فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineresearch.ir

پیش‌بینی و مقایسهٔ تأثیر افزودن نرمال بوتانول و اتانول به مخلوط سوخت زیست‌دیزل-دیزل بر ویژگی‌های عملکردی و آلایندگی موتوری دیزلی

محمدرضا عطاری پور[۱]، علیرضا شیرنشان[۲و۳*]

[۱] گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران، m.ataripour@gmail.com

[۲] گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران، arshirneshan@yahoo.com

[۳] مرکز تحقیقات هوافضا و تبدیل انرژی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

[*] نویسندهٔ مسئول

چکیده

هدف از این پژوهش پیش‌بینی و مقایسهٔ تأثیر افزودن نرمال‌بوتانول (ن.ب) و اتانول به مخلوط زیست‌دیزل-دیزل بر ویژگی‌های عملکردی و آلایندگی یک موتور دیزل است. آزمایش‌های تجربی بر روی موتوری تک استوانه انجام شد. سپس روش سطح پاسخ برای توسعهٔ الگوهای ریاضی بر مبنای داده‌های تجربی به کار برده شد. مطابق با نتایج، با افزودن بوتانول و اتانول به مخلوط سوخت، مقادیر توان و گشتاور ترمزی تا ۱۶٪ کاهش می‌یابد، هر چند با افزایش بیشتر سهم زیست‌دیزل همراه با افزودن اتانول و بوتانول به مخلوط سوخت، توان و گشتاور ترمزی موتور کمی بهتر می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که با افزودن الکل به مخلوط سوخت مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی (BSFC)، ۵ تا ۹ درصد افزایش می‌یابد. از طرف دیگر افزودن اتانول و بوتانول در نسبت‌های بزرگتر زیست‌دیزل در مخلوط سوخت سبب بهبود اندک BSFC بویژه در دورهای تندتر می‌شود. با مقایسهٔ نتایج مشاهده شد که مقادیر BSFC در حالت استفاده از ن.ب. کمتر از اتانول است. با توجه به نتایج به طور کلی با افزودن اتانول و ن.ب. مقادیر مونوکسیدکربن به مقدار ۷ تا ۱۲ افزایش می‌یابد؛ هر چند در سرعت‌های تندتر موتور انتشار آلاینده مونوکسید کربن اندکی بهبود می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که مخلوط‌های حاوی اتانول در قیاس با مخلوط‌های حاوی ن.ب. سبب انتشار بیشتر منوکسیدکربن می‌شود. مطابق با نتایج بدست آمده با افزودن اتانول و ن.ب. به مخلوط سوخت دیزل-زیست‌دیزل انتشار آلایندهٔ اکسیدهای ازت نسبت به مخلوط دیزل-زیست‌دیزل بطور متوسط ۱۱ درصد کاهش می‌یابد؛ هر چند افزودن اتانول به مخلوط سوخت نسبت به ن.ب.، سبب انتشار بیشتر اکسیدهای ازت به خصوص در دورهای تُند موتور می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخچهٔ مقاله:

دریافت: ۲۹ اسفند ۱۳۹۹

پذیرش: ۱۳ تیر ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

اتانول

نرمال‌بوتانول (ن.ب)

عملکرد

آلایندگی

سطح پاسخ

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

استفاده از زیست‌سوخت‌ها به سبب مقررات سختگیرانه در سال‌های اخیر، بیش از پیش مورد توجه پژوهش‌گران عرصهٔ انرژی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر سوخت‌های زیستی مانند زیست‌دیزل و بیواتانول مورد توجه قرار گرفته‌اند. زیست‌دیزل یکی از انواع زیست‌سوخت‌ها است و خواصی بسیار شبیه به سوخت دیزل دارد که که از منابع طبیعی و قابل تجدید مانند روغن‌های گیاهی ساخته می‌شود، با این تفاوت که دارای عناصری مانند گوگرد و بنزن نیست [۱و ۲].

در گذشته اتانول به طور گسترده به عنوان سوخت در موتور بنزینی استفاده شده است [۳]. الکل دیگری که به عنوان یک زیست‌سوخت و مکمل قابل رقابت در موتورها استفاده می‌شود نرمال بوتانول[1] است که یک ترکیب آلی از خانواده الکل‌ها بوده و در صورت تولید زیستی با نام زیست-بوتانول هم شناخته می‌شود. نرمال بوتانول (ن.ب.) به صورت طبیعی از تخمیر مواد قندی و کربوهیدرات‌ها تولید می شود [۴]. با توجه به اینکه قابلیت اختلاط الکل و دیزل محدود است می‌توان از زیست‌دیزل به عنوان حلال آنها استفاده کرد و به همین دلیل اختلاط زیست‌دیزل، دیزل و الکل‌های نام برده شده در یک مخزن برای بکارگیری در موتور احتراقی عملی و بدون مشکل خواهد بود [۳و۴].

چن[2] و همکاران به مطالعه عملکرد و آلایندگی یک موتور دیزل سرعت تند با کاربرد مخلوط‌های بوتانول- دیزل پرداختند. در این تحقیق بیشترین درصد بوتانول در مخلوط سوخت ۴۰ درصد در نظر گرفته شده بود. نتایج تحقیق نشان داد که مخلوط دیزل-بوتانول سبب افزایش در فشار محفظه احتراق و نرخ سوختن نسبت به سوخت دیزل خالص می‌شود. همچنین این مخلوط باعث افزایش BSFC شده، هر چند بازده گرمایی ترمزی قویتری نسبت به سوخت دیزل تولید می‌کند. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که در بارهای ضعیف موتور، مقدار انتشار آلاینده‌های HC و NOx نسبت به سوخت دیزل خالص بترتیب زیاد و کمتر شده است ولی در بارهای قوی موتور، این موضوع بر عکس است [۵].

لابکاس[3] و همکاران، اثر مخلوط‌های دیزل- اتانول و زیست‌دیزل- دیزل- اتانول را بر ویژگی‌های احتراقی، عملکردی و آلایندگی موتوری دیزل پاشش مستقیم بررسی کردند. آزمون‌های موتور در سه سرعت دورانی۱۴۰۰، ۱۸۰۰، ۲۲۰۰ د.د.د. انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین نرخ آزادسازی حرارت، فشار احتراق، انتشار آلاینده‌های مونوکسیدکربن، اکسیدهای ازت به محتوای اکسیژن سوخت و همچنین سطح دود تولیدی به نسبت هوا به سوخت و سرعت موتور وابسته است. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که افزودن اتانول به سوخت دیزل سبب کاهش آلاینده‌های HC و NOx در مخلوط‌های غنی‌تر هوا و سوخت می‌شود [۶].

ییلماز[4] و همکاران تأثیر کاربرد مخلوط‌های زیست‌دیزل- بوتانول (۵ تا۲۰ درصد) را بر ویژگی‌های عملکردی و آلایندگی یک موتور چهار زمانه تنفس طبیعی، آب‌خنک با پاشش غیرمستقیم بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که در مقایسه با زیست‌دیزل خالص، مخلوط‌های حاوی بوتانول هر چند باعث کاهش دمای گازهای خروجی و اکسیدهای ازت می‌شود ولی افزایش انتشار منوکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته را به همراه دارد. از طرف دیگر در مقایسه با دیزل خالص مخلوط‌های زیست‌دیزل-بوتانول، منوکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته کمتری تولید می‌کنند. همچنین نتایج نشان داد که BSFC برای زیست‌دیزل خالص و مخلوط‌های زیست‌دیزل-بوتانول در مقایسه با دیزل خالص افزایش می‌یابد [۷].

ژنگ[5] و همکاران اثر پاشش دو مرحله‌ای سوخت همراه با نرخ بازخورانی گازهای خروجی[6] زیاد را بر ویژگی‌های احتراقی و آلایندگی در یک موتور تک استوانه دیزل با مخلوط‌های سوخت دیزل-بنزین، دیزل-ن.ب.، دیزل-بنزین-نرمال‌بوتانول و دیزل خالص بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که افزودن بنزین یا ن.ب. به سوخت دیزل سبب بهبود انتشار دوده شده، در حالی که نرخ ازدیاد فشار محفظه احتراق را افزایش می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد که انتشار دود حاصل از مخلوط‌های سوخت در مقایسه با سوخت دیزل دارای حساسیت بیشتری نسبت به استراتژی تاخیر در پاشش است [۸].

موراک[7] و همکاران اثر زمان پاشش سوخت بر ویژگی‌های عملکردی یک موتور تک استوانه دیزل پاشش مستقیم را با کاربرد مخلوط‌های دیزل- اتانول حاوی ۵ تا ۲۰ درصد اتانول بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین توان موتور در سرعت دورانی ۲۴۰۰ د.د.د. برای مخلوط‌های حاوی ۵ درصد اتانول با پیشرسی پاشش ۳۵ درجه و بیشترین گشتاور در سرعت دورانی۱۲۰۰ د.د.د. برای همان مخلوط با پیشرسی پاشش ۲۵ درجه بدست می‌آید. همچنین کمترین BSFC در سرعت دورانی ۱۰۰۰ د.د.د. با همان مخلوط در پیشرسی پاشش ۲۵ درجه‌ای حاصل شد [۹].

