



بررسی تجربی اثر چگالی شار مغناطیسی بر مصرف سوخت و آلاینده‌ها در موتور دیزل

ادریس رحمتی^۱، نصرت‌اله سرلک^۲، هادی زارعی دارانی^۳، ادیب سوزنی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، Edres.rahmati@gmail.com

^۲ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد الیگودرز، لرستان، ایران، nosratsarlak@yahoo.com

^۳ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، h.zareie@modares.ac.ir

^۴ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران، تهران، ایران، adib.souzani@ut.ac.ir

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۹ فروردین ۱۴۰۱

پذیرش: ۰۵ مرداد ۱۴۰۱

کلیدواژه‌ها:

آزمایش مغناطیسی

موتور استعال تراکمی

مصرف سوخت

آلاینده‌ها

بهینه‌سازی

هدف از این مطالعه بررسی اثر چگالی شار مغناطیسی (۶۰۰۰ گاوس) بر مصرف سوخت و آلاینده‌ها در موتور دیزل بود. آزمایش‌ها در فواصل مختلف آهنربا در مسیر سوخت (۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر) و سرعت‌های مختلف موتور (۱۸۰۰، ۲۱۰۰، ۲۴۰۰ و ۲۷۰۰ د.د.) انجام شد. کربن مونواکسید (CO)، هیدروکربن نسوخته (UHC)، دی‌اکسید کربن (CO₂)، نیتروژن اکسید (NO_x) و مصرف سوخت به عنوان صفات مورد بررسی انتخاب شدند. طبق نتایج به‌دست‌آمده بیشترین کاهش کربن مونواکسید در ترکیب سطوح ۱۸۰۰ د.د. و ۴۰ سانتی‌متر مشاهده شد که به میزان ۶۷ درصد در مقایسه با نمونه شاهد کاهش پیدا کرد. کمترین مقدار هیدروکربن نسوخته در سرعت ۱۸۰۰ و فاصله ۴۰ سانتی‌متری آهنربا با مقدار ۱۳۱/۳۳ مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار اکسید نیتروژن در ترکیب سطوح ۱۸۰۰-۲۰، ۱۸۰۰-۴۰، ۲۱۰۰-۴۰ به ترتیب با مقدار ۵۹، ۵۷ و ۵۶ ppm مشاهده شد. میزان مصرف سوخت در بیشترین سرعت موتور و در فواصل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری آهنربا از موتور، به ترتیب ۳/۰۲۳، ۳/۲۳ و ۳/۲۵ لیتر بر ساعت مشاهده شد که این میزان به ترتیب ۱۲، ۶/۱ و ۵/۵۲ درصد در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافت. روش سطح پاسخ برای بهینه‌کردن شرایط آزمایش به کار گرفته شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده شرایط بهینه در دور موتور ۱۸۰۰ د.د. و فاصله آهنربا از مسیر سوخت ۳۷ سانتی‌متر به دست آمد. در این شرایط بهینه، مقادیر کربن مونواکسید، هیدروکربن نسوخته، کربن دی‌اکسید، نیتروژن اکسید و مصرف سوخت به ترتیب ۰/۴۹ درصد حجمی، ۱۲۸/۴۵ ppm، ۱/۹۶ درصد حجمی، ۶۱/۳ ppm و ۱/۹۲ لیتر بر ساعت با مطلوبیت ۰/۷ به دست آمد.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

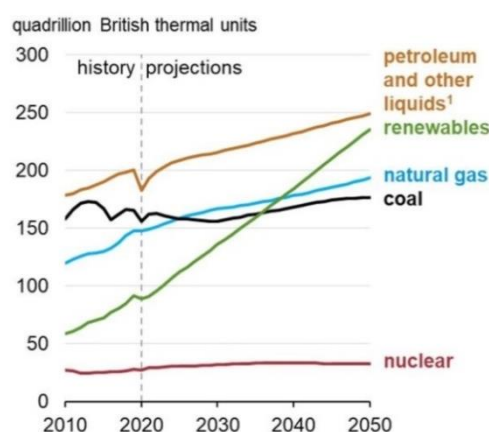
۱- مقدمه

بزرگ‌ترین عوامل آلودگی محیطی ناشی از انتشار گازهای خروجی در نظر گرفته می‌شوند [۱۱-۱۴]. کارشناسان سلامت به این نتیجه رسیده‌اند که آلودگی ناشی از موتورهای دیزل بر سلامتی انسان‌ها تأثیر منفی دارد، علاوه بر آن منجر به باران‌های اسیدی می‌شود. مطالعات نشان داده است که قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های دیزل باعث آسیب ریه و مشکلات تنفسی می‌شود و شواهد مشخصی وجود دارد که این آلاینده‌ها ممکن است باعث سرطان در انسان شود [۱۱ و ۱۵].

ساختار اصلی سوخت دیزل مانند سایر سوخت‌های فسیلی کربن و هیدروژن است. براساس تعادل ترمودینامیکی ایده‌آل، احتراق کامل سوخت دیزل منجر به تولید H_2O و CO_2 در محفظه احتراق می‌شود. با این حال، دلایل زیادی همچون نسبت هوا به سوخت، زمان اشتعال، تلاطم در محفظه احتراق، غلظت هوا به سوخت، دمای احتراق و غیره منجر به تعدادی از آلاینده‌های مضر در حین احتراق شود. از مهمترین آلاینده‌های مضر می‌توان به کربن‌مونواکسید، هیدروکربن‌های نسوخته، اکسیدهای نیتروژن و دوده اشاره کرد. با وجود این که کشور ایران دارای منابع نفتی و فسیلی گسترده‌ای است، اما آلودگی ناشی از مصرف آنها، تجدیدناپذیربودن و افزایش روزافزون تقاضا برای مصرف آنها مستلزم راه‌حل مناسبی برای مدیریت و کاهش مصرف آنهاست. محدودیت منابع فسیلی و تقاضای رو به رشد انرژی در جهان، پژوهش‌گران را به سمت راه‌حل‌های متفاوتی برای کاهش مصرف فرآورده‌های نفتی، کاهش آلاینده‌ها و مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی سوق داده است. دو روش برای غلبه بر مشکلات مذکور وجود دارد: ۱- پیدا کردن منابع انرژی جدید (انرژی‌های نو)، ۲- بهبود عملکرد سامانه‌های مصرف [۱۶-۱۸]. در پژوهش حاضر کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ها از طریق آزمایش مغناطیسی سوخت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بیشتر سوخت‌های مورد استفاده در موتورهای احتراق داخلی به صورت مایع هستند. این سوخت‌ها به طور مؤثر قابل احتراق نیستند تا زمانی که بخار و با هوا ترکیب شوند. به کارگیری این سوخت‌ها در موتور، به مرور زمان باقیمانده کربن به جای می‌گذارند که در نهایت منجر به کاهش بازده موتور، نشر آلاینده‌ها، شتاب ضعیف، لرزش موتور در دور آرام و کاهش بهره‌وری سوخت می‌شود [۲۱-۱۷]. به دلیل خاصیت دیامغناطیسی سوخت جهت‌گیری مولکول‌ها در حالت عادی نامنظم است، استفاده از میدان مغناطیسی با چگالی شار مشخص در مسیر سوخت منجر به جهت‌گیری مناسب مولکول‌ها، گسستن پیوندهای بین هیدروژن و کربن، اختلاط مناسب سوخت با مولکول‌های اکسیژن و اتمیزه شدن سوخت می‌شود. این پدیده منجر به کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ها می‌شود. به طور کلی، هیدروکربن‌های سوخت دیزل به شکل خوشه‌ای (فشرده) در محفظه احتراق وجود دارد. میدان مغناطیسی پیوندهای زنجیره HC را ضعیف و سست می‌کند، به همین دلیل خواص ترموفیزیکی و شیمیایی سوخت تغییر و ذرات کوچک‌تری

