



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

مدلسازی رفتار مبدل های حرارتی مجهز به نوار پیچیده سوراخ دار با استفاده از شبکه عصبی

مصنوعی

شیوا لشگری^۱، سید رضا شعبانیان^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات قزوین

۲. استادیار دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی بابل

چکیده

طراحی مبدل حرارتی بهینه یکی از مباحث روز انتقال حرارت به شمار می‌رود؛ از اینرو ارائه یک مدل برای شبیه‌سازی رفتار آن، بسیار مهم و چالش برانگیز است. یکی از جدیدترین و پرکاربردترین انواع نوار پیچیده در مبدل حرارتی، نوار پیچیده سوراخ دار می‌باشد که برای افزایش انتقال حرارت و جلوگیری از کاهش افت فشار در مبدل استفاده می‌شود. در این مقاله یک مدل جدید برای مبدل حرارتی مجهز به نوار پیچیده سوراخ دار ارائه می‌گردد. نوآوری مقاله در استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزار مدلسازی با دقت بالا می‌باشد. به این منظور پارامترهای مهم در طراحی نوار پیچیده سوراخ دار از جمله طول گام، قطر سوراخ، فاصله سوراخ‌ها و همچنین عرض نوار و همچنین عدد رینولدز به عنوان متغیرهای ورودی شبکه عصبی و ضریب اصطکاک، عملکرد حرارتی و عدد ناسلت به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است. بهترین تنظیمات شبکه عصبی برای تعداد لایه‌های میانی، تعداد نورون‌ها، تابع انتقال و قانون یادگیری در این مدل‌سازی گزارش شده‌اند. برای ارزیابی مدل با استفاده از معیارهای میانگین مجذور خطا و میانگین قدر مطلق خطا و همچنین ضریب تشخیص (R^2) به عنوان معیار دقت، استفاده شده‌اند. در آزمایشات مشاهده شد که شبکه عصبی با دقت بالایی توانسته رفتار مبدل حرارتی را مدل نماید.

کلمات کلیدی: مبدل حرارتی، نوار پیچیده سوراخ دار، شبکه عصبی مصنوعی چند لایه



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

۱- مقدمه

مصرف زیاد انرژی در کشور (بالاتر از استانداردهای جهانی) یکی از دغدغه‌های اصلی محققان و دانشمندان در سالهای اخیر بوده است. با توجه به اینکه در فرآیندهای شیمیایی، مهمترین بخشی که مستقیماً با مصرف انرژی ارتباط می‌یابد، مبدل‌های حرارتی می‌باشند. مبدل حرارتی دستگاهی است که انرژی حرارتی را از سیالی به سیال دیگر منتقل می‌کند. از جمله کاربردهای مبدل حرارتی می‌توان به استفاده از آن در پالایشگاه، نیروگاه، موتورخانه ساختمان، شوفاژ، یخچال، سیستم‌های تهویه مطبوع، رادیاتور ماشین و غیره اشاره کرد.

همواره تلاش شده است تا مبدل‌هایی طراحی گردند که ضمن داشتن حداکثر بازدهی، در کارکردهای بلندمدت، کمترین مشکلات عملیاتی را داشته باشند. یکی از روش‌های کاربردی و موثر در بهبود انتقال حرارت و کاهش جرم گرفتگی، استفاده از وسایل مغشوش کننده (Tabulators) است [1]. نوارهای پیچیده کلاسیک یکی از پر کاربردترین وسایل مغشوش کننده می‌باشند. یکی از معایب این نوارهای پیچیده کلاسیک افت فشار زیاد این ابزار می‌باشد. به همین منظور نوع نوار پیچیده سوراخدار به عنوان نوع جدیدی از این نوارهای طراحی شد تا ضمن افزایش انتقال حرارت به حد مطلوب، اتلاف انرژی ناشی از افت فشار را کاهش دهد [2].

مدلسازی رفتار مبدل حرارتی موجب طراحی بهتر این سیستم و همچنین کاهش هزینه پیاده سازی آن می‌گردد [3]؛ لذا در این مقاله مدلسازی رفتار مبدل حرارتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار مدلسازی با دقت زیاد ارائه می‌گردد [4-6]. در زمینه مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی نوارهای پیچیده سوراخدار، تا کنون تحقیقی انجام نشده است. در این مقاله، با ارائه مدلی بر پایه شبکه عصبی مصنوعی، به پیش بینی دقیقی از ضرایب انتقال حرارت (عدد ناسلت)، ضریب اصطکاک و ضریب عملکرد گرمایی-هیدرولیکی بر حسب پارامترهای تاثیر گذار ورودی پرداخته می‌شود.

