

## کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و روش سطح پاسخ در پیش‌بینی و بهینه‌سازی پارامترهای عملکردی و آلاینده‌گی موتور دیزل دوگانه سوز در حضور افزودنی آب

مغدید مرتضی<sup>۱</sup>، بهمن نجفی<sup>۲\*</sup>، سینا فیض اله زاده اردبیلی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

\*۲- استاد تمام، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دکتری تخصصی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

\*ایمیل نویسنده مسئول: Najafib@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۹

### چکیده

در این مطالعه، از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سطح پاسخ (RSM) برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی آزمایش‌های تجربی در راستای بررسی تاثیر گاز طبیعی (NG)، آب و بیودیزل حاصل از روغن خوراکی پسماند در فرایند احتراق موتور دیزل تک سیلندر استفاده شد. در ابتدا، آزمایش موتور با دیزل خالص انجام شد و سپس موتور برای کار در حالت دوگانه سوز آماده شد. با استفاده از یک میکسر، گاز طبیعی در منیفولد ورودی با هوا مخلوط شد و امولسیون آب، بیودیزل و دیزل به عنوان سوخت تزریق مستقیم به کارگرفته شدند. سهم انرژی گاز طبیعی در این کار تحقیقاتی از ۶۰ تا ۸۰ درصد متغیر بود. آب با درصد حجمی ۰/۱ تا ۰/۵ درصد با مخلوط‌های دیزل-بیودیزل مخلوط شد. مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی همبستگی بین پاسخ‌های خروجی موتور شامل پارامترهای عملکردی و آلاینده‌گی و عوامل ورودی شامل بار موتور، درصد گاز طبیعی و درصد بیودیزل با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا توسعه داده شده است. روش سطح پاسخ به بهینه‌سازی پارامترهای ورودی موتور به منظور به حداقل رساندن انتشار و به حداکثر رساندن عملکرد موتور مربوط می‌شود. تعداد نرون ۱۸ بالاترین دقت، کمترین RMSE (۰،۴۹۰، ۰،۶۲۲، ۰،۷۷۷، ۱،۵۰۷، ۱،۰۳،۹۷ و ۱،۱۱۹) و بالاترین ضریب همبستگی (۰،۷۹، ۰،۹۹، ۰،۸۸، ۰،۹۲، ۰،۹۵، ۰،۸۵) به ترتیب برای توان ترمزی، مصرف سوخت ویژه ترمزی، بازده حرارتی، BSCO، BSCO2 و BSNOx تولید کرده است. بنابراین تعداد ۱۸ نرون در لایه مخفی به عنوان بهینه‌ترین تعداد نرون در لایه مخفی انتخاب شد و با توجه به تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها، بهترین معماری شبکه، ۶-۱۸-۳ نامیده شد.

### کلمات کلیدی

"بیودیزل"، "موتور احتراق تراکمی"، "آب"، "هوش مصنوعی"، "گاز طبیعی"

### ۱- مقدمه

انتشارات مضر مانند دی اکسید کربن، هیدروکربن و ذرات معلق را کاهش می‌دهد. سوزاندن چنین سوخت‌های زیستی منجر به انتشار کربن کمتری در مقایسه با سوخت‌های معمولی می‌شود [۷، ۸]. کاهش آلاینده‌گی‌های زیست محیطی و مقابله با گرمایش زمین، دلیل اصلی به کارگیری سوخت‌های پاک و جایگزین برای سوخت‌های متداول برگرفته از انرژی‌های فسیلی می‌باشد [۹]. با توجه به اینکه سوخت‌های جایگزین هم می‌توانند مشکلاتی از لحاظ آلاینده‌گی و عملکرد موتور ایجاد کنند، محققان بر آن شدند تا با به کارگیری مواد افزودنی، بر این مشکلات فائق آیند. مهمترین آلاینده‌ای که به عنوان آلاینده هدف جهت کاهش مدنظر می‌باشد، NOx و UHC می‌باشد [۱۰]. از دلایل ایجاد NOx می‌توان به دمای احتراق بالا، تمرکز دمایی در محفظه احتراق و عدم خنک کاری صحیح موتور اشاره کرد. ایجاد آلاینده UHC هم می‌تواند در سرعت‌های بالای موتور بیشتر شود که می‌تواند به دلیل عدم وجود زمان کافی برای سوختن کربن که می‌تواند منجر به تشکیل هیدروکربن‌های نسوخته شود [۱۱]. افزودنی‌ها ممکن است گازی یا مایع باشند. بنابراین انسان همواره به کمک علم در راستای بهبود شرایط زیست محیطی با اولویت ایجاد رفاه و کاهش مشکلات روزمره در حال پیشروی می‌باشد.

با وجود افزایش تولید سوخت‌های جایگزین، به ویژه بیوگاز و بیودیزل، بخش حمل و نقل همچنان تحت سلطه سوخت‌های نفتی است. پیش‌بینی می‌شود سهم سوخت‌های نفتی در حمل و نقل تا سال ۲۰۴۰ از ۹۴ درصد فعلی به ۸۵ درصد کاهش یابد و ۶۰ میلیون تن سوخت زیستی می‌تواند در بخش حمل و نقل استفاده شود [۱]. استفاده از انرژی در هر جنبه‌ای از زندگی افزایش یافته است در حالی که کاهش سوخت‌های فسیلی یک تهدید بزرگ پیش روی ما است. بر این اساس، استفاده از منابع انرژی جایگزین سوخت‌های فسیلی بیش از پیش مشاهده می‌شود. وسایل نقلیه با منابع انرژی غیرفسیلی نظیر وسایل نقلیه الکتریکی و خودروهای هیبریدی آینده حمل و نقل هستند که در نهایت وسایل نقلیه با سوخت فسیلی را حذف خواهند کرد [۲]. بیودیزل را می‌توان از مواد اولیه مختلف مانند روغن‌های گیاهی نظیر کلزا، سویا، خردل، کتان، آفتابگردان، کلزا، روغن نخل، کنف، جاتروفا، روغن کاج و روغن‌های گیاهی زائد تولید کرد. گفته می‌شود که این منابع سوخت، سایش موتور را کاهش می‌دهند و آلاینده‌های مخرب کمتری تولید می‌کنند. بیودیزل می‌تواند به عنوان یک منبع سوخت جایگزین مورد استفاده قرار گیرد، اما برخی از تغییرات موتور برای دستیابی به ویژگی‌های عملکردی بهتر مورد نیاز است [۳، ۴]. حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد از سوخت‌های زیستی با سوخت دیزل ترکیب می‌شوند تا خواص سوخت مورد نظر را بدست آورند [۵، ۶]. استفاده از سوخت‌های زیستی

کنند. بیودیزل حاصل از روغن خوراکی پسماند یکی از انواع سوخت هایی است که خواص مشابهی به سوخت دیزل نشان می دهد. آویناش [۱۳] ویژگی های احتراق بیودیزل را در موتور احتراق تراکمی بررسی کرد. نتیجه گیری شد که بیودیزل را می توان در موتورهای احتراق تراکمی بدون استفاده از فرآیندهای پیش تصفیه استفاده کرد. حدود ۱۰٪ بیودیزل مخلوط با ۹۰٪ دیزل حداکثر فشار سیلندر ۶۵،۶۲ بار را نشان می دهد که ۳،۲۶۶٪ کمتر از عملکرد دیزل معمولی است. گاز طبیعی فراوان ترین هیدروکربن فسیلی است که به صورت مستقیم یا به صورت مستقیم یا به همراه نفت خام از منابع زیرزمینی استخراج می گردد و شامل بیش از ۹۵ درصد متان و ترکیبات سنگین مانند اتان یا پروپان و درصد ناچیزی از ترکیبات ناخالص مانند دی اکسید کربن و گاز نیتروژن و ترکیبات گوگردی می باشد. گاز طبیعی در مقایسه با سوخت دیزل، نقطه اشتعال بالاتری دارد [۱۴].

گاز طبیعی در موتورهای دیزل به دوشکل می تواند مورد استفاده قرار گیرد:

الف) تبدیل موتور دیزلی به یک موتور بنزینی. این روش مستلزم هزینه و تغییر در ساختمان موتور می باشد.

