

عنوان مقاله: تأثیر ابعاد راکتور و توان فراصوتی بر نسبت و بهره‌وری انرژی تولید بیودیزل با

کاربرد هوش مصنوعی

لیلا ندرلو^{۱*}، مصطفی مصطفایی^۱، حسین جوادی کیا^۱

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه

* ایمیل نویسنده مسئول: l.naderloo@razi.ac.ir

چکیده

ابعاد راکتور و توان فراصوتی بر مقدار تولید بیودیزل تأثیر زیادی دارند. هدف از این مقاله بررسی روند نسبت و بهره‌وری انرژی در ابعاد (قطر و ارتفاع) مختلف راکتور و همچنین توان فراصوتی مختلف با استفاده از انفیس ANFIS به عنوان یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی است. در این تحقیق، از روغن پسماند خوراکی به همراه متیل الکل در مجاورت کاتالیزور KOH برای تولید بیودیزل استفاده شد. نتایج نشان داد که بیودیزل تولید شده از روغن پسماند خوراکی کیفیت مطلوبی مطابق با استاندارد EN 14214-08 داشت. مقدار نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی به ترتیب ۱/۲۸۳ و ۰/۰۲۴ کیلوگرم بر مگاژول بدست آمد. همچنین نسبت انرژی با افزایش ارتفاع و قطر راکتور ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بیشترین نسبت انرژی (۱/۳۱۴) هنگامی بدست آمد که قطر و ارتفاع راکتور به ترتیب ۷۸ و ۷۰ میلی متر بدست آمد. تغییرات نسبت انرژی در تولید پیوسته بیودیزل به کمک فراصوت، ابتدا سیر افزایشی داشته تا اینکه به ۱/۲۸۸ رسیده و پس از آن روند کاهشی داشت. نتایج کاربرد انفیس نشان داد که مقدار ضریب تعیین بین مقادیر بدست آمده توسط مدل و مقادیر واقعی برای نسبت انرژی ۰/۸۷ و برای بهره‌وری انرژی ۰/۸۰ بود. در صورتی که ضریب تعیین تنظیم شده با استفاده از مدل رگرسیون خطی بدون اینترسپت برای نسبت انرژی ۰/۷۷۳ و برای بهره‌وری انرژی ۰/۷۷۴ بدست آمد. بنابراین انفیس توانست دقیق تر از مدل رگرسیون خطی نسبت و بهره‌وری انرژی تولید بیودیزل را با تغییر در ابعاد راکتور و توان فراصوت پیش‌بینی کند.

واژه‌گان کلیدی: انفیس، بیودیزل، راکتور، روغن پسماند خوراکی، نسبت انرژی.



مقدمه

بیودیزل یک نوع سوخت تجدیدپذیر است که از روغن گیاهی تازه یا پسماند و یا چربی حیوانی به دست می‌آید. با توجه به محدود بودن منابع فسیلی، مسائل زیست محیطی، آلودگی هوا و نقش اساسی انرژی در اقتصاد کشورهای جهان و اهمیت داشتن امنیت سوختی در آینده تولید سوخت های زیستی ضروری به نظر می رسد (عابدی و همکاران، ۱۳۹۱). طبق آمار در ایران میزان روغن پسماند خوراکی بالغ بر ۴۲۸ هزار تن می باشد که جمع آوری و تبدیل آن به سوخت زیستی نقش مهمی در کاهش آلودگی هوا و کمک به اقتصاد ملی دارد و علاوه بر تولید سوخت زیستی از تلفات روغن نیز جلوگیری می شود (بی نام، ۱۳۹۲). سوخت بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون طی فرایندی در داخل راکتور با افزودن متانول از روغن های گیاهی یا حیوانی استخراج می شود. کاربرد توان فراصوت برای همزدن، به دلیل ایجاد پدیده حفره زایی و تشکیل امولسیون ذرات ریز بین فاز الکل و روغن باعث می شود که بیودیزل با سرعت و کیفیت بالاتری تولید می گردد. اختلاط فاز روغن و فاز الکل در روش همزدن مکانیکی بطور کامل و مناسب انجام نمی شود و مخلوط ناهمگن می گردد و موجب کاهش سرعت واکنش ترانس استریفیکاسیون و عملکرد پایین تولید بیودیزل می گردد (مصطفایی مینق، ۱۳۹۱).

نسبت و تفاوت بین خروجی های انرژی و ورودی های انرژی در تولید یکی از شاخص های پذیرفته شده برای ارزیابی انرژی است (Nguyen *et al.*, 2007). برای دستیابی به توسعه پایدار و حفظ منابع جمعیت آینده یافتن راه حلی برای کاهش مصرف انرژی در تولید ضروری است. کاربرد مؤثر منابع انرژی در مسائل بهره وری و پایداری مهم است. بنابراین توجه به رابطه ورودی ها و خروجی های انرژی با استفاده از روش تابعی خیلی مهم است (Hatirli *et al.*, 2006). عوامل زیادی در طر فرایند تولید بیودیزل می تواند بر نسبت و بهره وری انرژی بیودیزل مؤثر باشد که از جمله آنها می توان به ابعاد راکتور و میزان توان فراصوتی برای همزدن اشاره نمود. تأثیر تغییرات قطر و ارتفاع و میزان توان فراصوتی بر نسبت و بهره وری انرژی رابطه غیرخطی می باشد.

