



## مقایسه و پیش بینی داده های آزمایشگاهی راندمان حرارتی مبدل دو لوله ای با نانو سیال اکسید آهن توسط شبکه های عصبی مصنوعی

محمد اختر<sup>۱\*</sup>، مجتبی میرزایی<sup>۲</sup>، داریوش خسروی مهد<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، موسسه غیر انتفاعی فخر رازی، ساوه، ایران

۲- دکترای تخصصی، موسسه غیر انتفاعی انرژی، ساوه، ایران

۳- کارشناسی ارشد، موسسه غیر انتفاعی انرژی، ساوه، ایران

\* ساوه، ، m.akhtari5959@gmail.com

### چکیده

در این بررسی راندمان حرارتی مبدل دو لوله ای با نانو سیال آب -  $Fe_3O_4$  در اعداد رینولدز ۲۱۰۰۰-۲۰۰۰ و کسر های حجمی بین (0.1-0.4% v/v) توسط شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و همبستگی با استفاده از داده های آزمایشگاهی ارزیابی و پیش بینی شده است. سایز نانوذره اکسید آهن در حدود ۲۰ نانومتر می باشد. عکس برداری SEM از نانو ذرات نیز برای روشن شدن پایداری و همگن بودن سوسپانسیون ارائه شده است. عدد رینولدز و کسرهای حجمی متفاوت نانو سیال اکسید آهن به عنوان داده های آزمایشی برای ANN استفاده شده است. از شبکه عصبی پیش رو با دو لایه و الگوریتم آموزشی پسا انتشار خطا - لونیبرگ مارکوارت (BP-LM) برای پیش پارامترهای انتقال حرارت استفاده شد. ۷۰ درصد داده ها در مجموعه آموزشی و ۱۵ درصد داده ها در مجموعه ارزیابی و مابقی به عنوان داده ای تست در راستای جلوگیری از بیش برازش شبکه و بررسی کارایی نهایی شبکه مورد استفاده قرار گرفت. به علاوه، بر اساس داده های آزمایشگاهی و استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، داده های پیش بینی شده توسط شبکه های عصبی با نتایج آزمایشگاهی که توسط مبدل حرارتی دو لوله ای اندازه گیری شده همخوانی بسیار خوبی دارد. میزان صحت سنجی کلی توسط مقدار مربع خطا (MSE) و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) برای راندمان مبدل حرارتی دو لوله ای به ترتیب ۰/۰۰۰۱ و ۰/۹۹۶ می باشد که نشان از موفق بودن این پیش بینی می باشد.

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۹ دی ۱۳۹۶

پذیرش: ۲۱ بهمن ۱۳۹۶

ارائه در سایت: ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۷

### کلیدواژگان

مبدل دو لوله ای

انتقال حرارت

شبکه عصبی مصنوعی

## Comparison and Prediction of the Experimental Data for Thermal Efficiency of a Double-Pipe Heat Exchanger with $Fe_3O_4$ Nanofluid Using Artificial Neural Networks

Mohammad Akhtari<sup>1\*</sup>, Mojtaba Mirzaee<sup>2</sup>, Daryoosh Khosravi Mahd<sup>3</sup>

1-Fakhre Razi Institute Of Higher Education ,Saveh,Iran

2-Energy Institute Of Higher Education ,Saveh,Iran

3-Energy Institute Of Higher Education ,Saveh,Iran

\* Saveh, Iran m.akhtari5959@gmail.com

### Article Information

Original Research Paper

Received 30 December 2017

Accepted 10 February 2018

Available Online 5 May 2018

### Keywords

Double Pipe heat Exchangers

Heat Transfer

### ABSTRACT

In this study, the thermal efficiency of a double-pipe heat exchanger with  $Fe_3O_4$ -water nanofluid in Reynolds numbers between 2000-21000 and volume fractions between (0.1-0.4% v / v) using artificial neural networks and correlation with experimental data has been evaluated and predicted. Iron oxide nanoparticles were about 20 nm in size. SEM photography of nanoparticles is provided to show the stability and homogeneity of suspension. Different Reynolds numbers and volume fractions of iron oxide nanofluid are used as the

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Mohammad Akhtari, Mojtaba Mirzaee, Daryoosh Khosravi Mahd, Comparison and Prediction of the Experimental Data for Thermal Efficiency of a Double-Pipe Heat Exchanger with  $Fe_3O_4$  Nanofluid Using Artificial Neural Networks, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 9, No. 1, pp. 20-27, 2018 (In Persian)