۲- مرور کارهای پیشین

تکنیک‌ها یا وسایل بهبود انتقال حرارت باعث توزیع کردن جریان سیال موجود، شکستن یا نازک کردن لایه مرزی با آشفته تر کردن جریان و زیاد کردن سرعت سیال می‌شوند که در این زمینه فعالیت‌های محدودی توسط دانشمندان صورت گرفته است [7-13]. G.T. Polley و Nasr در سال ۲۰۰۲ در تحقیقی روش ریاضی ساده‌ای برای انتخاب وسایل بهبود انتقال حرارت ارائه کرده‌اند. در این تحقیق، الگوریتمی برای مقایسه بین مبدل‌هایی که با Tube Insert تجهیز می‌شوند و آنهایی که با لوله‌های معمولی کار می‌کنند، بر اساس سطح کاسته شده در اثر اضافه شدن Tube Insert ارائه شده است [14]. Promvong و Eiamsa-ard در سال ۲۰۰۵ به بررسی آزمایشگاهی تأثیر وسایل بهبود انتقال حرارت از نوع نوار پیچیده بر روی افزایش ضریب انتقال حرارت در لوله‌ها پرداخته‌اند [15]. Sarma در سال ۲۰۰۵ یک سری معادله برای پیش بینی مقادیر



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

مربوط به ضریب اصطکاک و ضریب انتقال حرارت در لوله‌هایی که با نوار پیچیده تجهیز شده‌اند، برای محدوده وسیعی از اعداد رینولدز و پراکتل ارائه کرده است [16]. توافق خوبی بین داده‌های آزمایشگاهی و معادلات ارائه شده مشاهده می‌شود. مشاهدات نشان دهنده این مطلب است که وجود نوار پیچیده در لوله باعث ایجاد یک حالت پیوسته و یکنواخت بین جریانهای آرام و آشفته می‌شود. این پدیده اجازه می‌دهد که برای محدوده اعداد رینولدز بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ یک معادله واحد ارائه شود. S.Eiamsa-ard و P.Promvonge در سال ۲۰۰۷ افزایش انتقال حرارت را با جایگذاری ترکیبی قطعه‌های نازل مخروطی شکل و نوار پیچیده درون لوله‌ها بررسی کردند. افزایش انتقال حرارت به صورت آزمایشگاهی در شرایط شار حرارتی یکنواخت بر روی لوله حاوی قطعات بررسی شد. نازل مخروطی شکل با سه نسبت گام ۲،۴ و ۷ در لوله قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهند که نازل مخروطی و نوار پیچیده به طور قابل توجهی نرخ انتقال حرارت را افزایش می‌دهند و میزان این افزایش نسبت به لوله خالی به ترتیب برابر ۲۷۸٪ و ۲۰۶٪ و برای استفاده از ترکیب این دو برابر ۳۱۶٪ می‌باشد [17].

C.K. Tan در سال ۲۰۰۹ مدلی برای عملکرد مبدل حرارتی فشرده ارائه کرده است. این مدل براساس شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. در نتایج مقاله مشاهده شده است که شبکه عصبی مصنوعی توانسته با دقت بسیار خوبی به پیش‌بینی سرعت انتقال حرارت در این نوع مبدل حرارتی ارائه کند. نتایج با روش رگرسیون غیر خطی مقایسه شده و مشاهده شده است که شبکه عصبی مدل بهتری بوده و میانگین مجذور خطا برای خروجی شبکه عصبی به ۰،۳ و برای رگرسیون غیر خطی به ۰،۷ رسیده است [3].

Jian Zhang و Fariborz Haghghat در سال ۲۰۱۰ با استفاده از شبکه عصبی چند لایه مدلی برای مبدل حرارتی زمین به هوا ارائه کرده‌اند. این نوع مبدل حرارتی وظیفه انتقال حرارت از زیر ساختمان‌ها به هوا و سیستم گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها را به عهده دارند. خروجی‌ای که در این مدل به آن پرداخته شده است ناسلت نامبر است و از شبکه سه لایه با ۴۰ نود میانی برای مدلسازی استفاده شده است [4]. Arturo Pacheco-Vega در سال ۲۰۰۰ مدلی بر پایه شبکه عصبی مصنوعی برای مبدل حرارتی با داده‌های محدود ارائه کرده است. سرعت انتقال حرارت را به عنوان خروجی پیش‌بینی کرده است. از شبکه سه لایه با ۱۸ نورون در لایه میانی استفاده کرده است. چون داده‌ها محدود است از یک مجموعه داده به نام داده‌های اعتبارسنجی علاوه بر داده‌های آموزش برای یادگیری بهتر استفاده کرده است تا بتواند پارامترهای شبکه عصبی را به خوبی تنظیم کند و همچنین از بیش‌برازش داده‌های آموزشی جلوگیری نماید [5].

Masoud Rahimi و Reza Beigzadeh در سال ۲۰۱۲ ضریب اصطکاک و سرعت انتقال گرما در مبدل حرارتی مجهز به لوله پیچیده حلقوی را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل کرده‌اند. شبکه عصبی سه لایه بوده و تعداد نورون‌های مختلف را تست کرده و با ۱۱ نورون به بهترین دقت با میانگین مجذور خطای ۱۱،۵۸ برای ناسلت نامبر و با ۱۲ نورون به خطای ۷-۱۰ * ۴،۳۶ برای تخمین ضریب اصطکاک رسیده است [6].



