

تأثیر مواد افزودنی اکسیژن‌دار بر روی متغیرهای عملکردی موتور دیزل

عباس تقی‌پور^{۱*} و فاطمه خدائی چگنی^۲

چکیده

بیواتانول یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین سوخت‌های جایگزین سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شود. در راستای رفع بحران آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، کشورهای زیادی با استفاده از روش‌های مختلف اقدام به تولید این سوخت‌ها کرده‌اند. سوخت‌های بیولوژیک دارای خواص فیزیکی و شیمیایی ذاتی هستند که از سوخت‌های دیگر پاک‌تر عمل می‌کنند. در این تحقیق تأثیر تلفیق سوخت دیزل، بیواتانول و ذرات نانو اکسیدسربیم بر روی میزان گشتاور، توان و مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور بررسی شد. ابتدا به منظور بررسی پایداری ترکیب‌های سوخت دیزل- بیواتانول با ذرات نانو اکسیدسربیم، آزمایش‌های متعددی انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از حمام آلتراسونیک می‌تواند مفید باشد. در فاز دوم به منظور بررسی تأثیر ترکیب‌های مختلف سوخت بر میزان گشتاور، توان و مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور، بر روی موتور دیزل تک سیلندر چهارزمانه آزمایش‌هایی انجام شد. داده‌های موردنظر در سرعت‌های مختلف (۱۸۰۰-۲۶۰۰ rpm) برای مخلوط‌های مختلف سوخت بیواتانول (۱۲%-۰)، دیزل (۱۰۰%-۸۸) و ذرات نانو (۱۵-۵ ppm) ثبت شد. نتایج نشان داد که سوخت حاوی ۵ ppm نانو اکسیدسربیم دارای بالاترین توان است. افزودن نانوذرات به سوخت، انتقال حرارت به سوخت را افزایش داده و با تسریع سوختن، زمان تأخیر در اشتعال را کاهش می‌دهد. همچنین نانوذرات، مکانسیم اشتعالی سوخت را بهبود بخشیده، سبب نفوذ بهتر جت سوخت به داخل هوای فشرده شده و باعث احتراق کامل‌تر و افزایش توان موتور می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: اکسید سربیم، بیواتانول، موتور دیزل، مصرف سوخت ویژه.

ارجاع: تقی‌پور ع. و خدائی چگنی ف. ۱۳۹۸. تأثیر مواد افزودنی اکسیژن‌دار بر روی متغیرهای عملکردی موتور دیزل. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۸(۲): ۲۵-۳۱.

۱- استادیار گروه مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و مدرس گروه مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

* نویسنده مسئول: taghipoor460@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۵