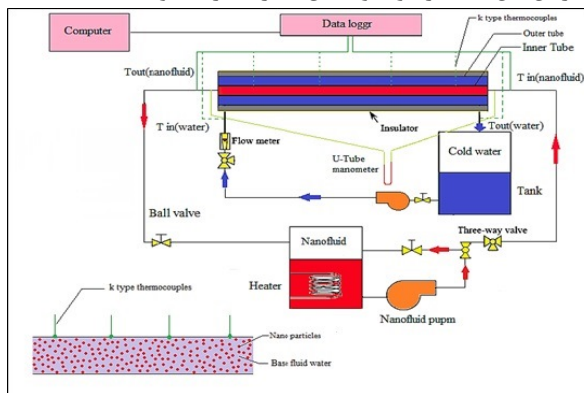
training data for ANN. A two-layer feed-forward neural network with back-propagation Levenberg-Marquardt learning algorithm (BP-LM) was used for heat transfer pre-parameters. Moreover, 70% of data were used in training set and 15% of data were used in evaluation set and remaining data were used as test data to prevent preprocess of network and to study the final efficacy of the network. In addition, based on the experimental data and the use of artificial neural network, data predicted by the neural network are in good agreement with experimental data measured by the double-pipe heat exchanger. The overall verification by the mean squared error (MSE) and correlation coefficient ( $R^2$ ) for the thermal efficiency of a double-pipe heat exchanger is 0.0001 and 0.996, respectively, indicating that prediction is successful.

## ۱- مقدمه

افزودن ذرات جامد درون سیال انتقال حرارتی، به عنوان یکی از روش های مفید برای بالا بردن خواص حرارتی شناخته می شود. اما استفاده از ذرات در سایز میکرو متر و میلی متر مشکلاتی همچون خوردگی، افت فشار بالا و ته نشینی ذرات را در پی داشته است. در مقایسه با افزایش انتقال حرارت ناشی از ذرات معلق درشت اندازه، استفاده از نانو ذرات در سیال پایه خواص حرارتی بهتری را از خود نشان می دهند. معمولاً ذرات در سایز نانومتر و در غلظت های بسیار پایین مورد استفاده قرار می گیرند که این امر از ته نشینی ذرات در جریان و انسداد درون سیستم های حرارتی جلوگیری می کند. از این نقطه نظر، مطالعاتی در زمینه انتقال حرارت با سوسپانسیون نانو سیالات انجام گرفته است. از زمانی که Choi و همکاران [1] اولین مقاله در مورد نانو سیال را منتشر کردند. چندین مقاله تحقیقاتی دیگر نیز انجام گرفته است که در آنها با تراکم بسیار نانو ذرات تا ۲۰٪ افزایش انتقال حرارت مشاهده شده است [2-5]. تلاش های دیگری نیز در جهت درک بهتر تغییرات ضریب انتقال حرارت در مبدل های حرارتی صورت گرفته است [6-10]. ضریب انتقال حرارت در نانو سیالات با تراکم حجمی ذرات بسیار پایین، نسبت به سیال پایه از قبیل آب، اتیلن گلیکول، روغن و غیره بسیار بالاتر است. از طرف دیگر تغییرات ضریب اصطکاک و گرانیروی سیال بسیار پایین گزارش شده است. اخیراً خانفر و همکاران [11] تحلیل شبیه سازی جامعی در این زمینه انجام دادند و به نتایج مشابهی رسیدند. اما علی رقم پتانسیل بالای نانو سیالات، هنوز در ابتدای راه تحقیق هستیم و نیاز به تحقیقات بیشتر روی تأثیر نانو ذرات روی انتقال حرارت سیالات احساس می شود. عوامل مهم دیگری همچون ساختار سطح، شکل نانو ذرات، توزیع نامنظم ذرات و حرکت نانو ذرات در جریان وجود دارند که نقش مهمی در انتقال حرارت نانو سیالات بازی می کنند و

هنوز مطالعات زیادی روی آنها صورت نگرفته است. درک نقش این عوامل در سیال برای کشف مکانیسم افزایش انتقال حرارت نانو سیال بسیار مهم است. واضح است که برای پیش بینی صحیح خواص انتقال حرارتی نانو سیالات نیازمند مطالعات و تحقیقات بیشتری هستیم. تجهیزات آزمایشگاهی گوناگونی برای اندازه گیری ضریب انتقال حرارت سیالات حاوی ذرات نانومتری ساخته شده است. تحلیل های تجربی نیز برای تأثیر نانو ذرات اکسید آلومینیوم روی انتقال حرارت مبدل های حرارتی دو لوله ای صورت پذیرفته است. آقایی و همکاران [12] ضریب کلی انتقال حرارت را درون مبدل حرارتی دو لوله ای در جریان آشفته با نانو سیال اکسید آلومینیوم در غلظت های حجمی ۰/۱ تا ۰/۳ درصد حجمی تحت رژیم جریان آشفته را مورد مطالعه قرار دادند. سایز نانو ذرات در حدود ۲۰ نانومتر بود نتایج نشان داد که انتقال حرارت در حدود ۱۲ درصد نسبت به سیال پایه افزایش می یابد. مداح و همکاران [13] میزان انتقال حرارت را با نانو اکسید آلومینیوم در مبدل حرارتی دو لوله ای با نوارهای مارپیچی را بررسی کردند و نتایج نشان داد که انتقال حرارت و ضریب اصطکاک در مقایسه با سیال پایه در حدود ۱۲ تا ۵۰ درصد افزایش می یابد. یوسف و همکاران [14] داده های اندازه گیری اختلاف فشار را با نانو سیال اکسید تیتانیوم به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند و نتایج حاصل از آنها را با شبکه های عصبی پیش بینی کردند نتایج نشان می دهد که انطباق خوبی بین نتایج پیش بینی شده و آزمایشگاهی وجود دارد. Mohammad hemmat esfe و همکاران [15] هدایت حرارتی نانو سیال ZnO-EG را به طور آزمایشگاهی بررسی کردند. در بررسی که صورت گرفت از ذرات اکسید روی با سایز ۱۸ نانومتر پخش شده در کسر های حجمی متفاوت اتیلن گلیکول و گستره ی دمایی ۲۴-۵۰ درجه ی سانتیگراد استفاده شده است. از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه ای پیش خور برای مدلسازی