زیراکی ایزیک[8] و همکاران اثر افزودن ن.ب. به مخلوط دیزل- زیست‌دیزل را بر ویژگی‌های احتراقی، عملکردی و انتشار آلاینده‌ها در در شرایط کم‌بار یک دیزل مولد برق را بررسی کردند. در این مطالعه مخلوط سوخت حاوی ۱۰ درصد ن.ب.، ۱۰ درصد زیست‌دیزل و ۸۰ درصد دیزل و مخلوط سوخت حاوی ۲۰ درصد زیست‌دیزل و ۸۰ درصد دیزل مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که افزودن ن.ب. به مخلوط زیست‌دیزل- دیزل می‌تواند سبب کاهش چگالی و گرانروی مخلوط

[1] N-butanol
[2] Chen
[3] Labeckas
[4] Yilmaz
[5] Zheng
[6] Exhaust gas recirculation (EGR)
[7] Murcak
[8] ZerrakkiIşık

سوخت و همچنین افزایش بازده گرمایی موتور و کاهش انتشار منوکسیدکربن، دی اکسیدکربن و اکسیدهای ازت در مقایسه با سوخت دیزل خالص شود [۱۰].

زنگ[1] و همکاران در مطالعه‌ای تجربی ویژگی‌های احتراقی و آلایندگی یک موتور تک استوانه دیزل را با کاربرد مخلوط‌های زیست‌دیزل- ن.ب.، زیست‌دیزل- اتانول و زیست‌دیزل-دی‌متیل فوران را برای سه حالت بازخورانی گازهای خروجی و بارهای مختلف موتور مطاله کردند. آنها دریافتند که در مقایسه با کاربرد دیزل خالص، بازده گرمایی حاصل از احتراق زیست‌دیزل خالص و مخلوط‌های سوخت مورد نظر در بار کم موتور کمتر است، اما با افزایش بار و افزایش نسبت EGR بازده گرمایی این مخلوط‌های سوخت نسبت به دیزل خالص بیشتر است. همچنین دود خروجی حاصل از احتراق زیست‌دیزل خالص و یا مخلوط‌های سوخت کمتر از دیزل بوده و HC و CO تولیدی آنها در حالت کم‌بار بیشتر از دیزل بوده ولی در حالت تمام‌بار کمتر از سوخت دیزل است. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که مخلوط سوخت حاوی ۵۰ درصد ن.ب. یا دی‌متیل فوران، بترتیب سبب کاهش دوده تولیدی به مقدار ۷۹ و ۹۹,۴ درصد نسبت به سوخت دیزل خالص می‌شود [۱۱].

آتمانلی[2] و همکاران تعیین مخلوط بهینه دیزل- بوتانول- روغن پنبه را برای شرایط کاری یک موتور دیزل چهار استوانه و برای ویژگی‌های توان ترمزی، گشتاور ترمزی، BSFC، فشار مؤثر متوسط ترمزی و گازهای خروجی با استفاده از روش سطح پاسخ بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مخلوط بهینه بدست آمده حاوی ۶۵,۵ درصد دیزل، ۲۳,۱ درصد ن.ب. و ۱۱,۴ درصد روغن پنبه خواهد بود. همچنین نتایج ویژگی‌های عملکردی موتور نشان داد که توان ترمزی، گشتاور، بازده گرمایی ترمزی و فشار مؤثر متوسط ترمزی با کاربرد مخلوط دیزل- بوتانول- روغن پنبه در مقایسه با سوخت دیزل کاهش می‌یابد هر چند BSFC همراه با افزایش خواهد بود. از طرف دیگر نتایج مشخص کرد که انتشار آلاینده‌های NOx ، CO و HC با کاربرد مخلوط مورد نظر بترتیب ۱۱، ۴۵ و ۸۱ درصد کاهش می‌یابد [۱۲].

توتاک[3]و همکاران در مطالعه‌ای بازده گرمایی داخلی[4] و فشار مؤثر متوسط داخلی در یک موتور دیزل پاشش مستقیم را با کاربرد مخلوطهای سوخت دیزل-اتانول و زیست‌دیزل-اتانول مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در حالت استفاده از مخلوط دیزل-اتانول بیشترین بازده گرمایی داخلی برای مخلوط حاوی بیش از ۳۵ درصد حاصل می‌شود که این در مورد مخلوط زیست‌دیزل-اتانول هم حاصل می‌شود. همچنین بیشترین مقدار انتشار اکسیدهای ازت برای مخلوط دیزل-اتانول به مقدار ۵,۵ گرم بر کیلووات ساعت رخ می‌دهد. به علاوه برای هر دو مخلوط مقدار هیدروکربن‌های نسوخته با افزایش اتانول تا مقدار ۳۵ درصد در مخلوط سوخت افزایش می‌یابد [۱۳].

ابراهیم[5] در تحقیقی بازدهی و ویژگی‌های احتراق یک موتور دیزل با کاربرد مخلوط‌های بوتانول- زیست‌دیزل- دیزل را بررسی کرد. در این تحقیق مقایسهٔ بازدهی، ویژگی‌های احتراق، انتشار اکسیدهای ازت و پایداری موتور دیزل بر روی یک موتور تک استوانه پاشش مستقیم در سرعت ۱۵۰۰ د.د.د. و شرایط بار مختلف انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بهینه‌ترین حالت سوخت در همه آزمایش‌ها، استفاده از مخلوطی حاوی ۵۰ درصد بوتانول بوده که باعث افزایش ۶,۵ درصدی بازده گرمایی و کاهش ۵ درصد BSFC در مقایسه با سوخت دیزل خالص می‌شود [۱۴].

جامروزیک[6] اثر استفاده از الکل متانول در مخلوط سوخت متانول-دیزل را بر روی بازده و انتشار آلاینده‌ها در موتوری دیزلی پاشش مستقیم بررسی کرد. آزمایش‌های مورد نظر در یک موتور تک استوانه با مخلوط صفر تا ۴۰ درصد الکل انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش ۳۰ درصدی متانول در مخلوط سوخت اثرات مثبتی در بازده گرمایی موتور مشاهده شده و علاوه بر آن باعث کاهش منوکسیدکربن و همچنین کاهش هیدروکربن و دی اکسیدکربن شده است. اما افزودن متانول به مقداری بیش از ۳۰ درصد باعث افزایش فشار احتراق و ناپایداری در موتور می‌شود [۱۵].

نایار[7] و همکاران تأثیر استفاده از مخلوط‌های ن.ب. و دیزل را روی یک موتور دیزل کوچک و نسبت تراکم متغیر بر متغیرهای کارکردی مختلف در بازدهی موتور و گازهای منتشر شده به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. آنها الگوسازی و بهینه‌سازی عملکرد و انتشار گازها را با روش سطح پاسخ بهینه‌سازی کردند و دریافتند که بهترین بازده و کارایی موتور در نسبت تراکم ۱۸,۵ و زمان پاشش ۲۳ درجه قبل از نقطهٔ مکث بالا[8] با فشار و پاشش۲۱۰ بار به دست می آید. همچنین با به افزودن ۲۰ درصد ن.ب. بهترین بازده با نسبت تراکم ۱۹,۵ در شرایط مشابه بدست می‌آید. نتایج تحقیق نشان داد که مخلوط سوخت دیزل دارای ۲۰ درصد ن.ب.، ۵,۵ درصد بازده گرمایی را بهبود بخشیده و باعث کاهش ۱۶ درصدی دی‌اکسید ازت درحالت تمام بار در مقایسه با سوخت دیزل شده است [۱۶].

مرور پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد مقایسهٔ کاربرد الکل‌های مختلف در موتورهای دیزل در جهت بررسی عملکرد و آلایندگی موتور می‌تواند چشم انداز بهتری از استفاده از این الکل‌ها در موتورهای احتراق داخلی اشتعال تراکمی ایجاد کند. همچنین امروزه با توجه به هزینه و زمان آزمون‌های موتور، استفاده از الگوسازی‌های مختلف موتور برای

[1] Zheng
[2] Atmanlı
[3] Tutak
[4] Indicator
[5] Ibrahim
[6] Jamrozik
[7] Nayyar
[8] Top dead center (TDC)

پیش‌بینی رفتارها و ویژگی‌های موتور بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است.

از طرف دیگر با توجه به تحقیقات پیشین انجام شده، تاکنون تأثیر افزودن درصدهای مختلف الکل‌های نرمال‌بوتال و اتانول در مخلوطهای متفاوت دیزل-زیست‌دیزل و در بازه وسیعی از سرعت دورانی موتور بررسی و مقایسه نشده است. بنابراین در این تحقیق با انجام حداقل آزمون‌های تجربی ضمن تدوین الگوهای ریاضی با استفاده از روش سطح پاسخ[1] تأثیر افزودن درصدهای مختلف الکل‌های نرمال‌بوتال و اتانول در مخلوط‌های متفاوت دیزل- زیست‌دیزل و در سرعت‌های دورانی مختلف موتور بر ویژگی‌های عملکردی (توان ترمزی، گشتاور و BSFC) و آلایندگی (NOx و CO) یک موتور تک استوانه پیش‌بینی، بررسی و مقایسه شده است.

