

شبیه سازی فرآیند تولید سوخت بیودیزل حاصل از روغن های پسماند با استفاده از شبکه عصبی

حسین باقرپور^{۱*}

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: بیودیزل، روغن پسماند، شبکه عصبی مصنوعی، مقدار تبدیل واکنش.</p>	<p>هدف این تحقیق ارائه مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در تولید سوخت بیودیزل است که بتوان به راحتی تخمینی از میزان تبدیل واکنش به دست آورد. شبکه تولید شده از نوع شبکه پس انتشار می باشد که دارای یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک لایه پنهان می باشد. متغیرها ورودی شبکه عصبی به ترتیب عبارتند از: نسبت مولی الکل به روغن (۱:۹-۱:۳)، دمای واکنش (۴۵-۶۵ °C) و شدت هم زنی (۶۰۰-۲۰۰ rpm). با مقایسه نتایج آزمایش ها، بیشترین تبدیل در نسبت مولی ۶:۱ الکل به روغن، دمای ۶۵ درجه سانتیگراد و همچنین دور ۶۰۰ حاصل شد. همچنین با مقایسه چندین تابع انتقال و همچنین الگوریتم های آموزشی درصد خطای موجود بین مقدار واقعی و مقدار تخمین زده شده توسط شبکه عصبی ۰/۰۰۴۲ به دست آمد. با توجه به نتایج حاصله، مدل شبکه عصبی قادر است که مقدار تبدیل واکنش را به خوبی و با ضریب همبستگی ۰/۹۹۷ تخمین بزند. برای رسیدن به نتیجه مطلوب نتایج حاصل از آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید.</p>

۱- مقدمه

در سال های اخیر در نتیجه استفاده بیرویه از سوخت های فسیلی نگرانی های زیادی به خاطر افزایش آلودگی هوای شهرها و همچنین گرم شدن کره زمین به وجود آمده است. استفاده از سوخت های تجدیدپذیر و جایگزین همچون سوخت بیودیزل می تواند تا حدود زیادی از این نگرانی ها بکاهد. بیودیزل (متیل استر اسید چرب) سوختی است نسبتاً پاک که از مواد طبیعی و تجدیدپذیر مانند روغن های گیاهی و یا چربی های حیوانی تولید می شود [۱]. از آنجایی که این سوخت دارای ویسکوزیته نزدیک به سوخت دیزل و عدد ستان و نقطه اشتعال بالایی است،

بنابراین می تواند جایگزین خوبی برای سوخت دیزل گردد. این سوخت درست مانند گازوئیل در موتورهای دیزل (اشتعال تراکمی) کار می کند و برای این کار اصولاً با اندکی تغییر و یا بدون تغییر و اصلاح در موتور می تواند مورد استفاده قرار بگیرد [۲ و ۳]. چندین راه برای تولید سوخت بیودیزل وجود دارد که معمول ترین آن روش ترانس استریفیکاسیون است. در این فرآیند بیشتر از واکنش گرهای بازی و اسیدی همچون هیدروکسید پتاسیم یا هیدروکسید سدیم و اسید سولفوریک استفاده می شود. مناسب ترین ماده اولیه برای تولید این سوخت، روغن های سوخته آشپزخانه می باشد [۱، ۴ و ۵].

شبکه های عصبی مصنوعی نوعی مدل سازی ساده از سیستم های عصبی واقعی هستند که کاربرد فراوانی در حل مسائل مختلف در علوم دارند. حوزه کاربرد این

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: h.bagherpour@basu.ac.ir

۱. استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

اسیدهای چرب آزاد بالای ۱ درصد، فرآیند نیازمند یک مرحله پیش تصفیه (مرحله استریفیکاسیون) می‌باشد که با استفاده از اسید سولفوریک انجام می‌شود.