ب) تبدیل موتور دیزلی به یک موتور دوسوخته. در این روش از سوخت مایع به عنوان سوخت پایلوت (اشتعال زن) استفاده شده و سوخت گازی به عنوان سوخت مکمل مورد استفاده قرار می گیرد. در مواردی که از گاز طبیعی در موتورهای دیزل استفاده می شود، معمولاً از روش دوم استفاده می شود. در این روش فقط نیاز به یک سری تغییر در سیستم سوخت رسانی می باشد. در اکثر مواقع سوخت گازی در منفیلد ورودی هوا به محفظه احتراق، طی یک تنظیم فشار با استفاده از یک رگولاتور، مخلوط شده و وارد محفظه احتراق می شود. مطالعات بسیاری در زمینه مطالعه عملکرد و آلایندهی موتورهای دیزلی دوسوخته در حال انجام است. در این مطالعات، محققان در صدد تغییر در ترکیبات سوخت پایلوت با به کارگیری افزودنی های مختلف برآمده اند. منصور و همکاران (۲۰۰۱) مطالعه ای با هدف ارزیابی آلایندهی و عملکرد موتورهای دیزل دوسوخته انجام دادند. این مطالعه در راستای مدلسازی تجربی واکنش های سنتیکی شیمیایی انجام شد. مدل توسعه یافته همبستگی بالایی با پارامترهای خروجی داشت [۱۵]. پاپاکیناگیس و هونتالاس (۲۰۰۴) مطالعه ای برای بررسی تاثیر درصد گاز طبیعی به عنوان افزودنی گازی در موتور دیزل انجام دادند. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان انتشار دود و اکسیدهای نیتروژن در موتور دوسوخته نسبت به فرایند احتراق دیزل کمتر بود. از طرفی دیگر میزان انتشار مونوکسید کربن و هیدروکربن های نسوخته به شدت افزایش یافت [۱۶]. نتایج حاصل از مطالعات انجام یافته، حاکی از این است که توان ترمزی و گشتاور خروجی از موتور در فرایند احتراق دوسوخته نسبت به فرایند احتراق دیزلی کاهش می یابد. دلیل عنوان شده عبارت از تفاوت در ارزش حرارتی سوخت دیزل و گاز طبیعی و تفاوت در عدد ستان که می تواند تاخیر در احتراق و سرعت گسترش احتراق را تحت تاثیر قرار دهد. تارابت و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تاثیر بیودیزل ناشی از اکالیپتوس در عملکرد و آلایندهی موتور دیزل طی فرایند احتراق دوسوخته (سوخت دیزل و بیودیزل به عنوان سوخت پایلوت و گاز طبیعی به عنوان سوخت مکمل) پرداختند. موتور دیزل یک موتور تک سیلندر با سیستم سوخت رسانی پاشش مستقیم بود. بر اساس نتایج به دست آمده، به کارگیری سوخت بیودیزل به عنوان سوخت پایلوت تاثیر

معنی داری روی فشار داخل محفظه احتراق نسبت به سوخت دیزل نداشت. به کارگیری سوخت بیودیزل میزان هیدروکربن های نسوخته، دی اکسید کربن و مونوکسید کربن را در بارهای بالای موتور نسبت به سوخت دیزل کاهش ولی میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی و انتشار اکسیدهای نیترات را افزایش داد. یکی از دلایل این رخ داد وجود اکسیژن و ارزش حرارتی پایین سوخت بیودیزل ادعا شد [۱۷]. آباگانال و همکاران (۲۰۱۴) به مطالعه عددی و تجربی تاثیر سوخت دیزل در عملکرد و آلایندهی موتور دوسوخته دیزل-گاز طبیعی پرداختند. مطالعات عددی با روش دینامیک سیالات محاسباتی اجرا شد [۱۸]. کارابکتاش و همکاران (۲۰۱۴) تأثیرات استفاده از دی اتیلتر به عنوان افزودنی سوخت دیزل در فرایند احتراق دوگانه در حضور گاز طبیعی به عنوان سوخت مکمل در موتور دیزل ارائه شده است. در این مطالعه دی اتیلتر به عنوان افزودنی که می تواند معایب موجود در احتراق گاز طبیعی را از بین ببرد به کار گرفته شده است. سوخته های مورد استفاده در این مطالعه شامل سوخت دیزل، سوخت استاندارد دوگانه حاوی ۴۰٪ گاز طبیعی و سوخته های دوگانه حاوی دی اتیلتر به عنوان ماده افزودنی بودند. دی اتیلتر با سوخت دیزل، که به عنوان سوخت پایلوت مورد استفاده قرار می گرفت، با نسبت حجمی ۵ و ۱۰ درصد مخلوط شد. مشخص شده است که استفاده از سوخت دوگانه استاندارد باعث عملکرد ضعیف تر در بارهای کم و متوسط می شود. در مقایسه با سوخت دیزل، استفاده از سوخت دوگانه باعث انتشار بیشتر CO و HC در همه بارها و انتشار کمتر NO در بارهای زیاد می شود. علاوه بر این، استفاده از دی اتیلتر به عنوان سوخت افزودنی منجر به بهبود راندمان حرارتی ترمز و مصرف انرژی خاص می شود، در حالی که باعث کاهش انتشار CO و NO در مقایسه با استفاده از سوخت دیزل استاندارد می شود [۱۹]. نجفی و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه ای از یک موتور دیزل اصلاح در حالت سوخت دوگانه با گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی و مخلوط سوخت جدیدی از بیودیزل و گلیسرول تری استات به عنوان سوخت پایلوت عمل کند. با توجه به نتایج آزمایش های تجربی، انتشار گازهای گلخانه ای موتور با استفاده از ترکیبی از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیکی برای تعیین نسبت مناسب سوخت پایلوت به سوخت های گاز، بیودیزل و مواد افزودنی برای کاهش انتشار موتور مدل سازی شد. ورودی های این الگوریتم گشتاور موتور، میزان سوخت پایلوت و میزان مصرف گاز طبیعی، بیودیزل و نسبت های افزودنی در سوخت پایلوت بود، در حالی که خروجی ها میزان انتشار گازهای آگروز از جمله CO، PM، NOx و UHC بود. به طور کلی، نتایج مدل سازی با داده های تجربی مطابقت داشت. شبیه سازی ها برای انواع بیودیزل و ترکیبات افزودنی انجام شد و بر این اساس نتیجه گیری شد که با استفاده از بیودیزل و افزودنی، میزان انتشار NOx و CO به ترتیب به ۶۳ و ۴۲ درصد کاهش می یابد. در حالت سوخت دوگانه، ۲۴٪ میزان انتشار NOx کاهش می یابد. با این حال، تحت این شرایط، انتشار UHC به مقدار ۱۰ درصد بیشتر از حالت دیزل بود [۲۰]. سنتیلراجا و همکاران (۲۰۱۶) یک تحقیق تجربی برای ارزیابی اثرات دیزل، اتانول، بیودیزل حاصل از روغن بذر پنبه و گاز طبیعی فشرده بر عملکرد، تولید گازهای گلخانه ای و احتراق یک موتور تک سیلندر، چهار زمانه و آب خنک انجام دادند. آزمون موتور با سوخت دوگانه (مخلوط های مختلف سوخت و گاز طبیعی فشرده شده) در حالت عادی موتور و حالت موتور دوسوخته انجام شده است. سوخت های

ویژگی‌های موتور احتراق تراکمی در حضور آب و گاز طبیعی توسط شبکه عصبی مصنوعی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. کار حاضر از نظر استراتژی به کارگرفته شده می‌تواند جدید تلقی شود زیرا در ادبیات تحقیق، کاری مشابه با مطالعه حاضر وجود ندارد. در این مطالعه سعی شده است بخشی از توان موتور از سوخت غیرفسیلی تامین شود. اگرچه مطالعات زیادی در زمینه موتور انجام شده است، هیچ کار تحقیقاتی قابل توجهی در مطالعات موتور با مخلوط آب-بیودیزل-دیزل در حضور گاز طبیعی توصیف نشده است. مطالعه حاضر از روش سطح پاسخ برای اعتبار سنجی محدودیت‌های خروجی پیش‌بینی شده استفاده می‌کند.

## ۲- روش انجام تحقیق

این مطالعه در سه مرحله کلی شامل تهیه نمونه‌های سوخت، انجام آزمایش موتور و اجرای مدلسازی انجام شد. بخش اول به ارائه روش تهیه نمونه‌های سوخت و بررسی خواص حرارتی-فیزیکی آنها می‌پردازد.