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

۳- مدل پیشنهادی

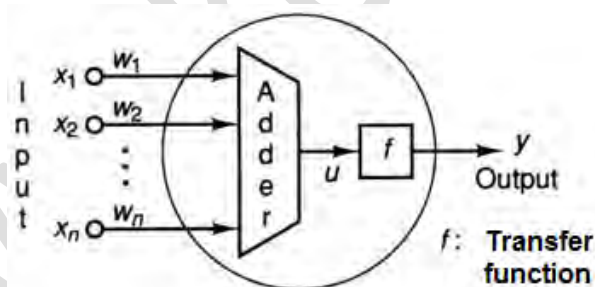
از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه برای مدل سازی رفتار مبدل حرارتی مجهز به نوار پیچیده سوراخ دار، استفاده شده است. از اینرو به توضیح مختصر در رابطه با شبکه عصبی چند لایه پرسپترون می‌پردازیم. هدف از طراحی عصبهای مصنوعی تقلید از خصوصیت‌های عصبهای زنده است. هر عصب یک دسته ورودی و یک یا بیشتر خروجی دارد که یک وزن به هر یک از ورودیها اختصاص داده می‌شود. این وزن قابل قیاس با قدرت سیناپسی عصب زنده است. در مدل محاسباتی یک پرسپترون تمام ورودیها در وزنهایشان ضرب می‌شوند و سپس با هم جمع می‌گردند تا سطح فعال شدن عصب را مشخص کنند. زمانی که سطح فعال شدن مشخص شد، یک تابع انتقال برای تولید سیگنال خروجی اعمال می‌شود. شکل (۱) یک عصب مصنوعی که n ورودی به نامهای (x_1, \dots, x_n) و یک خروجی با نام y دارد را نشان می‌دهد. خروجی y در تابع انتقال به صورت زیر تولید می‌شود:

$$y = f(u), \quad (1)$$

که مقدار u از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$u = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (2)$$

که در اینجا f تابع انتقال می‌باشد.



شکل (۱): ساختار یک پرسپترون

در این مقاله از دو تابع انتقال خطی و تانژانت سیگموئید استفاده شده است. به علت خاصیت مشتق پذیری تابع تانژانت سیگموئید، از آن در اغلب مدل‌های شبکه عصبی استفاده می‌شود. رابطه ورودی و خروجی آن در شکل (۲) نشان داده شده است. تابع تانژانت سیگموئید از رابطه (۳) بدست می‌آید.

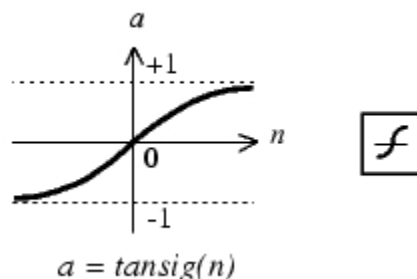
$$y = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (3)$$



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

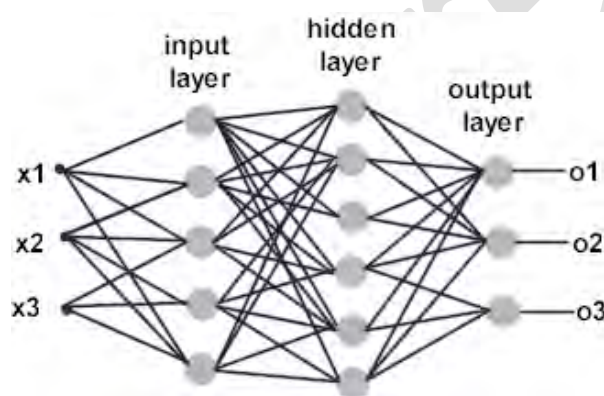
تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir



شکل (۳): تابع تانژانت سیگموئید به عنوان تابع انتقال

شبکه عصبی چند لایه پرسپترون از چند واحد محاسباتی پرسپترون در لایه های ورودی میانی و خروجی تشکیل شده است (شکل ۴). این نوع شبکه قابلیت تخمین توابع پیچیده را با دقت بالا دارد.



شکل (۴): مدل شبکه عصبی چند لایه پرسپترون

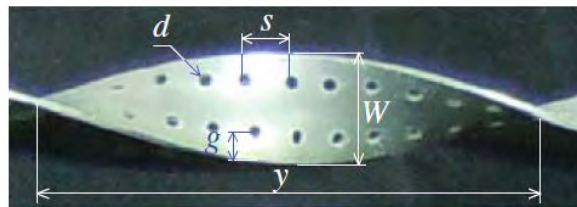
در این مقاله از شبکه عصبی با تعداد لایه های میانی متفاوت به مدل سازی پرداخته شده است. پارامترهای مهم در طراحی نوار پیچیده سوراخ دار طول گام (y) ، فاصله سوراخ ها (s) ، قطر سوراخ (d) ، فاصله سوراخ از کناره ی نوار (g) ، همچنین عرض نوار (w) می باشد (شکل ۵). که پارامتر های s, d, w, y و همچنین رینولدز به عنوان ورودی شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفته شده است. ضریب اصطکاک، عملکرد حرارتی و عدد ناسلت هر سه به صورت همزمان به عنوان خروجی های شبکه عصبی در نظر گرفته شده اند.