مرحله ترانساستریفیکاسیون: این مرحله از فرآیند در داخل راکتوری به حجم ۸۰ لیتر و از جنس استیل انجام شد. این راکتور مجهز به یک هم‌زن ملخی، گرمکن برقی، مبدل بازیافت متانول، حس‌گر دما و همچنین پمپ‌های تغذیه و تخلیه است. در این مرحله از واکنش، با مخلوط کردن روغن و متانول در حضور کاتالیزور بازی هیدروکسید پتاسیم محصولات بیودیزل و گلیسرین تولید گردید. در این تحقیق بهینه‌سازی عملکرد این واحد عملیاتی مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر پارامترهایی همچون دما، نسبت مولی الکل به روغن و همچنین شدت اختلاط مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲-۱- نحوه انجام تست های آزمایشگاهی

در این مقاله برای بهینه‌سازی پارامترهای تاثیرگذار بر واکنش ترانس استریفیکاسیون آزمایش‌های مربوط به این پارامترها در مورد خوراک‌های پسماند مورد بررسی قرار گرفت. لذا در تحقیق حاضر، اثرات نسبت مولی الکل به روغن از نسبت ۳:۱ تا ۹:۱، اثر شدت هم‌زنی از ۲۰۰ تا ۶۰۰ دور در دقیقه و همچنین دمای واکنش از ۴۵ تا ۶۵°C بر درصد تبدیل واکنش مورد ارزیابی قرار گرفت. در همه این واکنش‌ها میزان کاتالیزور بازی مورد استفاده در حدود ۱٪ وزنی روغن در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها به روش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. همچنین به منظور تحلیل نتایج از روش دانکن در مقایسه میانگین‌ها و نسخه ۱۴ نرم افزار SPSS استفاده شد. در این آزمایش‌ها اثر هر یک از پارامترهای نسبت مولی، دما و دور بر میزان تبدیل واکنش به طور جداگانه و در سه سطح زمانی مختلف (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت.

شبکه‌ها آن‌چنان گسترده است که از کاربردهای طبقه‌بندی گرفته تا کاربردهایی نظیر درون‌یابی، تخمین، آشکارسازی و غیره را شامل می‌شود. شاید مهم‌ترین مزیت این شبکه‌ها توانای زیاد آن‌ها در کنار سهولت استفاده از آن‌ها باشد. شبکه‌های عصبی به‌طور کلی سیستم‌های ریاضی یادگیر غیرخطی هستند. که برخلاف کامپیوترهای رقومی که نیازمند دستورات کاملاً صریح و مشخص است به مدل‌های ریاضی محض نیاز ندارد بلکه مانند انسان قابلیت یادگیری به‌وسیله تعدادی مثال مشخص را دارد [۶ و ۷].

به دلیل بحث اقتصادی مربوط به تولید سوخت بیودیزل و تولید آن در مقیاس صنعتی لازم است که بهینه‌سازی پارامترهای تاثیرگذار بر تولید سوخت بیودیزل در فرآیند ترانس استریفیکاسیون انجام شده و بهینه‌ترین مقدار آن‌ها انتخاب گردد. بنابراین اگر قبل از انجام آزمایش و مخلوط کردن مواد واکنش‌دهنده بتوان تخمین قابل‌قبولی را از میزان تبدیل واکنش ارائه نمود مفید می‌باشد. اهدافی اصلی این پژوهش شبیه‌سازی فرآیند واکنش ترانس استریفیکاسیون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و همچنین فراهم آوردن ابزاری مناسب برای کمک به تصمیم‌گیری در انجام کارهای آزمایشگاهی است.