می‌یابد. لوله داخلی از لوله استیل نرم با قطر بیرونی ۰/۰۸ متر و قطر داخلی ۰/۰۶ متر ساخته شده است و لوله بیرونی که از استیل ساخته شده و قطر بیرونی آن ۰/۱۶ متر و قطر داخلی آن ۰/۱۴ متر است. بخش آزمون از نظر گرمایی از طریق لوله‌های پلاستیکی و عایق حرارتی پوشیده شده است تا از اتلاف و فقدان گرما در جهت های محوری بکاهد. جهت اندازه گیری دمای کل نانو سیال و سیال سرد در دو انتهای بخش تست ، ترموکوپل‌های نوع T که به طور مستقیم در داخل جریان قرار داده می‌شوند و دارای دقت اندازه گیری  $\pm 0.1$  درجه سانتی گراد است قرار می‌گیرد. مخزن ۲۰ لیتری که به منظور ذخیره و نگه داری نانو سیال استفاده می‌شود از جنس استیل می باشد که توسط عایق حرارتی برای جلوگیری از اتلاف حرارت پوشیده شده است. برای گرم کردن نانو سیال و تنظیم آن روی دماهای مورد نظر از المنت حرارتی ۳ کیلو واتی که درون مخزن نانو سیال قرار دارد استفاده شد. سرعت جریان نانو سیال با تنظیم سرعت چرخش پمپ دنده‌ای مغناطیسی و فلومتر کنترل می‌شود. همچنین می توان از شیر بای پس نیز برای کنترل دبی استفاده کرد. سرعت جریان آب سرد را از طریق زمانی که طول می‌کشد تا حجمی مشخص از سیال خالی (تخلیه) شود محاسبه می‌کنند. تمامی ترموکوپل های نوع T را با یک کالبریتور قابل حمل و مدرج تنظیم می‌کنند. بعلاوه سرعت جریان نانو سیال را با استفاده از بالانس (تعادل) الکترونیکی محاسبه می‌کنند. عدم قطعیت بالانس الکترونیکی  $\pm 0.05$  کیلوگرم است. بنابراین عدم قطعیت (خطای) راندمان انتقال حرارت حدود ۴٪ است. در طی آزمایش دمای خروجی آب سرد و نانو سیال، سرعت جریان کل آب سرد و نانو سیال اندازه گیری خواهد شد.



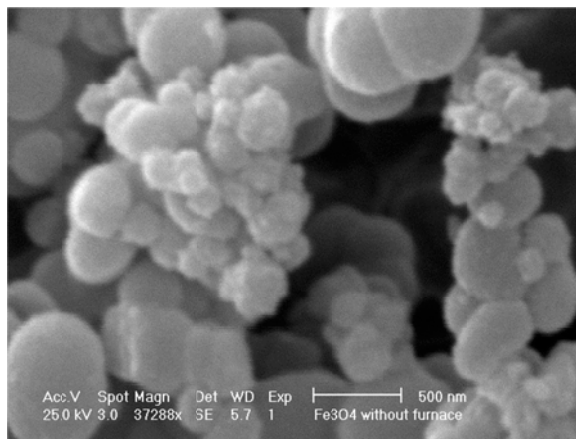
شکل ۲ دستگاه مبدل حرارتی دو لوله ای

هدایت حرارتی نانو سیال ZnO-EG استفاده کردند و از ۴۰ داده آزمایشگاهی ، ۲۸ داده برای آموزش شبکه انتخاب شد و ۱۲ داده باقی مانده برای تست و اعتبار سنجی شبکه مورد استفاده قرار گرفت . نتایج نشان می دهند مدل و خروجی های ANN همخوانی خوبی با داده های آزمایشگاهی دارند .

