نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

مدل سازی هوشمند عملکرد موتور دیزل با سوخت زیستی حاصل از روغن پسماند

نوید پوروثوقی[1*]، علی محمدنیکبخت[2]، میثم طباطبائی[3]، هاشم کلبخانی[4]، امیرحسین گلی[5]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، گروه بیوسیستم دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه

۳- استادیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کرج

٤- دانشجوی دکتری، دانشکده فنی مهندسی، گروه برق، دانشگاه ارومیه

۵-استادیار گروه صنایع غذایی دانشگاه اصفهان

ایمیل مکاتبه کننده: n.porvosogi@gmail.com

چکیده

در این تحقیق سوخت بیودیزل از روغن پسماند حاصل از رستوران تولید شد. به منظور بررسی عملکرد موتور با سوخت بیودیزل، سوخت تولید شده به نسبت ۵ درصد (B5) با دیزل معمولی ترکیب شد و تست شد. نتایج تست نشان داد که توان ترمزی بیودیزل نسبت به دیزل معمولی کاهش می‌یابد و از طرفی بازده حرارتی ترمزی ترکیب سوختی B5 در مقایسه با دیزل معمولی افزایش می‌یابد. در ادامه از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی برا ی پیش‌بینی عملکرد موتور استفاده شد. پارامترهای ورودی شبکه عبارتند از نوع سوخت، سرعت موتور و نرخ مصرف سوخت و پارامترهای خروجی عبارتند از توان ترمزی، گشتاور، مصرف سوخت ویژه ترمزی (BSFC) و بازده حرارتی ترمزی(BTE). در این مطالعه از الگوریتم Levenberg- Marquardt برای آموزش و تست داده‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از شبکه عصبی نشان داد که ضریب همبستگی برای داده‌های حاصل از آزمایش و داده‌های پیش‌بینی شده مدل در داده‌های تست واحد می‌باشد که نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی توانایی پیش‌بینی عملکرد موتور را دارد.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، بیودیزل، عملکرد موتور، سوخت‌های زیستی، دیزل معمولی

مقدمه

سوخت‌های جایگزین با توجه به بحران انرژی و کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی، و بالا بودن قیمت این سوخت‌ها بیشتر مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. بیودیزل یکی از سوخت‌هایی است که در متن توجه بیشتر بوده است.

در واقع بیودیزل مونو الکیل استر اسیدهای چرب می‌باشد که از انواع روغن‌ها و چربی‌های حیوانی به‌دست می‌آید (Chattopadhyay et al., 2011; Öner and Altun, 2009). روش‌های مختلفی برای تولید بیودیزل وجود دارد ولی واکنش ترانس‌استریفیکاسیون متداول‌ترین و ارزان‌ترین روش تولید محسوب می‌شود (Sinha et al., 2008; Lian et al., 2012).

برای تولید بیودیزل از منابع تغذیه انسانی یک مشکل عمده وجود دارد و آن بحران غذایی می‌باشد. به‌همین دلیل امروزه از منابع ارزان قیمت و پسماندهای کشاورزی و صنعتی و بطور کلی از منابع غیر خوراکی برای حصول این سوخت استفاده می‌شود. طبق مطالعات انجام شده مشکل اصلی صنعتی کردن و تجاری‌سازی بیودیزل بالا بودن قیمت اولیه تولید آن می‌باشد. بنابراین استفاده از منابع ارزان قیمت می‌تواند هزینه تولید آن را ٦۰ الی ۹۰ درصد کاهش دهد (Demirbas, 2009). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که بیودیزل به‌عنوان یک سوخت در موتور دیزل به‌خوبی می‌سوزد و نسبت به سوخت دیزل معمولی تفاوت چندانی در عملکرد نشان نمی‌دهد. فورسون و همکاران در سال ۲۰۰٤ مطالعه‌ای روی بیودیزل روغن جاتروفا و درصدهای مختلف ان روی موتور تست کردند و گزارش کردند که برای تمام درصدهای سوخت توان ترمزی و بازده حرارتی افزایش می‌یابد و مصرف سوخت ویژه نیز کاهش یافته است (Forson et al., 2004). در دهه‌های اخیر استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد و آلایندگی موتورهای دیزل که با سوخت بیودیزل کار می‌کنند مورد توجه قرار گرفته است. این روش یک نوع الگوریتم‌های غیر خطی کامپیوتری هستند که برای مدل کردن فرایندهایی که رفتار غیر خطی دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش در مقایسه با مغز انسان خیلی ساده و از لحاظ اندازه کوچک می‌باشد همچنین قابلیت پیش‌بینی و پردازش داده‌ی بهتری نسبت به مغز انسان دارد. همین قابلیت‌ها باعث شده است که این روش در بسیاری از مسائل پیچیده و غیر خطی به‌کار گرفته می‌شود. مطالعات زیادی در حوزه موتور و بررسی عملکرد و آلایندگی آن با سوخت‌های مختلف زیستی و تجدیدپذیر توسط روش شبکه عصبی صورت گرفته است (Najafi et al., 2009; Deh Kiani et al., 2010; Cay et al., 2010). قبادیان و همکاران با استفاده از مدل شبکه عصبی، عملکرد و آلایندگی موتور دیزل با سوخت دیزل روغن پسماند را آنالیز کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مدل استفاده شده به‌خوبی قادر به پیش‌بینی عملکرد و آلایندگی موتور دیزل می‌باشد. ضریب همبستگی (R) برای گشتاور موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی، مونوکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته به ترتیب ۰/۹٤۸، ۰/۹۹۹، ۰/۹۲۹ و ۰/۹۹۹ گزارش شده است (Ghobadian et al., 2009).