مقدمه

نسبت سطح به حجم زیاد در ذرات نانو، در خواص ماده تأثیر متقابلی دارد. تغییر در انرژی آزاد سطح، پتانسیل شیمیایی را تغییر می‌دهد. این امر در خواص ترمودینامیکی ماده تأثیرگذار است (Karthikeyan *et al.*, 1987- Miyamoto *et al.*, 2016). در تحقیقی بر روی یک موتور دیزل ۴ سیلندر پاشش مستقیم، از سوخت بیودیزل و مخلوط سوخت بیودیزل و اتانول استفاده شد. هدف از این تحقیق، بررسی متغیرهای احتراق، عملکرد و آلاینده‌گی موتور مذکور تحت بارهای ۴۰، ۶۰ و ۲۰ درصد بود. نتایج نشان دادند که با اضافه کردن ۵۰ درصد اتانول به بیودیزل، عملکرد موتور بهبود یافت و در مقایسه با سوخت دیزل، سوخت بیودیزل و مخلوط سوخت بیودیزل و اتانول دارای راندمان حرارتی بالاتری بودند (Nematizadeh, 2011). در سال ۲۰۰۸ آزمایش‌هایی توسط کائو و همکاران بر روی یک موتور تک سیلندر دیزل به منظور بررسی تأثیر افزودن نانوپودر آلومینیوم پوشیده شده با آب به سوخت دیزل انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در سرعت‌های کمتر از ۱۸۰۰ دور بر دقیقه، مصرف سوخت ویژه ترمزی، غلظت دوده و اکسید نیتروژن کاهش می‌یابد (Kao *et al.*, 2008). همچنین در یک بررسی بر روی موتور تک سیلندر پاشش مستقیم مدل ZS1100، اثر ترکیبات مختلف دیزل- اتانول با درصدهای (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰) مورد مطالعه قرار گرفت که هدف آن بررسی عملکرد و آلاینده‌های موتور بود. نتایج نشان داد که با افزایش اتانول، مصرف سوخت ویژه نیز افزایش می‌یابد. مقادیر CO و NO_x با افزایش اتانول کاهش یافتند اما مقدار HC افزایش یافت. همچنین از نظر آلاینده‌گی درصدهای E15 و E10 بهترین ترکیب دیزل- اتانول شناخته شدند (Ramesh *et al.*, 2016). یانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ از سوخت امولسیون با افزودنی‌های نانو برای کار در موتور دیزل استفاده کردند و طی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از افزودنی‌های نانو به سرعت تبخیر سوخت و اختلاط آن با هوا کمک کرده و به‌طور کلی باعث کاهش مدت زمان احتراق می‌شود. با استفاده ۱۰٪ سوخت امولسیون، راندمان حرارتی ترمزی موتور در مقایسه با دیزل خالص ۱۴/۲٪ افزایش یافت و خروجی‌های آگروز نیز به میزان ۳۰/۶٪ کاهش یافت (Yang *et al.*, 2012). ساجیت و همکاران در سال ۲۰۱۰ در یک مطالعه تجربی در مورد اثر استفاده از نانوذرات اکسیدسربیم بر خواص

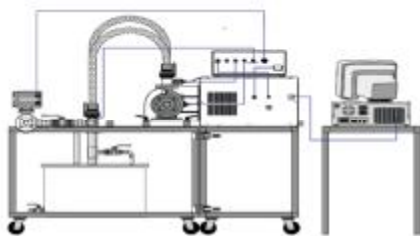
سوخت‌های فسیلی مهم‌ترین منابع تولید انرژی در موتورها و ماشین‌های حرارتی هستند. یکی از عوامل اصلی آلودگی جو زمین تولید گازهایی نظیر NO_x ، SO_2 و CO_2 ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی است. جمع شدن دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای در جو باعث تغییراتی در شرایط جو زمین شده است که به نظر می‌رسد برای انسان و سایر موجودات زنده نتایج وخیمی به بار آورد (Dorado *et al.*, 2003). امروزه یکی از مشکلات اساسی کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، نیاز روزافزون جهان به منابع جدید انرژی به‌ویژه در بخش حمل و نقل است. به عبارتی این مشکل همانند دهه‌های گذشته، تنها به کشورهای واردکننده نفت اختصاص ندارد و حتی تولیدکنندگان بزرگ نفت از جمله کشور ما با مشکلات متعددی در زمینه تهیه سوخت روبه‌رو هستند. مشکل عمده سوخت‌های فسیلی، آلاینده‌گی ناشی از احتراق ناقص و تجدید ناپذیر بودن آن است. بیواتانول با مزایایی از جمله تجدیدپذیری، ایمن بودن و داشتن راندمان بالا، آلودگی کم، مصرف کم انرژی در فرآیند تولید، هزینه کم تولید و محتوای اکسیژن بالا می‌تواند این مشکلات را تا حد زیادی برطرف نماید. خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ماده تبدیل‌شده به ابعاد نانو نسبت به خواص آن در ابعاد ماکروبی کاملاً متفاوت است. نانو در مولکول‌های ماده انرژی بالایی ایجاد می‌کند (Dorado *et al.*, 2003). سوخت نانوبیواتانول سوختی است که از ترکیب مکمل‌های ذرات نانو با سوخت بیواتانول به نسبت‌های مختلف و مناسب به‌دست می‌آید و قابلیت احتراق و استفاده در موتورهای دیزلی را دارد. اولین اثر کاهش اندازه ذرات، افزایش سطح است. افزایش نسبت سطح به حجم نانوذرات باعث می‌شود که اتم‌های واقع در سطح نسبت به اتم‌های درون حجم بر خواص فیزیکی آنها اثر بیشتری داشته باشند. این ویژگی، واکنش‌پذیری نانوذرات را به‌شدت افزایش می‌دهد، به‌گونه‌ای که این ذرات تمایل شدیدی به آگلومره یا کلوخه‌ای شدن پیدا می‌کنند (Escribano *et al.*, 2008). علاوه بر این، افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را تغییر داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم‌های ذرات می‌شود (James, 2000). تغییر در فاصله بین اتم‌های ذرات و