## ۲- بخش آزمایشگاهی

### ۲-۱ نانو ذره اکسید آهن

نانو ذرات اکسید آهن لازم با غلظت های حجمی مورد نظر ۰/۱ تا ۰/۴ با وزن های متفاوت به سیال پایه افزوده شدند . سپس ، با استفاده از یک همزن مکانیکی ، مخلوط را به مدت ۶۰ دقیقه با هم مخلوط کردند . پس از همزدن نانو ذرات  $Fe_3O_4$  با آب ، نمونه ها را برای ۴ ساعت در یک لرزاننده ی فرا صوتی قرار دادند . این لرزاننده فرا صوتی که با تنظیم روی زمان های خاصی کار می کند و ذرات را به طور کامل همزده و یکنواخت می کند به طوری که هیچ رسوب و انباشتی با چشم غیر مسلح برای مدت زمان طولانی مشاهده نشد . شکل ۱ ، تصویر SEM نانو ذرات می باشد که در محدوده ۲۰ نانومتر می باشد.



شکل ۱ تصویر SEM از نانو ذرات اکسید آهن

### ۲-۲ دستگاه آزمایشگاهی

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است دستگاه مورد استفاده در این آزمایش متشکل از یک بخش تست ، مخزن دریافت و ذخیره نانو سیال ، یک پمپ مغناطیسی ، شیر بای پس می باشد . بخش تست یک مبدل حرارتی دو لوله‌ای افقی جریان ناهمسو با طول ۱/۲ متری است که در آن نانو سیال در داخل لوله جریان دارد و آب سرد در فضای حلقوی جریان

## ۳- شبکه عصبی

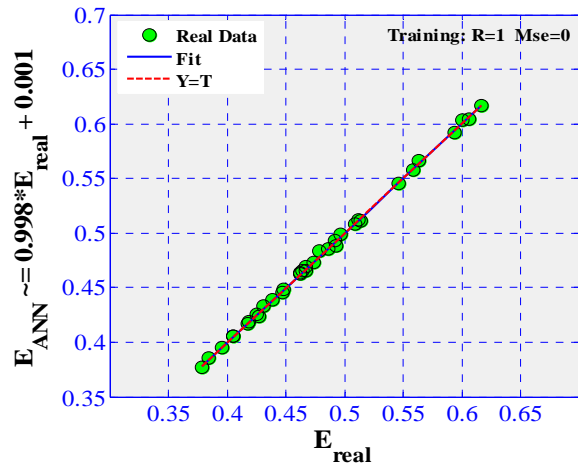
شبکه های عصبی از عناصر عملیاتی ساده ای ساخته می شوند که به صورت موازی در کنار یکدیگر قرار گرفته و عمل می کنند. این عناصر از سیستم های عصبی زیستی الهام گرفته شده اند. پس از تنظیم یا آموزش شبکه عصبی می توان با دادن یک یا چند ورودی منحصر بفرد پاسخ مناسبی از آن دریافت نمود. در شبکه های عصبی تطابقی بین ورودی و هدف سازگار می شود تا در نهایت خروجی شبکه با خروجی مورد نظر ما (تابع هدف) بر هم منطبق گردند. از شبکه های عصبی برای پیاده سازی توابع بسیار پیچیده در زمینه های مختلف استفاده می شود. یکی از مهمترین کاربردهای شبکه عصبی می توان به پیش بینی مقادیر خروجی از هر فرایندی اشاره کرد البته برای رسیدن به خروجی مطلوب باید داده های ورودی درست انتخاب شوند. روند کار در شبکه عصبی به این صورت می باشد که در ابتدا داده ای مطلوب و خروجی (مقادیر هدف) جهت پیش بینی مناسب خروجی شبکه عصبی به نرم افزار داده می شود. برای پیش بینی مقادیر خروجی از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه ای استفاده می شود که شامل چند لایه است که هر یک تعدادی نورون دارد انتخاب نورون ها انتخابی است و انتخاب صحیح تعداد نورون در پیش بینی ما بسیار موثر می باشد. هر نورون در هر لایه با ضرایب وزنی به نورون های لایه بعدی متصل می شود. یک تابع فعال سازی برای نورون های هر لایه تعیین می شود که از آن برای محاسبه ی مجموع وزن های اولیه و جهت گیری های هر نورون جهت تولید نورون خروجی استفاده می شود. به طور کلی می توان مراحل زیر را در شبکه عصبی مصنوعی دنبال کرد. مرحله ی اول ایجاد داده های لازم برای آموزش شبکه است. مرحله ی دوم ارزیابی ساختار های مختلف شبکه عصبی جهت انتخاب ساختار بهینه است. مرحله سوم تست شبکه ی عصبی با استفاده از داده های قبلا بکار نرفته در آموزش شبکه است. نورون های جهت دار به سایر نورون های لایه های بعد متصل می شوند تا جهت ثابتی را ایجاد کنند. دقیق ترین و درست ترین پیش بینی شبکه های عصبی با استفاده از تابع تانژانتی برای نورون های لایه مخفی و تابع پیورلین برای نورون های لایه ی خروجی است. همان طور که شکل ۳ دیده می شود یک شبکه عصبی با دو لایه مخفی شامل ۱۰ نورون و یک لایه ی خروجی را نشان می دهد. در الگوریتم های آموزش، داده های آموزشی به شبکه