هدف از این مطالعه تولید سوخت از مواد اولیه ارزان قیمت و انجام تست موتور به منظور بررسی عملکرد آن می‌باشد. همچنین از مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی پارامترهای عملکردی موتور مانند توان ترمزی، گشتاور موتور، مصرف سوخت ترمزی و بازده حرارتی ترمزی و داده‌های آزمایشگاهی با مدل ارائه شده مقایسه می‌شود.

مواد و روش‌ها

تولید بیودیزل

روغن پسماند از رستوران دانشگاه ارومیه تهیه شد. روغن بعد از فیلتر شدن ناخالصی‌های آن جدا شد و عمل تیتراسیون جهت تعیین اسیدهای چرب آزاد انجام شد. درصد اسیدهای چرب آزاد روغن در حدود ۷ درصد اندازه‌گیری شد.

برای تولید بیودیزل از روش دو مرحله‌ای استفاده شد، مرحله اول واکنش استریفیکاسیون با کاتالیزور اسیدی، برای کاهش اسیدهای چرب آزاد و مرحله دوم واکنش ترانس‌استریکاسیون با کاتالیزور بازی، برای تولید سوخت نهایی استفاده شد. الکل مورد استفاده به علت ارزانی قیمت و در دسترس بودن، متانول انتخاب شد. در واکنش استریفیکاسیون اسیدهای چرب آزاد تا زیر ۱ درصد کاهش یافت و محصول بدست آمده توسط واکنش ترانس‌استریفیکاسیون با مخلوط کردن روغن با متانول به نسبت مولی ٦ به ۱ و در حضور کاتالیزور بازی (KOH) در راکتور همزن دار بچ (BSTR) انجام شد. سوخت تولیدی برای انجام تست موتور به نسبت ۵ درصد با سوخت دیزل معمولی مخلوط شد و ترکیب B5 آماده شد.

تست موتور

نمونه‌های سوخت حاوی بیودیزل تولید شده و ترکیب آن با دیزل (B5) به همراه سوخت دیزل در موتور دیزل OM314 در شرکت ایدم تبریز به منظور ارزیابی عملکرد، حاصل از احتراق تست گردید. مشخصات موتور مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

