای وزن‌دهی می‌تواند با استفاده از تخصیص دامنه‌ای از اعداد (مثلاً ۱ تا ۵) به درجه اهمیت بهینه کردن

¹ Contour

جدول ۴: نتایج تحلیل واریانس شبیه‌سازی برای توان

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-value
الگو	۵۹۰,۰۴	۹	۶۵,۵۶	۲۲۰	۰,۰۰۰۱**
سوخت زیستی (A) (%)	۰,۱	۱	۰,۱	۰,۳۳	۰,۵۷۸۴ ^{NS}
اتانول (B) (%)	۰,۶۸	۱	۰,۶۸	۲,۲۸	۰,۱۶۳۰ ^{NS}
سرعت دورانی (C) (د.د.د.)	۱۴۹,۷۷	۱	۱۴۹,۷۷	۵۰۲,۵۸	۰,۰۰۰۱**
AB	۱,۰۵	۱	۱,۰۵	۳,۵۲	۰,۰۹۰۱ ^{NS}
AC	۰,۰۱۱	۱	۰,۰۱۱	۰,۰۴	۰,۸۴۵۵ ^{NS}
BC	۰,۰۶۱	۱	۰,۰۶۱	۰,۲	۰,۶۶۴۳ ^{NS}
A ²	۰,۰۰۸۲	۱	۰,۰۰۸۲	۰,۰۳	۰,۸۶۵۹ ^{NS}
B ²	۱,۱۵	۱	۱,۱۵	۳,۸۶	۰,۰۷۷۸ ^{NS}
C ²	۲۵۸,۹۹	۱	۲۵۸,۹۹	۸۶۹,۱	۰,۰۰۰۱**
عدم برآزش الگو	۲,۴۷	۵	۰,۴۹	۴,۸	۰,۰۵۵۱ ^{NS}
خطای خالص	۰,۵۱	۵	۰,۱۰۲		
باقیمانده (خطا)	۲,۹۸	۱۰	۰,۲۹۸		

**معناداری در سطح احتمال ۱٪

^{NS} غیرمعنادار بودن در سطح احتمال ۵٪

شایان ذکر است که ضریب تعیین الگوی بدست آمده در این تحقیق ۰,۹۹ است. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، جمله های الگو که بامعنی بوده اند شامل جملات خطی سرعت موتور و جملات درجه دوم سرعت موتور بودند. جملات وابسته به اثرات درجه دوم، به شکل الگو حالت انحنای بخشیده‌اند. همچنین عبارت‌های وابسته به مقدار سوخت زیستی و مقدار اتانول و برهم کنش‌ها بامعنی نبودند و از الگو حذف شدند، به عبارت دیگر هیچ گونه برهم کنشی میان متغیرهای مستقل وجود نداشت. تأثیر سرعت موتور بر توان موتور بدون لحاظ نمودن تغییرات سایر متغیرها، به گونه ای بود که با افزایش سرعت موتور بتدریج توان موتور افزایش یافت و سپس روند کاهش توان موتور دیده شد. در شکل ۱، اثر همزمان سرعت موتور و مقدار سوخت زیستی بر مقدار اتانول ثابت ۴٪ نشان داده شده است. نمودارها با استفاده از نرم افزار Design Expert رسم شده است. بر این اساس افزایش سرعت موتور تا مقداری مشخص (۱۸۰۵ د.د.د.)، توان موتور را افزایش داد و پس از آن، توان موتور کاهش یافت. حداکثر توان تولیدی تراکتور با سوخت دیزل ۵۷,۶ کیلووات در سرعت ۱۸۰۵ د.د.د. موتور است. افزایش اصطکاک و کاهش نرخ سوختن دو عامل اصلی کاهش توان در سرعت‌های تند است. در تراکتور در شرایط عادی با سوخت دیزل، با افزایش سرعت محور تواندهی تا ۱۸۰۵ د.د.د. توان افزایش می‌یابد و بعد از آن رو به کاهش می‌رود. با توجه به اثرات خطی و درجه دوم سرعت محور تواندهی، می‌توان وجود انحنای در شکل رویه و نمودار مرزبندی را انتظار داشت ($P \leq 0.01$). مقدار سوخت زیستی و اتانول تأثیر چندانی بر توان موتور ندارد.

می‌توان با تنظیم زمان پاشش سوخت بهترین عملکرد را از این سوخت‌ها انتظار داشت.