امروزه انرژی مهمترین نیاز هر صنعت به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه اقتصادی است. سوخت‌های فسیلی که به عنوان شناخته‌ترین منبع انرژی هستند، بیشترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند [۱]. سوخت‌های فسیلی از قرن ۱۸ به بعد به صورت نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی در حمل و نقل و صنایع مختلف به کار گرفته شده‌اند. تقاضا برای سوخت‌های فسیلی به صورت قابل توجهی در حال افزایش است (شکل ۱) و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد مصرف انرژی تا سال ۲۰۵۰ به دلیل رشد جمعیت و صنعتی شدن کشورهای در حال توسعه دو برابر شود [۲]. سوخت‌های فسیلی منبع کلیدی و غالب برای تمام سامانه‌های انرژی موجود در جهان است. این به دلیل بهترین ماهیت انتخاب شده آن برای اهداف مختلف است [۳ و ۴]. به طور کلی تخمین زده شده است که با نرخ مصرف فعلی، نفت طی ۵۰ سال آینده، گاز طبیعی ۶۵ سال آینده و زغال سنگ حدود ۲۰۰ سال دیگر به اتمام خواهد رسید. در حال حاضر سوخت‌های فسیلی حدود ۸۰ درصد از انرژی جهان را تأمین می‌کنند که در این میان نفت حدود ۴۰ درصد انرژی مورد نیاز کل جهان را به خود اختصاص داده است [۵].



شکل ۱: میزان مصرف انرژی در جهان [۶].

به‌طور عمده از سوخت‌های فسیلی برای راه‌اندازی موتورها در وسایل نقلیه استفاده می‌شود. موتورهای اشتعال تراکمی، موتور اصلی در اغلب وسیله‌های حمل و نقل است [۷ و ۸]، چرا که دارای رانندگی، ماندگاری و قابلیت اطمینان بالا در کنار هزینه عملیاتی کم هستند. این ویژگی‌های مهم باعث می‌شود که این موتورها در خودروهای سنگین به محبوب‌ترین موتورهای تبدیل شوند به هر حال، موتور دیزل ضمن این که تأثیر مثبتی بر رشد اقتصاد و تولید دارد، پیامدهای منفی نیز به همراه دارد [۹]. استفاده مستمر از آن منجر به کاهش و تمام شدن سوخت فسیلی می‌شود از طرف دیگر منجر به ایجاد گازهای مضر می‌شود که عامل اصلی اثر گلخانه‌ای، تغییرات آب‌وهوایی و تخریب لایه ازن است [۱۰]. موتورهای دیزلی به عنوان یکی از

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- سوخت مورد استفاده

در این پژوهش برای انجام تست‌های مورد استفاده سوخت دیزل یورو ۵ استفاده شد. لازم به ذکر است که سوخت مورد استفاده برای هر تست ۱۰۰ میلی‌متر بود. مشخصات سوخت مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات سوخت دیزل مورد استفاده در این پژوهش	
ویژگی‌ها	دیزل
ویسکوزیته سینماتیک (mm ² /s) (۴۰ درجه)	۲/۵
چگالی (g/cm ³) (۲۰ درجه)	۰/۸۳۸
عدد ستان	۵۵

چگالی و ویسکوزیته سینماتیک دیزل توسط دستگاه ویسکومتر (SVM-3000- Anton Paar Austria) اندازه‌گیری شد.

۲-۲- آهنربا

به منظور انجام آزمایش مغناطیسی سوخت، دو آهنربا نئودیم شماره N42 با ابعاد (۱۰×۲۰×۵۰ میلی‌متر) با شدت ۳۰۰۰ گاوس در فواصل مختلفی از مسیر سوخت به کار گرفته شد (شکل ۲).



شکل ۲: آهنربا نئودیمی مورد استفاده در این پژوهش

۲-۳- موتور مورد استفاده

آزمایش‌ها بر روی یک موتور دیزل تک‌سیلندر هوا خنک (Lombardini DIESEL, 3LD 510, Italy) با حداکثر توان ۱۲ اسب بخار انجام شد (شکل ۳). مشخصات موتور دیزل در جدول ۲ آورده شده است. یک دینامومتر (ایران، مبتکران پارس اندیش، WE400) به منظور کنترل بار، گشتاور و سرعت موتور به موتور متصل شد. به منظور بررسی آلایندگی‌های موتور دیزل از جمله کربن‌مونواکسید (CO)، هیدروکربن‌های نسوخته (UHC)، دی‌اکسیدکربن (CO₂) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) از دستگاه AVL DITEST GAS 1000 استفاده شد. لازم به ذکر است که محدوده اندازه‌گیری حسگرها برای اندازه‌گیری NO_x، UHC، CO₂ و CO به ترتیب ۵۰۰- (ppm)، ۲۰۰- (ppm)، ۰-۲۰ (v%) و ۰-۱۵ (v%) بود. همچنین دقت اندازه‌گیری حسگر گازهای خروجی NO_x، UHC، CO₂ و CO به ترتیب ۱۲-۳۲ (ppm)، ۱۲ (ppm)، ۰/۵ (v%) و

از سوخت ایجاد می‌شود. این باعث می‌شود که ذرات کوچک‌تر با اکسیژن تماس پیدا کنند و احتراق کامل حاصل شود. به کارگیری میدان‌های مغناطیسی در مسیر سوخت تا حدودی سبب غلبه بر مشکلات مذکور می‌شود. در این راستا بسیار از پژوهش‌گران اثر استفاده از میدان مغناطیسی بر عملکرد سوخت، احتراق و شعله و انتقال حرارت بررسی کرده‌اند. در ادامه برخی از پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر در زمینه مغناطیس‌کردن سوخت به صورت تجربی صورت گرفته، گزارش شده است.

اورکو و همکاران [۲۲] اثر چگالی شار مغناطیسی را بر یونیزه کردن و احتراق سوخت مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد به کارگیری میدان مغناطیسی در مسیر سوخت سبب بهبود فرایند احتراق و کاهش آلایندگی‌های هیدروکربن‌های نسوخته و کربن مونواکسید به ترتیب به مقدار ۵۰ و ۳۵ درصد شد. در نهایت پیشنهاد کردند مواد مورد استفاده برای ورودی منیفولد و بالای سیلندر موتور می‌تواند از ماده مغناطیسی ساخته شود. این حالت سبب ایجاد میدان‌های مغناطیسی دائم در اطراف محفظه احتراق به منظور مخلوط کردن مناسب و احتراق سوخت می‌شود.

فاریس و همکاران [۱۹] از آهنرباهای دائمی برای آزمایش سوخت وسیله نقلیه به منظور کاهش مصرف سوخت و آلایندگی‌های خروجی استفاده کردند. بدین منظور آهنرباهای دائمی با شدت‌های مختلف (۲۰۰۰، ۴۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۹۰۰۰ گاوس) در مسیر سوخت موتور دوزمانه قرار داده شدند و اثر آنها بر مصرف سوخت و گازهای خروجی مورد بررسی قرار گرفت. نرخ کاهش مصرف سوخت در بازه ۹ الی ۱۴ درصد متغیر بود، به طوری که بیشترین مقدار کاهش در شدت‌های ۶۰۰۰ و ۹۰۰۰ گاوس به دست آمد. همچنین گازهای CO و HC به ترتیب ۳۰ و ۴۰ درصد کاهش یافت در حالی که CO₂ تا ۱۰ درصد افزایش یافت. پارموکومار و همکاران [۱۴] اثر میدان مغناطیسی (۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ گاوس) را بر نشر آلایندگی‌ها در موتور بنزینی مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر کاهش گازهای CO₂، HC و NO در شدت مغناطیسی ۸۰۰۰ گاوس به ترتیب به مقادیر ۳۰/۵۷، ۹۷ و ۳۶/۰۸ درصد شد.