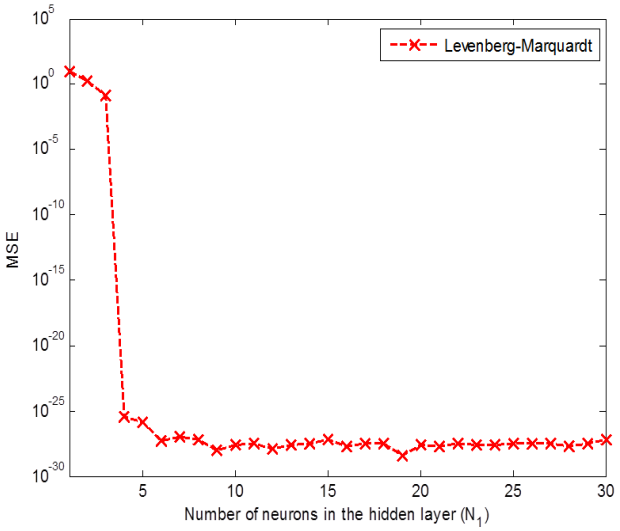
جدول ۱: مشخصات موتور OM314

سیستم ورود هوا	توربوشارژ
توان بیشینه	۸۱ کیلو وات در دور ۲۸۰۰ rpm
گشتاور بیشینه	۳٤۰ نیوتن متر در ۱٦۰۰ rpm
قطر داخلی سیلندر	۹۷ mm
کورس پیستون	۱۲۷ mm
نسبت تراکم	۱:۱۷
سیستم احتراق	٤ زمانه- پاشش مستقیم
تعداد سیلندرها	٤ – خطی- عمودی

مدل‌سازی شبکه عصبی

شبکه عصبی یکی از روش‌های محاسباتی است که بیشتر برای مسائل غیر خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شبکه معمولا سعی می‌شود با کمک فرایند یادگیری ارتباط بین داده‌ها را پیدا کرده و نگاشتی بین داده‌های ورودی و

خروجی پیدا کرد. برای آموزش شبکه الگوریتم‌های زیادی به‌کار گرفته می‌شود که در این مطالعه از الگوریتم (Levenberg- Marquardt) استفاده شد. برای تعیین بهترین پیش‌بینی چندین شبکه عصبی مدل شد و نتایج آن‌ها با داده‌های حاصل از آزمایشات آموزش داده شد. در این تحقیق کلا از داده‌های به دست آمده از ۱۲ تست موتور استفاده شد و ۱۲ داده برای مدل کردن استفاده شد. پارامترهای ورودی عبارتند از نوع سوخت، سرعت موتور و نرخ مصرف سوخت و پارامترهای خروجی عبارتند از توان ترمزی موتور، گشتاور، مصرف سوخت ویژه ترمزی و بازده حرارتی ترمزی. بنابراین یک شبکه با ۳ نرون در لایه ورودی و ٤ نرون در لایه خروجی طراحی می‌شود. تعداد نرون‌های لایه مخفی از ۱ تا ۳۰ در نظر گرفته شد و عملکرد شبکه به ازای هر کدام از نرون‌ها به‌دست آمد. در لایه مخفی از تابع انتقال tansig و در لایه خروجی از تابع انتقال purelin استفاده شد. تمام شبیه‌سازی‌ها در نرم افزار MATLAB صورت گرفت. در شکل ۱ میانگین مربع خطای داده‌های آموزشی (MSE) به ازای تعداد نرون‌های لایه مخفی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد نرون‌ها از ۱ تا ٤ میانگین نربع خطای آموزشی به‌صورت محسوسی کاهش پیدا می‌کند ولی بعد از ٤ نرون افزایش تعداد نرون‌ها تاثیر چشم‌گیری در کاهش میانگین مربع خطای داده‌های آموزش ندارد. بنابراین تعداد نرون‌های لایه مخفی ٤ نرون در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱: میانگین مربع خطای داده‌های آموزش برای تعداد نرون‌های مختلف لایه مخفی

نتایج و بحث

مشخصات سوخت تولیدی

جهت بررسی و ارزیابی کیفیت سوخت بیودیزل تولیدی از روغن پسماند، خصوصیات و ویژگی‌های مهم آن‌ها با استاندارد ASTM D6751 آمریکا مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه در جدول ۲ آورد شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده کاملا واضح است که سوخت تولیدی از لحاظ خصوصیات و ویژگی‌ها با استاندارد آمریکا مطابق است و بدون ایجاد مشکل می‌تواند در موتور دیزل مورد استفاده قرار گیرد.