در گذشته، برای دانستن روابط بین ورودی ها و خروجی های یک فرایند تولیدی از مدل های ریاضی استفاده می شد. اما این روش منطق کلاسیک نیاز به تعریف دقیق معادلات مدل ریاضی برای توصیف پدیده دارد (Serge, 2001; Singh and Gill, 2010). منطق فازی برای نمایش دانش ساده ای از فرایند تولید بر حسب قوانین اگر-آنگاه مطرح می شود. منطق فازی برای حل مسائل پیچیده و خوب تعریف نشده یا غیر ممکن مناسب است (Serge, 2001; Singh and Gill, 2010). یکی دیگر از روش های هوش مصنوعی، شبکه های عصبی مصنوعی است که مطابق شبکه عصبی طبیعی مغز بشر کار می کند و برای حل مسائل غیر خطی بسیار مفید می باشد. روش عصبی فازی مزایای روش های شبکه عصبی و سیستم فازی را دارد زیرا ترکیب هر دو روش است، (Azadeh *et al.*, 2011; Buragohain and Mahanta, 2008; Metin and Murat, 2008). پس سیستم استنتاج



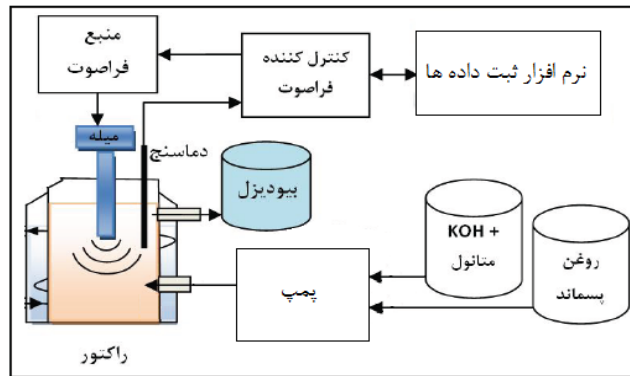
تطبیقی عصبی- فازی (ANFIS¹) نیز برای حل مسائل تخمینی مفید است (Buragohain and Mahanta, 2008). استفاده از این روش در جاهایی که روش های کلاسیک ناموفق بوده یا بسیار پیچیده هستند، خیلی مؤثر است (Cheng *et al.*, 2002). به عنوان تحقیقات انجام شده، پیش بینی قیمت روغن پالم خام با استفاده از روش هوش مصنوعی انجام شد (Karia *et al.*, 2013). امکان سنجی مالی روغن پسماند خوراکی برای تولید بیودیزل نیز با استفاده از ANFIS مطالعه شده است. دقت نتایج آنها با استفاده از تابع عضویت مثلثی، گوسین و ذوزنقه ای به ترتیب ۶۱، ۶۰ و ۵۱ درصد بود (Ahmad *et al.*, 2015). تحقیقات زیادی نیز در مورد نحوه تولید بیودیزل انجام شده است و حتی در مقیاس صنعتی با بهبود متغیرهایی مانند نوع کاتالیزور، طراحی راکتور و نوع روغن خام غیر فسیلی پیاده سازی شده است. افزایش شتاب و بازده واکنش با کمک راکتور یکپارچه با استفاده از ANFIS بدست آمده است (Shoelarta, 2012). نتایج رضایت بخش آن موجب شد شبیه سازی کنترل راکتور با اندازه گیری بر خط آلتراسونیک و چهار متغیر (کاتالیزور، همزن، دبی تغذیه و توان میکروویو) در فرایندهای منظمی به ترتیب انجام شود. ارزیابی اثر دما بر روی واکنش ترانس استریفیکیشن برای تولید بیودیزل با استفاده از روش فازی مدل سازی شد (Sohpal *et al.*, 2011). برخی از محققین قابلیت کاربرد انفیس را برای مدل سازی پارامترهای اجرایی و خروجی آگروز یک موتور دیزل با کاربرد سوخت های مختلف از ترکیب بیودیزل و دیزل ارزیابی کردند (Gopalakrishnan *et al.*, 2011; Honoz *et al.*, 2013). کنترل هوشمند راکتور بیودیزل میکروویو بصورت خودکار در زمان واقعی کنترل نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ANFIS انجام شد (Wali *et al.*, 2013). هدف از این تحقیق، تعیین روند نسبت انرژی و بهره وری انرژی با تغییر در ابعاد راکتور و توان فراصوتی با استفاده از روش انفیس (ANFIS) در واکنش ترانس استریفیکاسیون برای تولید سوخت بیودیزل از روغن پسماند خوراکی می باشد.