داده می شوند و شبکه اوزان و جهت گیری ها را مکررا تا زمان تطابق مقادیر پیش بینی شده با مقادیر مورد نظر به روش منطقی و قابل قبول بروز می کند. در این بررسی داده های ورودی غلظت حجمی نانو ذره (۰/۱-۰/۴٪ حجمی حجمی) و عدد رینولدز می باشد و خروجی یا تارگت همان راندمان حرارتی نانو اکسید آهن می باشد که به صورت آزمایشگاهی به دست آمده است. برای بررسی عملکرد شبکه پرسپترون چند لایه از توپولوژیهای مختلف با تعداد نرون های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. در گام اول بعد از اینکه شبکه آموزش دید، خطای MSE تست شبکه محاسبه می شود. به هنگام پیش بینی ۷۰ درصد از داده ها بطور تصادفی بعنوان داده ی آموزشی و ۱۵ درصد آنها به عنوان داده های تست و مابقی برای اعتبار سنجی بکار گرفته شده است. از آنجایی که تعداد نورون ها در لایه پنهان بر روی عملکرد دادها تاثیر گذار می باشد بر روی این پارامتر آنالیز حساسیت سنجی صورت گرفت. به منظور ارزیابی نتایج بدست آمده از میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب تشخیص (R2) استفاده شد:

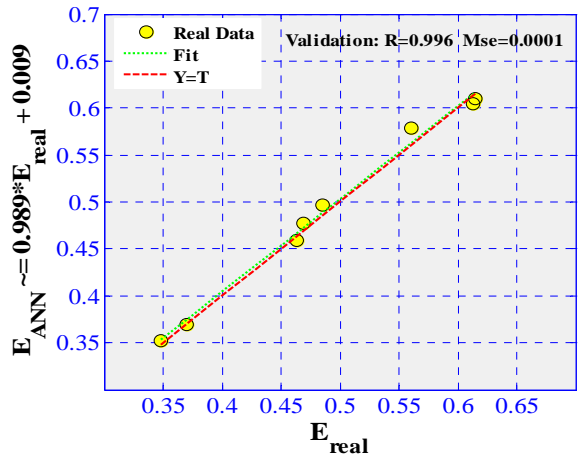
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i^{Exp} - E_i^{ANN})^2 \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (E_i^{Exp} - \bar{E})^2 - \sum_{i=1}^N (E_i^{Exp} - E_i^{ANN})^2}{(\sum_{i=1}^N (E_i^{Exp} - \bar{E})^2)} \quad (2)$$

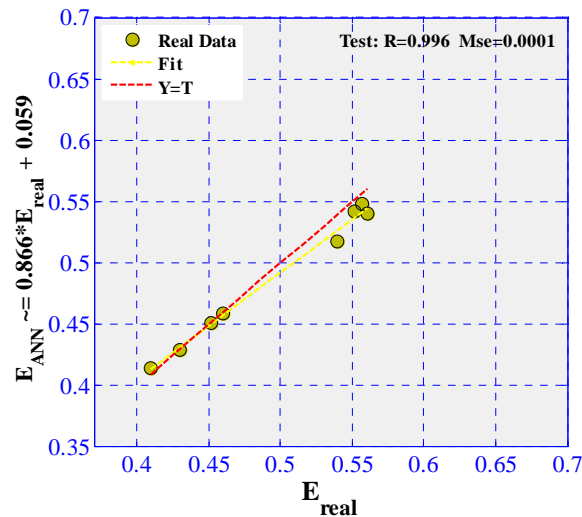
نتایج به دست آمده نشان از قابلیت شبکه عصبی به عنوان ابزاری برای پیش بینی تغییرات راندمان حرارتی است که می تواند در سیستم های حرارتی بکار رود. همانطور که ذکر شد از شبکه عصبی پیش رو با دو لایه و الگوریتم آموزشی پسا انتشار خطا - لونیبرگ مارکوارت (BP-LM) برای پیش بینی راندمان حرارتی نانو سیال استفاده شد. پارامترهای غلظت حجمی و عدد رینولدز به عنوان داده های ورودی و راندمان حرارتی به عنوان پارامتر هدف انتخاب گردیدند. منظور از پارامتر هدف پارامتری است که ما در پی پیش بینی آن برای سیستم هستیم. شکل ۳ شماتیک ساختار شبکه عصبی به کار رفته را نشان می دهد. یکی از پارامترهایی که در شبکه های عصبی نیاز به حساسیت سنجی دارد تعداد نورون در لایه پنهان می باشد. بدین منظور تعداد نورون های لایه پنهان با استفاده از روش حدس و خطا مورد بررسی قرار گرفت. دلیل آنکه تعداد نرون های بیش از ۲۰ برای مدل مورد ارزیابی قرار نگرفت این است که با افزایش تعداد نرون برای پیش بینی سبب افزایش زمان اجرای برنامه و نیز افزایش احتمال مسیر



(الف)

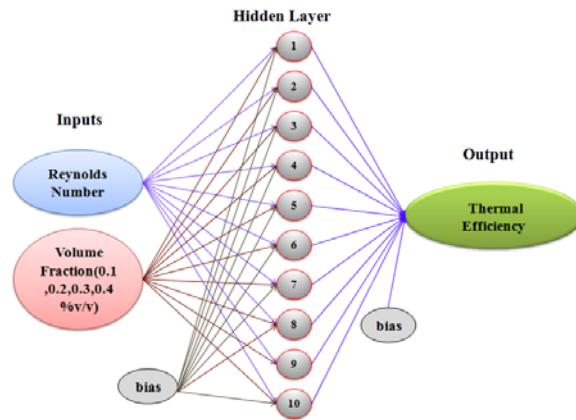


(ب)



(ج)

خطا در مدل می باشد. نورون ۱۰ دارای توزیع مناسبتری می باشد.