۲- مواد و روش‌ها

روغن پسماند مورد استفاده در این تحقیق از رستوران دانشگاه تربیت مدرس تهران تهیه شده است. خوراک مورد استفاده دارای حدود ۱/۱ درصد وزنی اسیدهای چرب آزاد می‌باشد. الکل مورد استفاده، متانول ایرانی با خلوص ۹۹/۸ درصد و کاتالیزور بازی هیدروکسید پتاسیم با خلوص ۹۹ درصد می‌باشد. در بخش آنالیز بیودیزل تولیدی، متیل هپتا دکانات به‌عنوان استاندارد داخلی، الکل n- هپتان به‌عنوان حلال و ستون GC قطبی مورد استفاده قرار گرفت. در مورد روغن‌هایی با محتوای

لایه‌های پنهان و خروجی است. در این تحقیق به خاطر پیچیده نبودن زیاد مساله از شبکه‌ای با سه لایه استفاده گردید. تعداد نرون لایه اول برابر با تعداد ورودی‌های مستقل شبکه و تعداد نرون لایه خروجی نیز برابر با تعداد خروجی‌های شبکه است. در نتیجه چهار نرون برای لایه اول و یک نرون برای لایه آخر در نظر گرفته شد. در شکل ۱ ساختار شبکه و نوع ورودی‌ها و خروجی آن نشان داده شده است. برای بررسی تعداد نرون لایه میانی، حالت‌های مختلف شبکه با تعداد نرون‌های بین سه تا ۲۲ در لایه پنهان مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین تابع آموزشی مناسب شبکه، تابع انتقال و همچنین سرعت یادگیری مناسب، ارزیابی شبکه در تمامی حالات مختلف بررسی گردید. در این تحقیق تابع‌های آموزشی traimlm ، trainbr ، trainrp ، trainscg و logsig برای لایه میانی مورد ارزیابی قرار گرفت. تابع انتقال لایه خروجی نیز خطی در نظر گرفته شد. برای ارزیابی شبکه برای تمامی حالت‌های مختلف، از معیار حداقل مربعات خطا (MSE) و ضریب همبستگی (R) مطابق فرمول‌های زیر استفاده شد [۷ و ۹].

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - a_i)^2 \quad (1)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - a_i)^2}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_m)^2} \quad (2)$$

که در آن t_i خروجی مطلوب، a_i خروجی شبکه و t_m مقدار متوسط خروجی مطلوب می‌باشد. معیارهایی که برای توقف الگوریتم پیشنهاد می‌شود به صورتی است که اگر خطا (تابع هزینه) که قرار است حداقل شود از یک سطح آستانه کم‌تر گردد و یا میزان تغییرات خطا در طی دو گام متوالی کم‌تر از یک سطح آستانه باشد یا به عبارت دیگر روند کاهش خطا با سرعت کند انجام شود، می‌توان چنین برداشت کرد که به حوالی حداقل کلی رسیده‌ایم. لذا در این دو حالت تصمیم به توقف الگوریتم آموزش گرفته می‌شود [۶ و ۹]. در این پژوهش برای مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی از نرم‌افزار متلب (MATLAB v.7) استفاده شد.

به منظور تعیین درصد وزنی متیل استرها‌های موجود در نمونه‌ها (درصد تبدیل واکنش ترانس استریفیکاسیون) از روش کروماتوگرافی گازی استفاده شد. ستون GC از نوع قطبی (۰/۳۲mm × ۳۰m) با مدل CP9080 و با ضخامت فیلمی ۰/۲۵ μm که مختص سوخت بیودیزل است استفاده شد. کروماتوگراف گازی از نوع CP3800 و ساخت شرکت Varian است. آنالیز سوخت با استفاده از استاندارد EN 14103 و با استاندارد داخلی متیل هپتا دکانات انجام شد.