مواد و روش ها

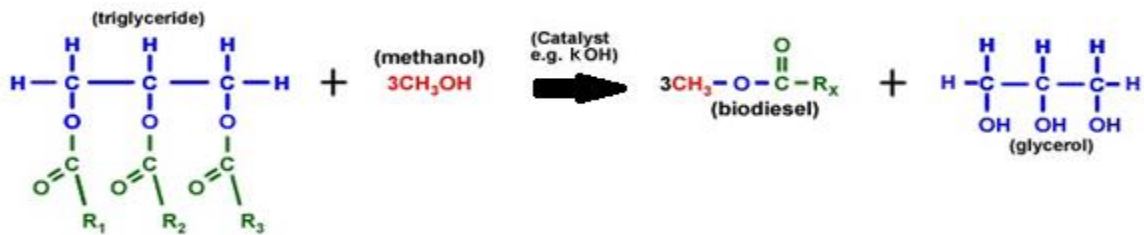
روغن پسماند خوراکی بکار رفته در این تحقیق، ترکیبی از روغن سویا، آفتابگردان و کلزا می باشد. روغن پسماند آشپزخانه پس از عبور از صافی در یک مخزن استوانه ای به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت تا رسوبات و مواد زاید داخل آن ته نشین شود. روغن های پسماند آشپزخانه همیشه دارای مقداری آب هستند که برای واکنش ترانس استریفیکاسیون با کاتالیزور قلیایی مفید نبوده و باعث انجام واکنش های جانبی همچون واکنش صابونی شدن می شود. بنابراین جدا کردن آب از روغن پسماند قبل از انجام واکنش ضروری است. چون چگالی آب بیشتر از روغن می باشد با گذشت زمان در اثر ته نشینی آب از روغن جدا می گردد. اما در حالت عادی، این کار خیلی زمان بر است. بنابراین برای تسریع در جدا شدن، روغن به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد و بعد از حرارت دادن، روغن به داخل مخزن ته نشینی انتقال داده تا حداقل ۱۴ ساعت بماند و آب آن جدا شود (مصطفایی مینق، ۱۳۹۱).

¹ - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

تجهیزات و دستگاه‌های مورد نیاز برای تولید بیودیزل از روغن پسماند خوراکی شامل روغن پسماند خوراکی، متانول، کاتالیزور KOH، پمپ، راکتور، منبع فراصوت، کنترل کننده فراصوت، میله ارتعاشی و نرم افزاری ثابت داده‌ها می‌باشند. شکل (۱) تجهیزات مورد نظر و ارتباط آنها را نشان می‌دهد. در این تحقیق، واکنش تولید بیودیزل در ابعاد مختلف راکتور و توان صوتی مختلف انجام گرفت. تمامی آزمایش‌ها با استفاده از با استفاده از قطر میله ارتعاشی ۱۴ میلی‌متر، نسبت مولی یک به شش روغن به الکل، غلظت کاتالیزور یک درصد وزنی روغن، عمق نفوذ میله درون راکتور ۱۵ میلی‌متر، دمای واکنش ۴۵ درجه سلسیوس، دامنه ارتعاشی فراصوت ۷۵ درصد، مدت زمان واکنش ۳ دقیقه و در راکتوری با شکل استوانه‌ای انجام شد. قطر راکتور در اندازه‌های ۶۳، ۷۸ و ۹۳ میلی‌متر و ارتفاع راکتور در اندازه‌های ۳۰، ۷۰ و ۱۱۰ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. توان فراصوتی نیز به میزان ۲۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد در تحقیق بررسی شد. شکل (۲) فرایند تولید بیودیزل را نشان می‌دهد که در آن روغن در مجاورت متانول و با حضور کاتالیزور تولید بیودیزل و گلیسرین می‌کند.



شکل ۱- تجهیزات مورد نیاز برای تولید بیودیزل با همزن فراصوتی



شکل ۲ - فرایند تولید بیودیزل

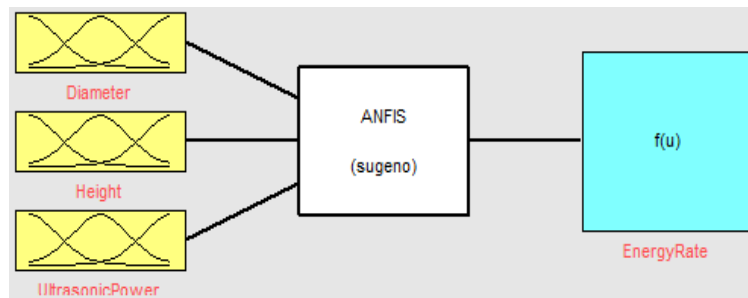
تمامی آزمایش‌های لازم برای تعیین مقدار متیل استر تولید شده توسط دستگاه GC^۱ و تعیین ویژگی‌های بیودیزل تولیدی با تجهیزات آزمایشگاهی دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام شد. بیودیزل تولید شده به صورت خام مورد بررسی قرار گرفت و عملیات آبشویی و فرآوری‌های دیگر برای جداسازی آب و صابون بر روی آن انجام نشد. همچنین اندازه‌گیری مونو، دی و تری گلیسریدها و گلیسرین کل داخل بیودیزل به دلیل عدم راه‌اندازی ستون گلیسرین در دستگاه GC انجام نگرفت و مونو گلیسرید و دی

¹ - Gas Chromatography

گلیسیرید نیز از فاز گلیسیرین جداسازی نشد. با انجام فرایند آشوبی درصد خلوص بیودیزل نسبت به بازده واکنش افزایش می یابد. کاتالیزور تنها به عنوان سرعت دهنده واکنش بوده و در واکنش دخالت نمی کند بنابراین به همان مقدار ورودی در خروجی واکنش وجود خواهد داشت.