عملکرد موتور

عملکرد موتور با ترکیب ۵ درصد سوخت دیزل و بیودیزل پسماند مورد ارزیابی قرار گرفت. توان ترمزی، گشتاور موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی و بازده حرارتی ترمزی پارامترهای عملکردی موتور هستند که بررسی شده است. در شکل ۲ تغییرات توان ترمزی برای دو نوع سوخت B5 و دیزل معمولی در سرعت‌های مختلف بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین توان برای هر دو سوخت در سرعت ۲٦۰۰ rpm به‌دست آمده است. در سرعت‌های بالا توان ترمزی B5 در مقایسه با سوخت دیزل کاهش نشان می‌دهد که ویسکوزیته بالا و کم بودن ارزش حرارتی بیودیزل نسبت به دیزل دلیل این امر می‌تواند باشد (Murillo et al., 2007).

تغییرات گشتاور موتور در سرعت‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه با کاهش توان ترمزی برای سوخت B5 انتظار می‌رود که گشتاور نیز کاهش یابد و با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت موتور، گشتاور کاهش می‌یابد. بیوکایا معتقد است که بالا بودن کشش سطحی بیودیزل باعث تزریق ضعیف سوخت شده و در نتیجه کاهش گشتاور را به دنبال دارد (Buyukkaya, 2010).

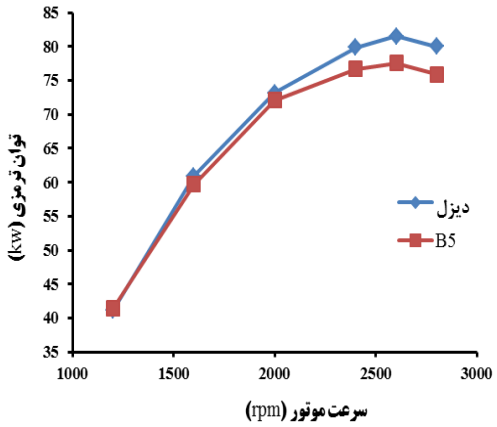
جدول ۲: مشخصات سوخت بیودیزل پسماند در مقایسه با استاندارد ASTM

ویژگی سوخت	آزمون استاندارد	حدود مجاز	بیودیزل پسماند	واحد
نقطه اشتعال	ASTM D93	بیشتر از ۱۳۰	۱۷۵	^{o}C
ویسکوزیته دینامیکی	ASTM D445	۵/۱۹۱–۱/٦٤۳	٤/٥٤٦	mPa.S در ٤۰^{o}C
دانسیته	ASTM D941	-	۰/۸۷۱۰	g/cm^3 در ٤۰ ^{o}C
باقی مانده آب و رسوبات	ASTM D2709	کمتر از ۰/۰۵	۰/۰۲۱٤	%Vol/ppm
عدد اسیدی	ASTM D664	کمتر از ۰/۸	۰/٤۷۸	Mg KOH/gr
باقی مانده کربن	ASTM D4530	کمتر از ۰/۰۵	–	%wt
گلیسیرین آزاد	ASTM D6584	کمتر از ۰/۰۲.	۰/۰۱۲	%wt

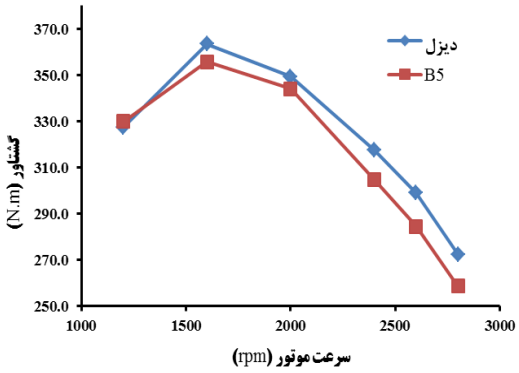
مصرف سوخت ویژه ترمزی نیز یکی از پارامترهای مهم موتور می‌باشد که تغییرات آن در شکل ٤ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سرعت‌های متوسط مصرف سوخت ویژه برای سوخت B5 کمتر از دیزل معمولی است ولی با افزایش سرعت موتور به علت کم بودن ارزش حرارتی بیودیزل مصرف سوخت ویژه بیشتر می‌شود.