۲-۲- طراحی شبکه عصبی مصنوعی

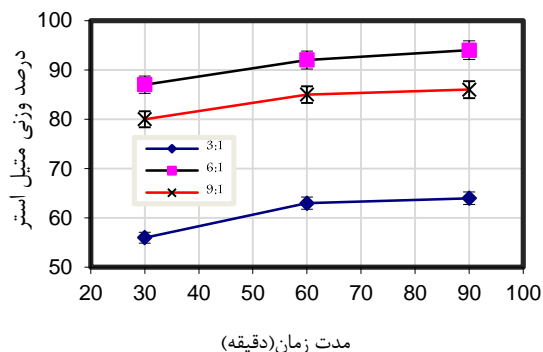
یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین شبکه‌های پیشنهادی برای استفاده در مدل‌سازی شبکه عصبی، مدل پرسپترون چندلایه (Multi layer perceptron) یا به اختصار MLP می‌باشد. در این ساختار، تمام نرون‌های یک لایه به تمام نرون‌های لایه بعد و قبل خود متصل هستند [۶]. به منظور آموزش شبکه و اصلاح وزن‌ها تا رسیدن به یک خطای معنادار، روش‌های بسیار زیادی وجود دارد که از مشهورترین این روش‌ها، الگوریتم پس انتشار خطا (Error back propagation algorithm) است [۶ و ۸]. در شبکه‌های پس انتشار از تابع انتقال غیرخطی (مانند سیگموئید) استفاده می‌شود که در آن از بردارهای ورودی و هدف برای تقریب زدن یک تابع، یافتن رابطه ورودی و خروجی و دسته بندی ورودی‌ها بر اساس روش تعیین شده توسط طراح استفاده می‌شود. در شبکه‌های عصبی پیش سو (Feed forward) اغلب از تابع انتقال غیرخطی در لایه‌های پنهان و تابع انتقال خطی در لایه خروجی استفاده می‌شود. لایه خروجی خطی به شبکه این امکان را می‌دهد که خروجی خارج از محدوده ۱- و ۱ داشته باشد [۹].

۲-۳- تعداد لایه‌ها و نرون‌های شبکه

اولین مرحله در طراحی شبکه عصبی تعیین تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌های لایه پنهان و همچنین تابع‌های انتقال

۲-۵- اثر نسبت مولی متانول بر درصد تبدیل واکنش

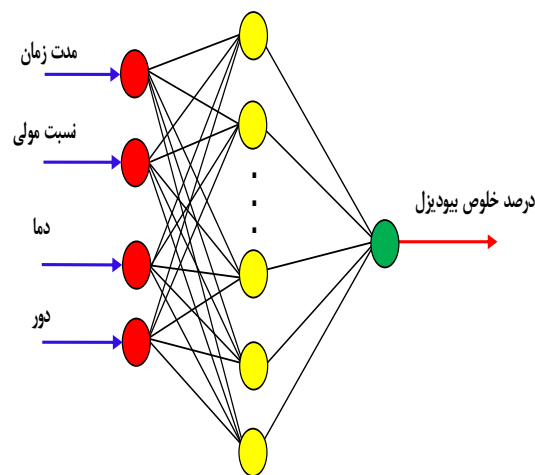
همان‌گونه که از نمودارهای شکل ۲ ملاحظه می‌شود، با افزایش نسبت مولی از تاثیر آن بر افزایش درصد تبدیل کاسته می‌شود. همچنین به‌واسطه تعادلی بودن واکنش‌های موجود، حساسیت درصد خلوص (درصد تبدیل) نسبت به زمان در زمان‌های بالاتر کم‌تر از زمان‌های اولیه انجام واکنش است. با افزایش نسبت مولی از ۳:۱ به ۶:۱، به‌واسطه تعادلی بودن واکنش‌ها درصد تبدیل واکنش افزایش می‌یابد (اصل لوشاتیه). در مورد نسبت‌های مولی بالاتر از ۶:۱، میزان خلوص بیودیزل تولیدی کاهش می‌یابد که علت اصلی آن را می‌توان بدین صورت بیان کرد. نمونه‌های مورد مطالعه از فاز آلی (بیودیزل) باقیمانده از مرحله جداسازی فازهای آلی و آبی (گلیسرین و متانول مازاد) تهیه شده است. افزایش مقدار متانول در مخلوط واکنش منجر به انحلال بیشتر گلیسرین و الکل در بیودیزل شده و تا حد محسوسی خلوص آنرا تحت تاثیر قرار می‌دهد.