برای ارزیابی تراز انرژی در تولید بیودیزل انرژی های ورودی شامل نیروی کارگری، روغن پسماند خوراکی، متانول، کاتالیزور هیدروکسید پتاسیم، الکتریسیته و ماشینی (پمپ) بودند. انرژی های خروجی نیز شامل بیودیزل، متانول، کاتالیزور، ترکیب گلیسیرین، مونو گلیسیرید و دی گلیسیرید بودند. مقادیر انرژی های مختلف ورودی و خروجی بر اساس معادل انرژی آنها محاسبه شد (Mohammadshirazi *et al.*, 2014; Naderloo *et al.*, 2012). شاخص های انرژی مورد ارزیابی شامل نسبت انرژی (کارایی مصرف انرژی) و بهره وری انرژی بودند. نسبت انرژی، نسبت کل انرژی خروجی (MJ/L) به کل انرژی ورودی (MJ/L) و بدون بعد می باشد. بهره وری انرژی (kg/MJ) نیز از تقسیم مقدار بیودیزل تولیدی (kg/L) بر مقدار انرژی ورودی (MJ/L) بدست می آید (Mandal *et al.*, 2002; Naderloo *et al.*, 2012). برای افزایش دقت و سرعت مدل، داده ها بین صفر و یک نرمال شدند.

از آنجاییکه تأثیر تغییرات قطر و ارتفاع و میزان توان فراصوتی بر نسبت و بهره وری انرژی رابطه غیرخطی می باشد، برای بررسی روند آنها از ANFIS استفاده گردید. در این تحقیق، برای ایجاد سیستم استنتاج فازی با استفاده از ANFIS، از جعبه ابزار منطق فازی MATLAB استفاده شد. ورودی های ANFIS شامل قطر و ارتفاع راکتور و همچنین درصد توان فراصوتی بودند. در مدل نسبت انرژی خروجی ANFIS نسبت انرژی بود و در مدل بهره وری انرژی نیز، خروجی ANFIS بهره وری انرژی بود.



شکل ۳- ورودی ها و خروجی در مدل ANFIS برای نسبت انرژی

در این مدل سازی، پنج تنظیم مهم و مؤثر در ساختار شبکه ANFIS تغییر داده شد تا بتوان بهترین تنظیم را برای بدست آوردن مؤثرترین مدل ANFIS بدست آورد و بهترین مدل با کمترین خطا انتخاب شود. این تنظیمات شامل تعداد توابع عضویت، نوع تابع عضویت (مثلثی، دوزنقه ای، زنگوله ای، گوسین و سیگموئید)، نوع تابع عضویت خروجی (ثابت یا خطی)، روش بهینه سازی (هیبرید یا پس انتشار) و تعداد اپک ها بودند. عملکرد مدل به کمک چند معیار آماری شامل میانگین مربعات خطا، ضریب تعیین و معنی-

داری آن مورد ارزیابی قرار گرفت. این پارامترها میزان انطباق مقادیر بدست آمده را با مقادیر واقعی بررسی می نمایند. ۷۰ درصد داده ها برای یادگیری و ۳۰ درصد داده ها برای تست انتخاب شد.

نتایج و بحث

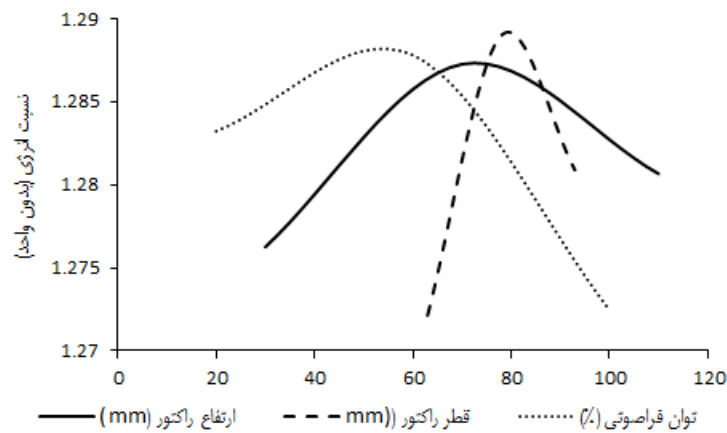
قبل از هر بررسی باید از کیفیت بیودیزل تولیدی اطمینان پیدا کرد. بنابراین برخی از خواص مهم بیودیزل تولیدی با استاندارد EN 14214-08 اندازه گیری شد و با توجه به نتایج آن مشخص گردید که بیودیزل تولیدی با استانداردهای مربوطه مطابقت داشته و به طور اطمینان می توان در موتورهای دیزل استفاده نمود. جدول ۱ نتایج اندازه گیری خواص بیودیزل تولیدی را نشان می دهد.