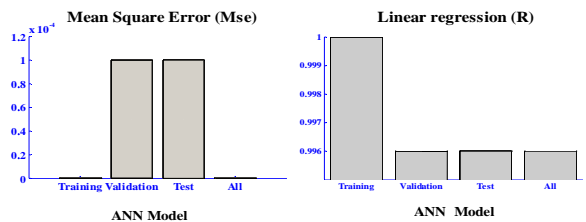


شکل ۳ نمایش داده های ورودی و خروجی و تعداد لایه مخفی توسط شبکه عصبی

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

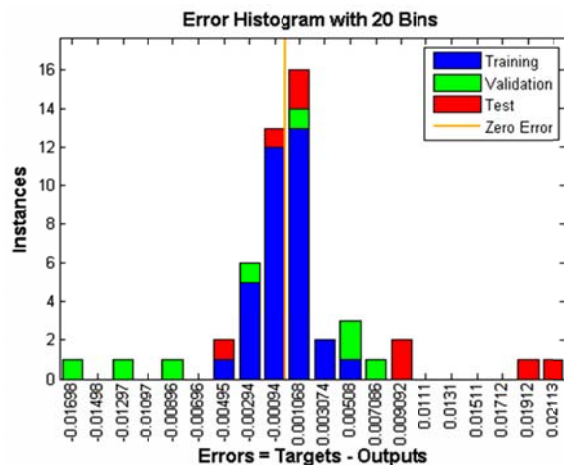
در این بررسی برای کار با شبکه عصبی تعداد نورون های متفاوت به کار گرفته شد. شکل ۴ الف تا د نشان می دهد با در نظر گرفتن تعداد نورون ۱۰ سیستم چه عملکردی داشته است. در این شکل ۷۰ درصد داده ها در مجموعه آموزشی به کار گرفته شد مابقی آنها در مجموعه ارزیابی و تست مورد استفاده قرار گرفت. بر روی این پارامتر آنالیز حساسیت سنجی صورت پذیرفت. همان طور که دیده شد برای ارزیابی نتایج بدست آمده از میانگین مربعات خطا (MSE) و ضریب تشخیص ( $R^2$ ) استفاده شده است. در شکل ۴ الف مقدار ضریب همبستگی (بده و مجموع مربعات خطا مقدار صفر می باشد که نشان دهنده انطباق خوب داده های آزمایشگاهی با مقادیر پیش بینی شده می باشد. همین روند برای قسمت های ولیدیشن و تست دیده می شود مقدار میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی برابر  $0.0001$  و  $0.996$  می باشد (شکل ۴ ب، ج). شکل ۴ د که برای همه داده ها مقادیر راندمان حرارتی که از داده های آزمایشگاهی به دست آمده با مقادیر پیش بینی که توسط شبکه عصبی بوده را نشان می دهد مجموع مربعات خطا ۰ و ضریب همبستگی مقدار صفر و  $0.996$  می باشد که نشان از موفق بودن نتیجه پیش بینی می باشد.

خورده به طوری که در نمونه ۳۵ و ۴۰ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار خطا دیده می شود این مقادیر مینیمم و ماکسیمم به ترتیب برابر  $-0.02/0.02$  می باشد. البته مقادیر این خطا قابل قبول می باشد. شکل ۶ الف و ب مقادیر مجموع مربعات خطا و ضریب همبستگی را برای قسمتهای ترینینگ، تست، ولیدیشن و کلی را نشان می دهد.



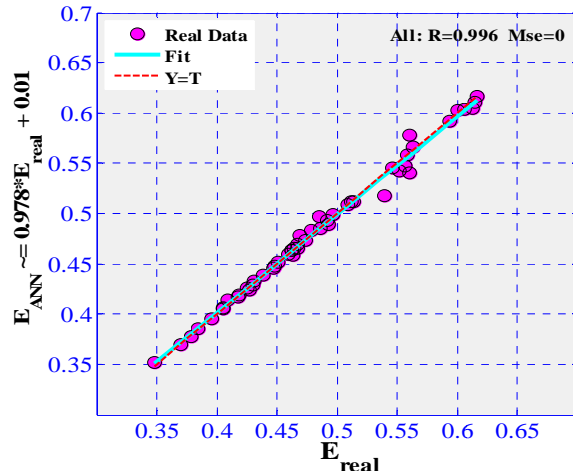
(الف) (ب)