۳-۲) توان

با توجه به شرایط تعیین شده، ۲۰ آزمون انجام گرفت. به کمک ضرایب رگرسیون اثر نوع سوخت و سرعت موتور بر روی متغیرهای وابسته محاسبه شدند. جدول ۴ نتایج حاصل از تجزیه آماری را برای متغیر وابسته توان موتور نشان می‌دهد.

جدول ۱: ویژگی‌های سوخت در استاندارد ASTM D6751-09 برای سوخت زیستی خالص (B100)

ویژگی‌های سوخت	روش آزمون	واحد	حد مجاز
دمای اشتعال (کمینه)	ASTM D92	°C	۱۳۰
گرانروی سینماتیک در ۴۰ درجه سانتیگراد	ASTM D445	mm ² /s	۱/۹-۶
نقطه ابری شدن	ASTM D2500	°C	-
عدد ستان	ASTM D613	°C	۴۰
چگالی	-	gr/cm ³	-

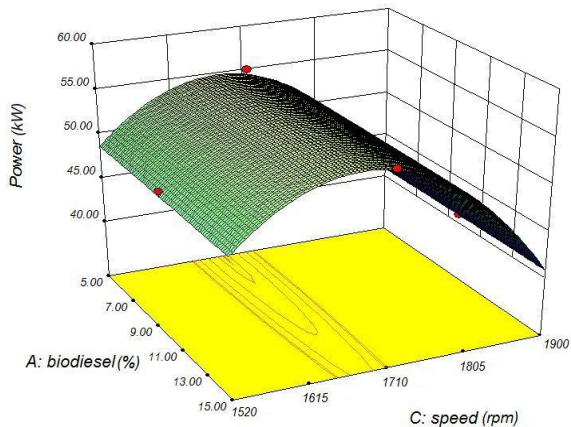
جدول ۲: ویژگی‌های سوخت در استاندارد ASTM D7467 برای مخلوط سوخت زیستی از ۲۰-۶٪

ویژگی‌های سوخت	روش آزمون	واحد	حد مجاز
دمای اشتعال (کمینه)	ASTM D93	°C	۵۲
گرانروی سینماتیک در ۴۰ درجه سانتیگراد	ASTM D445	mm ² /s	۱/۹-۶
نقطه ابری شدن	ASTM D2500	°C	-
عدد ستان	ASTM D613	-	۴۰
چگالی	-	gr/cm ³	-

جدول ۳: ویژگی‌های مهم مخلوط سوخت‌های آزمون

نوع سوخت	دمای اشتعال (°C)	گرانروی سینماتیکی (mm ² /s)	گرانروی دینامیکی (MPa.s)	چگالی (gr/cm ³)
B100	۱۹۳	۱۶,۷۱۲۴	۱۴,۷۰۶۹	۰,۸۸۰
B5E2	۳۴	۲,۹۶۲۳	۲,۴۳۶۹	۰,۸۲۲۶
B5E4	۲۲	۲,۹۰۲۸	۲,۳۸۶۳	۰,۸۲۲۱
B5E6	۱۸	۲,۷۸۲۸	۲,۲۸۳۵	۰,۸۲۰۶
B10E2	۳۵	۳,۱۹۶۳	۲,۶۴۳۲	۰,۸۲۶۹
B10E4	۲۹	۳,۱۲۱۹	۲,۵۷۹۲	۰,۸۲۶۲
B10E6	۲۱	۳,۰۰۳۹	۲,۴۷۸۳	۰,۸۲۵۰
B15E2	۳۶	۳,۴۳۷۱	۲,۸۵۶۶	۰,۸۳۱۱
B15E4	۳۰	۳,۴۰۵۰	۲,۸۲۹۱	۰,۸۳۰۹
B15E6	۲۵	۳,۲۶۵۵	۲,۷۰۸۴	۰,۸۲۹۴
D100	۶۹	۲,۹۴۶۷	۲,۴۱۶۶	۰,۸۲۰۱

ساعت)؛ شامل ۱۵٪ سوخت زیستی، ۵۳٪ اتانول و سرعت موتور ۱۷۸۷،۴ د.د.د. تعیین گردید. زنوزی و همکاران در مطالعه‌ای که بر روی موتور تراکتور MF 399 با استفاده از سوخت زیستی و دیزل انجام دادند، یافتند که بیشینه توان موتور تراکتور MF 399 در ۱۷۱۰ د.د.د. است و بعد از آن کاهش می‌یابد [۵]. نقاط قرمز و صورتی رنگ در شکل ۳ بترتیب نشان دهنده نقاط طراحی بزرگتر و کوچکتر از مقدار پیش‌بینی شده‌اند.