شکل ۲: تاثیر میزان نسبت مولی الکل به روغن بر درصد وزنی بیودیزل تولیدی

۲-۶- اثر دما بر درصد تبدیل واکنش

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن بیان‌گر این امر است که بیشترین مقدار تبدیل در دمای ۶۵ °C و زمان ۹۰ دقیقه حاصل می‌شود. در این حالت نیز حساسیت درصد خلوص (درصد تبدیل) نسبت به زمان در



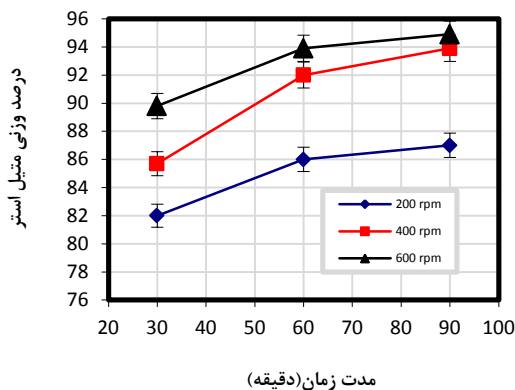
شکل ۱: مدل شبکه عصبی مصنوعی چند لایه نتایج و بحث

۲-۴- ارزیابی سوخت بیودیزل

به‌منظور تعیین کیفیت بیودیزل تولیدی و تطابق آن با استاندارد ASTM D6751 به بررسی خواص آن پرداخته شد. جدول ۱ نمونه‌ای از خصوصیات بیودیزل تولید شده در مقایسه با حالت استاندارد را نمایش می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه خصوصیات بیودیزل تولید شده مطابق استاندارد ASTM D6751

خاصیت	روش استاندارد آزمون	حدود مجاز	مقدار اندازه‌گیری شده	واحد
نقطه اشتعال	ASTM D92	حداقل ۱۳۰	۱۸۴	°C
گرانروی سینماتیک	ASTM D445	-۶/۰ تا ۱/۹	۴/۲	mm ² /s
نقطه ابری شدن	ASTM D2500	-	-۳	°C
نقطه ریزش	ASTM D97	-	۰	°C
رنگ	ASTM D1500	-	۱/۵	-
خوردگی مس	ASTM D130	حداکثر شماره ۳	a1	-
خاکستر سولفات	D 874 ASTM	حداکثر ۰/۰۲	۰/۰	wt. درصد
گوگرد کلی	D 5453 ASTM	حداکثر ۰/۰۵	۰/۰۰۱۵	wt. درصد



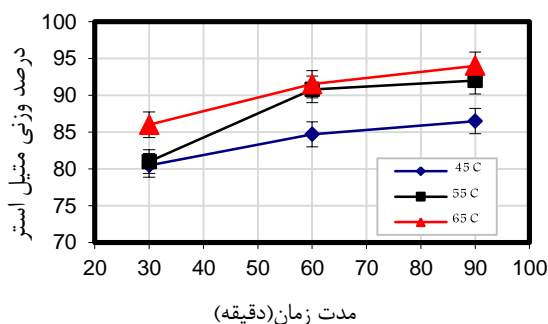
شکل ۴: تاثیر میزان اختلاط بر درصد وزنی بیودیزل تولیدی

۳- مدل کردن آزمایش‌ها به کمک شبکه عصبی

برای این که ورودی‌ها و هدف در یک محدوده خاص قرار بگیرند با بهره‌گیری از میانگین (Mean) و انحراف معیار که در تابع *prestd* قرار دارند، داده‌ها در ابتدا نرمالیزه شده که در این حالت میانگین آن‌ها صفر و انحراف معیار آن‌ها واحد گردید. برای آموزش و مدل کردن شبکه ابتدا داده‌های ورودی که ۸۱ نمونه است به سه مجموعه تقسیم بندی شد. مجموعه اول (۵۰ داده) برای آموزش شبکه، ۱۶ داده برای اعتبارسنجی و ۱۵ داده نیز برای تست در نظر گرفته شد [۶]. برای تعیین تابع آموزشی شبکه از بین تابع‌های ذکر شده بالا، تابع آموزشی *trainbr* در محدوده نرون‌های ۱۱ تا ۱۹ کم‌ترین مقدار *MSE* و بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی را در تمامی نرون‌ها نسبت به سایر تابع‌های آموزشی داشت (شکل ۵). بنابراین این تابع به‌عنوان تابع آموزشی انتخاب شد.