در بیشتر این مطالعات ارتباط بین میدان مغناطیسی و رفتار مولکول‌های هیدروژن و یا اکسیژن در کاربرد متناظر گزارش شده است. به هر حال، به دلیل ماهیت دیامغناطیسی سوخت، فاصله مناسب آهنربا از موتور در سرعت‌های مختلف مهم است. تاکنون پژوهش جامعی در ارتباط با محل قرارگیری آهنربا در مسیر سوخت دیزل گزارش نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تجربی اثر میدان مغناطیسی در سرعت‌های مختلف موتور و همچنین فواصل مختلف آهنربا از موتور بر مصرف سوخت و آلایندگی‌های موتور می‌باشد در مرحله بعد بهینه‌سازی فرایند به منظور مکان قرارگیری دقیق آهنربا انجام خواهد شد.

مطلوبیت برای بهینه‌سازی صفات مورد بررسی استفاده شد. تابع مطلوبیت در بهینه‌سازی چندین صفت به طور همزمان استفاده می‌شود که با توجه به درجه اهمیت هر یک از صفات، محدوده تغییرات تابع مطلوبیت در محدوده صفر-۱ (حداقل تا حداکثر) تغییر می‌کند. معادله تابع مطلوبیت میانگین هندسی کل صفات مورد بررسی می‌باشد (رابطه ۱):

$$D = (d_1 * d_2 * \dots * d_n)^{1/n} \quad (1)$$

در این معادله، D تابع مطلوبیت، n تعداد صفات و d صفات را نشان می‌دهد [۲۳].

۳- نتایج و بحث

آزمایش‌ها در سرعت‌های مختلف موتور و فواصل مختلف آهنربا از موتور در بار کامل موتور انجام شد. نتایج تجزیه واریانس آلاینده‌های موتور همچون کربن مونواکسید، هیدروکربن‌های نسوخته، دی‌اکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن و مصرف سوخت در جدول ۳ نشان داده شده است. اثرات ساده دور موتور و فاصله آهنربا از موتور و همچنین اثرات متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد داشتند. بدین منظور برای مشخص نمودن تفاوت بین سطوح فاکتورها مقایسه میانگین با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

شکل ۴ مقادیر آلاینده کربن مونواکسید در سرعت مختلف موتور همچون ۱۸۰۰، ۲۱۰۰، ۲۴۰۰ و ۲۷۰۰ د.د.د و در فواصل مختلف آهنربا از موتور ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری را نشان می‌دهد. مقادیر کربن مونواکسید در محدوده ۱/۴۸-۱/۴۶ درصد حجمی متغیر بود. مقدار این پارامتر در سطح‌های ۱۸۰۰ د.د.د و سه فاصله آهنربا ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر و همچنین دور ۲۱۰۰ و فواصل ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر به طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافت ($P < 0.05$). بیشترین کاهش کربن مونواکسید (۰/۴۸) در ترکیب سطح ۱۸۰۰ د.د.د و ۴۰ سانتی‌متر مشاهده شد که به میزان ۶۷ درصد در مقایسه با نمونه شاهد کاهش پیدا کرد. همچنین بیشترین مقدار کربن مونواکسید در ترکیب سطح ۲۷۰۰ دور و نمونه شاهد و همچنین ترکیب سطح ۲۷۰۰ دور فاصله ۲۰ سانتی‌متری به ترتیب با مقدار ۱/۴۱ و ۱/۴۶ درصد حجمی مشاهده شد.

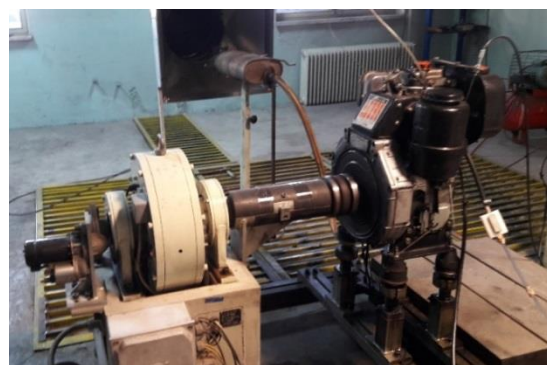
به طور کلی با افزایش دور موتور این پارامتر روند صعودی داشت. در حالی‌که با افزایش فاصله آهنربا از موتور روند نزولی داشت این روند تا فواصل ۴۰ سانتی‌متری مشاهده و در فواصل بیشتر دوباره روند افزایشی داشت. کمترین مقدار در فاصله آهنربا ۴۰ سانتی‌متری و کمترین دور مشاهده شد. این امکان وجود دارد که اکسیژن موجود در سوخت سبب احتراق کامل سوخت در سیلندر و در نتیجه کاهش آلاینده کربن مونواکسید شده است [۲۴ و ۲۵].

۰/۰۶ (%v) بود. روش اندازه‌گیری پارامترهای CO_2 ، UHC ، NO_x و CO به ترتیب الکترونیکی، مادون قرمز، مادون قرمز و مادون قرمز بود.

جدول ۲: مشخصات موتور دیزل برای انجام آزمایش‌های تجربی

مشخصات	مقدار
نوع موتور	Lombardini- Diesel 3LD510
تعداد سیلندر	۱
حجم سیلندر (cm^3)	۵۱۰
کورس سیلندر (mm)	۹۰
حداکثر گشتاور در ۱۸۰۰ د.د.د	۳۳ نیوتن.متر
نسبت تراکم	۱۸
قطر سیلندر (mm)	۸۵
حداکثر توان در ۳۰۰۰ د.د.د	۱۲/۲ اسب بخار

حسگرهای مختلفی مانند حسگر دمای روغن، فشار مانیفولد، دمای خروجی اگزوز، دمای آب خنک‌کننده دینامومتر و مقدار سوخت مصرفی در نقاط مختلف موتور تعبیه شده است. همچنین حسگرهای دما و فشار محیط در اتاق آزمون موتور تعبیه شده است.



شکل ۳: سامانه آزمون موتور دیزل مورد استفاده در این پژوهش

۲-۴- آنالیز اماری

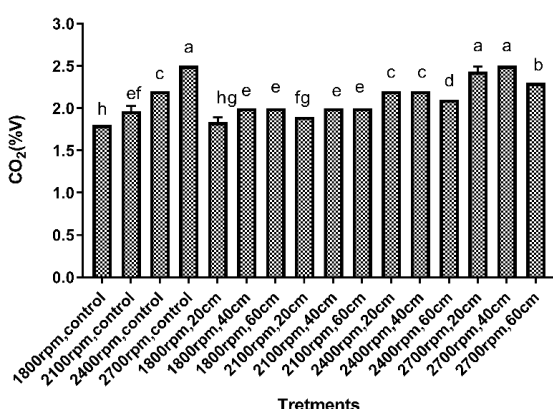
در پژوهش حاضر برای ارزیابی سطح‌های مختلف از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. سرعت موتور و فاصله آهنربا از موتور به عنوان سطح‌های مورد بررسی و مشخصه‌های آلاینده‌های (کربن مونواکسید، هیدروکربن‌های نسوخته، دی‌اکسیدکربن و اکسیدهای نیتروژن) و مصرف سوخت به عنوان صفات در نظر گرفته شدند. آنالیز سطوح فاکتورها با استفاده از نرم‌افزار SAS استفاده شد. همچنین به منظور بهینه‌سازی شرایط کاری موتور روش سطح پاسخ به کار گرفته شد.