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir



شکل (۵): پارامترهای مهم در نوار پیچیده سوراخ دار

۴- نتایج پیاده سازی

در این پروژه از نتایج بدست آمده از آزمایش های تجربی مقالات مرتبط با مبدل حرارتی مجهز به نوار پیچیده حفره دار استفاده شده است [2]. در این آزمایش ها رفتار و عملکرد مبدل حرارتی با انواع نوار پیچیده حفره دار با تنظیمات متنوع بررسی و گزارش شده اند. ابتدا از جداول و نمودار های آزمایشات، داده ها را استخراج میکنیم. سپس آنها را در فایل Excell دسته بندی نموده و در نرم افزار Matlab به مدل سازی این داده ها می پردازیم. چند نمونه از این داده ها در جدول (۱) ارائه شده است. ارتباط میان پارامترهای ورودی و خروجی این سیستم انتقال حرارت را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل می نماییم. با استفاده از معیارهای میانگین مجذور خطاها (رابطه ۴) و میانگین قدر مطلق خطاها (رابطه ۵) و نمودار خروجی واقعی و خروجی شبیه سازی شده و همچنین ضریب تشخیص (R^2) (رابطه ۶) به عنوان معیار دقت به تجزیه و تحلیل و صحت داده های آموزشی و آزمایشی می پردازیم. در روابط (۴-۶) N تعداد داده ها، x خروجی واقعی و y خروجی شبکه عصبی می باشد.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|t_i - y_i|}{t_i} \right) \quad (4)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2 \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i)^2} \quad (6)$$

جدول (۱): چند داده نمونه از نتایج تجربی مرجع [2] که به عنوان مجموعه داده ها در این مقاله استفاده شده است.

عملکرد حرارتی	ضریب اصطکاک	عدد ناسلت	y/w	عدد رینولدز	s/w	d/w
---------------	-------------	-----------	-------	-------------	-------	-------



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Koureh.ir

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶

0.11	0.4	5.33E+03	3	8.11E+01	2.03E-01	1.07E+00
0.11	0.4	6.60E+03	3	9.54E+01	1.94E-01	1.05E+00
0.11	0.4	7.87E+03	3	1.09E+02	1.88E-01	1.04E+00
0.11	0.4	9.14E+03	3	1.23E+02	1.82E-01	1.03E+00
0.11	0.4	1.04E+04	3	1.36E+02	1.76E-01	1.02E+00
0.11	0.4	1.16E+04	3	1.46E+02	1.71E-01	1.01E+00
0.11	0.4	1.29E+04	3	1.58E+02	1.66E-01	1.00E+00
0.11	0.4	1.41E+04	3	1.71E+02	1.64E-01	9.96E-01
0.11	0.4	1.54E+04	3	1.84E+02	1.58E-01	9.94E-01

در جدول (۲) نتایج پیاده سازی شش الگوریتم یادگیری مختلف شبکه عصبی ارائه شده است. توابع انتقال لایه های میانی و خروجی tansig و pureline و همچنین تعداد لایه مخفی برابر با دو و تعداد نورون لایه اول و دوم برابر شش در نظر گرفته شده اند چون بهترین پاسخ ها را ارائه می کردند. مشاهده می شود که روش trainlm بهترین پاسخ ها را در اکثر موارد ارائه کرده است.

در شکل های (۶-۸) نتایج شبکه عصبی با یک لایه میانی ارائه شده است. معیار ارزیابی، میانگین مجذور خطا در نظر گرفته شده است که برای تمایز بیشتر داده ها از آن لگاریتم گرفته ایم. در این آزمایش تعداد نورون های مختلف را مورد بررسی قرار داده ایم. مشاهده می شود که هر چه تعداد نورون ها بیشتر شود تا یک حد خاصی خطای داده های آموزشی و آزمایشی کاهش می یابد و از یک تعداد خاص به بعد خطای تست افزایش پیدا می کند، لذا در این موارد بیش برآزش داده ها رخ داده و شبکه عصبی با این تعداد نورون فقط روی داده های آموزشی پاسخ مناسب ارائه می دهد و برای داده های تست پاسخ مناسبی ندارد.