برای تعیین نرون مناسب لایه میانی، با مقایسه‌ای که بین تمامی حالات مختلف انجام شد، با تغییر تعداد نرون‌های لایه میانی، چون شبکه با ۱۶ نرون لایه میانی، بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی (۰/۹۹۸) و کم‌ترین مقدار *MSE* (۰/۰۰۴۲) را در بین نرون‌ها داشت، به‌عنوان نرون مناسب شبکه انتخاب گردید. در مقایسه تابع‌های انتقال *logsig* و

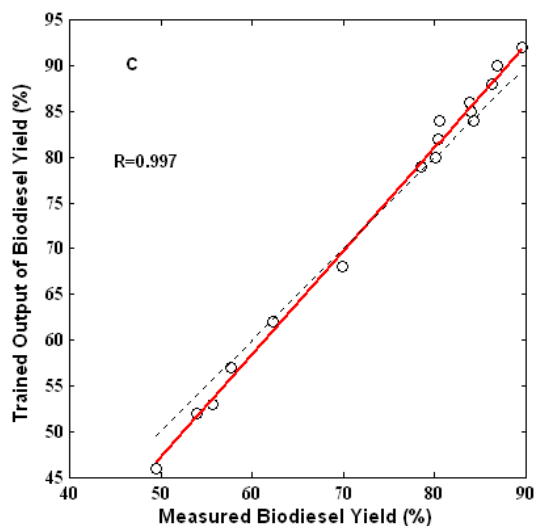
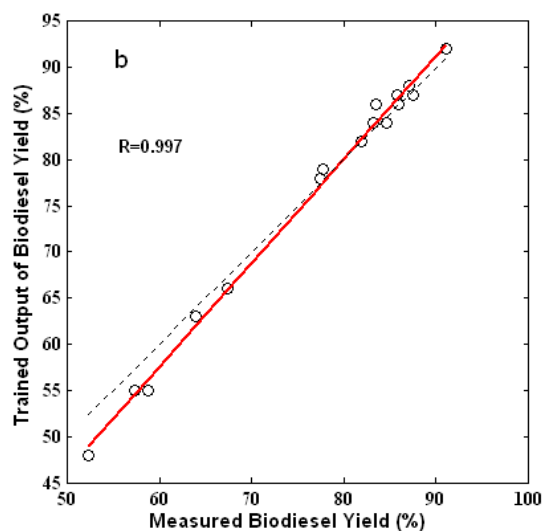
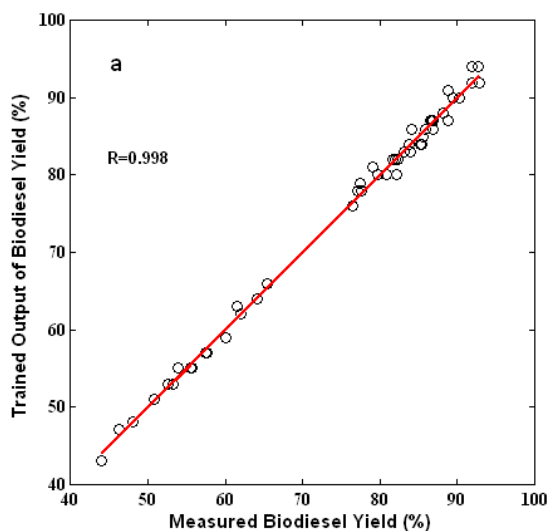
زمان‌های بالاتر، کم‌تر از زمان‌های اولیه انجام واکنش است که مهم‌ترین دلیل آن نزدیک شدن به نقطه تعادل تبدیل است. با توجه به مطالب قبل، همان‌گونه که انتظار می‌رفت با افزایش دمای واکنش درصد تبدیل واکنش افزایش یابد. نتایج حاصل از این مرحله در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳: تاثیر دما بر درصد وزنی بیودیزل تولیدی