۲-۵- مدل‌سازی و بهینه‌سازی متغیرهای آزمایش

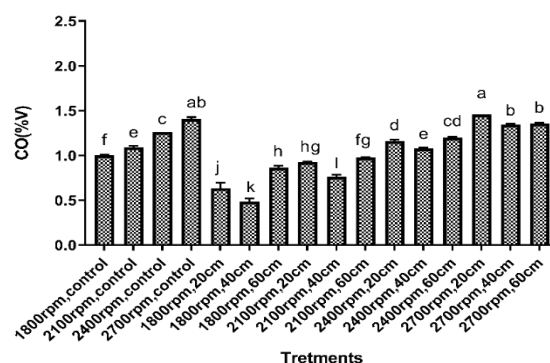
برای پیش‌بینی مقدار صفات مورد بررسی و همچنین درجه تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل، از مدل‌های رگرسیونی چندجمله‌ای با استفاده از روش سطح پاسخ در نرم‌افزار (Design-Expert) استفاده شد. همچنین با توجه به اهمیت هر یک از صفات، از روش تابع

جدول ۳: تجزیه واریانس آلاینده‌های موتور و مصرف سوخت در دورهای مختلف موتور و فاصله آهنربا از موتور

منابع تغییرات	درجه آزادی	CO	CO ₂	NOX	UHC	میانگین مربعات	مصرف سوخت
سرعت موتور (rpm)	۳	۰/۹۵ ^{xx}	۰/۶۸ ^{xx}	۶۸/۰۳ ^{xx}	۳۴۸۶۸/۱۷ ^{xx}		۳/۷۹ ^{xx}
فاصله آهنربا (cm)	۳	۰/۱۵ ^{xx}	۰/۰۲ ^{xx}	۱۸۵۶/۵۸ ^{xx}	۲۰۴۷/۱۷ ^{xx}		۰/۸۳ ^{xx}
فاصله آهنربا×سرعت موتور	۹	۰/۰۳ ^{xx}	۰/۰۲ ^{xx}	۸/۸۲ ^{xx}	۷۵۵/۰۴ ^{xx}		۰/۰۴ ^{xx}
خطای آزمایش	۳۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۶	۰/۵۸	۵/۲۳		۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (%)	–	۲/۰۵	۱/۱۸	۱/۶۷	۱/۰۵		۱/۹۵



شکل ۵: مقایسه میانگین دی اکسیدکربن در سطح فاکتورهای مختلف و نمونه شاهد (حروف متفاوت در ستون‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند).



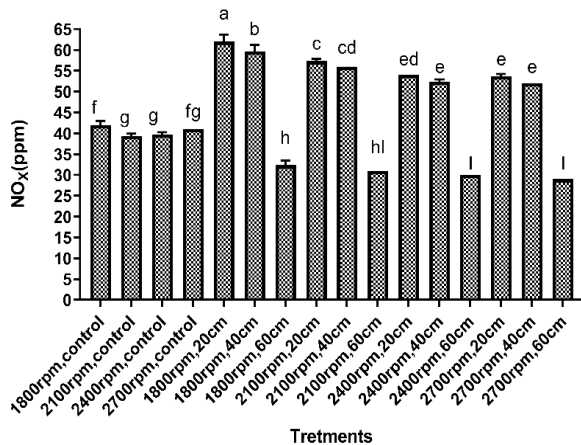
شکل ۴: مقایسه میانگین کربن مونواکسید در سطح فاکتورهای مختلف و نمونه شاهد (حروف متفاوت در ستون‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند).

آلاینده CO₂ به عنوان یک پارامتر مهم در گرمایش جهانی شناخته شده است. احتراق کامل یک سوخت در محفظه احتراق و دمای بالای گازهای خروجی به واسطه آلایند CO₂ تعیین می‌شود [۳۱-۳۳]. طبق نتایج به دست آمده مقدار دی اکسیدکربن با افزایش دور موتور به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. وقتی موتور در سرعت بالا کار می‌کند، مقدار بیشتر احتراق کامل منجر به افزایش در آلایند CO₂ می‌شود [۳۴]. همچنین با افزایش فاصله آهنربا از موتور ابتدا روند کاهشی و سپس روند افزایشی داشت. نتایج مشابهی در ارتباط با افزایش آلایند CO₂ در ارتباط با سرعت موتور گزارش شده است [۳۵].

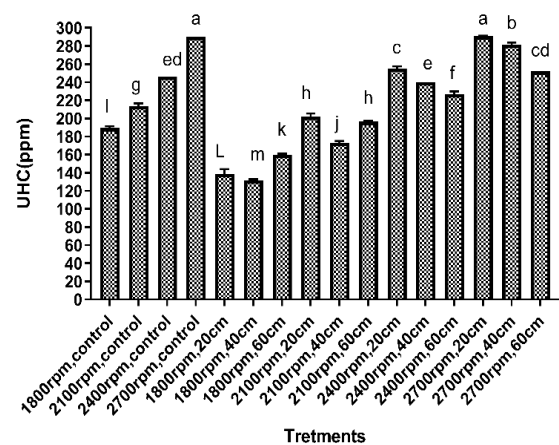
مقادیر هیدروکربن‌های نسوخته در سطح فاکتورهای مختلف آزمایشی و نمونه شاهد در شکل ۶ نشان داده شده است. محدوده تغییرات این پارامتر در بازه ۱۳۱/۳۳-۲۹۰/۶۶۷ ppm متغیر بود. بیشترین مقدار هیدروکربن نسوخته در ترکیب سطح ۲۷۰۰ دور بر دقیقه و نمونه شاهد و همچنین ۲۷۰۰ دور بر دقیقه و فاصله ۲۰ سانتی‌متری به ترتیب با مقدار ۲۹۰/۶۷ و ۲۹۰/۶۷ ppm مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار هیدروکربن نسوخته در ۱۸۰۰ د.د.د و فاصله ۴۰ سانتی‌متری آهنربا با مقدار ۱۳۱/۳۳ مشاهده شد. که در مقایسه با شاهد ۵۴ درصد کاهش یافت. لازم به ذکر است که در بیشترین دور، کمترین مقدار این پارامتر در فاصله ۶۰ سانتی‌متری آهنربا از موتور مشاهده شد.

آلاینده کربن مونواکسید به‌طور عمده به دلیل احتراق ناقص سوخت و در دسترس نبودن اکسیژن کافی طی فرایند احتراق است [۲۶ و ۲۷]. نسبت هم‌آرزی سوخت/ هوا و دمای پایین داخل سیلندر بر مقدار این آلایند تأثیرگذار هستند چرا که دمای پایین‌تر داخل سیلندر منجر به اتمیزه شدن بد و در نتیجه انتشار بالای این آلایند می‌شود [۲۸]. به کارگیری میدان مغناطیسی در مسیر سوخت منجر به گسستن پیوندهای بین هیدروژن و کربن می‌شود. این پدیده به اختلاط مناسب و اتمیزه شدن سوخت کمک می‌کند. به‌علاوه، جداسازی پیوندها باعث قرار گرفتن بیشتر در معرض اکسیژن و در نتیجه احتراق کامل می‌شود [۲۹]. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه در یک راستا بود [۳۰].

روند تغییرات دی اکسیدکربن در شرایط کاری مختلف موتور و نمونه شاهد در شکل ۵ نشان داده شده است. مقادیر دی اکسیدکربن در محدوده ۱/۸-۲/۵ درصد حجمی متغیر بود. کمترین دی اکسیدکربن (۱/۸) در ترکیب سطح ۱۸۰۰ د.د.د و شاهد و ترکیب سطح ۱۸۰۰ د.د.د و فاصله ۲۰ سانتی‌متری به ترتیب با مقدار ۱/۸ و ۱/۸۳ درصد حجمی مشاهده شد که به میزان ۲۸ درصد در مقایسه با سطوح فاکتورهای ۲۷۰۰ د.د.د در فواصل ۲۰ و ۴۰ کاهش پیدا کرد. همچنین بیشترین مقدار دی اکسیدکربن در ترکیب سطح ۲۷۰۰ د.د.د و نمونه شاهد و همچنین ترکیب سطح ۲۷۰۰ د.د.د و فاصله ۴۰ سانتی‌متری با مقدار ۲/۵ درصد حجمی مشاهده شد که در مقایسه با شاهد ۳۸ درصد افزایش پیدا کرد.