۲- روش کار

۲-۱ سوخت‌های مورد آزمایش

جدول ۱ ویژگی‌های سوخت‌های پژوهش حاضر را نشان می‌دهد:

جدول ۱: ویژگی‌های سوخت‌های مورد استفاده

ویژگی	دیزل	زیست‌دیزل	نرمال بوتانول	اتانول
عدد ستان	۴۶	۵۲	۱۷	۶
ارزش گرمایی پایین (kJ/kg)	۴۲۹۳۰	۳۸۹۰۰	۳۳۰۰۰	۲۹۶۰۰
چگالی (kg/m)	۸۴۰	۸۷۹	۸۱۰	۷۹۰
گرانروی در 40°C (mm^2/s)	۴,۰۳	۴,۲	۳,۶	۱,۲
گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)	۲۶۰	۳۰۰	۵۸۵	۸۴۰
درصد وزنی محتوای اکسیژن	–	۱۱	۲۲	۳۵
درصد وزنی محتوای کربن	۸۷	۷۷	۶۵	۵۲

در این تحقیق، زیست‌دیزل حاصل از پسماند روغن پخت و پز برای استفاده در آزمون‌های تجربی به مقدار لازم از آزمایشگاه بیوانرژی دانشگاه تربیت مدرس تهیه شد. همچنین اتانول و ن.ب. با مقدار خلوص ۹۵٪ و سوخت دیزل (گازوئیل) خریداری شدند.

[1] Response Surface Method
[2] Eddy Current

ویژگی‌های سوخت زیست‌دیزل از آزمایشگاه بیوانرژی استعلام شد. همچنین ویژگی‌های سوخت دیزل از شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران استخراج گردید. ویژگی‌های الکل‌های اتانول و ن.ب. هم با توجه به تحقیقات انجام شده قبلی و هم اطلاعات شرکت‌های پخش کننده مدنظر قرار گرفت.

۲-۲ موتور مورد آزمایش

در این تحقیق آزمون‌های موتور در اتاق آزمون موتور دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد که موتور مورد استفاده، یک موتور تک استوانهٔ دیزل LOMBARDINI از نوع 3LD 510 ساخت کشور ایتالیا است (شکل ۲). ویژگی‌های فنی موتور در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول۲: ویژگی‌های فنی موتور

قطر استوانه	۸۵ میلیمتر
پیمایش سمبه	۹۰ میلیمتر
توان بیشینه	۷,۳ کیلووات در ۳۰۰۰ د.د.د.
گشتاور بیشینه	۳۳,۵ نیوتن‌متر در ۱۸۰۰ د.د.د.
نسبت تراکم	۱۷,۵
سامانهٔ خنک‌کاری	هواخنک
حجم	۵۱۰ سانتی‌متر مکعب

۲-۳ اندازه‌گیری توان، گشتاور و آلایندگی

در این تحقیق برای اندازه‌گیری ویژگی‌های عملکردی موتور (توان و گشتاور ترمزی) در شرایط اعمال بار کامل و مهار دورهای مشخصی از موتور از لگام ترمز جریان‌گردابی[2] استفاده شد. همچنین از سامانهٔ اندازه‌گیری سوخت مصرفی به روش وزنی برای اندازه‌گیری مقادیر مصرف سوخت در دورهای مختلف موتور استفاده شد.

به منظور سنجش ویژگی‌های آلایندگی موتور از دستگاه آلاینده‌سنج AVL DiTEST gas 1000 استفاده شد. در این دستگاه از روش NDIR[3] برای اندازه‌گیری مونوکسیدکربن و از روش CLD[4] برای اندازه‌گیری اکسیدهای ازت استفاده می‌شود. ویژگی‌های متغیرهای قابل اندازه‌گیری و محاسبه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. در این تحقیق برای متغیرهای محاسبه شده یعنی توان و BSFC، تحلیل خطا برای هر اندازه‌گیری بر اساس معادلهٔ (۱) محاسبه و متوسط آن در جدول نشان داده شده است:

$$e_R = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial X_1}e_1\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n}e_n\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۱)$$

[3] Non-dispersive infrared
[4] Chemiluminescent detector

که e_R مقدار عدم قطعیت[1] (خطای) متغیر محاسباتی، f تابع متغیر محاسباتی و e_1، e_2 و ... مقدار صحت[2] (خطای) متغیرهای قابل اندازه‌گیری موجود در تابع متغیر محاسبه شده اند.

جدول ۳: ویژگی‌های متغیرهای اندازه گیری و محاسبه شده

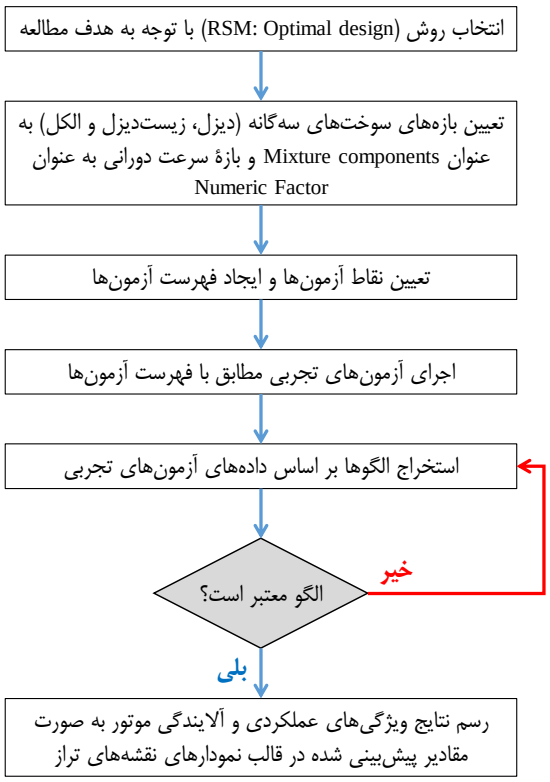
متغیر	دامنه اندازه‌گیری	دقت[3]	صحت/عدم قطعیت
گشتاور (N.m)	۰-۴۰	۱	±۰,۱
دور موتور (د.د.د)	۰-۲۵۰۰	۱	±۱
مصرف سوخت	-	Kg/h ۰,۰۱	± ٪۰,۱
CO	۰ -۱۵ vol ٪	vol ٪۰,۰۱	± ٪۰,۱
NOx	۰ -۵۰۰۰ ppm	ppm ۱ vol	± ۲ ppm
توان	-	-	± ۰,۰۲۴ kW
BSFC	-	-	± ۲,۶ g/kWh

شکل ۱: موتور مورد آزمایش و اتاق آزمون موتور

۲-۴ طراحی آزمایش‌ها

در این تحقیق با توجه به هزینه و زمان‌بر بودن آزمون‌های تجربی موتور از روش طراحی آزمایش‌ها[4] (DOE) استفاده شد که با توجه به هدف مطالعه و وجود سوخت‌های سه‌گانه ترکیبی و دور موتور به عنوان متغیرهای مستقل تحقیق از روش سطح پاسخ (طراحی بهینه ترکیبی[5]) استفاده شد. جدول آزمایش‌ها با در نظر گرفتن بازهٔ سوخت دیزل (۳۰ تا ۱۰۰٪)، سوخت زیست‌دیزل (۰ تا ۵۰٪) و بازه مربوط به الکل‌ها (اتانول و ن.ب.) (۰ تا ۲۰٪) به عنوان Mixture components و همچنین بازهٔ سرعت دورانی موتور (۱۸۰۰-۲۵۰۰ د.د.د.) به عنوان Numeric Factor شامل ۲۸ آزمایش (۱۸ model points، ۵ Lack of fit estimation points و ۵ نقطهٔ تکرارپذیر) توسط نرم‌افزار Design Expert طراحی شد که در جدول ۴ نشان داده شده است. لازم به توضیح است که در این تحقیق آزمون‌های موتور در بار کامل موتور[6] انجام شد.