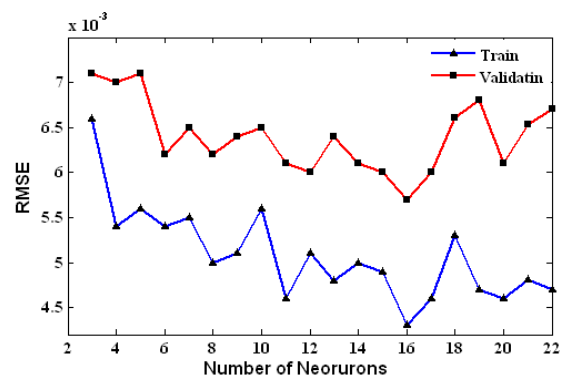
۲-۷- اثر شدت اختلاط بر درصد تبدیل واکنش

به‌واسطه پایین بودن ضریب دی الکتریک میان فازهای آلی (روغن) و آبی (الکل) راکتور، این دو فاز عملاً در یکدیگر نامحلول می‌باشد. لذا بدون اختلاط کافی واکنش تنها در فصل مشترک بین دو فاز رخ خواهد داد. لذا به بررسی حالت بهینه آن پرداخته می‌شود. این آزمایش‌ها در سه دور ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ و در سه سطح زمانی با سه بار تکرار انجام شده است. با مقایسه نتایج میانگین‌ها، بیش‌ترین خلوص متیل استر در دور ۶۰۰ rpm و در زمان ماند ۹۰ دقیقه مشاهده شد. البته از نظر آماری اختلاف معناداری میان زمان‌های ۶۰ و ۹۰ دقیقه مشاهده نگردید. با افزایش اختلاط به واسطه افزایش سطح موثر انجام واکنش، درصد تبدیل افزایش می‌یابد. شکل ۴ نتایج حاصل از این مرحله را نمایش می‌دهد.



شکل ۶: (a) خروجی مجموعه آموزشی، (b) خروجی مجموعه اعتبارسنجی و (c) خروجی مجموعه تست نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده

tansig به‌عنوان تابع لایه میانی، تابع انتقال logsig نسبت به tansig دارای ضریب همبستگی بالاتر و MSE کم‌تری شد. در بررسی نرون‌های مختلف با اینکه هر دو معیار ضریب همبستگی و MSE تقریباً به یک اندازه بودند، ولی در محدوده نرون ۱۶ به‌عنوان نرون انتخابی، برای تابع logsig مقدار ضریب همبستگی بیشتر و MSE نیز دوباره کم‌تر از تابع tansig شد. در نهایت تابع انتقال logsig به‌عنوان تابع انتقال لایه مبانی انتخاب گردید.



شکل ۵: تغییرات RMSE برای آموزش و اعتبارسنجی در برابر تعداد نرون لایه مخفی

در شکل ۶ رابطه برازشی بین خروجی داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی و تست نسبت به داده‌هایی که در آزمایشگاه به‌دست آمده‌اند، نشان داده شده است. رابطه برازشی مجموعه تست بیش‌تر برای نشان دادن کیفیت عمومیت شبکه می‌باشد. همان‌طور که از شکل‌ها پیداست می‌توان ادعا کرد که شبکه به‌خوبی آموزش دیده و عمومیت خوبی هم دارد.