شکل ۷: مقایسه میانگین اکسید نیتروژن در سطح فاکتورهای مختلف و نمونه شاهد (حروف متفاوت در ستون‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند).



شکل ۸: مقایسه میانگین هیدروکربن نسوخته در سطح فاکتورهای مختلف و نمونه شاهد (حروف متفاوت در ستون‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند).

به طور کلی، با افزایش دور موتور از ۱۸۰۰ تا ۲۷۰۰ د.د. مقدار این پارامتر کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله آهنربا تا حدود ۳۰ سانتی‌متری روند افزایشی و سپس روند نزولی داشت. لغت اکسیدهای نیتروژن (NO_x) برای مونوکسید نیتروژن (NO)، دی اکسید نیتروژن (NO_2) و اکسید نیتروژن (N_2O) به کار گرفته می‌شود. از کل آلایند اکسیدهای نیتروژن، ۹۰ درصد مربوط به مونوکسید نیتروژن و کمتر از ۱۰ درصد مربوط به دی‌اکسید نیتروژن است. انتشار NO_x به عواملی همچون دمای داخل سیلندر، نسبت تراکم، محتوای اکسیژن، تغییر در هندسه محفظه احتراق، فشار باز شدن انژکتور و زمان احتراق وابسته است. دمای پایین محفظه احتراق باعث آزاد شدن گرمای کم و انتشار کم NO_x می‌شود. هنگامی که دمای سیلندر بیشینه است، انتشار NO_x به مراتب بیشتر از دمای پایین‌تر است [۳۹-۴۲]. به طور کلی افزایش آلایندهای CO_2 و NO_x بیانگر احتراق کامل سوخت است، به بیان دیگر افزایش این آلاینده‌ها نتیجه فرایند احتراق بهبود یافته هستند [۴۳] که ممکن است به دلیل آزمایش مغناطیسی سوخت بر ساختار هیدروکربن‌ها باشد، چرا که آزمایش مغناطیسی سوخت سبب بهسوزی سوخت و در نتیجه افزایش دمای محفظه احتراق می‌شود. نتایج مقایسه میانگین برای مصرف سوخت سطح فاکتورهای مختلف و نمونه شاهد در شکل ۸ نشان داده شده است. طبق نتایج این پژوهش محدوده تغییرات این پارامتر در بازه ۱/۴۴-۳/۴۴ لیتر بر ساعت متغیر بود. کمترین میزان مصرف سوخت به ترتیب در ترکیبات سطوح ۲۰-۱۸۰۰، ۲۰-۲۱۰۰، ۶۰-۱۸۰۰ و ۴۰-۱۸۰۰ با مقدار ۱/۴۴، ۱/۸۷، ۱/۹۸ و ۲/۱۲ لیتر بر ساعت مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان مصرف سوخت در ترکیبات سطوح ۲۷۰۰ و ۲۷۰۰-۱۸۰۰ همچنین ۶۰-۲۷۰۰ با میزان ۳/۴۴ و ۳/۲۵ لیتر بر ساعت مشاهده شد.

با در نظر گرفتن اثرات ساده سطوح مقادیر هیدروکربن نسوخته با افزایش دور موتور به طور معنی‌دار افزایش پیدا کرد. آلایند هیدروکربن نسوخته کیفیت احتراق در اگزوز موتور را نشان می‌دهد. هیدروکربن نسوخته معمولاً به دلیل احتراق ناقص یا جزئی سوخت در محفظه احتراق تولید می‌شود [۳۶]. آلایند HC به عوامل مختلفی مانند عدد ستان، گرمای تبخیر، نسبت هوا به سوخت، محتوای اکسیژن سوخت، خواص سوخت، نرخ پاشش سوخت، سوختن غیرهمگن مخلوط هوا و سوخت، شرایط عملیاتی سوخت و گرمای نهان تبخیر بستگی دارد [۳۷]. توزیع ضعیف سوخت همچنین منجر به انتشار HC بالا در زمانی که نرخ پاشش سوخت کم، مقدار هوا زیاد و دمای سیلندر کمتر است می‌شود. همچنین افزایش فاصله آهنربا تا ۴۰ سانتی‌متری منجر به کاهش این پارامتر و در فواصل دورتر دوباره روند افزایشی داشت. نرخ کاهشی آن بیشتر به دلیل واکنش بهتر هیدروژن با اکسیژن ورودی است. مغناطیس شدن باعث شکستن شاخه‌های هیدروکربنی می‌شود و خواص شیمیایی دیزل را تغییر می‌دهد. به دلیل اندازه ذرات کوچک‌تر که در آن نفوذ اکسیژن بیشتر و اتمیزه شدن بهتر است، عملکرد سوخت به شدت افزایش می‌یابد [۳۸].

مقادیر پارامتر اکسید نیتروژن آزمایش‌های انجام شده برای سطح فاکتورهای در شکل ۷ نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده محدوده این پارامتر در بازه ۲۹-۶۲ ppm متغیر بود. کمترین مقدار این پارامتر در ترکیبات سطوح ۶۰-۲۷۰۰، ۲۴۰۰-۶۰، ۲۱۰۰-۶۰ و ۱۸۰۰-۶۰ به ترتیب با مقدار ۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۲ ppm مشاهده شد که در مقایسه با شاهد (۳۹) به ترتیب ۲۵، ۲۳، ۲۰ و ۱۸ درصد کاهش یافت. بیشترین مقدار این پارامتر در ترکیبات سطوح ۱۸۰۰-۲۰، ۲۰-۱۸۰۰، ۴۰-۲۱۰۰ به ترتیب با مقدار ۵۹، ۵۷ و ۵۶ ppm مشاهده شد.

مدل‌های رگرسیونی چندجمله‌ای که با استفاده از آنالیز سطح پاسخ به دست آمده‌اند، تأثیر متغیرهای مستقل دور موتور و فاصله آهنربا از موتور بر صفات مورد بررسی همچون کربن مونواکسید، هیدروکربن نسوخته، کربن‌دی‌اکسید، نیتروژن اکسید و مصرف سوخت را به ترتیب در معادلات ۲ تا ۶ نشان می‌دهند. در این معادلات، علامت جبری نشان‌دهنده روند تغییرات متغیرهای مستقل با صفت مورد بررسی و بزرگی ضرایب رگرسیونی نشان‌دهنده اهمیت متغیر موردنظر بر روی صفت است. با در نظر گرفتن ضرایب رگرسیونی اثرات ساده فاصله آهنربا از موتور و اثرات توان سوم آن به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را در میزان مصرف سوخت نسبت به دور موتور داشتند. در اغلب آلاینده‌ها هم دور موتور تأثیر بیشتری نسبت به آهنربا داشت.

$$CO = +96 + 0.44 \times A - 0.21 \times B + 0.025 \times AB + 0.18 \times B^2 - 0.21 \times (AB)^2 + 0.16 \times B^3, \quad R^2 = 0.99 \quad (2)$$

$$UHC = +213.04 + 80.61 \times A - 20.84 \times B + 8.63 \times B^2 - 5.63A^2B - 32.46 \times (AB)^2 + 10.97 \times B^3, \quad R^2 = 0.98 \quad (3)$$

$$CO_2 = +2.07 + 0.34 \times A + 0.13 \times B - 0.099 \times AB + 0.11 \times A^2 - 0.028 \times A^2B - 0.39(AB)^2 - 0.056 \times A^3 - 0.15 \times B^3, \quad R^2 = 0.98 \quad (4)$$

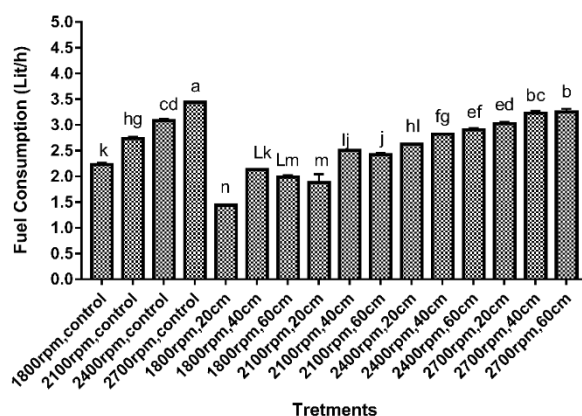
$$NOX = +57.48 - 4.51 \times A - 1.77 \times B - 0.52 \times AB + 1.69 \times A^2 - 22.87B^2 - 1.01 \times A^2B + 3.49 \times (AB)^2 - 2.63 \times B^3, \quad R^2 = 0.99 \quad (5)$$

$$Fuel\ consumption = +2.42 + 0.65 \times A + 0.74 \times B + 0.34 \times B^2 - 0.85 \times B^3, \quad R^2 = 0.96 \quad (6)$$

در این روابط، A و B به ترتیب دورموتور و فاصله آهنربا از موتور می‌باشند.