پس از بدست آوردن داده‌های آزمون‌های تجربی، الگوهای ریاضی بر مبنای تغییرات متغیرهای مستقل آزمون شامل درصد ترکیبی سوخت دیزل، زیست‌دیزل و الکل در مخلوط سوخت، سرعت دورانی و پاسخ‌ها شامل ویژگی‌های عملکردی موتور (توان ترمزی و BSFC) و ویژگی‌های آلایندگی موتور (CO، NO_x) تعیین و اعتبار الگوها با استفاده از روش‌های تجزیه واریانس سنجیده شد. در پایان بر مبنای الگوها، تغییرات هر یک از ویژگی‌های عملکردی موتور و آلایندگی موتور بر اساس تغییر مخلوط‌های سوخت، سرعت دورانی به صورت نقشه‌های تراز نشان داده شد. روندنمای مراحل مختلف الگوسازی و بدست آوردن نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: روندنمای مراحل مختلف الگوسازی

جدول ۴: فهرست ۲۸ آزمایش

دیزل (٪)		زیست‌دیزل (٪)		الکل (٪)		سرعت (د.د.د.)	
۴۷,۵	۴۷,۵	۳۷,۵	۳۷,۵	۱۵	۱۵	۲۳۲۵	۱۹۷۵
۷۵	۵۰	۲۵	۵۰	۰	۰	۲۱۵۰	۱۸۰۰

[1] Uncertainty
[2] Accuracy
[3] Resolution
[4] Design of Experiments (DoE)
[5] Optimal (Combined) Design
[6] Full Engine Load

۳۰	۸۰	۵۰	۰	۲۰	۲۰	۲۱۵۰	۲۱۵۰
۹۰	۷۷,۵	۰	۱۲,۵	۱۰	۱۰	۲۱۵۰	۲۳۲۵
۵۰	۱۰۰	۵۰	۰	۰	۰	۲۱۵۰	۲۵۰۰
۷۵	۹۰	۲۵	۰	۰	۱۰	۱۸۰۰	۲۵۰۰
۱۰۰	۵۰	۰	۵۰	۰	۰	۱۸۰۰	۲۵۰۰
۸۰	۷۷,۵	۰	۱۲,۵	۲۰	۱۰	۲۱۵۰	۱۹۷۵
۳۰	۸۰	۵۰	۰	۲۰	۲۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰
۵۰	۷۵	۵۰	۲۵	۰	۰	۱۸۰۰	۱۸۰۰
۷۵	۳۰	۲۵	۵۰	۰	۲۰	۲۵۰۰	۱۸۰۰
۸۰	۸۰	۰	۰	۲۰	۲۰	۱۸۰۰	۱۸۰۰
۶۵	۱۰۰	۲۵	۰	۱۰	۰	۱۸۰۰	۲۱۵۰
۵۵	۱۰۰	۲۵	۰	۲۰	۰	۲۵۰۰	۱۸۰۰

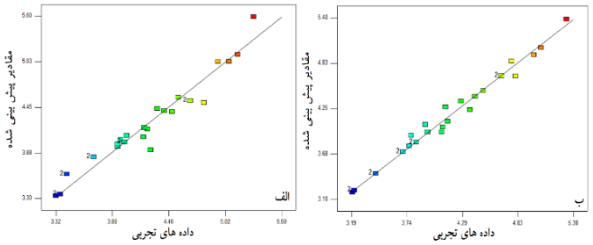
۳- بحث بر روی نتایج

۳-۱ تعیین ضرایب تعیین برای الگوهای بدست آمده

با توجه به الگوهای برازش شده برای هر یک از ویژگی‌های عملکردی و آلایندگی موتور بر اساس نتایج تجربی، ضرایب تعیین (R^2) بدست آمده برای ویژگی‌های توان ترمزی، گشتاور و BSFC و مقادیر CO و NOx با کاربرد مخلوط‌های دیزل-زیست‌دیزل- اتانول بترتیب ۰,۹۶، ۰,۸۹، ۰,۹۲، ۰,۸۹ و ۰,۸۸ حاصل شد. همچنین ضرایب تعیین (R^2) بدست آمده برای ویژگی‌های توان ترمزی، گشتاور و BSFC و مقادیر CO و NOx با کاربرد مخلوط‌های دیزل- زیست‌دیزل- ن.ب. بترتیب ۰,۹۴، ۰,۸۸، ۰,۹۷، ۰,۸۹ و ۰,۹ بدست آمد.

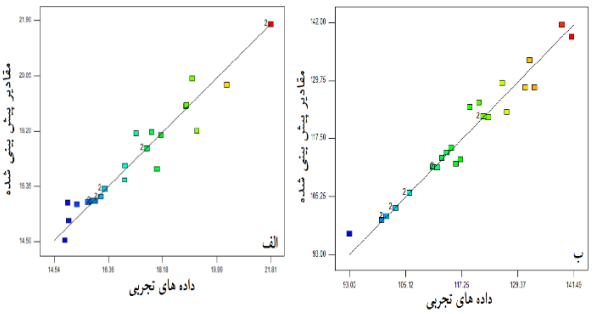
۳-۲ مقایسهٔ مقادیر پیش‌بینی شده و داده‌های تجربی

نمودارهای پراکندگی داده‌های تجربی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده به وسیلهٔ الگوهای بدست آمده در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان داده شده اند.

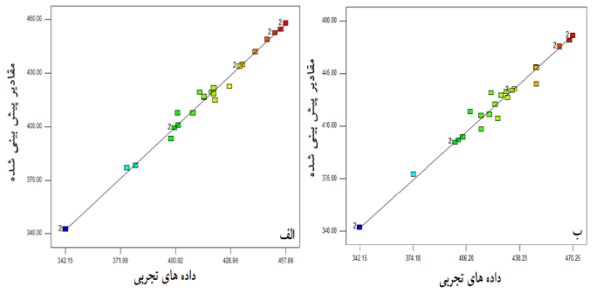


شکل ۳: پراکندگی داده‌های تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط الگو برای ویژگی توان ترمزی موتور (کیلووات) الف) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-بوتانول ب) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-اتانول

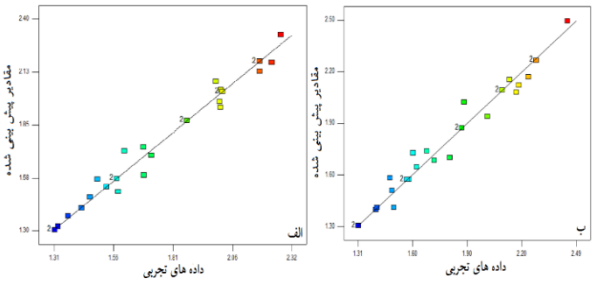
مطابق با نتایج، در همهٔ موارد اختلاف داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های تجربی کمتر از ۵ درصد است. بنابراین با توجه به ضرایب تعیین بدست آمده و نمودارهای مقادیر پیش بینی شده در برابر داده‌های تجربی می‌توان اعتبار الگوهای ارائه شده را تأیید نمود.



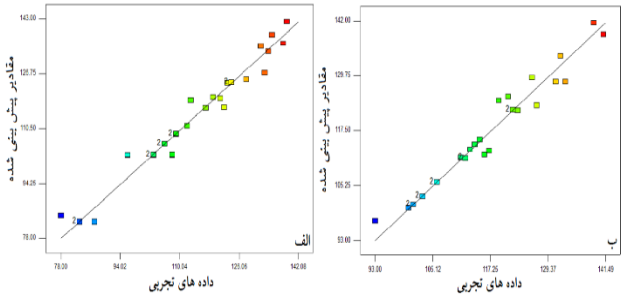
شکل ۴: پراکندگی داده‌های تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط الگو برای ویژگی گشتاور موتور (نیوتن متر) الف) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-بوتانول ب) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-اتانول



شکل ۵: پراکندگی داده‌های تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط الگو برای ویژگی BSFC موتور(گرم بر کیلووات ساعت) الف) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-بوتانول ب) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-اتانول



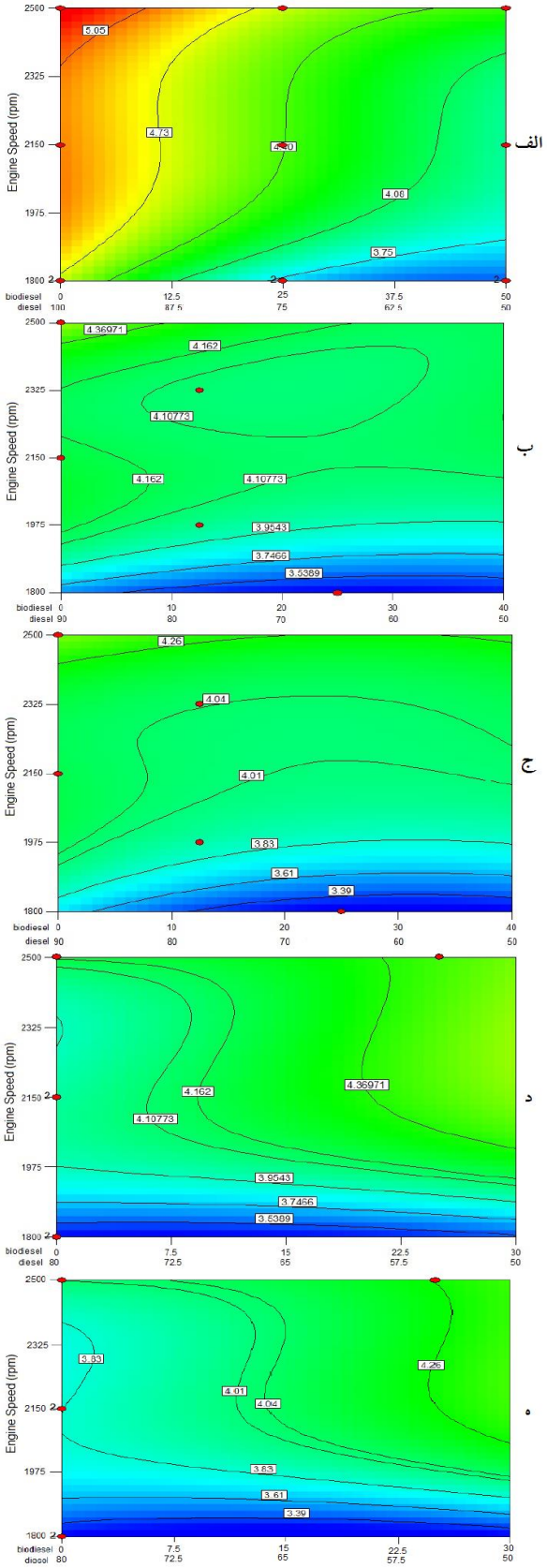
شکل ۶: پراکندگی داده‌های تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط الگو برای ویژگی CO (درصد) الف) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-بوتانول ب) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-اتانول



شکل ۷: پراکندگی داده‌های تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط الگو برای ویژگی NOx (ppm) الف) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-بوتانول ب) مخلوط دیزل-زیست‌دیزل-اتانول

۳-۳ توان ترمزی

شکل ۸ مقادیر پیش‌بینی شده توان ترمزی را نشان می‌دهد.