شکل ۵ تغییرات بازده حرارتی ترمزی را برای دو نوع سوخت، در سرعت‌های مختلف موتور نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان نتیجه گرفت که در تمام سرعت‌های موتور، سوخت B5 بازده حرارتی بیشتری نسبت به سوخت دیزل دارد و بیشترین بازده حرارتی برای هر دو نوع سوخت در سرعت موتور ۱٦۰۰ rpm به‌دست آمده است. افزایش

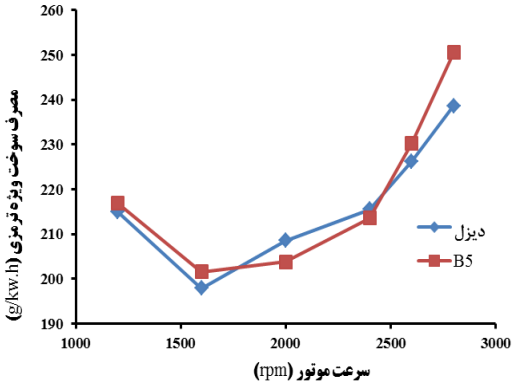
بازده حرارتی ترمزی سوخت B5 به دلیل خاصیت روانکاری بیودیزل و بیشتر بودن اکسیژن آن نسبت به سوخت دیزل معمولی می‌تواند باشد.



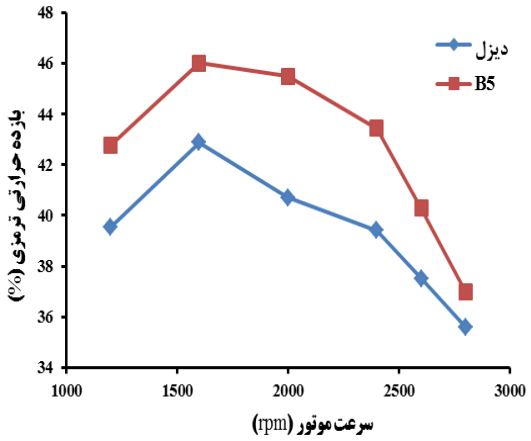
شکل ۲: تغییرات توان ترمزی با سوخت B5 در سرعت‌های مختلف موتور



شکل ۳: تغییرات گشتاور با سوخت B5 در سرعت‌های مختلف موتور



شکل ٤: تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی با سوخت B5 در سرعت‌های مختلف موتور

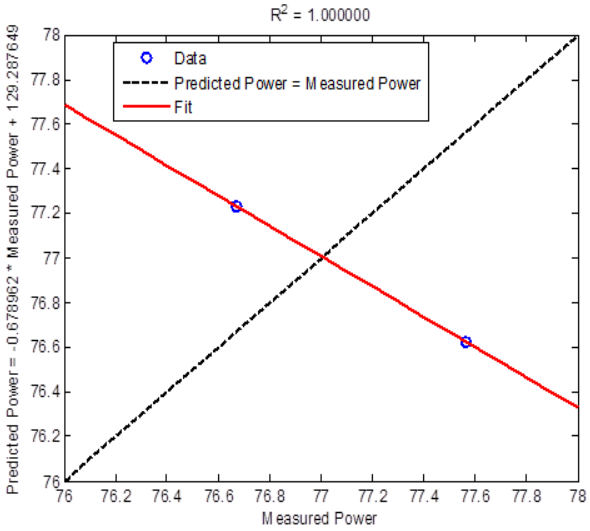


شکل ۵: تغییرات بازده حرارتی ترمزی با سوخت B5 در سرعت‌های مختلف موتور

پیش‌بینی عملکرد موتور توسط شبکه عصبی

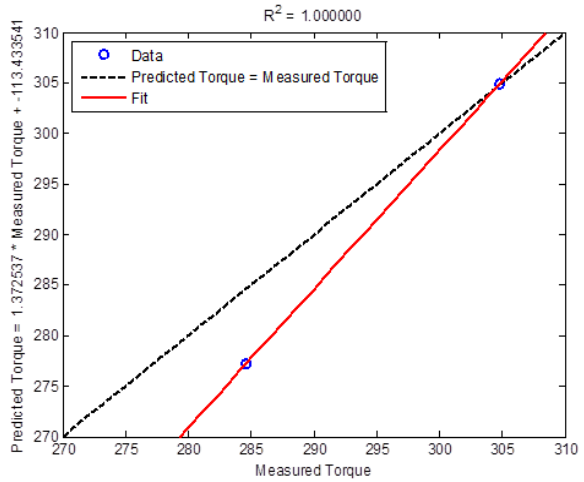
شبکه عصبی مصنوعی یک سیستم پردازش داده است که از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی الهام گرفته و شامل ویژگی‌های است که با شبکه‌های عصبی بیولوژیکی قابل مقایسه می‌باشد (Çay et al., 2013). در تحقیق حاضر از این روش برای پیش‌بینی عملکرد موتور کمک گرفته شده است. پارامترهای ورودی شبکه شامل نوع سوخت، سرعت موتور و نرخ مصرف سوخت و پارامترهای خروجی شامل توان ترمزی موتور، گشتاور، مصرف سوخت ویژه ترمزی (BSFC) و بازده حرارتی ترمزی (BTE) می‌باشد.