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ هجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

جدول (۲): نتایج استفاده از الگوریتم های یادگیری مختلف شبکه عصبی

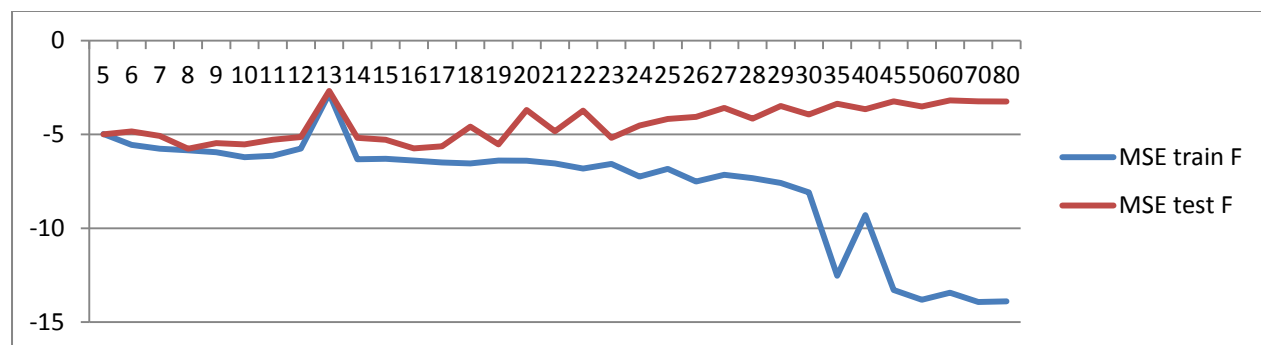
تعداد لایه میانی	2	2	2	2	2	2	2
لایه اول	6	6	6	6	6	6	6
لایه دوم	6	6	6	6	6	6	6
تابع انتقال لایه میانی	tansig	tansig	tansig	tansig	tansig	tansig	tansig
تابع انتقال خروجی	pureline	pureline	pureline	pureline	pureline	pureline	pureline
قانون یادگیری	Trainda	Traingdm	Trainbr	Trainb	Trainegb	Trainlm	Trainlm
MSE داده های آموزشی ضرب اصطکاک	1.66E-05	0.000154	4.02E-07	0.000173	8.90E-07	4.39E-07	4.39E-07
MSE داده های آزمایشی ضرب اصطکاک	1.65E-05	0.000245	2.25E-06	0.000247	2.01E-06	2.13E-06	2.13E-06
MSE داده های عملکرد حرارتی	2.11E-05	0.000196	2.24E-07	0.000204	5.42E-07	1.25E-07	1.25E-07
MSE داده های آزمایشی عملکرد حرارتی	3.20E-05	0.000378	4.80E-07	0.000303	2.02E-06	2.59E-07	2.59E-07
MSE داده های آموزشی عدد ناسلت	21.01664	319.1749	0.492936	783.4628	0.828937	0.584484	0.584484
MSE داده های آزمایشی عدد ناسلت	22.47436	489.188	0.59932	620.2774	2.77978	0.986208	0.986208
MAE داده های آموزشی ضرب اصطکاک	0.003224	0.009648	0.000512	0.010416	0.000734	0.000508	0.000508
MAE داده های آزمایشی ضرب اصطکاک	0.003217	0.014294	0.001101	0.014345	0.000936	0.001226	0.001226
MAE داده های عملکرد حرارتی	0.003638	0.011746	0.000373	0.011594	0.000596	0.00028	0.00028
MAE داده های آزمایشی عملکرد حرارتی	0.004074	0.014604	0.000534	0.013098	0.001148	0.000422	0.000422
MAE داده های آموزشی عدد ناسلت	3.540344	14.84776	0.551023	23.47792	0.752237	0.603764	0.603764
MAE داده های آزمایشی عدد ناسلت	4.178357	18.97447	0.609599	20.7923	1.318134	0.759288	0.759288
R2 داده های آموزشی ضرب اصطکاک	0.985245	0.828342	0.999605	0.839052	0.999114	0.999516	0.999516
R2 داده های آزمایشی ضرب اصطکاک	0.976517	0.756461	0.998199	0.878181	0.998246	0.99915	0.99915
R2 داده های آموزشی عملکرد حرارتی	0.987638	0.87579	0.999866	0.853034	0.999692	0.999928	0.999928
R2 داده های آزمایشی عملکرد حرارتی	0.981687	0.761415	0.999755	0.878258	0.998851	0.999845	0.999845
R2 داده های آموزشی عدد ناسلت	0.99155	0.851135	0.999817	0.603435	0.999651	0.999763	0.999763
R2 داده های آزمایشی عدد ناسلت	0.990373	0.827705	0.999649	0.710258	0.999017	0.999617	0.999617