### • تهیه نمونه‌های سوخت

رایج‌ترین سورفکتانت‌ها برای امولسیون‌های آب و سوخت‌های دیزل اسپان و توئین هستند [۸]. هر نوع سورفکتانت برای هدف خاصی استفاده می‌شود. به دلیل خواص متفاوت آب و سوخت، استفاده از سورفکتانت قادر به تهیه امولسیون پایدار نخواهد بود و لازم است از فناوری اولتراسونیک استفاده شود [۸]. اطمینان از پایداری امولسیون در عملکرد موتور مهم است. اگر امولسیون پایدار نباشد، آب و سوخت دیزل دو فاز می‌شود و انژکتورها آسیب می‌بینند. بنابراین استفاده از سورفکتانت‌های مناسب و همچنین تکنولوژی اولتراسونیک ضروری است [۸]. برای آماده‌سازی نمونه‌ها از امولسیفایرهای اسپان و توئین استفاده شد. در تمام نمونه‌ها از نسبت ۱٪ استفاده شد تا اثر یکسانی از این سورفکتانت‌ها در همه نمونه‌ها داشته باشد. به طوری که در نمونه‌های بدون آب، سورفکتانت‌های مذکور به همان نسبت اضافه شد. تکنولوژی Micromaginer برای ایجاد ثبات امولسیون استفاده شد. نمونه‌ها در هموژنایزر با سرعت چرخش ۱۵۰۰ دور در دقیقه قرار گرفتند. سورفکتانت‌های ذکر شده موثرترین مواد برای ایجاد امولسیون با پایداری مناسب محسوب می‌شوند. نتایج حاصل از تهیه امولسیون نیز به وضوح این ادعا را تایید کرد. نمونه‌ها شامل مخلوط‌های B5، B20 و دیزل خالص بودند. به طوری که در هر سه مورد، نسبت‌های مختلف آب را شامل می‌شود (درصد‌های وزنی صفر، ۱/۱، ۲/۰، ۳/۰، ۴/۰ و ۵/۰ درصد)، مورد استفاده قرار گرفت. خواص نمونه‌های سوخت طبق جدول ۱ با استفاده از استانداردهای ASTM تعیین شد. خواص سوخت مورد توجه قرار گرفت زیرا آنها عامل اصلی در تعیین رفتارهای عملکرد و آلودگی موتور هستند.

جدول ۱- استاندارد اندازه گیری خواص فیزیکی-حرارتی نمونه سوخت

ها [۴]

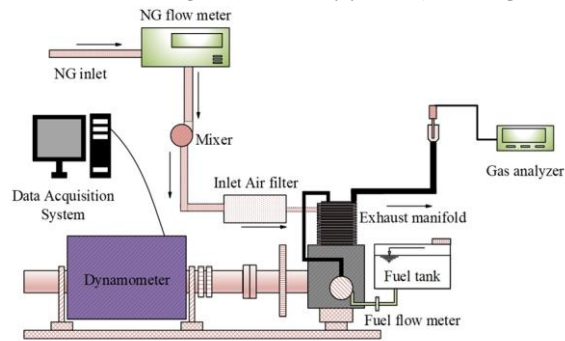
خواص	روش اندازه گیری	واحد	بازه استاندارد
چگالی	روش وزنی	Kg/Lit	-
گرانروی	D445	ثابته	۶ تا ۱/۹
ارزش حرارتی	D240	Mj/Kg	۴۱/۳
نقطه اشتعال	D93	°C	۱۳۰ <

آزمایشی شامل مخلوط دیزل، اتانول و متیل استر روغن بذر پنبه بودند. نتایج نشان داد که انتشار اکسیدهای نیتروژن، انتشار دی اکسید کربن در همه بارهای مخلوط سوخت و مخلوط سوخت با CNG کاهش یافته است. در حالی که، انتشار مونوکسید کربن و انتشار هیدروکربن‌های نسوخته در بارهای بالاتر برای همه مخلوط‌ها در حالت استفاده از CNG بیشتر است [۲۱]. در مطالعه ای توسط اکبریان و نجفی (۲۰۱۹) ادعا شد، موتور دیزلی با سوخت دوگانه توسط گاز طبیعی به عنوان ترکیب اصلی و بیودیزل به عنوان سوخت پایلوت می‌تواند ایده خوبی برای کاهش انتشار موتور و استفاده از منبع تجدید پذیر سوخت باشد. در این مطالعه، استفاده از ترکیب افزودنی گلیسرول تری استات و بیودیزل برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و بهبود هزینه سوخت موتور دیزل دوسوخته توسط گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی است. تست‌های انجام شده بر روی موتور دیزلی دوگانه در سرعت ثابت (۱۵۰۰ دور در دقیقه) توسط دو سطح بیودیزل ۵ و ۲۰ درصد با سه سطح مواد افزودنی ۳، ۵ و ۷ درصد و سوخت دیزل به عنوان سوخت آزمایشی و چهار سطح سوخت پایلوت به سوخت گازی (۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) اجرا شدند. بر اساس نتایج، با استفاده از B5A3 به عنوان سوخت پایلوت، میزان انتشار NOx در ۲۴ درصد در نسبت سوخت پایلوت به گاز ۵۰ درصد کاهش یافت. استفاده از B20A3 به عنوان سوخت پایلوت میزان انتشار PM را به میزان قابل توجهی کاهش داد، به طوری که در نسبت سوخت پایلوت به گاز ۲۰ درصد، ۸۵ درصد کمتر از دیزل به عنوان سوخت پایلوت بود. در صورت استفاده از B5A7 به عنوان سوخت پایلوت در نسبت سوخت پایلوت به گاز ۲۰ درصد، انتشار مونوکسید کربن ۷۲ درصد کمتر از دیزل به عنوان سوخت پایلوت بود. استفاده از B5 به عنوان سوخت پایلوت در نسبت سوخت پایلوت به گاز ۲۰ درصد، میزان انتشار دی اکسید کربن را در مقایسه با دیزل به عنوان سوخت پایلوت حدود ۸ درصد کاهش می‌دهد. میزان انتشار UHC با استفاده از بیودیزل و افزودنی به جای سوخت پایلوت دیزل، کمی افزایش یافته است. همچنین مشاهده شد که در نسبت سوخت پایلوت به گاز ۴۰ درصد، با استفاده از سوخت B5، هزینه ۰/۲۲ دلار بر کیلووات ساعت است که در حدود ۱۵ درصد کمتر از سوخت پایلوت دیزل بود [۲۲]. محققان بسیاری در زمینه موتورهای دوسوخته مطالعاتی را انجام داده‌اند. در حالت کلی، اکثریت نتایج ادعا کرده‌اند که توان ترمزی و گشتاور موتورهای دیزل بالاتر از موتورهای دوسوخته است. از طرفی دیگر افزایش درصد جایگزینی سوخت گازی موجب افزایش فشار در داخل محفظه احتراق می‌شود. ادعا شده است که میزان آلایندگی‌های اکسیدهای نیترات و مونوکسید کربن در موتور دیزل بیشتر از فرایند سوخت دوسوخته می‌باشد که در برخی دیگر از مطالعات این ادعا به دلیل بالا رفتن دمای داخل محفظه احتراق رد شده است. افزایش بار موتور رابطه مستقیمی با بازدهی حرارتی ترمزی دارد، به طوری که افزایش بار موتور موجب افزایش بازدهی حرارتی ترمزی می‌شود.

آب به عنوان یکی دیگر از افزودنی‌هایی است که در سال‌های اخیر توسط محققان مختلفی در مقادیر بسیار کم در مخلوط‌های دیزل و بیودیزل به کارگرفته شده است. با این حال این افزودنی دارای ویژگی‌هایی است که می‌تواند باعث اصلاح انتشار آلایندگی‌ها شود [۸]. به کارگیری روش‌های هوش مصنوعی در راستای مدل‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد و آلایندگی موتورهای دیزل توسط محققان بسیاری به کارگرفته شده‌اند. در مطالعه حاضر، اثرات جایگزین بیودیزل بر