استفاده از ترکیب‌های مخلوط سوخت موردنظر ثبت شد. مشخصات موتور فوق در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات فنی موتور CT159

Hatz 1B20-6	مدل
شرکت گونت آلمان	کارخانه سازنده
۱	تعداد سیلندر
۶۲ mm	کورس پیستون
۶۹ mm	قطر سیلندر
approx. 1.5 kW	توان خروجی
21: 1	نسبت تراکم
هوا خنک	نوع سیستم خنک‌کاری
تزریق مستقیم	نوع سیستم سوخت‌رسانی

آزمایش‌های موردنظر در آزمایشگاه اتومکانیک دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول انجام شد. برای این منظور از مجموعه آزمایشی CT159 ساخت کشور آلمان استفاده شد. این مجموعه آزمایشی از سه بخش اصلی شامل CT159 برای نصب موتور دیزل تک سیلندر چهارزمانه (CT151)، واحد کنترل و دینامومتر (HM365) به‌منظور کنترل سرعت موتور تشکیل شده و از یک کامپیوتر برای ثبت و ذخیره داده‌ها استفاده شد. در شکل ۱ شماتیکی از تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش و در شکل ۲ مجموعه CT159 نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیکی از تجهیزات استفاده شده در پژوهش



شکل ۲- مجموعه مورد نظر شامل موتور و دینامومتر

فیزیکی - شیمیایی بیودیزل و بررسی متغیرهای عملکردی و آلاینده‌گی موتور به این نتیجه رسید که اکسیدسیریم باعث اکسیداسیون بهتر و کاهش هیدروکربن‌ها و اکسیدهای نیتروژن و در کل، موجب کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که اکسیدسیریم استفاده شده در سوخت دیزل در ابعاد نانوذرات نسبت به ابعاد پودری و بزرگ‌تر نتایج بهتری در افزایش بازده موتور دارد (Sajith *et al.*, 2010). قنبری و همکاران در سال ۲۰۱۷ در پژوهش خود تحت عنوان بررسی عملکرد و آلاینده‌های موتور دیزل با کمک نانوذرات به عنوان افزودنی به سوخت‌های دیزل - بیودیزل از نانولوله‌های کربنی چند دیواره و نانوذرات نقره با غلظت‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ ppm استفاده کردند. موتور مورد استفاده نیز شش سیلندر و از نوع چهار زمانه بود. نتایج آزمایشات نشان داد که افزودن نانوذرات به ترکیب‌های سوخت، در مقایسه با سوخت دیزل خالص سبب افزایش پارامترهای عملکردی موتور شامل گشتاور و توان موتور تا ۲٪ و کاهش مصرف سوخت ویژه تا ۷/۰۸٪ می‌شود (Ghanbari *et al.*, 2017). الهی و همکاران در سال ۲۰۱۸ در پژوهش خود تأثیر نانوذرات به عنوان افزودنی به ترکیب‌های سوخت دیزل - بیودیزل بر عملکرد موتور را بررسی کردند. نتایج آزمون‌ها بهبود خواص ترموفیزیکی، انتقال حرارت و پایداری ترکیب‌های سوخت را نشان داد. همچنین عملکرد موتور بسته به میزان غلظت نانوذرات افزایش یافت (Elahi *et al.*, 2018). کاتاریا و همکاران در سال ۲۰۱۹ پژوهشی تحت عنوان تولید بیودیزل از روغن پسماند و تأثیر آن بر عملکرد موتور دیزل نسبت متغیر انجام دادند. آن‌ها بیودیزل را با روش ترانس استریفیکاسیون تولید نمودند. بیودیزل با نسبت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰٪ حجمی و آزمون‌ها در سرعت ثابت ۱۵۰۰ rpm انجام شد. نتایج آزمون‌ها بهبود عملکرد موتور هنگام استفاده از ترکیب‌های سوخت در مقایسه با دیزل خالص را نشان داد (Kataria *et al.*, 2019).