۴- نتیجه گیری

بهره جست. در واقع با کمک این ابزار می‌توان بهینه ترین حالت‌های ممکن را پیدا کرد بدون این‌که نیازی به انجام آزمایش‌های متعدد آزمایشگاهی داشت. در نتیجه باعث کاهش هزینه‌ها و همچنین زمان صرف شده در انجام آزمایش‌ها خواهد شد. با مقایسه نتایج خروجی شبکه و همچنین داده‌های آزمایشگاهی، نشان داده شد که همبستگی خوبی بین نتایج خروجی حاصل از داده‌های تست و آموزشی با داده‌های آزمایشگاهی وجود دارد. و برای شبکه مذکور در تمامی حالات، مقدار R نزدیک به یک می‌باشد، در حالی که مقدار MSE نیز ۰/۰۰۴۲ گردید. در واقع مزیت اصلی شبکه عصبی بیشتر به خاطر سادگی استفاده و همچنین دقت بالای آن در حل بسیاری از مسائل پیچیده‌ای است که ممکن است روش‌های ریاضی و عددی مرسوم قادر به حل آن‌ها نباشند.

در بررسی اثر پارامترهای تاثیرگذار بر تبدیل واکنش، آنالیز واریانس داده‌های حاصل بیان‌گر آن است که اثرات نسبت مولی، دما و میزان اختلاط بر درصد تبدیل واکنش در سطح یک درصد معنادار بوده و مقادیر بهینه این پارامترها به ترتیب برابر ۱:۶، ۶۵ °C و ۶۰۰ دور بر دقیقه حاصل شد. حداکثر درصد تبدیل در این شرایط در مدت زمان ۹۰ دقیقه و برابر با ۹۴ درصد به دست آمد. البته اثر میزان اختلاف بر درصد تبدیل در زمان‌های بیش از ۶۰ دقیقه بسیار اندک می‌باشد. با توجه به نتایج خروجی شبکه، می‌توان گفت که شبکه عصبی با ساختار [۴ و ۱۰] می‌تواند تخمین خوبی از میزان تبدیل واکنش داشته باشد. در نتیجه می‌توان از آن به عنوان یک ابزار قدرتمند در انجام آزمایش‌ها جهت پیدا کردن مقدار بهینه پارامترها

۵- منابع

- [1] Zhang, Y. (2002). "Design and Economic assessment of Biodiesel Production from waste Cooking oil", M.A.Sc. Thesis, Department of chemical engineering, University of Ottawa.
- [2] Morris, R.E., Pollack, A. K., Mansell, G. E., Lindhjem, Y. Jia, and Wilson, G. (2003). "Impact of Biodiesel Fuels on Air Quality and Human Health", National Renewable Energy Laboratory, N.R.E.L.
- [3] Wang, Y., Ou, S., Liu, P., Xue, F., Tang, S. (2006). "Comparison of two Different Processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil". Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 252:107-1.
- [4] Gerpen, J. V., Shanks, B., and Pruszko, R. (2004). "Biodiesel Production Technology". National Renewable Energy Laboratory, N.R.E.L.
- [5] Meher, L.C., Vidya Sagar, D. and Naik, S.N. (2005). "Optimization of alkali-catalyzed transesterification of Pongamia pinnata oil for production of biodiesel". Bioresource Technology, 97: 1392–1397.
- [6] 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". Renewable Energy 34, 976–982.
- [7] Rajendra, M., Jena, P.C., Raheman, H.(2009). "Prediction of optimized pretreatment process parameters for biodiesel production using ANN and GA". Fuel 88, 868–875.
- [8] Canakci, M., Ozsezen, A.N., Arcaklioglu., E., Erdil, A.(2009). "Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil". Expert Systems with Applications 36, 9268–9280.

[۹] کیا، م. (۱۳۸۷). "شبکه‌های عصبی در مطلب". انتشارات کیان رایانه سبز. تهران. ایران.

[۱۰] غضنفری، م و اراکات، ج. (۱۳۸۳). "شبکه ای عصبی(اصول و کارکردها)". انتشارات دانشگاه علم و صنعت. تهران. ایران.