در شکل‌های ٦ تا ۹ ضریب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده برای پارامترهای خروجی که عبارتند از توان ترمزی، گشتاور، مصرف سوخت ویژه ترمزی (BSFC) و بازده حرارتی ترمزی (BTE) در داده‌های تست محاسبه شده است. ضریب همبستگی به‌دست آمده برای تمام پارامترهای خروجی واحد می‌باشد که این نتایج نشان می‌دهد شبکه عصبی به‌خوبی قادر به پیش‌بینی عملکرد موتور می‌باشد.

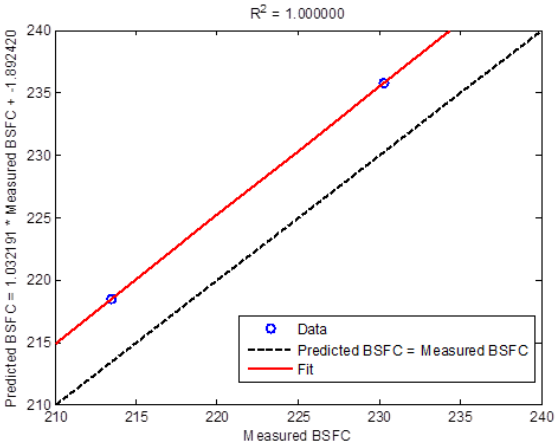


شکل ٦: آنالیز رگرسیون میان نتایج پیش‌بینی شده بوسیله مدل شبکه عصبی و داده‌های تست برای توان ترمزی

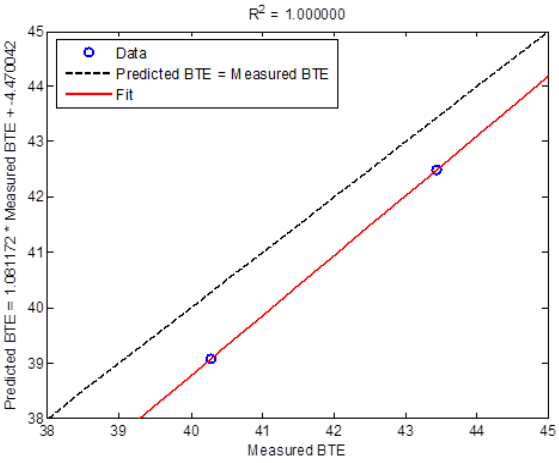
با توجه به ضریب همبستگی بالایی که بین داده‌های پیش بینی شده و اندازه‌گیری شده در این مطالعه به‌دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که برای مدل کردن عملکرد موتورهای دیزل با سوخت‌های مختلف و همچنین میزان آلایندگی این موتورها از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد.



شکل ۷: آنالیز رگرسیون میان نتایج پیش‌بینی شده بوسیله مدل شبکه عصبی و داده‌های تست برای گشتاور



شکل ۸: آنالیز رگرسیون میان نتایج پیش‌بینی شده بوسیله مدل شبکه عصبی و داده‌های تست برای مصرف سوخت ویژه ترمزی



شکل ۹: آنالیز رگرسیون میان نتایج پیش‌بینی شده بوسیله مدل شبکه عصبی و داده‌های تست برای بازده حرارتی ترمزی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عملکرد موتور استفاده شد. همچنین نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی با نتایج به‌دست آمده در آزمون تجربی مورد مقایسه قرار گرفت. سوخت تولید شده با استاندارد آمریکا از لحاظ ویژگی‌ها و خصوصیات مقایسه شد که نتایج حاصل نشان داد سوخت تولیدی کاملا مطابق با استادارد جهانی است. نتایج تست موتور نشان داد که مصرف سوخت ویژه ترمزی بیودیزل نسبت به سوخت دیزل معمولی زیاد است و بیشترین بازده حرارتی ترمزی برای تمام سوخت‌ها در سرعت ۱٦۰۰ rpm به‌دست آمد. مدل‌سازی شبکه عصبی برای پیش‌بینی عملکرد موتور نشان دارد که این مدل توانایی بسیار خوبی برای پیش‌بینی دارد.