شکل ۶ الف) بررسی مقایسه ای مقادیر ضریب همبستگی، ب) مربعات خطا پیش بینی شده توسط شبکه های عصبی



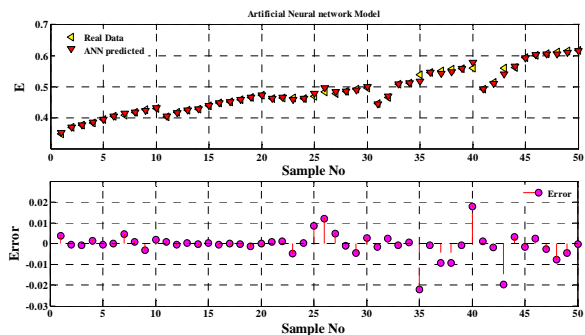
شکل ۷ نمودار توزیع خطا برای دادها

همان طور که در شکل ۷ دیده می شود اختلاف مقادیر هدف (راندمان حرارتی) یعنی مقادیر آزمایشگاهی و پیش بینی شده توسط شبکه عصبی نشان داده شده است در شکل ۷ بیشترین و کمترین مقدار خطا برای قسمت ترینینگ که بیشترین مقدار دادها را به خود اختصاص داده است  $0.00508$  و  $-0.00495$  بوده و این مقادیر بیشتر به خط مرکز که مقادیر اختلاف خطا صفر می باشد نزدیکتر است. بیشترین و کمترین مقادیر اختلاف خطا برای قسمت های ولیدیشن و تست به ترتیب برابر با  $0.007086$ ،  $0.008092$ ،  $0.0111$  و  $-0.0111$  می باشد.



(د)

شکل ۴ الف تا د نمایش رگرسیون شبکه



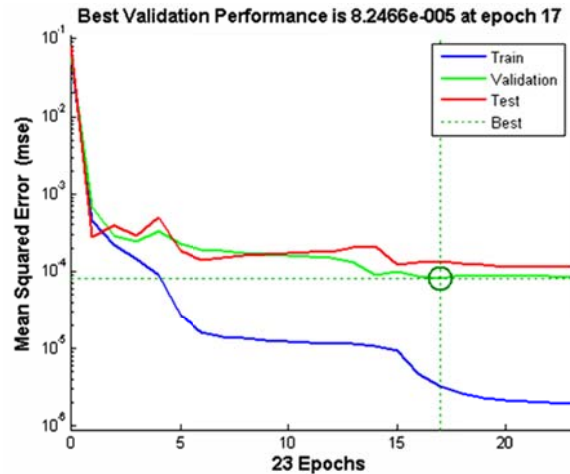
شکل ۵ بررسی مقایسه ای مقادیر پیش بینی شده راندمان حرارتی توسط شبکه های عصبی و نتایج آزمایشگاهی با نورون ۱۰ (محور X: تعداد نمونه ها، محور Y: مقادیر راندمان و خطا

شکل ۵ تعداد نمونه را بر حسب راندمان نشان می دهد همان طور که دیده می شود تعداد نمونه های آزمایشگاهی که مورد ارزیابی قرار گرفته ۵۰ نمونه می باشد افزایش تعداد نمونه ها نشان دهنده افزایش مقادیر غلظت حجمی نانو ذرات می باشد به طوری که با افزایش غلظت راندمان حرارتی مبدل دو لوله ای افزایش می یابد. نتایج حاصل از شبکه های عصبی نشان می دهد که راندمان حرارتی پیش بینی شده با داده ای آزمایشگاهی انطباق خوبی دارد. تعداد راندمان برای هر ۵۰ داده دارای خطای مینیمم و ماکسیمم می باشد که در شکل ۵ نشان داده شده است در شکل ۵ یک بیس لاین وجود دارد که مقادیر داده برای هر نمونه باید بر آن منطبق باشد تا نمونه ۲۵ مقادیر خطا بسیار خوب می باشد و نرمال است اما در مقادیر ۲۵ تا ۳۰ و ۳۵ تا ۴۰ توزیع یکنواختی خطا بر هم

یابد متوقف می شود این توقف در تکرار ۱۷ رخ داده است با بررسی نمودار های کارایی برای دو حالت نتایج حاصل به دلایل زیر مطلوب می باشد:

۱. مقدار خطای میانگین مربعات نهایی کوچک است.
۲. خطای مجموعه ارزیابی با خطای مجموعه تست دارای رفتار و خصوصیات مشابهی است.
۳. تا تکرار ۱۷) که بهترین کارایی در مورد مجموعه ارزیابی (ولیدیشن) و تست به وقوع می پیوندد) هیچ بیش برآزشی رخ نداده است.

همان طور که در جدول ۱ دیده می شود برای پیش بینی داده ها تعداد نورون های متفاوت به کار گرفته شد و نتایج در این جدول ذکر گردید. در نورون ده نتایج تا حدودی مطلوبتر از سایر نورون ها می باشد .