شکل ۲: نمایش سه بعدی اثر سوخت زیستی و سرعت موتور بر توان تولیدی با مقدار ثابت ۴٪ اتانول

جدول ۵: نتایج تحلیل واریانس الگو برای مصرف سوخت

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P-value
الگو سوخت	۷۱۴۴۵،۲۲	۹	۷۹۳۸،۳۶	۱۸،۲۹	۰،۰۰۰۱**
زیستی (A) (%)	۸۸۴۸،۶۲	۱	۸۸۴۸،۶۲	۲۰،۳۹	۰،۰۰۱۱**
اتانول (B) (%)	۱۹۵۲،۱۶	۱	۱۹۵۲،۱۶	۴،۴۹	ns
سرعت دورانی (C) (د.د.د.)	۲۰۶۵۷،۹۲	۱	۲۰۶۵۷،۹۲	۴۷،۶	۰،۰۰۰۱**
AB	۲۱۰۱،۴۱	۱	۲۱۰۱،۴۱	۴،۸۴	۰،۰۵۲۴ ^{ns}
AC	۵۰۴،۴۷	۱	۵۰۴،۴۷	۱،۱۶	۰،۳۰۶۸ ^{ns}
BC	۵۲۷،۲۴	۱	۵۲۷،۲۴	۱،۲۳	۰،۲۹۳۴ ^{ns}
A ²	۱۸۳۳،۷۲	۱	۱۸۳۳،۷۲	۴،۲۲	۰،۰۶۷۰ ^{ns}
B ²	۱۰۶۹،۱	۱	۱۰۶۹،۱	۲،۴۶	۰،۱۴۷۹ ^{ns}
C ²	۲۰۷۹۳،۲۱	۱	۲۰۷۹۳،۲۱	۴۷،۹۲	۰،۰۰۰۱**
عدم برازش الگو	۴۲۹۶،۴۳	۵	۸۵۹،۲۹	۹۹،۷	۰،۳۲ ^{ns}
خطای خالص	۴۳،۱	۵	۸،۶۲		
باقیمانده (خطا)	۴۳۳۹،۵۳	۱۰	۴۳۳،۹۵		

** معناداری در سطح احتمال ۱٪

^{ns} غیرمعنادار بودن در سطح احتمال ۵٪

بنابراین می‌توان از این سوخت‌ها در موتور دیزل بدون تغییرات موتور و افت عملکرد استفاده کرد. راسلاویچ و بازاراس نیز در تحقیق خود دریافتند که مخلوط سوخت زیستی، اتانول و دیزل باعث کاهش توان موتور نمی‌شود [۲]. نقاط قرمز رنگ در شکل نشان دهنده نقاط طراحی بالای مقدار پیش‌بینی شده است. با روش آماری سطح پاسخ، معادله ۹ که نشان دهنده وابستگی تجربی میان توان تولیدی موتور (کیلووات) و متغیرهای آزمایش به دست آمد (C سرعت محور تواندهی بر حسب د.د.د.).

$$Power = -0.000935C^2 + 1.6443C - 667.9 \quad (9)$$

۳-۳ مصرف سوخت ویژه

شبیه‌سازی مصرف سوخت موتور با سه متغیر مستقل شامل مقدار سوخت زیستی، مقدار اتانول و سرعت موتور، با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۵ آمده است. عدم معناداری آزمون عدم برازش نشان می‌دهد که این الگو می‌تواند بخوبی بر داده‌های آزمایش برازش شود و در نتیجه الگوی بدست آمده می‌تواند نتایج آزمایش را بخوبی پیش‌بینی کند. با توجه به جدول ۵ برای مصرف سوخت، الگوی درجه دوم از نظر آماری معنا دار بود. سایر عبارت‌های معنادار الگو نیز شامل مقدار سوخت زیستی و سرعت موتور و درجه دوم سرعت موتور بودند. مقدار بزرگ R² (۰،۹۴) و R² تنظیم شده (۰،۸۹)، بیانگر قدرت بسیار الگوی درجه دوم در پیش‌بینی بود. در شکل ۲ اثر همزمان مقدار سوخت زیستی و سرعت موتور بر مصرف سوخت ویژه تراکتور در مقدار ثابت ۴٪ اتانول نشان داده می‌شود.