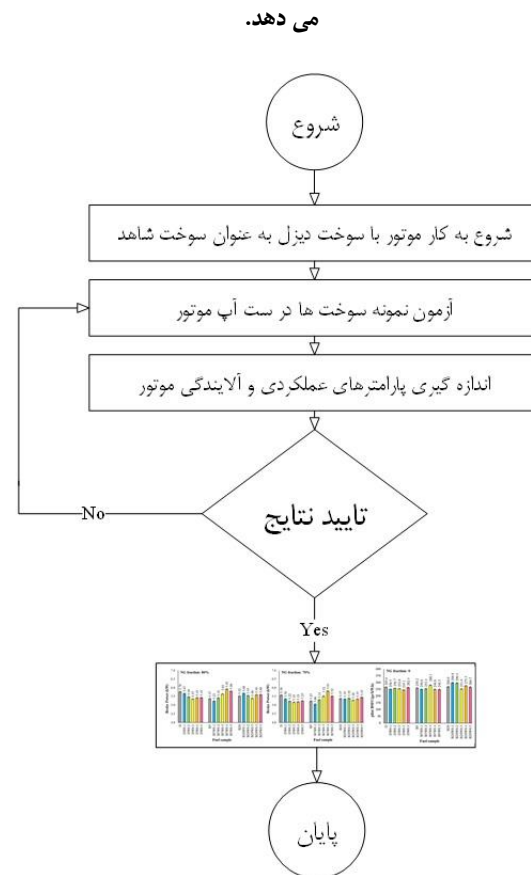
• روش آزمون موتور

به منظور تست موتور، نمونه‌ها بر روی یک موتور دیزل و یک سیلندر دوگانه سوز با گاز طبیعی و دور ثابت در آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفتند. ابتدا از نمونه سوخت دیزل خالص برای تعیین داده‌های پایه برای مقایسه استفاده شد. سپس تمامی نمونه‌ها در موتور مذکور مورد آزمایش قرار گرفتند. برای استخراج داده‌ها از ابزارها و نمایشگرهای مورد نیاز متصل به موتور استفاده شد که شامل دور سنخ موتور، گشتاور سنخ، ترموکوپل برای اندازه‌گیری دمای بدن، دمای هوای ورودی، دمای هوای خروجی، دمای آب ورودی، دمای آب خروجی، دمای گازهای خروجی آلاینده و دبی سنخ بود. شمایکی از سیستم تست موتور در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مجموعه آزمون موتور

شکل ۲ نمودار جریان روش تست موتور دوگانه سوز را نشان می‌دهد.



شکل ۲- الگوریتم انجام آزمون موتور

• مدل‌سازی

مدل‌سازی رویکردی برای نمایش ایده‌هایی در مورد طبیعی بودن پدیده مورد بررسی از دیدگاه علم است [۲۳] و فعالیت علمی با هدف آسان‌تر ساختن بخش یا ویژگی خاصی از پدیده برای درک، تعریف، کمی کردن، تجسم کردن است. ارجاع مدل‌سازی به دانش موجود را معمولاً تحت عنوان شبیه‌سازی می‌شناسند. فرآیند مدل‌سازی برای ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته انجام شد. هدف اصلی استفاده از روش‌های محاسبات نرم برای توسعه یک مدل، حذف وابستگی این ارتباط به مدل‌های پیچیده ریاضی بود. برای توسعه مدل‌ها از نرم‌افزار Matlab استفاده شد. مدل‌سازی در دو مرحله آموزش و آزمون شبکه انجام شد. مرحله آموزش شبکه گام مهمی در شکل‌گیری مدل‌سازی است.

• شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، یکی از روش‌های هوشمند است که کاربردهای زیادی در علم دارد. ANN انواع مختلفی دارد. نوع پرسپترون چند لایه (MLP) شبکه عصبی محبوب‌ترین و پرکاربردترین روش در بین سایر روش‌های شبکه‌های عصبی است [۲۴]. از کاربردهای شبکه‌های عصبی MLP می‌توان به پیش‌بینی، طبقه‌بندی، مدل‌سازی و غیره اشاره کرد. برای طراحی شبکه عصبی MLP از جعبه ابزار شبکه عصبی مصنوعی در متلب استفاده شد. ماتریس ورودی با استفاده از متغیرهای مستقل شامل درصد بیودیزل (در سه سطح صفر، ۵ و ۲۰ درصد)، درصد گاز طبیعی (در چهار سطح صفر، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد) و درصد آب (در شش سطح صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ درصد) و متغیرهای وابسته شامل توان، مصرف سوخت، بازده حرارتی، درصد مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن بودند. در ابتدا شبکه داده‌ها را به صورت تصادفی به سه دسته داده‌های آموزشی (با سهم ۷۰٪)، داده‌های تست (با سهم ۳۰٪) تقسیم کرد. تعیین تعداد بهینه نورون‌ها در لایه پنهان مهم‌ترین عملیات در فرآیند آموزش است. برای تعیین تعداد بهینه نورون‌ها در لایه پنهان و به دست آوردن بهترین شبکه پیش‌بینی‌کننده، در مرحله اول شبکه با دو نورون روی لایه پنهان آموزش داده شد. در هر فرآیند آموزش شبکه، وزن و بایاس برای کاهش شیب تابع عملکرد تصحیح شد و ماتریس خروجی شبکه به دست آمد. برای یک نورون خاص در لایه پنهان نتایج متفاوتی ممکن است در هر فرآیند آموزشی به دست آید. بنابراین، فرآیند آموزش برای هر تعداد نورون در لایه پنهان در سه تکرار انجام شد و مقدار تابع عملکرد برای هر تکرار محاسبه شد و میانگین مقدار تابع عملکرد برای سه تکرار به دست آمد (جدول ۳).

• ارزیابی شبکه

به منظور مقایسه نتایج خروجی شبکه‌ها و مقادیر هدف و دقت و عملکرد شبکه‌های طراحی شده، از عوامل عملکردی عبارتند از: ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (r) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شد [۲۳]. برای محاسبه تفاوت بین مقادیر پیش‌بینی شده و هدف از RMSE استفاده شد. با کاهش تفاوت بین مقادیر خروجی و هدف، مقدار RMSE کاهش می‌یابد. برای بیان همبستگی خطی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

DW0.2	1.097	41.6	6.95	79
DW0.3	1.098	40.97	7.14	79.2
DW0.4	1.074	40.96	7.1	82
DW0.5	1.085	40.12	7	81
B5	1.115	40.17	6.99	81.5
B5W0.1	1.159	40.12	6.01	81
B5W0.2	1.08	39.9	6.79	80.5
B5W0.3	1.073	39.92	7.03	82.5
B5W0.4	1.078	39.45	6.66	82
B5W0.5	1.078	38.77	6.81	83.5
B20	1.091	39.02	7.22	89.5
B20W0.1	1.097	38.91	6.99	90
B20W0.2	1.106	38.14	7	84.5
B20W0.3	1.091	38.19	7.07	85.5
B20W0.4	1.074	38.02	6.82	91.5
B20W0.5	1.134	37.92	6.89	91.5

بخش بعدی نتایج به ارائه تاثیر مستقل متغیرهای ورودی بر روی متغیرهای خروجی می پردازد. بر اساس نتایج بدست آمده در شکل ۳، می توان عنوان کرد، افزایش درصد بیودیزل از صفر تا ۲۰ درصد ابتدا توان افزایش و سپس کاهش می یابد. بالاترین میزان توان ترمزی در بازه بیودیزل ۸ تا ۱۲ درصد رخ می دهد (شکل ۳ الف)). همچنین می توان مشاهده کرد، افزایش درصد آب از صفر تا ۵/۰ درصد باعث افزایش نسبی توان ترمزی به مقدار تقریباً ۱۵ درصد شده است (شکل ۳ ب)). بر اساس شکل ۳ ج) می توان مشاهده کرد، افزایش درصد گاز طبیعی توان ترمزی را افزایش داده است به طوری که در درصد های بالا، شیب افزایش بالا می باشد. بنابراین می توان ادعا کرد که در حضور بیودیزل و افزودنی گاز، وجود آب در نمونه سوخت می تواند توان ترمزی تولیدی را بهبود بخشد. این فرآیند می تواند به دلیل بهبود فرآیند اتمیزه شدن نمونه های سوخت (پدیده پافینگ) در حضور آب در نمونه های سوخت حاوی بیودیزل باشد. این یافته همچنین در مطالعه اردبیلی و همکاران (۲۰۲۱) نیز مشاهده شد [۱۴]. از طرفی دیگر می توان مشاهده کرد، افزایش درصد بیودیزل و آب تاثیر قابل توجهی در تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی ندارد. اما همانطور که قابل انتظار می باشد، افزایش درصد جایگزینی گاز طبیعی باعث کاهش قابل توجه مصرف سوخت ویژه ترمزی شده است. یکی از اصلی ترین دلایل، ارزش حرارتی قابل توجه گاز طبیعی در مقایسه با بیودیزل و آب نسبت به سوخت دیزل می باشد (شکل ۳ چ)، (ح) و (خ)). می توان مشاهده کرد، افزایش درصد بیودیزل به مقدار کمی باعث افزایش و سپس باعث کاهش بازدهی حرارتی شده است. بالاترین میزان ارزش حرارتی در بازه ۸ تا ۱۲ درصد بیودیزل رخ می دهد. افزایش درصد آب به میزان بسیار کم در ابتدا بازده حرارتی را کاهش و سپس افزایش نسبی داده است. اما افزایش درصد گاز طبیعی، بازده حرارتی را به میزان قابل توجهی افزایش داده است. یکی از اصلی ترین دلایل، ارزش حرارتی بالای گاز طبیعی می باشد که

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A - P)^2} \quad (۱)$$

$$R = \left( 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (A - P)^2}{\sum_{i=1}^n A_i^2} \right) \right)^{1/2} \quad (۲)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |A - P|}{N} \quad (۳)$$

که A مقدار هدف، P مقادیر پیش بینی شده و N تعداد داده ها است.