مواد و روش‌ها

در این پروژه تأثیر تلفیق سوخت دیزل، بیواتانول و ذرات نانو اکسیدسیریم بر روی میزان گشتاور، توان و مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور بررسی شد. بدین‌منظور داده‌های مربوط به موتور دیزل تک سیلندر چهارزمانه با

جدول ۲- مقایسه آمارهای مفید برای انتخاب مدل‌ها

پارامترهای عملکردی	درصد ضریب تغییرات (CV%)	R ² (adj)	R ²	منبع	
				PROCESS	MIX
توان	۶/۹۵	۰/۷۸	۰/۸۵	خطی	درجه دو
گشتاور	۸/۰۶	۰/۸۱	۰/۸۵	خطی	درجه دو
مصرف سوخت ویژه	۳۷/۹۱	۰/۳۵	۰/۴	میانگین	درجه دو

تجزیه و تحلیل آماری مدل ارائه شده برای توان

نتایج نشان می‌دهد شرط (Prob>F) برای مدل، ۰/۰۰۱ < است که معنی‌داری مدل در سطح ۱٪ را نشان می‌دهد و این نتیجه، مدل ترکیبی خطی درجه دو^۱ را تأیید می‌کند. همچنین اثر ترکیب آمیخته خطی، اثر متقابل سوخت دیزل × سرعت موتور و اثر متقابل سوخت دیزل × نانو نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند. با توجه به تحلیل واریانس انجام گرفته، مدل ترکیبی خطی درجه دو به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. معادله (۱) بهترین معادله برای تعیین مقادیر توان است.

$$P=1.76X+2.33Y-0.47XY+0.35YZ + 0.35NY +0.061XZ+0.012XN-0.78ZXY-0.74NXY \quad (1)$$

در این معادله، P: توان، X بیواتانول، Y دیزل، Z سرعت موتور (rpm) و N نانو اکسیدسیریم هستند. در شکل ۳ مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده تطابق نزدیک این اعداد را نشان می‌دهد. این امر نشان‌دهنده همبستگی بسیار خوب بین نتایج به‌دست‌آمده با روش تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده با روش آماری است.

شکل ۴ رابطه رگرسیونی بین ذرات نانو و سرعت موتور را با توان موتور نشان می‌دهد. بررسی این نمودار مشخص می‌کند که در ۹۲/۸۶٪ نقاط، خطای مدل کمتر از KW ۰/۱۶ ± است. اما خطای مدل در بعضی از نقاط مثل سرعت ۲۱۳۲ rpm و میزان ۹/۲۵ ppm از نانو، KW ۰/۳۲- است. بنابراین دقت معادله ارائه شده (۱) در تخمین داده‌های توان موتور مطلوب است.

شکل ۴ گویای این است که سوخت حاوی ۵ ppm نانو اکسیدسیریم بالاترین توان را دارد. شکل ۴ همچنین نشان می‌دهد در همه ترکیبات مختلف سوخت، با کاهش دور موتور و افزایش بار میزان توان کاهش می‌یابد.