شبیه‌سازی مصرف سوخت ویژه با روش سطح پاسخ نشان می‌دهد که سرعت موتور و مقدار سوخت زیستی بر روی مصرف سوخت تأثیر دارد. با افزایش مقدار سوخت زیستی تا ۱۲٪ در ترکیب سوخت مقدار مصرف سوخت ویژه کاهش می‌یابد و پس از آن با افزایش بیشتر سوخت زیستی مقدار مصرف سوخت افزایش می‌یابد که این به دلیل کم بودن ارزش حرارتی سوخت زیستی است که برای داشتن توان بیشتر موتور سوخت بیشتری را مصرف می‌کند. همچنین با افزایش سرعت موتور مصرف سوخت برای تولید توان بیشتر افزایش می‌یابد. با بکارگیری روش آماری سطح پاسخ، معادله ۱۰ که نشان دهنده وابستگی تجربی متغیرهای آزمایش و مصرف سوخت ویژه تراکتور بر حسب گرم بر کیلووات ساعت به صورت شماره گذاری شده است، به دست آمد (A مقدار سوخت زیستی بر حسب درصد و C سرعت محور تواندهی بر حسب د.د.د.):

$$SFC = -0.0083C^2 + 14.537C - 5.949A - 6006.511 \quad (10)$$

نتایج فرآیند بهینه‌سازی به روش سطح پاسخ با دو پاسخ توان موتور و مصرف سوخت ویژه نشان داد: شرایط بهینه برای توان تولیدی موتور (۵۱،۴۸ کیلووات) و مصرف سوخت ویژه (۲۰۹،۴۵ گرم بر کیلووات)

[2] L. Raslavicius, Z. Bazaras, The Analysis of the motor characteristics of D-RME-E fuel blends during on-field tests, *Transport*, Vol. 24, No. 3, pp. 187-191, 2009

[3] G.V. Subbaiah, K.R. Gopal, S.A. Hussain, B.D. Prasad, K.T. Reddy, Rice bran oil biodiesel as an additive diesel-ethanol blends for diesel engines, *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, Vol. 3, No. 3, pp. 334-342, 2010

[4] H. Aydin, H. Bayindir, Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in diesel engine, *Renewable Energy*, Vol. 35, No. 3, pp. 588-592, 2010

[5] A. Zenouzi, B. Ghobadian, T. Tavakoli Hashjin, M. Feizolahnejad, H. Baghaerpour, Effect of waste oil methyl ester on tractor engine performance, *Modares Journal of Mechanics Engineering*, Vol. 10, No. 2, pp. 89-99, 2010

[6] B. Najafi, Artificial neural networks used for the prediction of the diesel engine performance and pollution of waste cooking oil biodiesel, *Modares Journal of Mechanics Engineering*, Vol. 11, No. 4, pp. 11-20, 2011

[7] F. Ferella, G. Mazziotti, I. Michelis, V. Stanisci, F. Veglio, Optimization of the transesterification reaction in biodiesel production, *Fuel*, Vol. 89, pp. 36-42, 2010

[8] P.S. Bindraban, E.H. Bulte, S.G. Conijn, Can large-scale biofuels production be sustainable by 2020, *Agricultural System*, Vol. 101, pp. 197-199, 2009

[9] M.M. Gui, K.T. Lee, S. Bhatia, Feasibility of edible oil vs. non edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock, *Energy*, Vol. 33, pp. 1646-1653, 2008

[10] A.K. Tiwari, A. Kumar, H. Raheman, Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: an optimized process, *Biomass Bioenergy*, Vol. 31, pp. 569-575, 2007

[11] T.P. Ryan, *Modern Experimental Design*, John Wiley and Sons, 2007

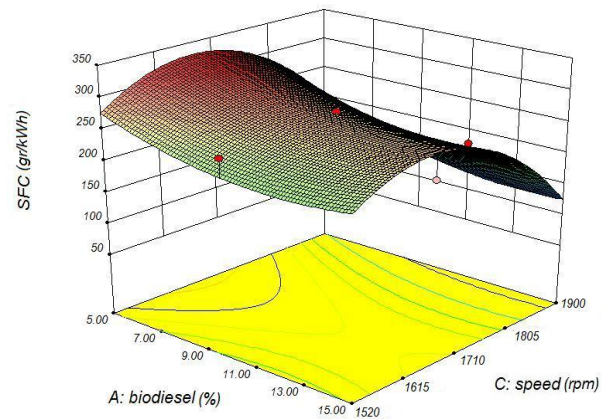
[12] J.W. Li, S.D. Ding, X.L. Ding, Optimization of the ultrasonically assisted extraction of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* cv. *Jinsixiaozao*, *Journal of Food Engineering*, Vol. 80, pp. 176-183, 2007

[13] R.J. Brook, G.C. Arnold, *Applied regression analysis and experimental design*, CRC Press, pp. 48-49, ISBN 0824772520, 1985