### ۳- نتایج و بحث

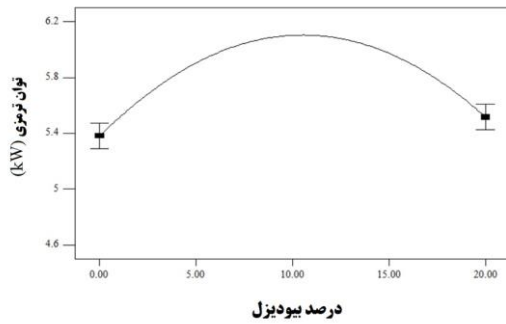
بخش اول نتایج به بررسی خواص فیزیکی-حرارتی نمونه سوخت ها می پردازد. جدول ۲ نتایج مطالعه خواص ترموفیزیکی سوخت ها را نشان می دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، مشاهده می شود که افزایش مقدار آب در نمونه های سوخت، تغییری در مقادیر چگالی و ویسکوزیته سوخت ها ایجاد نکرده است. در سوخت دیزل، مقادیر چگالی با افزایش مقدار آب در نمونه سوخت از صفر به ۰.۱ درصد کاهش یافته، سپس با افزایش مقدار آب از ۰.۱ به ۰.۳ درصد افزایش یافته و سپس از ۰.۴ به ۰.۵ درصد نسبت به گازوئیل افزایش یافته است. در نمونه سوخت B5 حضور آب به میزان ۰.۱ درصد ابتدا چگالی را نسبت به سوخت B5 افزایش داد، سپس با افزایش مقدار آب از ۰.۱ درصد به ۰.۵ درصد، چگالی کاهش یافت. اما در مورد B20 نمی توان روند خاصی را مشاهده کرد. در مورد ویسکوزیته، در سوخت دیزل، وجود آب به طور کلی از ۰.۱ تا ۰.۳ درصد باعث ایجاد روند افزایشی و از ۰.۳ تا ۰.۵ درصد باعث ایجاد روند کاهشی شده است، اما در همه موارد نسبت به سوخت دیزل، ویسکوزیته نمونه های حاوی آب افزایش می یابد. اما در مورد نمونه های سوختی B5 و B20 به طور کلی ویسکوزیته نمونه سوخت در مجاورت آب کمتر از نمونه سوخت B5 و B20 است اما روند خاصی وجود ندارد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در حضور بیودیزل در نمونه سوخت، وجود آب باعث کاهش ویسکوزیته می شود که این روند در سوخت دیزل خالص مشاهده نمی شود. وجود آب در نمونه سوخت باعث کاهش ارزش حرارتی سوخت می شود که به دلیل کم بودن ارزش حرارتی آب است. این روند در مطالعه اردبیلی و همکاران (۲۰۲۱) نیز مشاهده شد [۱۴]. وجود آب در نمونه سوخت باعث افزایش نقطه اشتعال می شود که اردبیلی و همکاران (۲۰۲۱) ادعا کردند این روند مربوط به ظرفیت گرمایی بالای آب است [۱۴]. همچنین وجود آب در نمونه سوخت دمای نقطه ابری و نزدیکی آن را به صفر رساند. دلیل این امر می تواند مربوط به نقطه انجماد آب نزدیک به صفر درجه سانتیگراد باشد که می تواند تاثیر بسزایی در پایداری سوخت در زمستان داشته باشد و رفتار احتراق نمونه سوخت را تغییر دهد.

جدول ۲- خواص فیزیکی-حرارتی نمونه سوخت ها

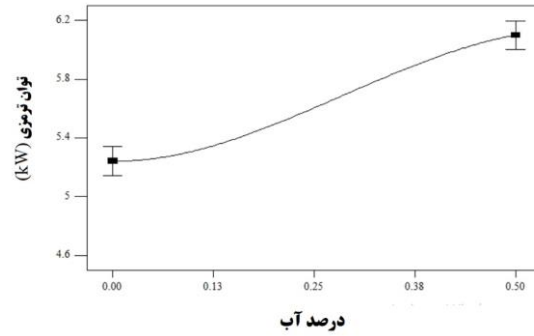
نقطه اشتعال	گ	ارزش حرارتی	چگالی	نام نمونه
(°C)	(cSt)	(MJ/kg)	(kg/m3)	
77.5	6.9	41.64	1.093	D
78.5	6.995	41.6	1.087	DW0.1

می دهد و حضور گاز طبیعی هم باعث افزایش فشار و دمای داخل محفظه احتراق شده و باعث اختلاط بهتر و احتراق بهتر می شوند (شکل ۳ (ژ)، (س) و (ش)). بر اساس شکل ۳ (ص)، (ض) و (ع)، افزایش درصد بیودیزل، انتشار دی اکسید کربن را ابتدا تا بیودیزل ۱۰ درصد کاهش داده و سپس افزایش داده است. از طرفی دیگر، افزایش درصد آب باعث کاهش انتشار دی اکسید کربن شده است. اما افزایش درصد گاز طبیعی روند مشخصی در افزایش یا کاهش انتشار دی اکسید کربن ندارد.

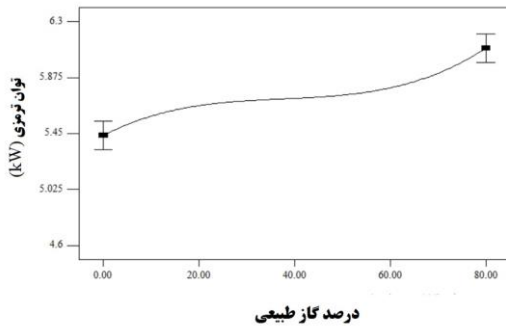
تاثیر بسزایی در افزایش فشار داخل محفظه سیلندر و به تبع آن افزایش بازده حرارتی دارد (شکل ۳ (د)، (ر) و (ز)). همانطور که انتظار می رود، افزایش درصد بیودیزل، انتشار CO را به میزان بسیار کم افزایش می دهد که می تواند به دلیل افزایش ویسکوزیته سوخت و تاثیر در کیفیت متمیزه شدن سوخت و در نتیجه سوخت به سمت احتراق ناقص باشد. از طرفی دیگر، افزایش درصد آب و گاز طبیعی به طور نسبی انتشار CO را کاهش داده اند که ریشه آن به طور مستقیم مربوط به افزایش کیفیت احتراق می باشد. زیرا حضور آب کیفیت متمیزه شدن سوخت را بهبود



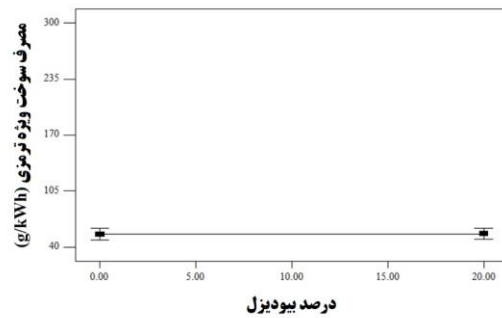
(ب)



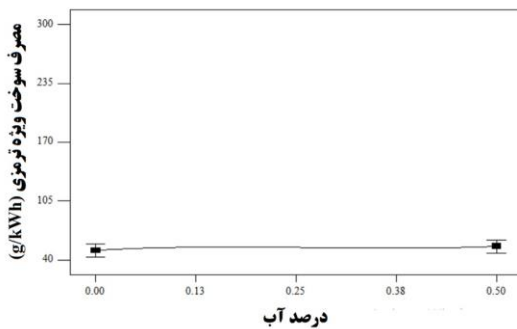
(الف)



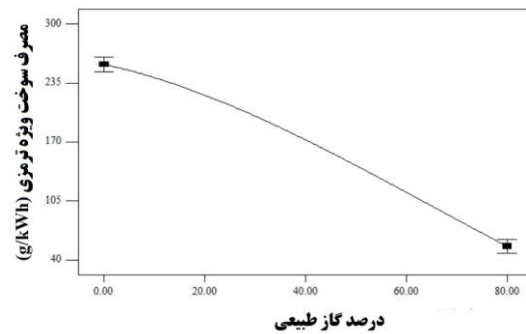
(ج)