متغیرهای مستقل در این تحقیق شامل مخلوط‌های مختلف سوخت بیواتانول (۱۲٪-۰)، دیزل (۱۰۰٪-۸۸)، ذرات نانو (۵-۱۵ ppm) و پارامتر سرعت موتور (۲۶۰۰-۱۸۰۰ rpm) بود. سپس پارامترهای مستقل (ورودی‌ها) از قبیل سرعت موتور و مخلوط‌های مختلف دیزل، بیواتانول و ذرات نانو بر روی متغیرهای وابسته، یعنی میزان گشتاور، توان و مصرف سوخت ویژه ترمزی موتور بررسی شد. طرح مرکب مخلوط به عنوان طرح آماری این تحقیق انتخاب شد. در این مرحله، با استفاده از نسخه ۸ نرم‌افزار Design-Expert، تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی پارامترهای مختلف بر متغیرهای وابسته انجام شد.

نتایج و بحث

پیشگویی مدل موجود بین پارامترهای عملکردی موتور

هدف اصلی این بخش به دست آوردن مدل‌هایی برای پیش‌گویی توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه موتور مورد بحث براساس متغیرهای مستقل مذکور بود. برای دست‌نخورده باقی‌ماندن محاسبات، طرح در یک فرمت گذشته تنظیم شد. کد ۱- به‌عنوان پایین‌ترین تراز و کد ۱+ به‌عنوان بالاترین تراز هر فاکتور در نظر گرفته شد. در مخلوط‌های سوخت، عدد صفر به‌عنوان کمترین تمرکز و عدد ۱ به‌عنوان بیشترین تمرکز تعیین شد. با استفاده از آنالیز رگرسیون گام‌به‌گام^۱ تحلیل بر روی متغیرهای وابسته انجام شد و به‌منظور ارزیابی صحت مدل‌های برازش شده، آزمون ضعف برازش^۲، ضریب تغییرات (CV)^۳، مقادیر مربعات خطا R² و R²(adj)^۴ تعیین شدند.

انتخاب مدل مناسب برای پارامترهای عملکردی

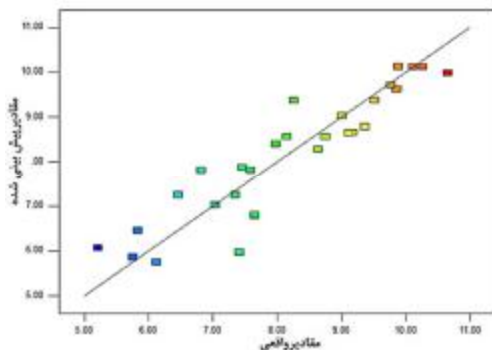
به منظور تعیین مدل توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه موتور، مقایسه کمیت‌ها برای چندین مدل انتخابی انجام شد. جدول ۲ مقایسه آمارهای مفید برای انتخاب مدل‌ها را نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که به دلیل خطای استاندارد کم و R² بالا، مدل‌های برگزیده برای پارامترهای عملکردی بهترین مدل هستند.

- 1- Step - Wise
- 2- Lack of Fit
- 3- Coefficient of variation
- 4- R Square
- 5- R Square (adj)

$$T=7.07X+9.46Y-0.45XY-0.02ZY+0.67NY-1.32XZ-5.33XYZ \quad (2)$$

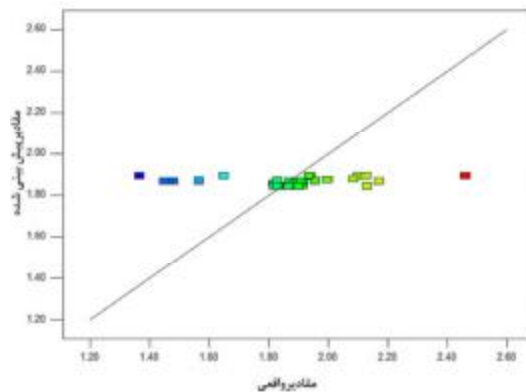
در این معادله، T گشتاور، X بیواتانول، Y دیزل، Z سرعت موتور (rpm) و N نانو اکسیدسیریم هستند.

مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده در شکل ۵ تطابق نزدیک این اعداد را نشان می‌دهد. این امر نشان‌دهنده همبستگی بسیار خوب بین نتایج به‌دست‌آمده با روش تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده با روش آماری است. نمودار شکل ۶ رابطه رگرسیونی بین میزان ذرات نانو و سرعت موتور را با گشتاور نشان می‌دهد. بررسی این نمودار مشخص می‌کند که در ۹۲/۸۶٪ نقاط، خطای مدل کمتر $1 \pm N.m$ است. اما در بعضی از نقاط مثل سرعت ۲۶۰۰ rpm و میزان ۹/۷۴ ppm از نانو، خطای مدل $N.m$ ۱/۴۵ است. بنابراین معادله ارائه شده (۲) از لحاظ دقت در تخمین داده‌های گشتاور مطلوب به نظر می‌رسد. می‌توان گفت با افزایش سرعت در تمامی مخلوط‌ها، گشتاور کاهش می‌یابد. تغییرات گشتاور موتور به میزان پرشدن سیلندر در مرحله تنفس بستگی دارد. در سرعت‌های خیلی بالا زمان تنفس کمتر بوده و در نتیجه سیلندر به‌خوبی پر نمی‌شود. متعاقب آن، فشار تراکم و فشار احتراق کمتر شده و نیروهای اینرسی بخش‌های متحرک موتور افزایش یافته و در نهایت گشتاور واقعی موتور کاهش می‌یابد.

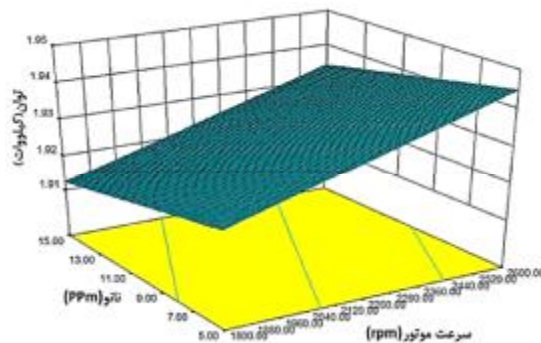


شکل ۵- مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده گشتاور

بیشترین توان، مربوط به ترکیب سوخت حاوی ۵ ppm نانو اکسیدسیریم در سرعت موتور ۲۶۰۰ rpm و کمترین توان نیز مربوط به سوخت E12D88 در سرعت ۲۲۰۰ rpm است. وجود اکسیژن در سوخت بیواتانول و ذرات نانو باعث احتراق کامل شده و بر توان حاصل از ترکیبات سوخت تأثیرگذار است.



شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده توان



شکل ۴- مدل ارائه شده بین ذرات نانو و سرعت موتور با توان موتور

تجزیه و تحلیل آماری مدل ارائه شده برای گشتاور نتایج نشان داد شرط $(Prob>F)$ برای مدل، $0.0001 <$ است که معنی‌داری مدل در سطح ۱٪ را نشان می‌دهد و این نتیجه، مدل درجه دو خطی را تأیید می‌کند. همچنین اثر ترکیب آمیخته خطی، اثر متقابل سوخت بیواتانول \times سرعت و اثر متقابل بیواتانول \times سرعت \times دیزل نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار هستند. با توجه به تحلیل واریانس انجام گرفته، مدل ترکیبی درجه دو خطی به‌عنوان بهترین مدل و معادله (۲) بهترین معادله برای تعیین مقادیر گشتاور انتخاب شد.