جدول ۱ - خواص بیودیزل تولید شده

خصوصیات	واحد	حدود مجاز	مقدار اندازه گیری شده
نقطه اشتعال	°C	>۱۰۱	۱۷۲
گرانروی سینماتیکی C ۴۰°	mm/s	۳/۵ - ۵	۳/۸۹
عدد اسیدی	mgKOH/g	<۰/۵۰	۰/۴۲
عدد یدی	g iodine/100 g	<۱۲۰	۹۸/۲۶
چگالی C ۱۵°	Kg/m ³	۸۶۰ - ۹۰۰	۸۷۹/۲۷۵
خاکستر سولفات	mass%	<۰/۰۲۰	۰/۰۱۴
پایداری اکسیداسیون	h	>۶	۶/۰۹

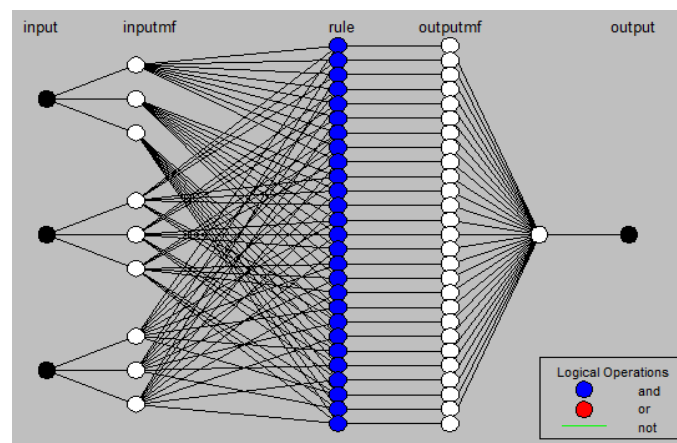
پس از انجام محاسبات لازم، مقادیر شاخص های انرژی تولید بیودیزل از روغن خوراکی پسماند بدست آمد. میانگین مقدار انرژی ویژه ۴۲/۶۱۹ مگاژول بر کیلوگرم و انرژی خالص نیز ۱۰/۳۵۳ مگاژول بر لیتر بدست آمد. میانگین مقدار نسبت انرژی ۱/۲۸۳ بدست آمد که نشان می دهد در واکنش تولید بیودیزل از روغن خوراکی پسماند انرژی تولید شده است و تولید بیودیزل در این تحقیق از نظر منطقی و علمی درست می باشد. در تحقیق شاپوری و همکاران (Shapouri et al., 1995) نسبت انرژی ۱/۲۴ بدست آمده است. در تحقیق انجام شده توسط محمدشیرازی و همکاران نسبت انرژی ۱/۴۹ بدست آمده است (Mohammadshirazi et al., 2014). همچنین، میانگین مقدار بهره وری انرژی بدست آمده در این تحقیق بیانگر این است که ۰/۰۲۴ کیلوگرم بیودیزل به ازای هر مگاژول انرژی مصرفی تولید می گردد. میانگین مقادیر انرژی مستقیم، غیر مستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر بکار رفته در این واکنش نیز به ترتیب ۵/۹۱۸، ۳۰/۷۳۴، ۳۰/۳۴۶ و ۶/۴۰۶ مگاژول بر لیتر بدست آمدند. به عبارت دیگر مقدار انرژی غیرمستقیم حدود ۶ برابر انرژی غیرمستقیم و مقدار انرژی تجدیدناپذیر حدود ۵ برابر انرژی تجدیدپذیر است که لازم است تا حد امکان در جایگزینی انرژی های غیر مستقیم و تجدیدناپذیر با انرژی های مستقیم و تجدیدپذیر اقدام نمود.

بر اساس نتایج به دست آمده، نسبت انرژی با افزایش ارتفاع و قطر راکتور ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بیشترین نسبت انرژی (۱/۳۱۴) هنگامی بدست آمد که قطر راکتور ۷۸ میلی متر و ارتفاع آن میلی متر ۷۰ بدست آمد (شکل ۴). در تحقیقی که کلیما و همکارانش انجام دادند، قطر راکتور ۹۰ میلی متر و ارتفاع آن ۱۱۰ میلی متر بدست آمده است (Klima et al., 2007). دلیل تفاوت نتایج را به یکسان نبودن محیط (آب و روغن)، عمق نفوذ متفاوت و نیز قطر متفاوت میله ارتعاشی می تواند باشد. نتایج همچنین نشان داد که استفاده از توان فراصوت نسبت به همزن مغناطیسی سرعت واکنش را به شدت افزایش و میزان انرژی مصرفی را کاهش می دهد. تغییرات نسبت انرژی در تولید پیوسته بیودیزل به کمک فراصوت ابتدا سیر افزایشی داشته تا اینکه به ۱/۲۸۹ رسیده و پس از آن روند کاهشی داشت (شکل ۴).