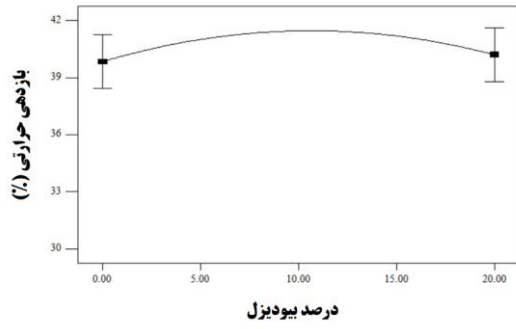
(چ)



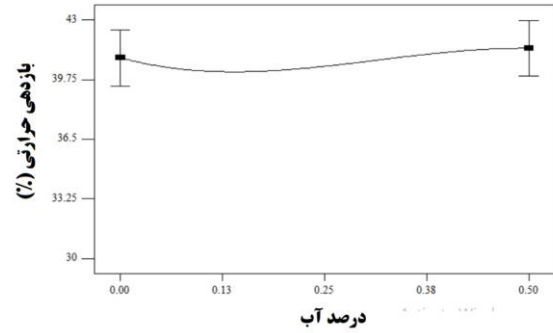
(ح)



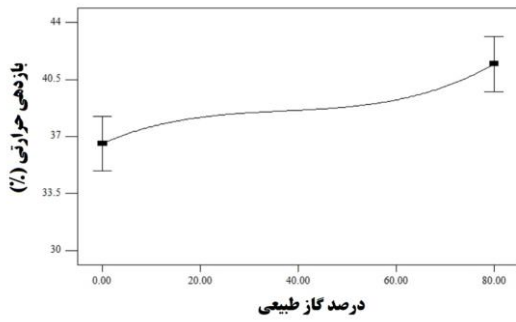
(خ)



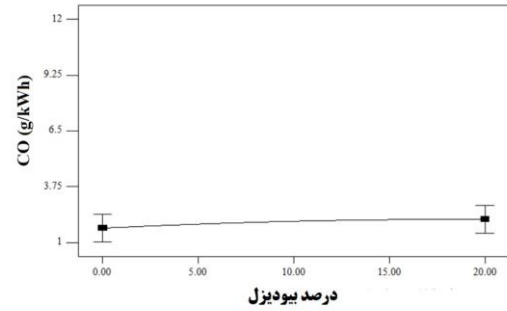
(د)



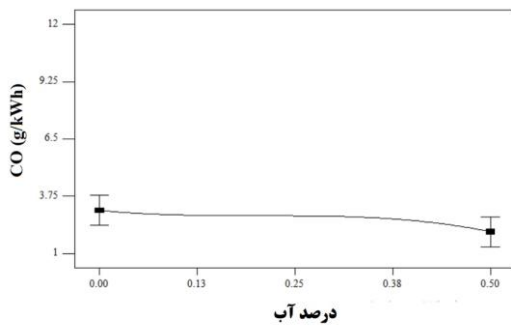
(ر)



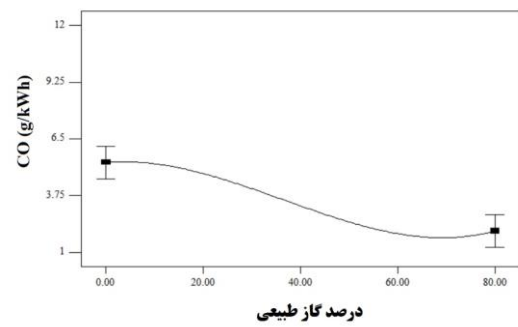
(ز)



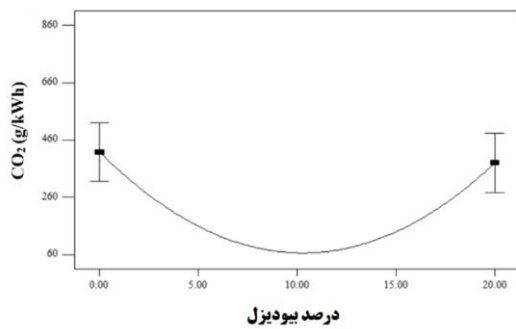
(ژ)



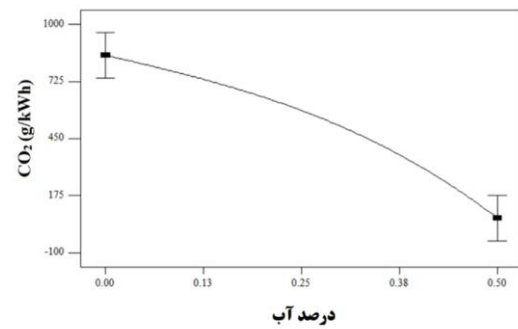
(ش)



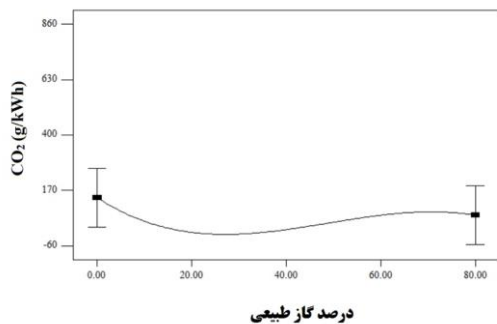
(ش)



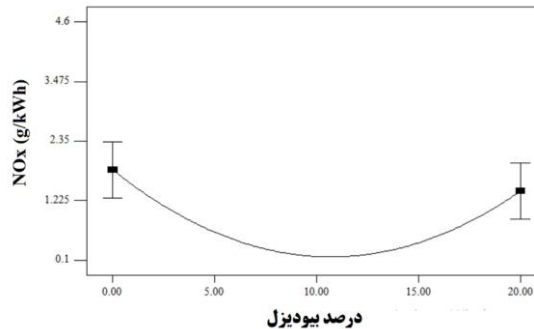
(ص)



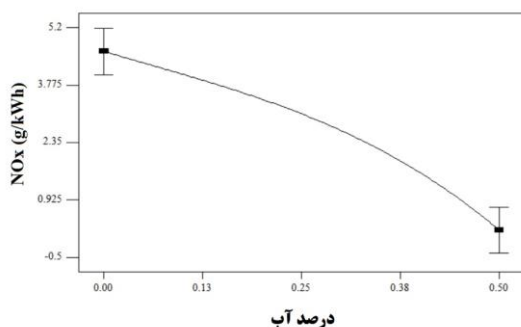
(ض)



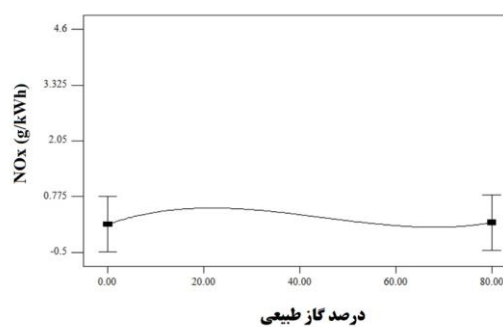
(ع)



(و)



(ه)



(ی)

شکل ۳- تاثیر مستقل متغیرهای ورودی بر روی متغیرهای خروجی

۰،۸۸، ۰،۹۹، ۰،۷۹) و بالاترین ضریب همبستگی (۱،۱۱۹ و ۱۰۳،۹۷ و ۰،۹۲، ۰،۹۵، ۰،۸۵) به ترتیب برای توان ترمزی، مصرف سوخت ویژه ترمزی، بازده حرارتی، BSCO، BSCO2، BSNOx تولید کرده است. بنابراین تعداد ۱۸ نرون در لایه مخفی به عنوان بهینه تعداد نرون در لایه مخفی انتخاب شد و با توجه به تعداد ورودی ها و خروجی ها، بهترین معماری شبکه، ۶-۱۸-۳ نامیده شد.

یکی از اصلیترین دلایل برای انتشار اکسیدهای نیتروژن، تمرکز حرارتی در داخل محفظه احتراق می باشد. بر اساس شکل ۳ (و)، (ه) و (ی) افزایش درصد بیوگاز از صفر تا ۱۰ درصد باعث کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن و از ۱۰ تا ۲۰ درصد باعث افزایش درصد انتشار اکسیدهای نیتروژن شده است. همچنین افزایش درصد آب باعث کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن به میزان قابل توجهی شده است. زیرا حضور آب به دلیل ظرفیت حرارتی بالای آن باعث کاهش و از بین رفتن تمرکز حرارتی در داخل محفظه احتراق شده و به همین دلیل انتشار اکسیدهای نیتروژن را کاهش میدهد. همچنین افزایش درصد گاز طبیعی روند مشخصی در تغییرات انتشار اکسیدهای نیتروژن به میزان مشخصی ندارد.