شکل ۸ نمودار کارایی شبکه برای راندمان در مبدل حرارتی دو لوله ای (تعداد تکرار ها بر حسب مجموع مربعات خطا)

شکل ۸ روند کارایی شبکه را نشان می دهد. روال آموزش در صورتی که خطای مجموعه ارزیابی در ۵۰ تکرار متوالی افزایش

جدول ۱ نتایج حاصل از پیش بینی با نورون های متفاوت

Number of hidden layers	Number of neurons	MSE	R(Training)	R (Validation)	R (Test)	R (All)
2	2	0.002	0.976	0.993	0.972	0.978
2	4	0.0001	0.987	0.991	0.984	0.986
2	6	0.001	0.992	0.986	0.988	0.991
2	8	0.0001	0.995	0.983	0.985	0.997
2	10	0	1	0.996	0.996	0.996
2	12	0.0005	0.978	0.746	0.954	0.95
2	14	0.0002	0.994	0.997	0.97	0.988
2	16	0.0001	0.998	0.99	0.994	0.994
2	18	0.0002	0.998	0.968	0.907	0.985
2	20	0	1	0.992	0.989	0.996

#### ۵- نتیجه گیری

در این بررسی در ابتدا به صورت آزمایشگاهی راندمان حرارتی نانو اکسید آهن اندازه گیری شد . سپس برای پیش بینی داده های راندمان حرارتی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. داده های عدد رینولدز و غلظت های حجمی نانو سیال به عنوان داده های ورودی استفاده گردید و راندمان به عنوان خروجی منظور گردید. از نتایج چنین بر می آید که این پیش بینی بسیار موفقیت آمیز بوده و انطباق خوبی بین داده ای آزمایشگاهی و پیش بینی شده می باشد و مقدار مجموع مربعات خطا و ضریب همبستگی بسیار مطلوب می باشد.

با تعداد نورون ۱۰ خروجی مجموعه آموزشی، ارزیابی و تست به خوبی بر روی بردارهای هدف منطبق شده اند برای رسیدن به نتایج بهتر و دقیق تر می توان از روش های زیر استفاده نمود:

۱. تعداد نورون های لایه مخفی را افزایش یا کاهش دهیم تا نتایج مطلوب حاصل شود که در این بررسی این تغییر صورت گرفت.
۲. تعداد بردارهای آموزشی را افزایش داد.
۳. تعداد مقادیر ورودی شبکه را در صورت وجود اطلاعات مرتبط افزایش داد.
۴. از الگوریتم های آموزشی دیگر استفاده نمود.

## ۶- مراجع

- [1] S. U. S. Choi, Development and applications of non-newtonian flows, ASME, New York (1995).
- [2] S. U. S. Choi, Z.G. Zhang, W. Yu, F. E. Lockwood and E. A. Grulke, Appl. Phys. Lett., 79, 2252 (2001).
- [3] J. A. Eastman, S. U. S. Choi, S. Li, W. Yu and L. J. Thomson, Appl. Phys. Lett., 78, 718 (2001).
- [4] H. Xie, J. Wang, T.G. Xi, Y. Liu and F. Ai, J. Appl. Phys., 91, 4568 (2002).
- [5] T. H. Cho, S. D. Park, Y. S. Lee and I. H. Baek, Korean Chem. Eng. Res., 42, 624 (2004).
- [6] Y. Xuan and Q. Li, ASME J. Heat Transfer, 125, 151 (2003).
- [7] G. Roy, C. T. Nguyen and P. R. Lajoie, Superlattices and Microstructures, 35, 497 (2004).
- [8] D. Wen and Y. Ding, Int. J. Heat and Mass Trans., 47, 5181 (2004).
- [9] C. H. Lee, S.W. Kang and S. H. Kim, J. Ind. Eng. Chem., 11, 152 (2005).
- [10] P. Keblinski, S. R. Phillpot, S. U. S. Choi and J. A. Eastman, Int. J. Heat and Mass Transfer, 45, 855 (2002).
- [11] K. Khanafer, K. Vafai and M. Lightstone, Int. J. Heat Mass Trans., 46, 3639 (2003).
- [12] Raghayari et al, Effect of nanoparticles on heat transfer in mini double-pipe heat exchangers in turbulent flow, Heat Mass Transfer (2015) 51:pp301-306, DOI 10.1007/s00231-014-1415-0
- [13] H. maddah et al, Experimental study of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid turbulent heat transfer enhancement in the horizontal double pipes fitted with modified twisted tapes, International Journal of Heat and Mass Transfer (Impact Factor: 2.52). 11/2014; 78. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.07.059
- [14] M. S. Youssef, Artificial Neural Network Turbulent Modeling for Predicting the Pressure Drop of Nanofluid, I.J. Information Technology and Computer Science, 2013, 11, 13-20
- [15] M. Hemat Esfe, Modeling of thermal conductivity of ZnO-EG using experimental data and ANN methods, International Communications in heat and mass Transfer 63(2015)35-40