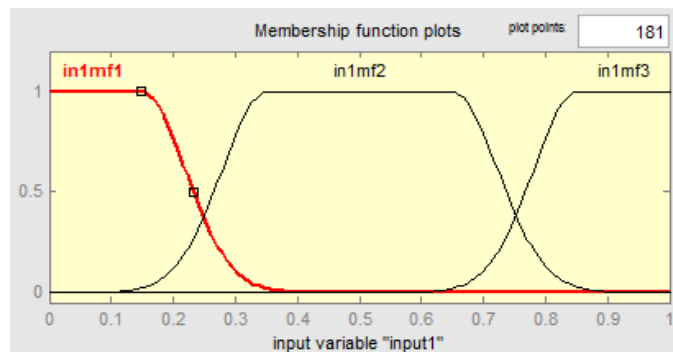
شکل ۴- تغییرات نسبت انرژی در برابر ارتفاع و قطر راکتور و توان فراصوتی

شکل ۵ ساختار بهترین شبکه بدست آمده برای ANFIS را نشان می دهد که سه تابع عضویت برای هر ورودی داشته و تابع عضویت خروجی نوع خطی می باشد و ۲۷ قانون دارد.

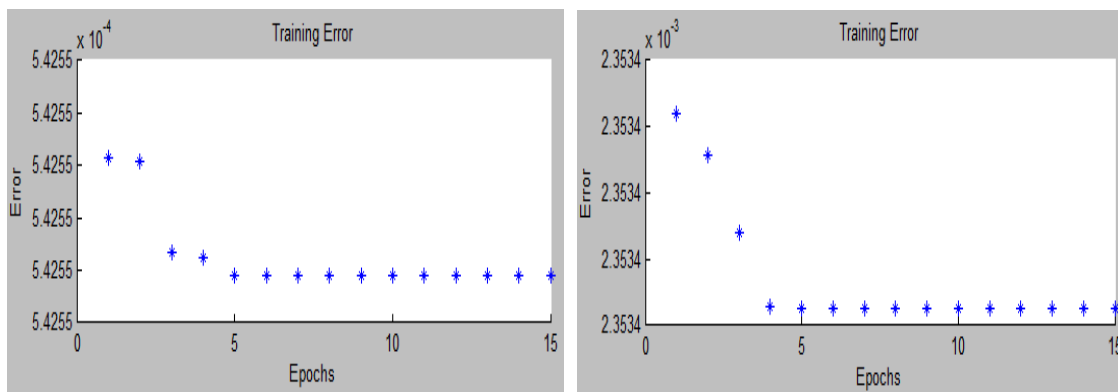


شکل ۵- ساختار مدل ANFIS با سه تابع عضویت برای هر ورودی

شکل ۶ نیز بهترین نوع تابع عضویت ورودی بدست آمده را برای نسبت انرژی و بهره وری انرژی نشان می‌دهد که در هر دو از نوع گوسین ترکیبی بوده و هر ورودی سه تابع عضویت دارد. روش بهینه سازی هیبرید بهتر از روش پس انتشار و تعداد اپک‌ها برای ۱۵ بود. همچنین شکل ۷ رابطه بین خطای یادگیری شبکه و تعداد اپک را در ANFIS نشان می‌دهد و همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد اپک‌ها کاهش یافته تا جایی که دیگر ثابت شده است.



شکل ۶- تابع عضویت نوع گوسین ترکیبی با سه تابع برای هر ورودی

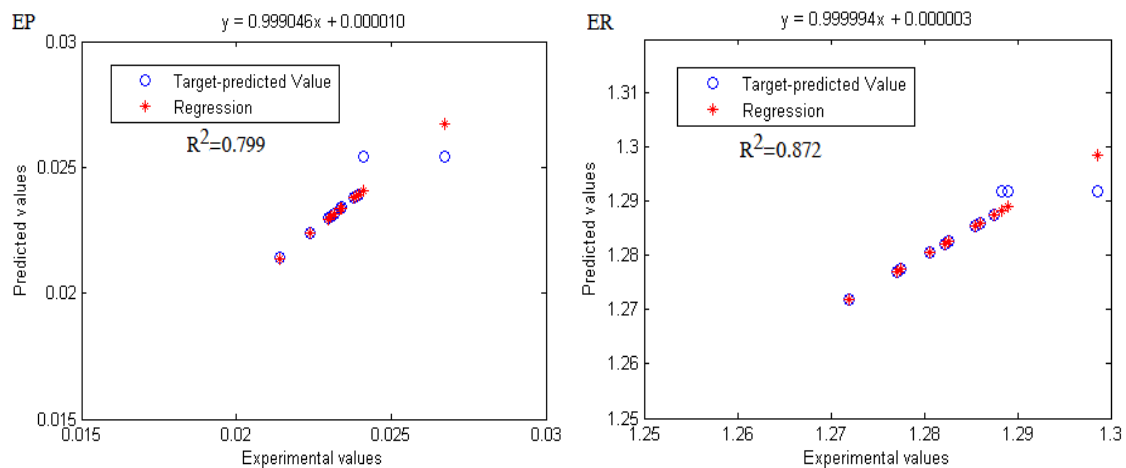


شکل ۷- رابطه بین خطای یادگیری شبکه و تعداد اپک برای نسبت انرژی (راست) و بهره وری انرژی (چپ)