#### • نتایج مدلسازی با شبکه عصبی مصنوعی

مرحله اصلی در توسعه شبکه عصبی مصنوعی، تعیین بهترین معماری شبکه در مرحله آزمون می باشد. به همین دلیل، شبکه عصبی مصنوعی با تعداد مختلف نرون ها در لایه مخفی توسعه یافت و نتایج پارامترهای ارزیابی دقت شبکه شامل RMSE و ضریب همبستگی برای هر متغیر وابسته و تعداد نرون های مختلف محاسبه شد (جدول ۳). کمترین RMSE و بالاترین ضریب همبستگی به عنوان هدف برای بالا بودن دقت شبکه مد نظر می باشد. همانطور که مشخص است، تعداد نرون ۱۸ بالاترین دقت کمترین RMSE (۰،۴۹۰، ۶،۵۲۲، ۱،۷۷۷، ۱،۵۰۷،

جدول ۳- نتایج مرحله آموزش شبکه		
متغیر	RMSE	R
Neuron number: 10		
توان ترمزی	0.678	0.55
مصرف سوخت ویژه ترمزی	4.427	0.98
بازده حرارتی	5.780	0.59
BSCO	3.758	0.81
BSCO2	123.93	0.87
BSNOx	1.289	0.49
Neuron number: 12		
توان ترمزی	0.905	0.47
مصرف سوخت ویژه ترمزی	17.38	0.95
بازده حرارتی	3.774	0.71
BSCO	2.0242	0.78
BSCO2	72.411	0.93
BSNOx	2.0381	0.46
Neuron number: 14		



#### ۴- نتیجه گیری

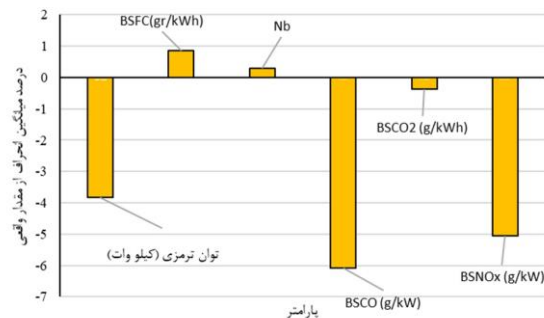
مطالعه حاضر با هدف مدلسازی روند تاثیر آب به عنوان افزودنی در فرایند احتراق دوگانه سوز (دیزل-گاز طبیعی یا مخلوط دیزل/بیودیزل-گازطبیعی) به کمک شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. بر این اساس مهمترین نتایج به شرح زیر می باشند:

- در سوخت دیزل، مقادیر چگالی با افزایش مقدار آب در نمونه سوخت از صفر به ۰٫۱ درصد کاهش یافته، سپس با افزایش مقدار آب از ۰٫۱ به ۰٫۳ درصد افزایش یافته و سپس از ۰٫۴ به ۰٫۵ درصد نسبت به گازوئیل افزایش یافته است. در نمونه سوخت B5، حضور آب به میزان ۰٫۱ درصد ابتدا چگالی را نسبت به سوخت B5 افزایش داد، سپس با افزایش مقدار آب از ۰٫۱ درصد به ۰٫۵ درصد، چگالی کاهش یافت.
- افزایش درصد بیودیزل از صفر تا ۲۰ درصد ابتدا توان افزایش و سپس کاهش می یابد.
- افزایش درصد آب از صفر تا ۰٫۵ درصد باعث افزایش نسبی توان ترمزی به مقدار تقریباً ۱۵ درصد شده است.
- افزایش درصد گاز طبیعی توان ترمزی را افزایش داده است به طوری که در درصد های بالا، شیب افزایش بالا می باشد.
- افزایش درصد بیودیزل و آب تاثیر قابل توجهی در تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی ندارد.
- بالاترین میزان ارزش حرارتی در بازه ۸ تا ۱۲ درصد بیودیزل رخ می دهد.
- افزایش درصد آب به میزان بسیار کم در ابتدا بازده حرارتی را کاهش و سپس افزایش نسبی داده است.
- افزایش درصد بیودیزل از صفر تا ۱۰ درصد باعث کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن و از ۱۰ تا ۲۰ درصد باعث افزایش درصد انتشار اکسیدهای نیتروژن شده است.
- افزایش درصد آب باعث کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن به میزان قابل توجهی شده است.
- افزایش درصد گازطبیعی روند مشخصی در تغییرات انتشار اکسیدهای نیتروژن به میزان مشخصی ندارد.
- تعداد نرون ۱۸ بالاترین دقت (کمترین RMSE (۰٫۴۹۰، ۰٫۵۲۲، ۱٫۷۷۷، ۱٫۵۰۷، ۱۰۳٫۹۷ و ۱٫۱۱۹ و بالاترین ضریب همبستگی ۰٫۷۹، ۰٫۹۹، ۰٫۸۸، ۰٫۹۲، ۰٫۹۵، ۰٫۸۵ و به ترتیب برای توان ترمزی، مصرف سوخت ویژه ترمزی، بازده حرارتی، BSCO، BSCO2، و BSNOx تولید کرده است. بنابراین تعداد ۱۸ نرون در لایه مخفی به عنوان بهینه تعداد نرون در لایه مخفی انتخاب شد و با توجه به تعداد ورودی ها و خروجی ها، بهترین معماری شبکه، ۶-۱۸-۳ نامیده شد.

توان ترمزی	0.750	0.49
مصرف سوخت ویژه ترمزی	18.164	0.94
بازده حرارتی	2.2042	0.63
BSCO	2.181	0.79
BSCO2	154.11	0.87
BSNOx	1.892	0.48
Neuron number: 16		
توان ترمزی	0.718	0.5
مصرف سوخت ویژه ترمزی	21.647	0.92
بازده حرارتی	3.2008	0.69
BSCO	2.788	0.75
BSCO2	135.16	0.89
BSNOx	1.2733	0.52
Neuron number: 18		
توان ترمزی	0.490	0.79
مصرف سوخت ویژه ترمزی	6.522	0.99
بازده حرارتی	1.777	0.88
BSCO	1.507	0.92
BSCO2	103.97	0.95
BSNOx	1.119	0.85

جدول ۴ نتایج مرحله آزمون شبکه را برای معماری ۶-۱۸-۳ ارائه می دهد. بر این اساس بالاتری ضریب همبستگی مربوط به متغیر مصرف سوخت ویژه (۰٫۹۷)، BSCO2 (۰٫۹۲) و BSCO (۰٫۹۱) می باشد. شکل ۴ همچنین درصد خطای انحراف از مقدار واقعی را برای متغیرهای وابسته ارائه می دهد. بر اساس شکل ۴ می توان دریافت بالاترین میزان خطا مربوط به متغیر BSCO (۶-درصد) و کمترین میزان خطا مربوط به BSFC (۰٫۹-درصد)، BSCO2 (۰٫۳-درصد) و بازده حرارتی (۰٫۲-درصد) می باشد.

	RMSE	r
توان ترمزی	0.521	0.78
مصرف سوخت ویژه ترمزی	7.113	0.97
بازده حرارتی	2.001	0.85
BSCO	1.923	0.91
BSCO2	103.97	0.92
BSNOx	1.565	0.81