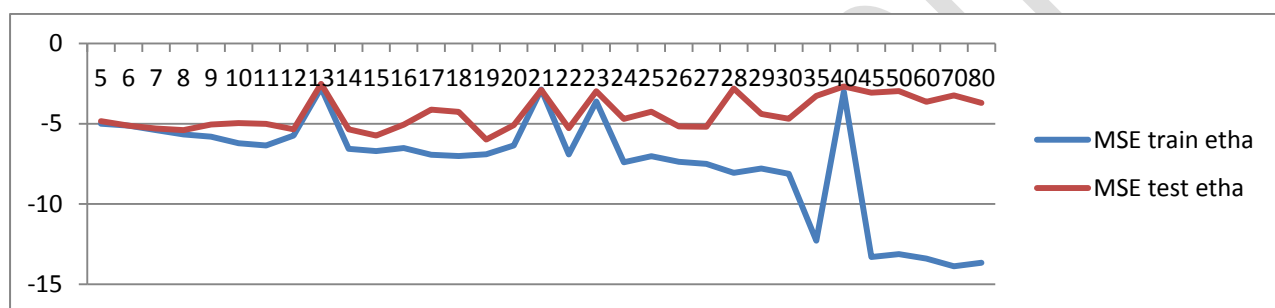
چهارمین کنفرانس مشعل و کوره های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ هجری: هم اندیشان انرژی کیمیا

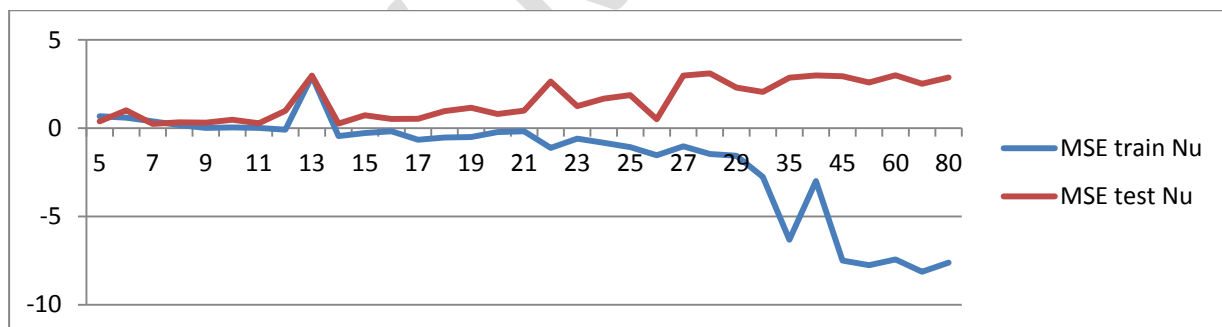
تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir



شکل (۶): نمودار لگاریتم میانگین مجذور خطای عملکرد حرارتی بر اساس تعداد نورونها در شبکه عصبی با یک لایه میانی



شکل (۷): نمودار لگاریتم میانگین مجذور خطای ضریب اصطکاک بر اساس تعداد نورونها در شبکه عصبی با یک لایه میانی



شکل (۸): نمودار لگاریتم میانگین مجذور خطای عدد ناسلت بر اساس تعداد نورونها در شبکه عصبی با یک لایه میانی

در شکل (۹) نتایج خروجی شبکه عصبی بر اساس خروجی واقعی برای سه خروجی و در دو فاز آموزش و آزمایش نمایش داده شده است. توابع انتقال لایه های میانی و خروجی tansig و pureline و همچنین تعداد لایه مخفی برابر با دو و تعداد نرون لایه اول و



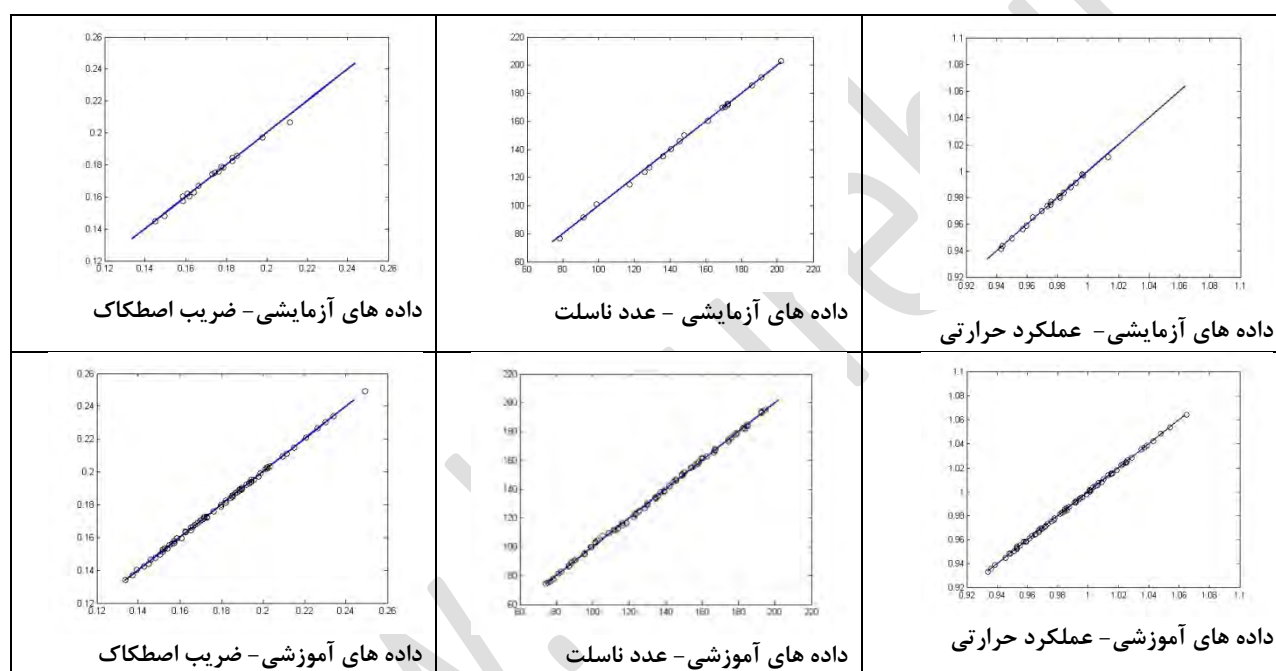
چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