ویژگی‌های مدل انفیس ۱ و ۲ برای نسبت و بهره وری انرژی در جدول ۲ نشان داده شده است. مقادیر میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین برای نسبت انرژی به ترتیب $5/54e-6$ و $0/172$ بدست آمد (جدول ۲). این مقادیر برای بهره وری انرژی به ترتیب $2/94e-7$ و $0/799$ بدست آمد. شکل ۸ نتایج بهترین مدل و رابطه تناظر یک به یک بین مقادیر بدست آمده توسط بهترین مدل و مقادیر واقعی و رابطه تناظر یک به یک بین مقادیر بدست آمده توسط مدل و مقادیر واقعی را برای نسبت انرژی (راست) و بهره وری انرژی (چپ) نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات ساختاری بهترین مدل انفیس و پارامترهای آماری مدل‌ها

مدل‌ها	مدل انفیس ۱	مدل انفیس ۲
ورودی‌ها	قطر، ارتفاع، توان فراصوت	قطر، ارتفاع، توان فراصوت
خروجی	نسبت انرژی	بهره‌وری انرژی
نوع تابع عضویت ورودی	گوسین ترکیبی	گوسین ترکیبی
نوع تابع عضویت خروجی	خطی	خطی
تعداد تابع عضویت ورودی	۳	۳
تعداد اپک	۱۵	۱۵
مجموع مربعات خطا	۴/۸۱۴۳	۰/۰۰۱۰
میانگین خطای مطلق	۰/۷۶۴۴	۰/۰۰۹۲
میانگین مربعات خطا	$۵/۵۴e^{-6}$	$۲/۹۴e^{-7}$
ضریب تعیین	۰/۸۷۲	۰/۷۹۹
معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰



شکل ۸- تناظر یک به یک بین مقادیر بدست آمده مدل و مقادیر واقعی برای نسبت انرژی (راست) و بهره‌وری انرژی (چپ)

این نتایج نشان می‌دهد که انفیس می‌تواند نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی را به ترتیب تقریباً ۸۷ و ۸۰ درصد پیش‌بینی کنند. در صورتی که ضریب تعیین تنظیم شده با استفاده از مدل رگرسیون خطی بدون اینترسپت برای نسبت انرژی ۰/۷۷۳ و برای بهره‌وری انرژی ۰/۷۷۴ بدست آمد. بنابراین مدل تدوین شده توانست نسبت و بهره‌وری انرژی تولید سوخت بیودیزل را با تغییر قطر و ارتفاع راکتور و همچنین توان فراصوتی با دقت خوبی پیش‌بینی نماید.

نتیجه‌گیری

در راستای یافتن سوخت جایگزین برای سوخت فسیلی، بیودیزل تولید شده از روغن پسماند خوراکی دارای کیفیت مطلوبی بوده و خواص آن با استاندارد مطابقت داشت. مقدار نسبت انرژی ۱/۲۸۳ بدست آمد و نشان داد که در این واکنش انرژی تولید شده است و از نظر منطقی و علمی درست می باشد. مقدار بهره وری انرژی نیز ۰/۰۲۴ کیلوگرم بیودیزل به ازای هر مگاژول انرژی بدست آمد. تغییر ارتفاع و قطر راکتور و میزان توان فراصوتی بر نسبت انرژی تولید بیودیزل تأثیر داشت. نسبت انرژی با افزایش ارتفاع و قطر راکتور ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. تغییرات نسبت انرژی در تولید پیوسته بیودیزل به کمک فراصوت ابتدا سیر افزایشی داشته و سپس کاهش یافت. نتایج کاربرد انفیس نشان داد که مقدار ضریب تعیین بین مقادیر بدست آمده توسط مدل و مقادیر واقعی برای نسبت انرژی ۰/۸۷ و برای بهره وری انرژی ۰/۸۰ بود و انفیس نسبت به مدل رگرسیون خطی بدون اینترسپت نتایج دقیق تری را توانست پیش بینی کند (ضریب تعیین مدل های نسبت انرژی ۰/۷۷۳ و بهره وری انرژی ۰/۷۷۴ بدست آمد). در این واکنش مقدار انرژی غیرمستقیم حدود ۶ برابر انرژی غیرمستقیم و مقدار انرژی تجدیدناپذیر حدود ۵ برابر انرژی تجدیدپذیر است که لازم است تا حد امکان در جایگزینی انرژی های غیر مستقیم و تجدیدناپذیر با انرژی های مستقیم و تجدیدپذیر اقدام نمود.