شکل ۸: نقشهٔ تراز مقادیر توان ترمزی(کیلووات) برای دورهای متفاوت موتور و درصدهای مختلف سوخت‌های دیزل-زیست‌دیزل الف) بدون الکل ب) ۱۰ درصد ن.ب. ج) ۱۰ درصد اتانول د) ۲۰ درصد ن.ب. ه) ۲۰ درصد اتانول

مطابق با شکل ۸ (الف) مشاهده می‌شود که با افزایش درصد زیست‌دیزل در مخلوط دیزل- زیست‌دیزل مقدار توان ترمزی تا ۲۲ درصد کاهش می‌یابد که علت آن می‌تواند ارزش گرمایی کمتر زیست‌دیزل و گرانروی شدیدتر زیست‌دیزل- که شرایط پاشش سوخت و احتراق را بدتر می‌کند- نسبت به سوخت دیزل باشد [۱۷و ۱۸]. هر چند در دورهای تندتر تأثیر مولکول‌های اکسیژن در ساختار زیست‌دیزل همراه با اختلاط بهتر هوا و سوخت سبب شده است که اختلاف با سوخت دیزل خالص به کمتر از ۲۰ درصد برسد [۱۸].

مطابق با نمودارهای ۷ (ب) تا ۷ (د) با افزودن بوتانول و اتانول به مخلوط سوخت مقادیر توان ترمزی نسبت به حالت مخلوط بدون الکل حدوداً ۱۶ درصد کاهش می‌یابد. علت این کاهش، ارزش گرمایی کمتر این الکل‌ها نسبت به سوخت دیزل است [۲۰].

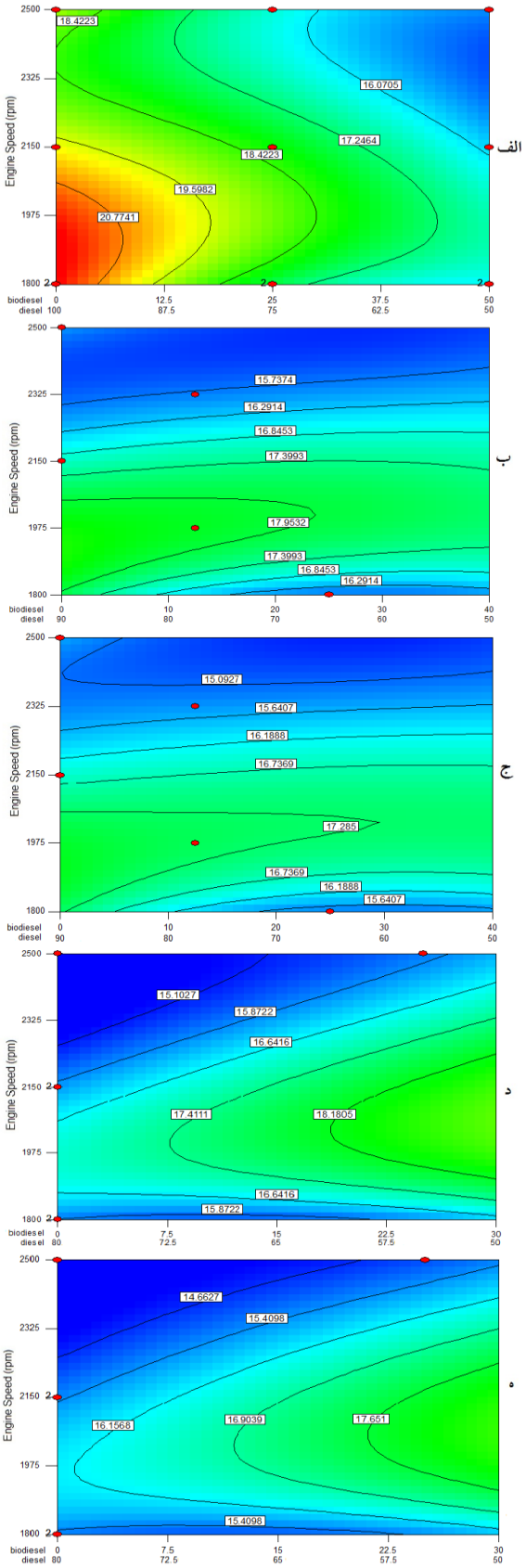
از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که در نسبت‌های بزرگتر سوخت زیست‌دیزل، افزودن اتانول و ن.ب. به مخلوط سوخت (بویژه افزودن ۲۰ درصدی الکل‌ها،) به دلیل وجود اکسیژن زیاد در ساختار مولکولی این دو الکل، شرایط احتراق را خصوصاً در دورهای تندتر بهتر کرده و سبب بهبود نسبی توان ترمزی موتور می شود به طوری که تا اندازه‌ای اثر ارزش گرمایی پایین آنها نسبت به سوخت دیزل پایه جبران می‌شود [۱۹].

همچنین عددستان کوچکتر الکل‌ها می‌تواند پیش‌آمیختگی سوخت و هوا را بیشتر کرده و سبب بهبود توان ترمزی در این شرایط موتور شود [۱۶]. بر اساس نتایج بدست آمده با مقایسهٔ مخلوط‌های حاوی اتانول و ن.ب. مشخص است که توان ترمزی برای مخلوط‌های سوخت حاوی ن.ب. به علت ارزش گرمایی بزرگتر نسبت به اتانول دارای توان ترمزی قویتری است.

۴-۳ گشتاور ترمزی

شکل ۹ مقادیر پیش‌بینی شده گشتاور ترمزی را نشان می‌دهد. در اینجا نیز مانند توان ترمزی در شکل ۹ (الف) مشاهده می‌شود که با افزایش درصد زیست‌دیزل به مخلوط سوخت دیزل-زیست‌دیزل مقدار گشتاور از ۱۸ تا ۲۲ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با افزودن ن.ب. و اتانول به مخلوط سوخت مقادیر گشتاور ترمزی نسبت به حالت بدون الکل از ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش می‌یابد که علت آن ارزش گرمایی ضعیف‌تر این الکل‌ها نسبت به سوخت دیزل است [۱۹].

از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که در درصدهای بزرگتر زیست‌دیزل افزودن سوخت‌های اتانول و ن.ب. (بویژه افزودن ۲۰ درصدی الکل‌ها) به مخلوط سوخت، گشتاور موتور اندکی بهبود یافته است که علت آن را باید در وجود مولکول‌های اکسیژن در ساختار زیست‌دیزل و الکل‌ها و تأثیر مثبت تاخیر در اشتعال بیشتر سوخت‌های حاوی الکل بر روی پیش آمیختگی سوخت و هوا دانست [۲۱].



شکل ۹: نقشهٔ تراز مقادیر گشتاور ترمزی (نیوتن متر) برای دورهای متفاوت موتور و درصدهای مختلف سوخت‌های دیزل-زیست‌دیزل الف) بدون الکل ب) ۱۰ درصد ن.ب. ج) ۱۰ درصد اتانول د) ۲۰ درصد ن.ب. ه) ۲۰ درصد اتانول