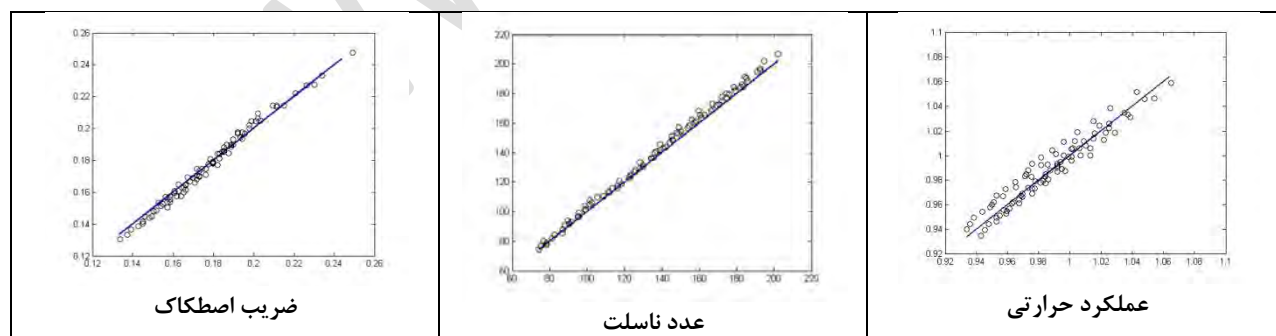
تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

دوم برابر شش در نظر گرفته شده اند چون بهترین پاسخ‌ها را ارائه می‌کردند. همانگونه که مشاهده می‌شود داده‌های تخمین زده شده توسط شبکه عصبی به داده‌های واقعی نزدیکند و این نشان دهنده دقت بالای مدل ارائه شده است.

برای مقایسه نتایج شبکه عصبی با نتایج روش مرجع [2]، با استفاده از روابط ارائه شده در [2] به روی همین داده‌ها پیاده‌سازی انجام داده شد و نتایج آن در شکل (۱۰) و جدول (۳) قابل مشاهده است. همانگونه که مشاهده می‌شود نتایج روابط پیش‌بینی [2] از دقت کمی برخوردارند.



شکل (۹): نمودارهای مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی بر اساس مقدار واقعی



شکل (۱۰): نمودارهای مقدار پیش‌بینی شده توسط روابط مرجع [2] بر اساس مقدار واقعی

جدول (۳): خطا و دقت روابط ارائه شده برای پیش‌بینی ضریب اصطکاک، عدد ناسلت و عملکرد حرارتی از [2]



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره‌های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم‌اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

MSE ناسلت	MAE ناسلت	R2 ناسلت	MSE ضریب اصطکاک	MAE ضریب اصطکاک	R2 ضریب اصطکاک	MSE عملکرد حرارتی	MAE عملکرد حرارتی	R2 عملکرد حرارتی
11.919	2.8742	0.9989	9.27E-06	0.0025	0.9948	6.14E-05	0.0063	0.9645

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک مدل برای پیش بینی رفتار مبدل حرارتی ارائه شده است. این مدل بر اساس شبکه عصبی چند لایه می باشد. مبدل حرارتی که مورد بررسی قرار گرفته از نوع مبدل حرارتی با نوار پیچیده سوراخ دار است. پارامترهای مهم در طراحی این نوع نوار، طول گام (y)، فاصله سوراخ ها (s)، قطر سوراخ (d)، همچنین عرض نوار (w) می باشد که به همراه عدد رینولدز به عنوان ورودی مدل شبکه عصبی در نظر گرفته شده اند. ضریب اصطکاک، عملکرد حرارتی و عدد ناسلت هر سه به صورت همزمان به عنوان خروجی مدل ارائه شده اند. در نتایج پیاده سازی مشاهده شد که الگوریتم یادگیری Trainlm نسبت به سایر الگوریتم های یادگیری در شبکه عصبی به خطای کمتری رسیده است. شبکه عصبی یک لایه با تعداد یازده نورون به بهترین پاسخ هم برای داده های آموزشی و هم داده های آزمایشی رسیده است و اگر تعداد نورون ها را بیشتر در نظر بگیریم خطای آزمایشی بیشتر می شود و بیش برآزش رخ می دهد. همچنین در مقایسه شبکه عصبی با یکی از روشهای پیشین، مشاهده شد که شبکه عصبی توانسته نسبت به روش پیشین به دقت بالاتری دست پیدا کند، چون قابلیت تخمین توابع پیچیده را دارا می باشد.