شکل ۴- درصد خطای انحراف از مقدار واقعی برای متغیرهای وابسته

1. Solaymani, S.J.S., A review on energy and renewable energy policies in Iran. 2021. **13**(13): p. 7328.
2. Jahangiri, M., et al., Feasibility study on simultaneous generation of electricity and heat using renewable energies in Zarrin Shahr, Iran. 2018. **38**: p. 647-661.
3. Ghazali, W.N.M.W., et al., Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. 2015. **51**: p. 585-602.
4. Najafi, B., Artificial neural networks used for the prediction of the diesel engine performance and pollution of waste cooking oil biodiesel. *Modares Mechanical Engineering*, 2011. **11**(4): p. 11-20.
5. Ghanbari, M., et al., Performance and emission characteristics of a CI engine using nano particles additives in biodiesel-diesel blends and modeling with GP approach. 2017. **202**: p. 699-716.
6. Ali, O.M., et al., Optimization of biodiesel-diesel blended fuel properties and engine performance with ether additive using statistical analysis and response surface methods. *Energies*, 2015. **8**(12): p. 14136-14150.
7. Hoseini, S., et al., Novel environmentally friendly fuel: The effects of nanographene oxide additives on the performance and emission characteristics of diesel engines fuelled with *Ailanthus altissima* biodiesel. 2018. **125**: p. 283-294.
8. Khalife, E., et al., A novel emulsion fuel containing aqueous nano cerium oxide additive in diesel-biodiesel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions: Part I- Experimental analysis. 2017. **207**: p. 741-750.
9. Amid, S., et al., Effects of waste-derived ethylene glycol diacetate as a novel oxygenated additive on performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel/biodiesel blends. 2020. **203**: p. 112245.
10. Hoseini, S., et al., Performance and emission characteristics of a CI engine using graphene oxide (GO) nano-particles additives in biodiesel-diesel blends. 2020. **145**: p. 458-465.
11. Abdollahi, M., et al., Impact of water-biodiesel-diesel nano-emulsion fuel on performance parameters and diesel engine emission. 2020. **280**: p. 118576.
12. Ramadhas, A.S., S. Jayaraj, and C.J.F. Muraleedharan, Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. 2005. **84**(4): p. 335-340.
13. Avinash, A., et al., Bio-diesel—A global scenario. 2014. **29**: p. 517-527.
14. Ardabili, S.F., et al., Performance and emission analysis of a dual-fuel engine operating on high natural gas substitution rates ignited by aqueous carbon nanoparticles-laden diesel/biodiesel emulsions. *Fuel*, 2021. **294**: p. 120246.
15. Mansour, C., et al., Gas-Diesel (dual-fuel) modeling in diesel engine environment. 2001. **40**(4): p. 409-424.
16. Papagiannakis, R., D.J.E.c. Hountalas, and management, Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot diesel fuel and natural gas. 2004. **45**(18-19): p. 2971-2987.
17. Tarabet, L., et al., Experimental investigation of DI diesel engine operating with eucalyptus biodiesel/natural gas under dual fuel mode. 2014. **133**: p. 129-138.
18. Abagnale, C., et al., Numerical simulation and experimental test of dual fuel operated diesel engines. 2014. **65**(1-2): p. 403-417.
19. Karabektas, M., G. Ergen, and M.J.F. Hosoz, The effects of using diethylether as additive on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with CNG. 2014. **115**: p. 855-860.
20. Najafi, B., et al., Modeling of a dual fueled diesel engine operated by a novel fuel containing glycerol triacetate additive and biodiesel using artificial neural network tuned by genetic algorithm to reduce engine emissions. *Energy*, 2019. **168**: p. 1128-1137.
21. Senthilraja, R., et al., Performance, emission and combustion characteristics of a dual fuel engine with Diesel-Ethanol-Cotton seed oil Methyl ester blends and Compressed Natural Gas (CNG) as fuel. 2016. **112**: p. 899-907.
22. Akbarian, E. and B. Najafi, A novel fuel containing glycerol triacetate additive, biodiesel and diesel blends to improve dual-fuelled diesel engines performance and exhaust emissions. *Fuel*, 2019. **236**: p. 666-676.
23. Ardabili, S.F., A. Mahmoudi, and T.M.J.J.o.B.E. Gundoshmian, Modeling and simulation controlling system of HVAC using fuzzy and predictive (radial basis function, RBF) controllers. 2016. **6**: p. 301-308.
24. Amid, S. and T. Mesri Gundoshmian, Prediction of output energies for broiler production using linear regression, ANN (MLP, RBF), and ANFIS models. *Environmental Progress Sustainable Energy*, 2017. **36**(2): p. 577-585.

# Application of artificial neural network and response surface method in predicting and optimizing performance parameters and pollution of a dual-fuel diesel engine in the presence of water additive

Maghdid Mortaza<sup>1</sup> ; Bahman Najafi<sup>2\*</sup> ; Sina Faizollahzadeh Ardabili<sup>3</sup>

1- PhD Student, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Biosystems Mechanical Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

\*2- Full Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Biosystems Mechanical Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

3- Ph.D., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Biosystems Mechanical Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

\*Email Address: Najafib@uma.ac.ir

## Introduction

Energy use has increased in every aspect of life while the lack of fossil fuels is a major threat to us. Accordingly, the use of alternative energy sources like biofuels is increasingly observed. Vehicles with non-fossil energy sources such as electric vehicles and hybrid vehicles are the future of transportation that will eventually eliminate fossil fuel vehicles.

Water is an additive for biodiesel that has been used in recent years by various researchers in very small amounts in diesel and biodiesel blends. However, this additive has properties that can improve the emission of pollutants. The use of artificial intelligence (AI) methods to model and optimize the performance and emissions of diesel engines have been used by many researchers. In the present study, the effects of biodiesel substitution on the characteristics of a combustion engine in the presence of water and natural gas were analyzed by an artificial neural network (ANN). The present work can be considered new in terms of the strategy used because in the research literature, there is no work similar to the present study. In this study, it has been tried to supply part of the engine power from non-fossil fuels. Although many engine studies have been performed, no significant research work has been described in engine studies with water-biodiesel-diesel mixtures in the presence of natural gas. The present study uses the response level method to validate the predicted output constraints.

## Methodology

This study was conducted in three general stages including fuel sample preparation, engine testing and modeling. The first part presents the method of preparing fuel samples and examining their thermal-physical properties. Span and Twin emulsifiers were used to prepare the samples. A ratio of 0.1% was used in all samples to have the same effect of these surfactants in all samples. So that in waterless samples, the mentioned surfactants were added in the same proportion. Micromaginer technology was used to stabilize the emulsion. The samples were placed in a homogenizer at a rotation speed of 15,000 rpm. The mentioned surfactants are the most effective materials for creating emulsions with suitable stability. The results of the emulsion preparation also clearly confirmed this claim. Samples included blends of B5, B20 and pure diesel. In all three cases, different water ratios (weight percentages of zero, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5%) were used. In order to test the engine, the samples were performed on a diesel engine and a dual-burner cylinder with natural gas and constant speed in the renewable energy laboratory of the Biosystem Mechanics Department of Mohaghegh Ardabili University. Were evaluated and tested. First, pure diesel fuel samples were used to determine the baseline data for comparison. Then all the samples were tested in the mentioned engine. To extract the data, the required tools and displays connected to the engine were used, including engine speedometer, torque meter, thermocouple to measure body temperature, inlet air temperature, outlet air temperature, inlet water temperature, outlet water temperature, exhaust gas temperature. It was a pollutant and a flow meter. The modeling process was performed to correlate the independent and dependent variables. The main purpose of using soft computing methods to develop a model was to eliminate the dependence of this relationship on complex mathematical models. Matlab software was used to develop the models. Modeling was done in two stages of training and network testing. The network training stage is an important step in the formation of modeling.

## Conclusion

The first part of the results examines the physical-thermal properties of fuel samples. Table 2 shows the results of the study of the thermophysical properties of fuels. Based on the obtained results, it can be seen that increasing the amount of water in the fuel samples did not change the density and viscosity of the fuels. In diesel fuel, the density values decreased with increasing water content in the fuel sample from zero to 0.1%, then increased with increasing water content from 0.1 to 0.3% and then increased from 0.4 to 0.5% relative to diesel. In B5 fuel sample, the presence of water by 0.1% first increased the density compared to B5 fuel, then by increasing the amount of water from 0.1% to 0.5%, the density decreased. But in the case of the B20, no specific trend can be observed. In terms of viscosity, in diesel fuel, the presence of water generally causes an increasing trend from 0.1 to 0.3% and a decreasing trend from 0.3 to 0.5%, but in all cases, compared to diesel fuel, the viscosity of water-containing samples increases. Finds. But in the case of fuel samples B5 and B20, in general, the viscosity of the fuel sample in the presence of water is less than that of fuel samples B5 and B20, but there is no specific trend. Therefore, it can be concluded that in the presence of biodiesel in the fuel sample, the presence of water reduces the viscosity, which is not observed in pure diesel fuel. The presence of water in the fuel sample reduces the calorific value of the fuel due to the low calorific value of the water. Increasing the percentage of biodiesel and water does not have a significant effect on changes in brake specific fuel consumption. But as expected, the increase in the percentage of natural gas replacement has significantly reduced the consumption of special brake fuel. One of the main reasons is the significant calorific value of natural gas compared to biodiesel and water compared to diesel fuel. It can be seen that increasing the percentage of biodiesel slightly increases and then decreases the thermal efficiency. The highest thermal value occurs in the range of 8 to 12% of biodiesel. Increasing the water content by a very small amount initially reduces the thermal efficiency and then increases it relatively. But increasing the percentage of natural gas has significantly increased the thermal efficiency. One of the main reasons is the high calorific value of natural gas, which has a significant effect on increasing the pressure inside the cylinder chamber and, consequently, increasing the thermal efficiency.

## Keywords

Biodiesel; Water; Diesel engine; Risk assessment; Artificial intelligence; Natural gas