[14] M. Bekers, M. Grube, D. Uprite, E. Kaminska, R. Linde, Carbohydrates in Jerusalem artichoke powder suspension, *Nutrition and Food Science*, Vol. 37, No. 1, pp. 42-49, 2007

[15] R.H. Myers, D.C. Montgomery, *Response surface methodology, process & product optimization using designed experiments*, John Wiley and Sons, 1995

[16] E.C. Harrington, The desirability function, *Industrial Quality Control*, Vol. 21, pp. 494-498, 1965



شکل ۳: نمایش سه بعدی اثر سوخت زیستی و سرعت موتور بر مصرف سوخت ویژه با ۴٪ اتانول

۴) نتیجه گیری

روش سطح پاسخ برای تعیین شرایط بهینه دستیابی به بیشترین توان و کمترین مصرف سوخت ویژه استفاده شد. تجزیه واریانس نشان داد که از بین متغیرهای آزمون، فقط سرعت محور بر روی توان مؤثر است و مقدار سوخت زیستی و مقدار اتانول اثر معناداری بر روی توان ندارند. مقدار سوخت زیستی و سرعت محور تواندهی اثر معناداری بر روی مصرف سوخت ویژه در سطح احتمال ۱٪ دارند. الگوهای چند جمله‌ای درجه دوم برای پیش‌بینی توان و مصرف سوخت ویژه به دست آمدند. در این تحقیق بررسی ضریب تعیین کلی R^2 و تعیین عدم برازش نشان داد که الگوی حاصل از این آزمایش از تناسب و اطمینان خوبی برای پیش‌بینی عملکرد موتور دیزل برخوردار است. در شرایط بهینه، ۱۵٪ سوخت زیستی، ۳٫۵۳٪ اتانول و سرعت محور تواندهی ۹۴۰٫۷۶ د.د.د. برای دستیابی به توان ۵۱٫۴۸ کیلووات و مصرف سوخت ویژه ۲۰۹٫۴۵ گرم بر کیلووات ساعت مشخص شد. چون ۱۵٪ سوخت زیستی (بیشترین سطح در بازه انتخاب شده) به عنوان مقدار سوخت زیستی بهینه تعیین شد، بهتر است در مطالعات آینده مقادیر بیشتر بکار گرفته شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور که حمایت مالی این طرح را با شماره طرح ۹۱۰۵۹۶۶۸ انجام دادند، اعلام می‌دارند.

References

[1] H. Rahimi, B. Ghobadian, T. Yusaf, G.H. Najafi, M. Khatamifar, Diesterol: An environment-friendly IC engine fuel, *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 1, pp. 335-342, 2009

- [17] G. Derringer, R. Suich, Simultaneous optimization of several response variables, *Journal of Quality Technology*, Vol. 12, No. 4, pp. 214-219, 1980
- [18] P. Berman, S. Nizri, Z. Wiesman, Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, pp 2861-2866, 2011



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir



Optimization of performance in tractor engine with biodiesel-ethanol-diesel fuels using response surface methodology

Z. Shabani¹, S. Rafiei^{2*}, B. Ghobadian³, H. Ahmadi⁴

¹Tehran University, Tehran, Iran, shabanizein@ut.ac.ir

²Tehran University, Tehran, Iran, shahinrafiee@ut.ac.ir

³Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, ghobadib@modares.ac.ir

⁴Tehran University, Tehran, Iran, hjahmadi@ut.ac.ir

*Corresponding Author, Phone Number: +98-21-66165533

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 04 August 2013

Accepted: 20 November 2013

Keywords:

Biodiesel

Power

Specific fuel consumption

Multi-objective optimization

Response surface methodology

ABSTRACT

Renewable and clean biofuels are known as the best replacement of fossil fuels. Biofuels have animal or vegetable bases and produce less pollution than fossil fuels during the combustion in an engine. Many researches performed on using blends of biodiesel and diesel fuels in diesel engines. In this study, blends of biodiesel, ethanol and diesel fuels were used in Massy Ferguson 399 Tractor and the engine power and the specific fuel consumption are survived. The response surface methodology was used to assess the impact of the biodiesel volume percent (5-15%), the ethanol volume percent (2-6%) and the engine speed (1520-1900 rpm) on the power and the specific fuel consumption to optimize the process. Based on results, obtained in this study, the engine speed was the most effective factor on the power. Also, the biodiesel volume percent and the engine speed were main factors on the specific fuel consumption. Optimum conditions for maximizing the power (51.48 kW) and minimizing the specific fuel consumption (209.45 ml/min) were obtained at 15% biodiesel, 3.53% ethanol at 1787.4 rpm engine speed.

© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.