۳-۲- بهینه‌سازی متغیرهای آزمایش

به منظور دستیابی به سطوح بهینه صفات مورد بررسی همچون کربن مونواکسید، کربن‌دی‌اکسید، هیدروکربن نسوخته، نیتروژن اکسید و مصرف سوخت آزمایشاتی در سطوح مختلف متغیرهای دور موتور و فاصله آهنربا از موتور انجام شد. روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی عددی شرایط عملیاتی سامانه و دستیابی به پاسخ‌های بهینه به کار گرفته شد. درجه اهمیت هر یک از متغیرهای مستقل و پاسخ‌ها و تابع هدف در جدول ۴ نشان داده شده است. مقادیر بیشینه و کمینه هر یک از پاسخ‌ها با در نظر گرفتن صفت مورد بررسی انتخاب شد؛ شکل ۹ سطوح بهینه هر یک از متغیرهای مستقل و مقادیر پیش‌بینی شده برای هر یک از پاسخ‌ها را نشان می‌دهد. طبق این شرایط بهینه دور موتور ۱۸۰۰ دور در دقیقه و فاصله آهنربا از موتور ۳۷ سانتی‌متر منجر به بهینه‌ترین پاسخ‌ها با تابع مطلوبیت ۰/۷ شد. در این شرایط بهینه،



شکل ۸: مقایسه میانگین مصرف سوخت در سطح فاکتورهای مختلف و نمونه شاهد (حروف متفاوت در ستون‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند).

براساس اثرات ساده دور موتور و فاصله آهنربا از موتور، مقدار این پارامتر با افزایش دور موتور افزایش یافت. در حالی‌که با افزایش فاصله آهنربا از موتور، مصرف سوخت ابتدا روند کاهشی و سپس روند افزایشی داشت. در بالاترین سرعت موتور در نمونه شاهد و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری، ۴۰ سانتی‌متری و ۶۰ سانتی‌متری آهنربا از موتور، میزان مصرف سوخت به ترتیب ۳/۴۴، ۳/۰۲۳، ۳/۲۳ و ۳/۲۵ لیتر بر ساعت مشاهده شد. میزان مصرف سوخت به ترتیب ۱۲ درصد، ۶/۱ درصد و ۵/۵۲ درصد در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافت. به طور کلی سوخت یک ماده دیامغناطیس است و به کارگیری میدان مغناطیسی در مسیر سوخت منجر به افزایش انرژی داخلی سوخت و تغییرات ویژه‌ای در سطح مولکولی می‌شود. تغییر خصوصیات سوخت بر اساس تئوری‌های: ۱- تئوری شیمی (پیوند کوآلانس)، ۲- تئوری فیزیکی (اثر بارنت) و ۳- تئوری ریاضی (مکانیک کوانتوم) قابل توضیح است [۱۴]. ساختار هیدروکربن‌ها در حضور میدان مغناطیسی تغییر می‌کنند. بنابراین مولکول‌های هیدروکربن آزمایش‌شده با میدان مغناطیسی بالا تمایل به گسیختگی و تشکیل مولکول‌های کوچک‌تر با سطح ویژه بیشتر برای واکنش با اکسیژن دارند. نتیجه سوخت‌های آزمایش‌شده با میدان‌های مغناطیسی بالا بهبود احتراق سوخت و در نتیجه افزایش توان موتور و کاهش مصرف سوخت است [۱۹]. کاهش مصرف سوخت در پژوهش‌های قبلی به وسیله سایر پژوهش‌گران گزارش شده است [۳۸، ۴۳ و ۴۴]. افزایش مصرف سوخت با افزایش فاصله آهنربا از موتور به این دلیل است که سوخت خاصیت مغناطیسی خود را از دست داده است.

۳-۱- مدل‌های رگرسیونی

در این پژوهش پنج مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی مقادیر کربن مونواکسید، هیدروکربن نسوخته، کربن‌دی‌اکسید، نیتروژن اکسید و مصرف سوخت با استفاده از داده‌های تجربی به دست آمد. این

افزایشی داشت. با افزایش دور موتور از ۱۸۰۰ تا ۲۷۰۰ د.د. مقدار نیتروژن اکسید کاهش یافت. همچنین با افزایش فاصله آهنربا تا حدود ۳۰ سانتی متری روند افزایشی و سپس روند نزولی داشت. در حالی که با افزایش فاصله آهنربا از موتور، مصرف سوخت ابتدا روند کاهشی و سپس روند افزایشی داشت. به طور کلی HC و CO محصول احتراق ناقص هستند، در حالی که CO₂ برای احتراق کامل است.

به منظور دستیابی به کمترین مصرف سوخت و کمترین آلاینده‌ها تحت سطوح مختلف متغیرهای مستقل (دور موتور و فاصله آهنربا از موتور) روش سطح پاسخ برای بهینه‌کردن شرایط کاری موتور به کار گرفته شد. در این پژوهش شرایط کاری بهینه موتور در دور ۱۸۰۰ د.د. و فاصله آهنربا از موتور ۳۷ سانتی متر برای بهینه‌سازی همزمان صفات مورد بررسی پیشنهاد شد. به طور کلی قرارگیری آهنربا در مسیر سوخت یک استراتژی امیدوارکننده برای کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ها در موتورهای درونسوز است. همچنین این روش می‌تواند در ترکیب با سایر فناوری‌ها به منظور بازدهی بیشتر به کار گرفته شود. داده‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش به درک بهتر آزمایش مغناطیسی سوخت بر مصرف سوخت و آلاینده‌ها کمک می‌کند. همچنین در انتقال این فناوری از مقیاس آزمایشگاهی به مقیاس تجاری و مقایسه با سایر فناوری‌ها می‌تواند مفید باشد. در حالت کلی به کارگیری میدان مغناطیسی در مسیر سوخت دیزل منجر به کاهش ویسکوزیته دینامیکی سوخت و در نتیجه افزایش سرعت جریان سوخت می‌شود. ویسکوزیته پایین سوخت منجر به آتمیزه‌کردن بهتر سوخت، بهبود احتراق سوخت، کاهش باقی‌مانده کربن و آلاینده‌ها و در نتیجه کاهش مصرف سوخت می‌شود. در پژوهش‌های آینده اثر میدان مغناطیسی بر ویسکوزیته دینامیکی سوخت به صورت عددی شبیه‌سازی و با نتایج تجربی مقایسه خواهد شد تا ماهیت این پدیده به صورت صریح مشخص شود.