نتیجه‌گیری

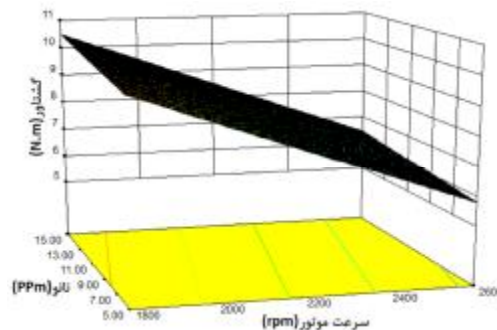
- با توجه به نتایج مشاهده شد که اثر سوخت دیزل × سرعت و سوخت دیزل × نانو بر روی توان در سطح ۱٪ معنی‌دار است.
- نتایج نشان داد که اثر سوخت دیزل × سرعت و سوخت دیزل × نانو بر روی گشتاور سطح ۱٪ معنی‌دار است.
- مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده برای توان و گشتاور، تطابق نزدیک این اعداد را نشان داد. این امر نشان‌دهنده همبستگی بسیار خوب بین نتایج به‌دست‌آمده با روش تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده با روش آماری است.
- نتایج نشان داد که در ۹۲/۸۶٪ نقاط، خطای مدل کمتر از ۰/۱۶ KW ± است. بنابراین معادله ارائه شده در تخمین داده‌های توان موتور از دقت خوبی برخوردار است.
- وجود اکسیژن در سوخت بیواتانول و ذرات نانو باعث احتراق کامل شده و بر توان حاصل از ترکیبات سوخت تأثیرگذار است.
- می‌توان گفت با افزایش سرعت در تمامی مخلوط‌ها، گشتاور کاهش می‌یابد. تغییرات گشتاور موتور به میزان پرشدن سیلندر در مرحله تنفس بستگی دارد.
- در مدل ارائه‌شده برای مصرف سوخت ویژه، ضریب تعیین (R^2) به‌عنوان نسبت تغییرات توصیف‌شده توسط مدل به تغییرات کل ۰/۴ است. مقدار کوچک R^2 نشان‌دهنده قدرت پایین مدل در توصیف مقادیر برآزش یافته است. مدل به‌دست آمده قادر است تنها تا ۴۰٪ مقادیر را پیش‌بینی کند.

سیاس‌گذاری

این مقاله از طرح پژوهشی درون دانشگاهی تحت عنوان "تأثیر مواد افزودنی اکسیژن‌دار (نانوذرات - بیواتانول) بر روی متغیرهای عملکردی موتور دیزل" استخراج شده و هزینه آن توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول تأمین شده است که بدین وسیله قدردانی می‌شود.

منابع

1. Dorado, M. P. Ballesteros, E. Arnal, J. M. and Lopez, F. J. 2003. Exhaust Emissions from a Diesel Engine Fueled with

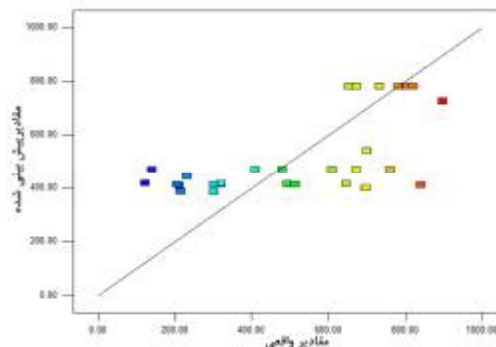


شکل ۶- مدل ارائه شده بین ذرات نانو و سرعت موتور با گشتاور

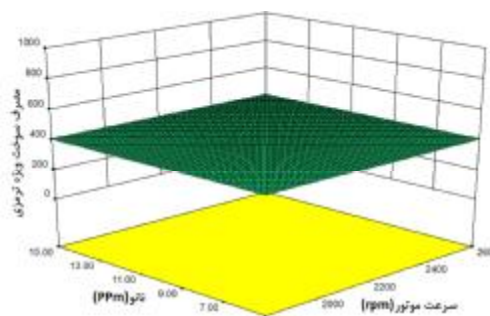
تجزیه و تحلیل آماری مدل ارائه شده برای مصرف سوخت ویژه ترمزی