مراجع

1. Buyukkaya, E. 2010. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. Fuel., Vol. 89, pp. 3099–3105.
2. Cay, Y. Cicek, A. Kara, F. Sagiroglu, S. 2012. Prediction of engine performance for an alternative fuel using artificial neural network. Appl Therm Eng., Vol. 37, pp. 217-225.
3. Çay, Y. Korkmaz, I. Çiçek, A. Kara, F. 2013. Prediction of engine perfor mance and exhaust emissions for gasoline and methanol using artifi cial neural network. Energy., Vol. 50, pp. 177-186.
4. Chattopadhyay, S. Karemore, A. Das, S. Deysarkar, A. Sen, R. 2011. Biocatalytic production of biodiesel from cottonseed oil: standardization of process parameters and comparison of fuel characteristics. Appl Energy., Vol. 88, No. 4, pp. 1251-1256.
5. Deh Kiani, M.K. Ghobadian, B. Tavakoli, T. Nikbakht, A.M. Najafi, G. 2010. Application of artificial neural networks for the prediction of performance and exhaust emissions in SI engine using ethanol- gasoline blends. Energy., Vol. 35, pp. 65-79.
6. Demirbas, A. 2009. Political, economic and environmental impacts of biodiesels: a review", Appl Energy., Vol. 86, pp. 108–117.
7. Forson, F.K. Oduro, E.K. Hammond-Donkoh, E. 2004. Performance of jatropha oil blends in a diesel engine", Renewable Energy., Vol. 29, pp. 1135–1145.
8. Ghobadian, B. Rahimi, H. Nikbakht, A.M. Najafi, G. Yusaf, T.F. 2009. Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. Renew Energ., Vol. 34, pp. 976-982.
9. Lian, S. Li, H. Tang, J. Tong, D. Hu, C. 2012. Integration of extraction and transesterification of lipid from Jatropha seeds for the production of biodiesel Applied Energy., Vol. 98, pp. 540–547.
10. Murillo, S. Mıguez, J.L. Porteiro, J. Granada, E. Moran, J.C. 2007. Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines. Fuel., Vol. 86, pp. 1765–1771.
11. Najafi, G. Ghobadian, B. Tavakoli, T. Buttsworth, D.R. Yusaf, T.F. Faizollahnejad, M. 2009. Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network. Appl Energ., Vol. 86, pp. 630-639.
12. Öner, C. Altun, S. 2009. Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. Appl Energy., Vol. 86, No. 10, pp. 2114–2120,
13. Sinha, S. Agarwal, A.K. Garg, S. 2008. Biodiesel development from rice bran oil: transesterification process optimization and fuel characterization. Energy Convers Manage., Vol. 49, No. 5, pp. 1248–1257.

Intelligent modeling of diesel engine performance with biodiesel from waste vegetable oil

Abstract

Due to the energy crisis facing the world, the need to biofuels and alternative fossil fuels more and more felt. In this study, biodiesel was produced from restaurants waste oil by two steps. To evaluate the performance of diesel engine fueled by biodiesel, produced fuel combined with conventional diesel than 5% (B5) and tested in engine. The test results showed that the engine brake power of biodiesel compared to conventional diesel is reduced, and also brake thermal efficiency of B5 fuel blend compared to conventional diesel increases. Then the artificial neural network modeling was used to predict the performance of the engine. Network input parameters include fuel type, engine speed and the rate of fuel consumption and output parameters include brake power, torque, brake specific fuel consumption (BSFC) and brake thermal efficiency (BTE). In this study Levenberg- Marquardt algorithm was used for training and testing data. The results of neural network show that the correlation coefficient for the data from the experiments and data predicted in the model in test data, is unit that this shows that neural network model able to predict engine performance as well

Keywords: Artificial Neural Network, Biodiesel, Engine Performenc, Biofuels, Conventional Diesel.