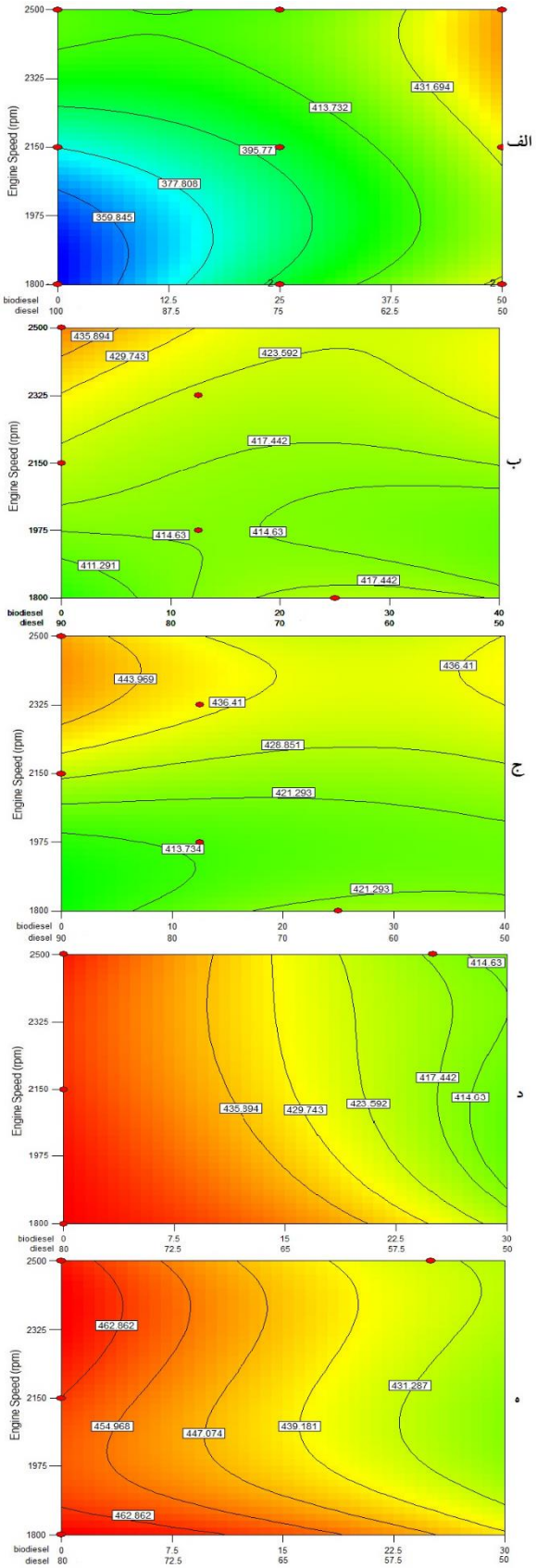
بر اساس نتایج بدست آمده با مقایسهٔ مخلوط‌های حاوی اتانول و ن.ب. مشخص است که مقدار گشتاور برای مخلوط‌های سوخت حاوی بوتانول به علت ارزش گرمایی بزرگتر دارای گشتاور قویتری نسبت به مخلوط-های حاوی اتانول است.

۳-۵ BSFC موتور

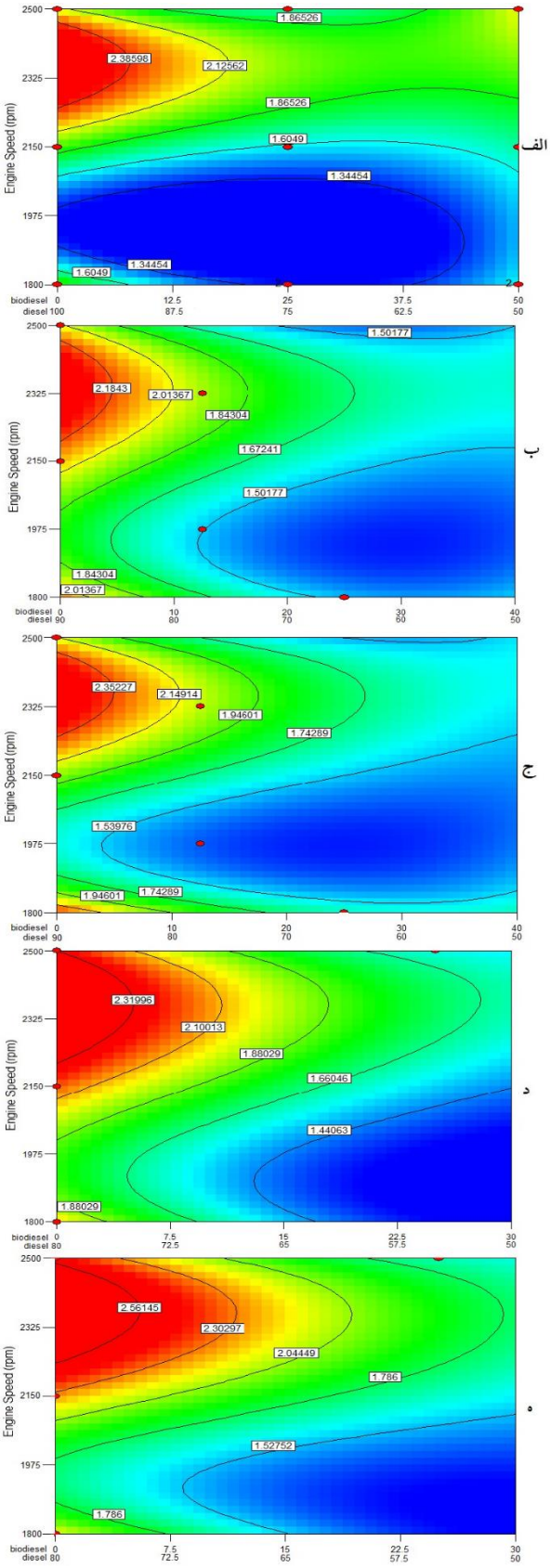
شکل ۱۰ مقادیر پیش‌بینی شده BSFC را نشان می‌دهد. مطابق با نمودار ۱۰ (الف)، با افزایش درصد سوخت زیست‌دیزل در مخلوط سوخت دیزل-زیست‌دیزل،BSFC در حدود ۷ تا ۱۸ درصد افزایش می‌یابد. دلیل این اتفاق ارزش گرمایی کمتر و چگالی بیشتر سوخت زیست‌دیزل است که سبب می‌شود مقدار بیشتری از سوخت مصرف شده و توان کمتری نیز تولید شود و با توجه به وابستگی مستقیم BSFC به توان و نرخ جرمی سوخت مصرفی، BSFC افزایش یابد [۱۸]. مطابق با نمودار مورد نظر با افزایش دور موتور، BSFC تا حدود ۲۰۰۰ د.د.د. کاهش یافته و پس از آن به دلیل مصرف بیشتر سوخت، افزایش تلفات اصطکاکی در موتور و تلفات گرمایی بیشتر به واسطهٔ گازهای خروجی داغتر در دورهای تُندتر این متغیر افزایش می‌یابد [۱۷]. مطابق با شکل ۱۰ (ب) تا ۱۰ (ه) با افزودن الکل به مخلوط سوخت مقدار BSFC به مقدار ۵ تا ۹ درصد نسبت به حالت بدون الکل افزایش می‌یابد که علت آن ارزش گرمایی و فشار متوسط احتراق پایین‌تر ناشی از گرمای نهان تبخیر بزرگتر الکل‌های ن.ب. و اتانول نسبت به سوخت دیزل پایه است که منجر به تولید توان کمتر و BSFC بیشتر می‌شود [۲۲ و۲۳]. مطابق با نتایج تأثیر افزودن۲۰ درصدی الکل‌های اتانول و ن.ب. در مخلوط سوخت در نسبت‌های بزرگ زیست‌دیزل سبب شده است که مقدار BSFCبویژه در دورهای تندتر به علت تأثیر مثبت وجود مولکول‌های اکسیژن در ساختار مولکولی الکل‌ها و زیست‌دیزل و تاخیر در اشتعال بیشتر مخلوط‌های حاوی الکل در اختلاط بیشتر هوا و سوخت نسبت به مخلوط‌های بدون الکل کمی بهبود یابد [۲۴ و ۲۵]. همچنین با مقایسهٔ BSFC مخلوط‌های سوخت حاوی اتانول و ن.ب. مشاهده می‌شود که مقادیر BSFC برای حالت استفاده از ن.ب. کمتر از اتانول است.

۳-۶ منوکسید کربن (CO)

شکل ۱۱ مقادیر پیش‌بینی شده آلاینده مونوکسیدکربن را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص است که با افزایش دور موتور مقدار آلاینده مونوکسیدکربن افزایش یافته است که علت آن می‌تواند کاهش بازده حجمی موتور در دورهای خیلی تند موتور باشد [۲۶ و ۲۷]. مطابق با شکل ۱۱ (الف) با افزایش درصد زیست‌دیزل در مخلوط سوخت دیزل-زیست‌دیزل، مقادیر مونوکسیدکربن به طور متوسط ۱۳ درصد کاهش می‌یابد که علت آن وجود مولکول‌های اکسیژن در ساختار مولکولی و مقادیر پایین‌تر کربن زیست‌دیزل نسبت به سوخت دیزل است که سبب تولید CO کمتر می‌شود [۱۸].



شکل ۱۰: نقشهٔ تراز مقادیر BSFC (g/kWh) برای دورهای متفاوت موتور و درصدهای مختلف سوخت‌های دیزل-زیست‌دیزل الف) بدون الکل ب) ۱۰ درصد ن.ب. ج) ۱۰ درصد اتانول د) ۲۰ درصد ن.ب. ه) ۲۰ درصد اتانول



شکل ۱۱: نقشهٔ تراز مقادیر مونوکسید کربن (درصد) برای دورهای متفاوت موتور و درصدهای مختلف سوخت‌های دیزل-زیست‌دیزل الف) بدون الکل ب) ۱۰ درصد ن.ب. ج) ۱۰ درصد اتانول د) ۲۰ درصد ن.ب. ه) ۲۰ درصد اتانول

با توجه به نتایج به دست آمده به طور کلی با افزودن اتانول و ن.ب. مقادیر مونوکسیدکربن به علت کاهش دمای احتراق ناشی از گرمای نهان تبخیر بزرگ الکل‌ها از ۷ تا ۱۲ درصد نسبت به حالت بدون الکل افزایش می‌یابد که این در خصوص اضافه‌کردن ۲۰ درصدی این الکل‌ها بیشتر مشهود است. هر چند در دورهای تندتر به علت اختلاط بهتر سوخت و هوا و همراه شدن مولکوهای اکسیژن موجود در ن.ب. و اتانول در فرایند احتراق و تأثیر عدد ستان ضعیف الکل‌ها در پیش‌آمیختگی سوخت و هوا، تولید آلاینده CO اندکی بهبود می‌یابد [۲۴]. همچنین نتایج نشان می‌دهد مخلوط‌های حاوی اتانول در قیاس با مخلوط‌های حاوی ن.ب. سبب انتشار بیشتر منوکسیدکربن می‌شود که علت آن گرمای نهان تبخیر بزرگتر اتانول نسبت به ن.ب. است.