با توجه به نتایج به‌دست آمده که نشان‌دهنده معنی‌داری مدل در سطح ۱٪ بود، مدل خطی میانگین^۱ به‌عنوان بهترین مدل و معادله (۳) بهترین معادله برای تعیین مقادیر مصرف سوخت ویژه انتخاب شد.

$$BSFC=470.58X+782.04Y-845.21XY \quad (3)$$



شکل ۷- مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده مصرف سوخت ویژه ترمزی



شکل ۸- مدل ارائه شده بین ذرات نانو و سرعت موتور با مصرف سوخت ویژه ترمزی

- Performance, Combustion and Emission characteristic of Diesel engine. *Materialstoday*, 5(1): 1114-1120.
12. Sajith, V. Sobhan, C. B. and Peterson, G. P. 2010. *Advances in Mechanical Engineering*, 581407: 1-6.
 13. Yang, W. Chou, H. Vedharaji, S. Vallinagam, R. Balaji, M. Mohammad, F. and Chua, K. 2012. Emulsion fuel with novel nano-organic additives for diesel engine application. *Fuel*, 104: 726-731.
 - Transesterified Waste Olive Oil, *Fuel*, 82(11): 1311-1315.
 2. Elahi, M. Soudagar, M. Nik-Nazri, Ghazali, N. N. Abul Kalam, M. Badruddin, I. A. Banapurmath, N. R. and Akram, N. 2018. The effect of nano-additives in diesel-biodiesel fuel blends: A comprehensive review on stability, engine performance and emission characteristics, *Energy Conversion and Management*, 178: 146-177.
 3. Escribano, S. Lopez, F. Amores, g. Martinez, H. Panizza, P. and Buscac, R. 2008. A study of a ceriazirconia-supported manganese oxide catalyst for combustion of diesel soot particles. *Combustion and Flame*, 153(1-2): 97-104.
 4. Ghanbari, M. Najafi, G. Ghobadian, B. Yusaf, T. Carlucci, A. P. and Kiani Deh Kianid, M. 2017. Performance and emission characteristics of a CI engine using nano particles additives in biodiesel-diesel blends and modeling with GP approach, *Fuel*, 202: 699-716.
 5. James, J. 2000. *Fuels of the future for Cars and Trucks*. Director, Office of Heavy Vehicle Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy, U. S. Department of Energy (DOE).
 6. Kao, M. J. Ting, C. C. and Tsung, T. T. 2008. Aqueous Aluminum Nanofluid Combustion in Diesel Fuel, *Journal of Testing and Evaluation*, 36(2): 186-190.
 7. Karthikeyan, S. Prathima, A. Elango, A. and Sabariswaran, K. 2016. Environment Effect of CeO₂ nano additive on performance and emission reduction in a COME operated CI marine engine. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 45(1): 167-172.
 8. Kataria, J. Mohapatra, S. K. and Kundu, K. 2019. Biodiesel production from waste cooking oil using heterogeneous catalysts and its operational characteristics on variable compression ratio CI engine, *ournal of the Energy Institute*, 92: 275-287.
 9. Miyamoto, N. Zhixin, H. Harada, A. Ogawa, H. and Murayama, T. 1987. Characteristics of Diesel soot suppression with soluble fuel additives. *Reciprocating Engines- Apark Ignition and DieselIESEL*, 96(4): 792-798.
 10. Nematizadeh, P. 2011. Investigation performance and emissions of two types of internal combustion engine using a blend of fossil fuels and biofuels. Master Thesis Agricultural Machinery. University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran. (In Farsi)
 11. Ramesh, D. K. Dhananjaya Kumar, J. L. Hemanth Kumar, S. G. Namith, V. Parashuram, B. J. and Sharath, S. 2016. Study on effects of Alumina nanoparticles as additive with Poultry litter biodiesel on