مراجع

- [1] S.R. Shabaniyan, M. Rahimi, M. Shahhosseini, A.A. Alsairafi, CFD and experimental studies on heat transfer enhancement in an air cooler equipped with different tube inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 38 (2011) 383–390.
- [2] Chinaruk Thianpong, Petpices Eiamsa-ard, Smith Eiamsa-ard, Heat transfer and thermal performance characteristics of heat exchanger tube fitted with perforated twisted-tapes, *Heat Mass Transfer* (2012) 48:881–892.
- [3] C.K. Tan, J. Ward, S.J. Wilcox, R. Payne, Artificial neural network modelling of the thermal performance of a compact heat exchanger, *Applied Thermal Engineering* 29 (2009) 3609–3617.
- [4] Jian Zhang, Fariborz Haghighat, Development of Artificial Neural Network based heat convection algorithm for thermal simulation of large rectangular cross-sectional area Earth-to-Air Heat Exchangers, *Energy and Buildings* 42 (2010) 435–440.
- [5] Arturo Pacheco-Vega, Mihir Sen, K.T. Yang, Rodney L. McClain, Neural network analysis of n-tube refrigerating heat transfer with limited experimental data, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 44 (2001) 763-770.
- [6] Reza Beigzadeh, Masoud Rahimi, Prediction of heat transfer and flow characteristics in helically coiled tubes using artificial neural networks, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 39 (2012) 1279–1285.
- [7] Dong H. Lee, Jin M. Jung, Jong H. Ha, Young I. Cho, Improvement of heat transfer with perforated circular holes in finned tubes of air-cooled heat exchanger, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 39 (2012) 161–166.
- [8] Bayram Sahin, Alparslan Demir, Performance analysis of a heat exchanger having perforated square fins, *Applied Thermal Engineering* 28 (2008) 621–632.



چهارمین کنفرانس مشعل و کوره های صنعتی

تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا

تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶ www.Koureh.ir

- [9] Reza Beigzadeh, Masoud Rahimi, Mehdi Parvizi², and Smith Eiamsa-ard, Application Of Ann And Ga For The Prediction And Optimization Of Thermal And Flow Characteristics In A Rectangular Channel Fitted With Twisted Tape Vortex Generators, Numerical Heat Transfer, Part A, 65(2014) 186–199.
- [10] Reza Beigzadeh, Masoud Rahimi, Prediction of thermal and fluid flow characteristics in helically coiled tubes using ANFIS and GA based correlations, International Communications in Heat and Mass Transfer 39 (2012) 1647–1653.
- [11] Alimohammad Karami , Ehsan Rezaei , Masoud Rahimi, Sajjad Khani, Modeling Of Heat Transfer In An Air Cooler Equipped With Classic Twisted Tape Inserts Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, Chem. Eng. Comm., 200 (2013) :532–542.
- [12] K. Nanan , C. Thianpong , P. Promvonge , S. Eiamsa-ard, Investigation of heat transfer enhancement by perforated helical twisted-tapes, International Communications in Heat and Mass Transfer 52 (2014) 106–112.
- [13] S. Eiamsa-arda, K. Yongsirib, K. Nanana, C. Thianpong, Heat transfer augmentation by helically twisted tapes as swirl and turbulence promoters, Chemical Engineering and Processing 60 (2012) 42– 48.
- [14] M.R. Jafari Nasr, A. T. Zoghi, H. R. Khakadaman, Performance Evaluation of Heat Transfer Enhancement in Heat Exchanger Design, Tahghigh, No 43, (2002).
- [15] Eiamsa-ard, Smith, and Pongjet Promvonge. Enhancement of heat transfer in a tube with regularly-spaced helical tape swirl generators. Solar Energy 78.4 (2005): 483-494.
- [16] Sarma, P.K., P.S. Kishore, V.D. Rao, T. Subrahmanyam,. A combined approach to predict friction coefficients and convective heat transfer characteristics in A tube with twisted tape inserts for a wide range of Re and Pr. International Journal of Thermal Sciences, 44(2005) 393-398.
- [17] Eiamsa-Ard, Smith, and Pongjet Promvonge. "Heat transfer characteristics in a tube fitted with helical screw-tape with/without core-rod inserts." International Communications in Heat and Mass Transfer 34.2 (2007): 176-185.

WWW.KOUREH.IR