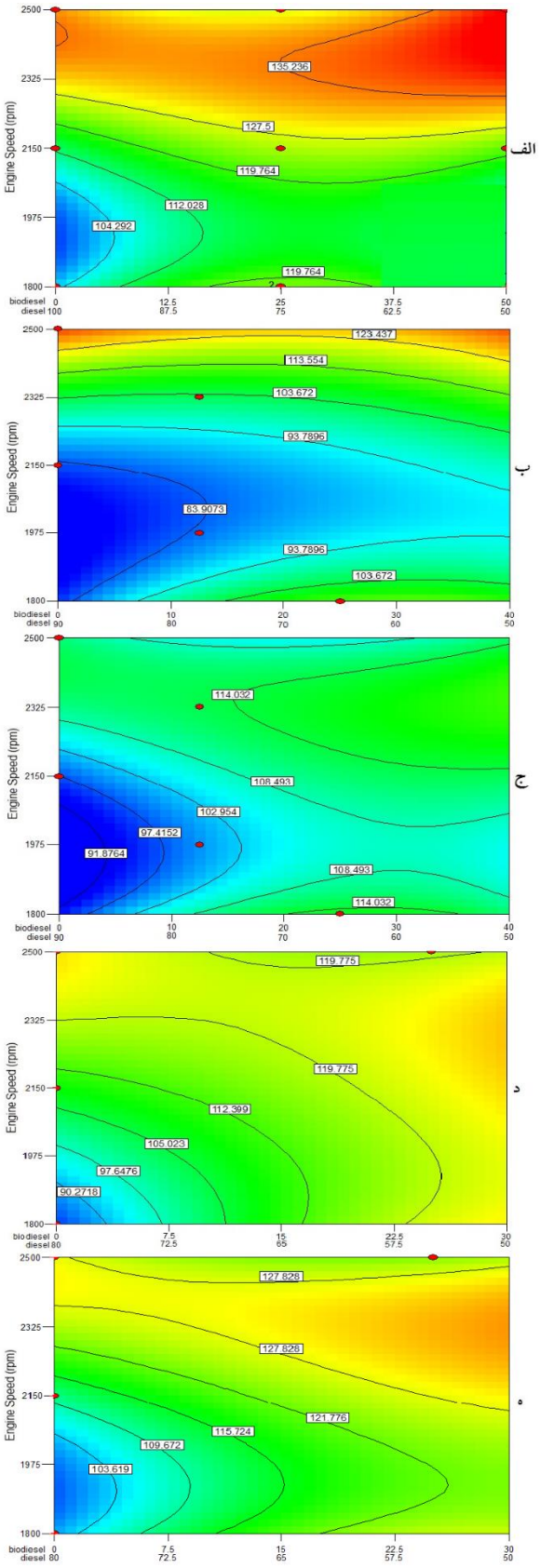
۷-۳ اکسیدهای ازت (NO_x)

شکل ۱۲ مقادیر پیش‌بینی شده آلایندهٔ اکسیدهای ازت را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین مقدار اکسیدهای ازت برای مخلوط‌های دیزل-زیست‌دیزل بدون افزودن الکل اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد زیست‌دیزل مقدار اکسیدهای ازت به علت وجود اکسیژن در دسترس در ساختار مولکولی زیست‌دیزل به مقدار ۶ تا ۱۴ درصد افزایش می‌یابد [۱۸].

همچنین با افزایش دور موتور نیز به علت افزایش دمای ناشی از احتراق مقادیر اکسیدهای ازت افزایش می‌یابد [۲۸]. مطابق با نتایج بدست آمده بطور کلی با افزودن اتانول و ن.ب. به مخلوط دیزل- زیست‌دیزل انتشار آلایندهٔ اکسیدهای ازت به طور متوسط ۱۱ درصد کاهش می‌یابد که این کاهش برای حالت استفاده از الکل ۱۰ درصد بیشتر قابل مشاهده است- و علت آن را باید کاهش دمای احتراق ناشی از گرمای نهان تبخیر الکل‌های ن.ب. و اتانول و همینطور کاهش زمان ماندگاری در بیشترین دمای محفظهٔ احتراق به علت عددستان پایین و فراریت زیاد الکل‌ها دانست [۱۶ و ۲۹].

از طرف دیگر افزودن ۲۰ درصدی الکل‌های اتانول و ن.ب. منجر به افزایش مقادیر NOx نسبت به حالت ۱۰ درصدی می‌شود که دلیل آن را باید در افزایش اکسیژن در دسترس در ساختار مولکولی اتانول و ن.ب. و واکنش آن با نیتروژن هوا به خصوص در دورهای تُند موتور دانست [۲۴]. با توجه به نتایج بدست آمده، افزودن اتانول به مخلوط سوخت با وجود گرمای نهان تبخیر بزرگتر نسبت به ن.ب. سبب انتشار بیشتر اکسیدهای ازت به علت درصد بزرگتر مولکول‌های اکسیژن در ساختار آن نسبت به مخلوط‌های حاوی بوتانول (بخصوص در دورهای تُند موتور) می‌شود.



شکل ۱۲: نقشهٔ تراز مقادیر اکسیدهای ازت (ppm) برای دورهای متفاوت موتور و درصدهای مختلف سوخت‌های دیزل-زیست‌دیزل الف) بدون الکل ب) ۱۰ درصد ن.ب. ج) ۱۰ درصد اتانول د) ۲۰ درصد نرمال-بوتانول ه) ۲۰ درصد اتانول

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ویژگی‌های عملکردی (توان ترمزی و BSFC) و ویژگی‌های آلایندگی (NOx و CO) یک موتور دیزل یک موتور دیزل تک استوانه با افزودن الکل‌های اتانول و ن.ب. به مخلوط سوخت زیست‌دیزل- دیزل به وسیله روش سطح پاسخ پیش‌بینی و مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که الگوهای برازش شده قابلیت پیش‌بینی ویژگی‌های عملکردی و آلایندگی موتور را دارند.

بر اساس نتایج بدست آمده با افزودن ن.ب. و اتانول به مخلوط سوخت به طور کلی مقادیر توان و گشتاور ترمزی کاهش می‌یابد هر چند که با افزایش بیشتر سوخت زیست‌دیزل همراه با افزودن اتانول و ن.ب. به مخلوط سوخت (بخصوص افزودن ۲۰ در صدی) شرایط احتراق در دورهای متوسط و تندتر، بهتر شده و توان ترمزی موتور اندکی بهبود می‌یابد. همچنین مطابق با نتایج، با افزودن الکل به مخلوط سوخت، مقدار BSFC افزایش می‌یابد. از طرف دیگر تأثیر افزودن الکل‌های اتانول و ن.ب. در BSFC موتور همراه با افزایش در صد زیست‌دیزل در مخلوط سوخت سبب بهبود اندک BSFC بویژه در دورهای تندتر می‌شود. با مقایسهٔ مخلوط‌های سوخت حاوی اتانول و ن.ب. مشاهده می‌شود که مقادیر BSFC برای حالت استفاده از ن.ب. کمتر از اتانول است. با توجه به نتایج به دست آمده به طور کلی با افزودن اتانول و ن.ب. مقدار مونوکسید کربن به علت کاهش دمای احتراق ناشی از گرمای نهان تبخیر بزرگ الکل‌ها افزایش می‌یابد که این در خصوص اضافه کردن ۲۰ درصدی این الکل‌ها بیشتر مشهود است. هر چند در دورهای تند، تولید آلایندهٔ مونوکسیدکربن اندکی بهبود می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مخلوط‌های حاوی اتانول در قیاس با مخلوط‌های حاوی ن.ب. سبب انتشار بیشتر منوکسیدکربن می‌شود که علت آن گرمای نهان تبخیر بزرگتر اتانول نسبت به ن.ب. است.

مطابق با نتایج بدست آمده بطور کلی با افزودن اتانول و ن.ب. به مخلوط سوخت دیزل-زیست‌دیزل انتشار آلایندهٔ اکسیدهای ازت نسبت به مخلوط دیزل-زیست‌دیزل کاهش می‌یابد که این موضوع برای حالت استفاده از الکل ۱۰ در صد بیشتر مشهود است. از طرف دیگر افزودن ۲۰ درصدی الکل‌های اتانول و ن.ب. منجر به افزایش مقادیر اکسیدهای ازت نسبت به حالت ۱۰ درصدی می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده، افزودن اتانول به مخلوط سوخت نسبت به ن.ب. سبب انتشار بیشتر اکسیدهای ازت به خصوص در دورهای تُند موتور می‌شود.

مراجع و منابع

[1] K. Muralidharan, D. Vasudevan, K. N. Sheeba, Performance, emission and combustion characteristics of biodiesel fueled variable compression ratio engine, Energy, Vol. 36, No. 8, pp. 5385-5393.