منابع

- بی نام، ۱۳۹۲. خبرگزاری تسنیم، تولید سوخت پاک بیودیزل در ایران، شناسه خبر: ۳۰۹۷۷۷، ۲۰ اسفند ۱۳۹۲
<http://www.tasnimnews.com/Home/Single/309777>
- عابدی، س، حاجی نژاد، ا و قبادیان، ب. ۱۳۹۱. پتانسیل تولید بیودیزل به عنوان سوخت پاک تجدیدپذیر از گیاهان دانه روغنی با استفاده از نرم افزار GIS در استان کرمان. دومین کنفرانس بین المللی سالانه انرژی پاک.
- مصطفایی مینق، ب. ۱۳۹۱. تأثیر پارامترهای فراصوت بر تولید پیوسته بیودیزل، رساله دکتری، گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

Ahmad, I., I. Hermadi, and Y. Arkeman. 2015. Financial feasibility study of waste cooking oil utilization for biodiesel production using ANFIS. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering 13(3): 546-554

Azadeh, A., M. Saberi, M. Anvari, A. Azaron, and M. Mohammadi. 2011. An adaptive network based fuzzy inference system–genetic algorithm clustering ensemble algorithm for performance assessment and improvement of conventional power plants. Expert Systems with Applications 38: 2224–2234.

- Buragohain, M. and C. Mahanta. 2008. A novel approach for ANFIS modelling based on full factorial design. *Applied Soft Computing* 8: 609–625.
- Cheng, C.B., C.J. Cheng and E.S. Lee. 2002. Neuro-Fuzzy and Genetic Algorithm in Multiple Response Optimization. *Computers and Mathematics with Applications* 44: 1503-1514.
- Gopalakrishnan, K., A. Mudgal, and S. Hallmark. 2011. Neuro-fuzzy approach to predictive modeling of emissions from biodiesel powered transit buses. *Transport* 26(4): 344–352.
- Hatirli, S.A., B. Ozkan, and C. Fert. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy* 31:427–438.
- Honoz, M., H.E. Metin, M. Karabektas, and G. Ergen. 2013. ANFIS modeling of performance and emissions of diesel engine using diesel fuel and biodiesel blends. *Applied Thermal Engineering* 60: 24-32.
- Karia, A.A., I. Bujang, and I. Ahmad. 2013. Forecasting on crude palm oil prices using artificial intelligence approaches. *American Journal of Operations Research* 3: 259-267.
- Kiralakis, L., and N.C. Tsourveloudis. 2005. Modeling and Optimization of Olive Stone Drying process, WSEAS International conference on Dynamical systems and control, Venice, Italy.
- Klima, J., A. Frias-Ferrer, J. González-García, J. Ludvík, V. Sáez, and J. Iniesta. 2007. Optimisation of sonoreactor geometry on the basis of numerical simulation of local ultrasonic intensity and qualitative comparison with experimental results. *Ultrasonics Sonochemistry* 14(1): 19-28.
- Mandal K.G., K.P. Saha, P.L. Gosh, K.M. Hati, and K.K. Bandyopadhyay. 2002. Bioenergy and economic analyses of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass Bioenergy* 23: 337–45.
- Metin, E.H., and H. Murat. 2008. Comparative analysis of an evaporative condenser using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *International Journal of Refrigeration* 31: 1426 – 1436.
- Mohammadshirazi, A., A. Akram, S. Rafiee, and E. Bagheri Kalhor. 2014. Energy and cost analyses of biodiesel production from waste cooking oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33: 44-49.

- Naderloo, L., R. Alimardani, M. Omid, F. Sarmadian, P. Javadikia, M.Y. Torabi, and F. Alimardani. 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. *Measurement* 45: 1406–1413.
- Nguyen, T.L.T., S. H. Gheewala, and S. Garivait. 2007. Full chain energy analysis of fuel ethanol from cassava in Thailand. *Environmental Science and Technology* 41: 4135–4142.
- Serge, G. 2001. Designing fuzzy inference systems from data: Interpretability oriented review. *IEEE Transaction on Fuzzy Systems* 9(3): 426-442.
- Singh, J., and S. Gill. 2010. Modeling for tensile strength of friction welded aluminium pipes by ANFIS. *Intelligent Engineering Informatics* 1(1): 3-20.
- Shapouri, H., J.A. Duffield, and M.S. Graboski. 1995. Estimating the net energy balance of corn ethanol. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Office of Energy. *Agricultural Economic Report No. 721*.
- Shoelarta, S. 2012. The development of a biodiesel reactor microwave irradiation assisted an ongoing and the design of Adaptive controller based on ANFIS. Department of Engineering Physics, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia.
- Sohpal, V.K., A. Singh, and A. Dey, 2011. Fuzzy modeling to evaluate the effect of temperature on batch trans-esterification of jatropha curcas for biodiesel production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis* 6 (1): 31 – 38.
- Wali, W. A., J.D. Cullen, S. Bennett, and A.I. Al-Shamma. 2013. Intelligent PID Controller for Real Time Automation of Microwave Biodiesel Reactor. *International Journal of Computer and Information Technology* 2 (4): 809-814.