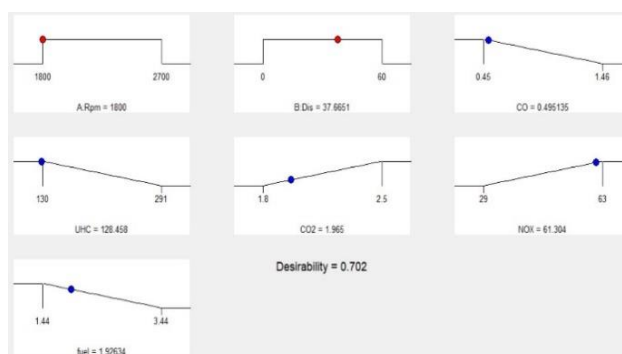
منابع و مراجع

- [1] T.H. Nufus, R.P.A. Setiawan, W. Hermawan, A.H. Tambunan, Characterization of biodiesel fuel and its blend after electromagnetic exposure, Cogent Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 1362839, 2017
- [2] S.T. Revankar, Nuclear hydrogen production, Storage and hybridization of nuclear energy, Elsevier, pp. 49-117, 2019
- [3] M. Sekar, T. Mathimani, A. Alagumalai, N.T.L. Chi, P.A. Duc, S.K. Bhatia, K. Brindhadevi, A. Pugazhendhi, A review on the pyrolysis of algal biomass for biochar and bio-oil-Bottlenecks and scope, Fuel, Vol. 283, pp. 119190, 2021
- [4] M. Vochozka, Z. Rowland, P. Suler, J. Marousek, The influence of the international price of oil on the value of the EUR/USD exchange rate, Journal of Competitiveness, Vol. 12, No. 2, pp. 167-190, 2020

مقادیر کربن مونواکسید، هیدروکربن نسوخته، کربن‌دی‌اکسید، نیتروژن اکسید و مصرف سوخت به ترتیب ۰/۴۹ درصد حجمی، ۱۲۸/۴۵، ۱/۹۶ ppm درصد حجمی، ۶۱/۳ ppm و ۱/۹۲ لیتر بر ساعت به دست آمد. لازم به ذکر است این شرایط بهینه بسته به نوع موتور، شرایط کاری آن، اندازه آن، نوع سوخت و همچنین شدت میدان مغناطیسی متفاوت خواهد بود.

جدول ۴: معیارها و تابع هدف هر یک از متغیرها در موتور دیزل

متغیرها	نوع تابع هدف	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	درجه اهمیت
دور موتور	۱۸۰۰-۲۷۰۰	۱۸۰۰	۲۷۰۰	۳
فاصله آهنربا	۲۰-۶۰	۲۰	۶۰	۳
کربن مونواکسید	کمینه	-	-	۳
کربن‌دی‌اکسید	بیشینه	-	-	۳
هیدروکربن نسوخته	کمینه	-	-	۳
نیتروژن اکسید	بیشینه	-	-	۳
مصرف سوخت	کمینه	-	-	۵



شکل ۹: نقاط مطلوب پیش‌بینی‌شده برای کارکرد بهینه موتور دیزل

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به محدودیت سوخت‌های فسیلی و مقرراتی که برای آلاینده‌ها وضع شده است، کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ها در موتورهای دیزلی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین در این پژوهش سوخت دیزل با استفاده از چگالی شار مغناطیسی ۶۰۰۰ گاوس در فواصل مختلفی از موتور و سرعت‌های مختلف موتور ارزیابی شد. آلاینده‌های موتور همچون کربن مونواکسید، کربن‌دی‌اکسید، هیدروکربن نسوخته، نیتروژن‌دی‌اکسید و مصرف سوخت به عنوان صفات مورد بررسی انتخاب شدند. به طور کلی، با افزایش دور موتور کربن مونواکسید، کربن‌دی‌اکسید، هیدروکربن نسوخته و مصرف سوخت روند صعودی داشت. در حالی که با افزایش فاصله آهنربا از موتور روند نزولی داشت. همچنین با افزایش فاصله آهنربا از موتور ابتدا کربن‌دی‌اکسید روند کاهشی و سپس روند افزایشی داشت. همچنین افزایش فاصله آهنربا تا ۴۰ سانتی‌متری منجر به کاهش هیدروکربن نسوخته و در فواصل دورتر دوباره روند

- [18] K. Chaware, Review on effect of fuel magnetism by varying intensity on performance and emission of single cylinder four stroke diesel engine, *International Journal of Engineering and General Science*, Vol. 3, No. 1, pp. 1174-1178, 2015
- [19] A.S. Faris, S.K. Al-Naseri, N. Jamal, R. Isse, M. Abed, Z. Fouad, A. Kazim, N. Reheem, A. Chaloob, H. Mohammad, Effects of magnetic field on fuel consumption and exhaust emissions in two-stroke engine, *Energy Procedia*, Vol. 18, pp. 327-338, 2012
- [20] P. Govindasamy, S. Dhandapani, Experimental investigation of cyclic variation of combustion parameters in catalytically activated and magnetically energized two-stroke SI engine, *Journal of Energy & Environment*, Vol. 6, No. 4, pp. 561-569, 2007
- [21] W.W. Frenier, M. Ziauddin, R. Venkatesan, Organic deposits in oil and gas production, pp.1-362, 2010
- [22] C. Okoronkwo, C. Nwachukwu, L. Ngozi-Olehi, J. Igbokwe, The effect of electromagnetic flux density on the ionization and the combustion of fuel (an economy design project), *American Journal of Scientific and Industrial Research*, Vol. 1, No. 3, pp. 527-531, 2010
- [23] İ. Eren, F. Kaymak-Ertekin, Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology, *Journal of food engineering*, Vol. 79, No. 1, pp. 344-352, 2007
- [24] A. Ramadhas, C. Muraleedharan, S. Jayaraj, Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil, *Renewable energy*, Vol. 30, No. 12, pp. 1789-1800, 2005
- [25] A. Shirneshan, HC, CO, CO₂ and NO_x emission evaluation of a diesel engine fueled with waste frying oil methyl ester, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 75, pp. 292-297, 2013
- [26] G. Ramakrishnan, P. Krishnan, S. Rathinam, Y. Devarajan, Role of nano-additive blended biodiesel on emission characteristics of the research diesel engine, *International Journal of Green Energy*, Vol. 16, No. 6, pp. 435-451, 2019
- [27] P.K. Chaurasiya, S.K. Singh, R. Dwivedi, R.V. Choudri, Combustion and emission characteristics of diesel fuel blended with raw jatropha, soybean and waste cooking oils, Vol. 5, No. 5, pp. e01564, 2019
- [28] B.K. Selvan, S. Das, M. Chandrasekar, R. Girija, S.J. Vennison, N. Jaya, P. Saravanan, M. Rajasimman, Y. Vasseghian, N. Rajamohan, Utilization of biodiesel blended fuel in a diesel engine-Combustion engine performance and emission characteristics study, *Fuel*, Vol. 311, pp. 122621, 2022
- [29] P. Govindasamy, S. Dhandapani, Experimental investigation of cyclic variation of combustion parameters in catalytically activated and magnetically energized two-stroke SI engine, [5] B. Gopalakrishnan, N. Khanna, D. Das, Dark-Fermentative Biohydrogen Production, *Biohydrogen*, pp. 79-122, 2019
- [6] Anonymous, *International Energy Outlook*, <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>, 2017
- [7] B. Devi, S. Venkatesh, R. Vimal, T. Praveenkumar, Influence of high oxygenated biofuels on micro-gas turbine engine for reduced emission, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 93 No. 3, pp. 508-513, 2020
- [8] T. Praveenkumar, P. Velusamy, D. Balamoorthy, Pyrolysis oil for diesel engines from plastic solid waste: a performance, combustion and emission study, *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 43, No. 1, pp. 3223-3227, 2022
- [9] A. Anderson, R. Chandralingam, T. Praveenkumar, Impact of COVID-19 pandemic on plastic surge and environmental effects, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* pp. 1-7, 2021
- [10] X. Zhang, R. Yang, P. Anburajan, Q. Van Le, M. Alsehli, C. Xia, K. Brindhadevi, Assessment of hydrogen and nanoparticles blended biodiesel on the diesel engine performance and emission characteristics, *Fuel*, Vol. 307, pp. 121780, 2022
- [11] İ.A. Reşitoğlu, K. Altinişik, A. Keskin, The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 17, No. 1, pp. 15-27, 2015
- [12] E. Jiaqiang, G. Liu, Z. Zhang, D. Han, J. Chen, K. Wei, J. Gong, Z. Yin, Effect analysis on cold starting performance enhancement of a diesel engine fueled with biodiesel fuel based on an improved thermodynamic model, *Applied Energy*, Vol. 243, pp. 321-335, 2019
- [13] Z. Zhang, J. Ye, D. Tan, Z. Feng, J. Luo, Y. Tan, Y. Huang, The effects of Fe₂O₃ based DOC and SCR catalyst on the combustion and emission characteristics of a diesel engine fueled with biodiesel, *Fuel*, Vol. 290, pp. 120039, 2021
- [14] G. Pramodkumar, M. Naidu, J. Sandeep, R. Vasupalli, P. Lade, Effect of Magnetic Field on the Emissions of Single Cylinder Four Stroke Petrol Engine, *Advances in Automobile Engineering*, Vol. 6, No. 4, pp. 1-4, 2017
- [15] M. Burr, C. Gregory, Vehicular exhaust, *Encyclopedia Environ Health*, Vol. 49, pp. 645-563, 2011
- [16] Y. Al Ali, M. Hrairi, I. Al Kattan, Potential for improving vehicle fuel efficiency and reducing the environmental pollution via fuel ionization, *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 9, No. 3, pp. 495-502, 2012
- [17] M. Zhou, H. Jin, W. Wang, A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 49, pp. 203-218, 2016