[2] X.J. Man, C.S. Cheung, Z. Ning, Influence of engine load and speed on regulated and unregulated emissions of a diesel engine fueled with diesel fuel blended with waste cooking oil biodiesel. Fuel, Vol. 180, pp. 41-49, 2016

[3] H. Kuszewski, Experimental investigation of the effect of ambient gas temperature on the autoignition properties of ethanol–diesel fuel blends, Fuel, Vol. 214, pp. 26–38, 2018

[4] P. Patakova, B. Branska, Z. Lin, P. Wu, H. Liu, M. Drahokoupil, Y. Zhou, L. Paulova, J. Zhang, K. Melzoch, Microbial production of butanol from food industry waste, Food Industry Wastes (Second Edition), Chapter 8, pp.163-180, 2020

[5] Z. Chen, J. Liu, Z. Han, B. Du, Y. Liu, C. Lee, Study on performance and emissions of a passenger-car diesel engine fueled with butanol-diesel blends, Energy, Vol.55, pp. 638-646, 2013

[6] G. Labeckas, S. Slavinskas, M. Mazeika, The effect of ethanol–diesel–biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine, Energy Conversion and Management, Vol. 87, pp. 698–720, 2014

[7] N. Yilmaz, F. M. Vigil, K. Benalil, S. M. Davis, A. Calva, Effect of biodiesel–butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine, Fuel, Vol.135, pp. 46–50, 2014

[8] Z. Zheng, L. Yue, H. Liu, Y. Zhu, X.Zhong, M. Yao. Effect of two-stage injection on combustion and emissions under high EGR rate on a diesel engine by fueling blends of diesel/gasoline, diesel/n-butanol, diesel/gasoline/n-butanol and pure diesel, Energy Conversion and Management, Vol.90, pp.1-11, 2015

[9] A. Murcak, C. Hasimoglu, I. Cevik, H. Kahraman, Effect of injection timing to performance of a diesel engine fuelled with different diesel–ethanol mixtures, Fuel, Vol.153, pp. 569–577, 2015

[10] M. Zerrakki Isik, H. Bayındır, B. Iscan, H. Aydın, The effect of n-butanol additive on low load combustion, performance and emissions of biodiesel-diesel blend in a heavy duty diesel power generator Journal of the Energy Institute, Vol.90, No. 2, pp. 174-184, 2017

[11] Z .Zheng, X. Wang, X. Zhong, B. Hu, H. Liu, M.Yao, Experimental study on the combustion and emissions fueling biodiesel/n-butanol, biodiesel/ethanol and biodiesel/2,5-dimethylfuran on a diesel engine, Energy, Vol. 115, pp. 539-549, 2016

[12] A. Atmanlı, B. Yüksel, E. İleri, A. Deniz Karaoglan, Response surface methodology based optimization of diesel–n-butanol –cotton oil ternary blend ratios to improve engine performance and exhaust emission characteristics, Energy Conversion and Management, Vol. 90, pp. 383-394, 2015

[13] W .Tutak, A. Jamrozik, M. Pyrc, M. Sobiepański, A comparative study of co-combustion process of diesel-ethanol and biodiesel-ethanol blends in the

direct injection diesel engine, Applied Thermal Engineering, Vol. 117, pp. 155-163, 2017
[14] A .Ibrahim, Performance and combustion characteristics of a diesel engine fuelled by butanol–biodiesel–diesel blends, Applied Thermal Engineering, Vol. 103, pp. 651-659, 2016
[15] A .Jamrozik, The effect of the alcohol content in the fuel mixture on the performance and emissions of a direct injection diesel engine fueled with diesel-methanol and diesel-ethanol blends, Energy Conversion and Management, Vol. 148, pp. 461-476, 2017
[16] A. Nayyar, D. Sharma, S. Lal Soni, A. Mathura, Characterization of n-butanol diesel blends on a small size variable compression ratio diesel engine: Modeling and experimental investigation, Energy Conversion and Management, Vol. 150, pp. 242-258, 2017
[17] A. R. Shirneshan, M. Almassi, B. Ghobadian, G. H Najafi, Investigating the effects of biodiesel from waste cooking oil and engine operating conditions on the diesel engine performance by response surface methodology, Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Mechanical Engineering, Vol. 38, pp. 289-301, 2014
[18] A. Shirneshan, B. Hosseinzadeh Smani, B. Ghobadian, Optimization of biodiesel percentage in fuel mixture and engine operating conditions for diesel engine performance and emission characteristics by Artificial Bees Colony Algorithm, Vol. 184, pp. 518-526, 2016
[19] E. G. Giakoumis, C. D. Rakopoulos, A. M. Dimaratos, D. C. Rakopoulos, Exhaust emissions with ethanol or n-butanol diesel fuel blends during transient operation: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 17, pp. 170–190, 2013
[20] O. Armas, R. García-Contreras, Á. Ramos, Pollutant emissions from engine starting with ethanol and butanol diesel blends, Fuel Processing Technology, Vol. 100, pp. 63-72, 2012
[21] L. Wei, C.S. Cheung, Z. Ning, Effects of biodiesel-ethanol and biodiesel-butanol blends on the combustion, performance and emissions of a diesel engine, Energy, Vol.155, pp. 957-970, 2018
[22] Effects of ethanol–diesel fuel blends on the performance and exhaust emissions of heavy duty DI diesel engine, Vol. 49, pp. 3155–3162, 2008
[23] D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, E. G. Giakoumis, R. G. Papagiannakis, D. C. Kyritsis, Influence of properties of various common bio-fuels on the combustion and emission characteristics of high-speed DI (direct injection) diesel engine: Vegetable oil, bio-diesel, ethanol, n-butanol, diethyl ether, Energy, Vol. 73, pp. 354-366, 2014
[24] P. Yang, Y. Lin, K. C. Lin, S. Jhang, S. Chen, C. Wang, Y. Lin, Comparison of carbonyl compound emissions from a diesel engine generator fueled with blends of n-butanol, biodiesel and diesel, Energy, Vol. 90, pp. 266-273, 2015
[25] S. Dong, X. Cheng, B. Ou, T. Liu, Z. Wang, Experimental and numerical investigations on the cyclic variability of an ethanol/diesel dual-fuel engine, Fuel, Vol.186, pp. 665-673, 2016
[26] W.W., Pulkrabek, Engineering fundamentals of the internal combustion engine, Prentice Hall, New Jersey, United States, 1997
[27] R.Mohsin, Z.A.Majid, A.H.Shihnan, N.S.Nasri, Z.Sharer, Effect of biodiesel blends on engine performance and exhaust emission for diesel dual fuel engine, Energy Conversion and Management, Vol. 88, pp. 821-828, 2014
[28] Z. Utlu, M. S. Kocak, The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions. Renewable Energy, Vol. 33, pp.1936–1941, 2008
[29] J. Xiao, M. Jia, Y. Chang, Y. Li, Z. Xu, G. Xu, H. Liu, T. Wang, Numerical optimization and comparative study of n-butanol concentration stratification combustion and n-butanol/diesel reactivity stratification combustion for advanced compression ignition (CI) engine, Fuel, Vol. 103, pp. 83-97, 2018

The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineresearch.ir

Prediction and Comparison of the Effect of N-butanol and Ethanol Addition to the Biodiesel-diesel Fuel Mixture on the Performance and Emissions Characteristics of a Diesel Engine

M. Ataripour[1], A. Shirneshan[2, 3*]

[1] *Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, m.ataripour@gmail.com*
[2] *Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, arshirneshan@yahoo.com*
[3] *Aerospace and Energy Conversion Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran*
[*] *Corresponding Author*

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 19 March 2021
Accepted: 4 July 2021

Keywords:
Ethanol
N-butanol
Performance
Emission
RSM

ABSTRACT

The main objective of this research is to study the effects of n-butanol and ethanol addition to the biodiesel-diesel fuel mixture on the performance and emission characteristics of a CI engine. The experimental tests were performed on a diesel engine. The RSM (Response Surface Methodology) method was used to develop mathematical models based on experimental data. According to the results, the addition of butanol and ethanol to the fuel mixture generally reduces the brake power and torque up to 16%. However, with a further increase in biodiesel percentage with the addition of ethanol and butanol to the fuel mixture, the power and torque were improved slightly. Also, the addition of alcohols to the fuel mixture increases the BSFC by 5 to 9%. On the other hand, the addition of ethanol and n-butanol along with increasing the percentage of biodiesel in the fuel mixture could improve the BSFC, especially at higher RPMs. Comparing fuel mixtures containing ethanol and n-butanol, it was observed that the BSFC values in the case of using normal butanol are less than ethanol. According to the results, with the addition of ethanol and n-butanol, the carbon monoxide emission increases by 7 to 12%. However, it was improved in higher RPMs. The results also showed that ethanol-containing mixtures emitted more CO than that n-butanol-containing mixtures. According to the results by the addition of ethanol and n-butanol to the diesel-biodiesel fuel blends, the emission of nitrogen oxides is reduced by an average of 11% compared to the diesel-biodiesel mixture. However, the addition of ethanol to the fuel blends produces more NOx than that of n-butanol, especially at high engine speeds.

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