- [37] P. Shrivastava, T.N. Verma, A. Pugazhendhi, An experimental evaluation of engine performance and emission characteristics of CI engine operated with Roselle and Karanja biodiesel, *Fuel*, Vol. 254, pp. 115652, 2019
- [38] S.S. Bhurat, H. Sharma, A.K. Jha, K.K. Dixit, P. Shukla, R. Kunwer, Magnetization of diesel fuel for compression ignition engine to enhance efficiency and emissions, *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 13, No. 6, pp. 341-347, 2018
- [39] S. Javed, R.U. Baig, Y.S. Murthy, Study on noise in a hydrogen dual-fuelled zinc-oxide nanoparticle blended biodiesel engine and the development of an artificial neural network model, *Energy*, Vol. 160, pp. 774-782, 2018
- [40] M. Ozcanli, M.A. Akar, A. Calik, H. Serin, Using HHO (Hydroxy) and hydrogen enriched castor oil biodiesel in compression ignition engine, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 42, No. 36, pp. 23366-23372, 2017
- [41] S.K. Hoekman, C. Robbins, Review of the effects of biodiesel on NOx emissions, *Fuel Processing Technology*, Vol. 96, pp. 237-249, 2012
- [42] A.T. Hoang, A.I. Ölçer, S. Nižetić, Prospective review on the application of biofuel 2, 5-dimethylfuran to diesel engine, *Journal of the Energy Institute*, Vol. 94, pp. 360-384, 2021
- [43] J.A. Yamin, Performance comparison of a CI engine using diesel and biodiesel fuels and a magnetic fuel conditioner, *Biofuels*, Vol. 9, No. 6, pp. 729-738, 2018
- [44] A.R. Attar, P. Tipole, V. Bhojwani, S. Deshmukh, Effect of magnetic field strength on hydrocarbon fuel viscosity and engine performance, *International Journal of Mechanical Engineering and Computer Applications*, Vol. 1, No. 7, pp. 94-98, 2013
- Journal of Energy & Environment*, Vol. 6, No. 4, pp. 561-569, 2007
- [30] P.M. Patel, G.P. Rathod, T.M. Patel, Effect of magnetic field on performance and emission of single cylinder four stroke diesel engine, *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 4, No. 5, pp. 28-34, 2014
- [31] H. Venu, V. Madhavan, Influence of diethyl ether (DEE) addition in ethanol-biodiesel-diesel (EBD) and methanol-biodiesel-diesel (MBD) blends in a diesel engine, *Fuel*, Vol. 189, pp. 377-390, 2017
- [32] A. Calam, B. Aydoğan, S. Halis, The comparison of combustion, engine performance and emission characteristics of ethanol, methanol, fusel oil, butanol, isopropanol and naphtha with n-heptane blends on HCCI engine, *Fuel*, Vol. 266, pp. 117071, 2020
- [33] M. Hazrat, M.G. Rasul, M. Khan, N. Ashwath, T. Rufford, Emission characteristics of waste tallow and waste cooking oil based ternary biodiesel fuels, *Energy Procedia*, Vol. 160, pp. 842-847, 2019
- [34] M. Yan, H. Su, D. Hantoko, E. Kanchanatip, F.B.S. Hamid, S. Zhang, G. Wang, Z. Xu, Experimental study on the energy conversion of food waste via supercritical water gasification: improvement of hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 44, No. 10, pp. 4664-4673, 2019
- [35] X. Zhang, R. Yang, P. Anburajan, Q.V. Le, M. Alsehlhi, C. Xia, K. Brindhadevi, Assessment of hydrogen and nanoparticles blended biodiesel on the diesel engine performance and emission characteristics, *Fuel*, Vol. 307, pp. 121780, 2022
- [36] S.K. Nayak, A.T. Hoang, S. Nižetić, X.P. Nguyen, T.H. Le, Effects of advanced injection timing and inducted gaseous fuel on performance, combustion and emission characteristics of a diesel engine operated in dual-fuel mode, *Fuel*, Vol. 310, pp. 122232, 2022



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineerresearch.ir

DOI:10.22034/ER.2022.697913



Experimental study of the effect of magnetic flux density on fuel consumption and emissions in diesel engine

E. Rahmati¹, N. A. Sarlak^{2*}, H. Zarei³, A. Souzani⁴¹ Biosystem Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, Edres.rahmati@gmail.com² Mechanical Engineering, Aligoodarz University, Lorestan, Iran, nosratsarlak@yahoo.com³ Biosystem Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, h.zareie@modares.ac.ir⁴ Biosystem Mechanical Engineering, Tehran University, Tehran, Iran, adib.souzani@ut.ac.ir

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 08 April 2022

Accepted: 27 July 2022

Keywords:

Magnetic experiment
Compression Ignition Engine
Fuel Consumption
Emissions
Optimization

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effect of magnetic flux density (6000 Gauss) on diesel engine fuel consumption and emissions. Experiments were performed at different distances with respect to the magnet in the fuel line (20, 40 and 60 cm) and at different engine speeds (1800, 2100, 2400 and 2700 rpm). We then selected carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbons (UHC), carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxide (NO_x) and fuel consumption as our study traits. According to the findings, the levels combination of 1800 rpm and 40 cm resulted in the greatest reduction of carbon monoxide, which was declined by 67 % compared to the control sample. The least amount of unburned hydrocarbon was observed at 1800 speed and 40 cm distance from the magnet with a value of 131.33. Moreover, the highest amount of nitrogen oxide was found in the 1800-20, 1800-40, 2100-40 levels compounds with 62, 59, 57 and 56 ppm, respectively. Fuel consumption was 3.023, 3.23, and 3.25 (Lit/h) at the maximum engine speed and distances of 20, 40, and 60 cm from the magnet, correspondingly; and dropped by 12, 6.1, and 5.52% compared to the control sample. We recruited response surface methodology to optimize process conditions. Based on the results, the optimal conditions were obtained at 1800 rpm and a distance of 37 cm of magnet on the fuel line. Under these optimal conditions, the amount of carbon monoxide, unburned hydrocarbons, carbon dioxide, nitrogen oxide and fuel consumption were 0.49%V, 128.45 ppm, 1.96%V, 61.3 ppm, and 1.92 (Lit/h) with desirability of 0.7, respectively.



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