



## Performance prediction of a steam single-effect absorption chiller by the artificial neural network

Farshad Panahizadeh<sup>1</sup>, Mahdi Hamzehei<sup>\*</sup>, Mahmood Farzaneh-Gord<sup>1,2</sup>

1. Department of Mechanical Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*\*Correspond author Email: mahdi\_hamzei@iauahvaz.ac.ir*

### Abstract

Depending on the temperature and pressure of the heat source, single-effect absorption chillers are categorized into two types of hot water and steam single-effect chillers. Due to the ability to use the waste stream in oil, gas, and petrochemical industries for air conditioning and process cooling purposes, the steam-type chiller is more widely used. In this study, the artificial neural network is exploited to predict the steam single-effect absorption chiller performance since it is faster and has lower computational cost than thermodynamic modeling methods. The perceptron multilayer neural network with the error backpropagation algorithm, the hyperbolic tangent excitation function, and the Levenberg-Marquardt learning method with 15285 data points, and the mean squared error estimation index are used. Inputs of the artificial neural network are the inlet cooling tower water temperature, inlet chilled water temperature, inlet steam temperature, outlet chilled water temperature and the solution heat exchanger efficiency respectively. Also, the neural network outputs are the Coefficient of performance and thermal energy consumption of the chiller. Results of this study show that the artificial neural network is capable of predicting the Coefficient of performance and the thermal energy consumed by the single-effect absorption chiller while the values of mean squared error are  $3.183 \times 10^{-7}$  and  $7.466 \times 10^{-8}$  respectively which verify the accuracy of the method proposed here in absorption chiller performance prediction.

**Keywords:** Single-effect absorption chiller, Artificial neural network, Coefficient of performance, Mean squared error.

### Introduction

Absorption chillers are one of the most widely used equipment for cold production in the oil, gas, and petrochemical industries [1]. Less power consumption, environmentally friendly, and their ability to use waste heat to produce cold has caused such chillers to receive more attention than other types [2,3]. Today, with the possibility of fast access to the internet and reducing



the price of computer equipment and data centers, artificial neural network methods have been developed in various industries and sciences, including engineering, medicine, etc. This study aims to evaluate the efficiency of the artificial neural network method in predicting the performance of a single-effect absorption chiller. A case study has been performed on a single effect steam absorption chiller of the Marun Petrochemical Complex (M.P.C.) located in the south of Iran. The type of network used is a multilayer perceptron with an error backpropagation algorithm. In this regard, the results of the artificial neural network will be compared with the results of experimental measurements.

## Methodology and Results

The artificial neural network method requires data. Most of this data is collected experimentally, theoretically, or both. In the present study, for a single-effect steam absorption chiller with a cooling capacity of 4775 kW located in the Marun Petrochemical Complex, first wrote a high-precision code in the Engineering Equation Solver (EES) software, with a maximum error of 5.19% compared to experimental measurements. Data are then extracted from it under different operating conditions. The multilayer perceptron neural network method with the error backpropagation algorithm has been used in this research. In the present study, inlet layer neurons include inlet cooling tower water temperature, inlet chilled water temperature, inlet steam temperature, outlet chilled water temperature, solution heat exchanger efficiency, and outlet layer neurons of performance and heat energy required by the absorption chiller.

Using the artificial neural network by computer coding in MATLAB software, the prediction coefficient of absorption chiller performance and required thermal energy have been obtained. Figures 1 and 2 show the average square of the predicted error for the absorption chiller's Coefficient of performance and thermal energy consumption. As can be seen, the error of the training data (blue), validation data (green), and test (red) decreasing with repetitions, and the minimum error is  $3.183 \times 10^{-7}$  and  $7.466 \times 10^{-8}$ , respectively.

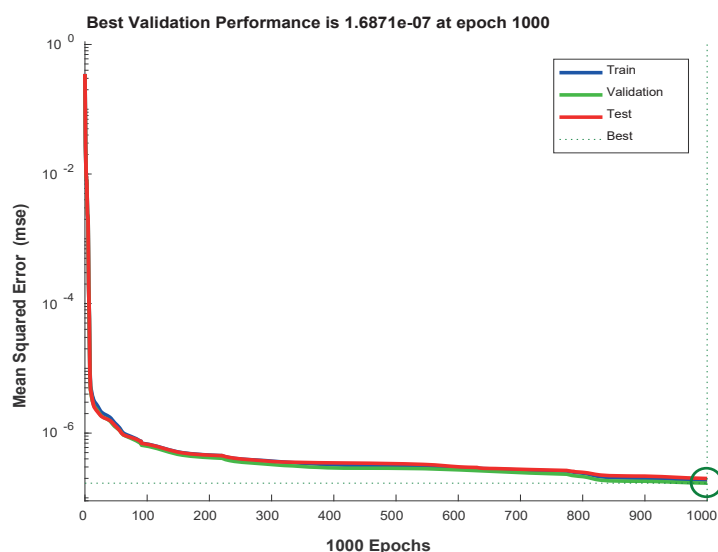
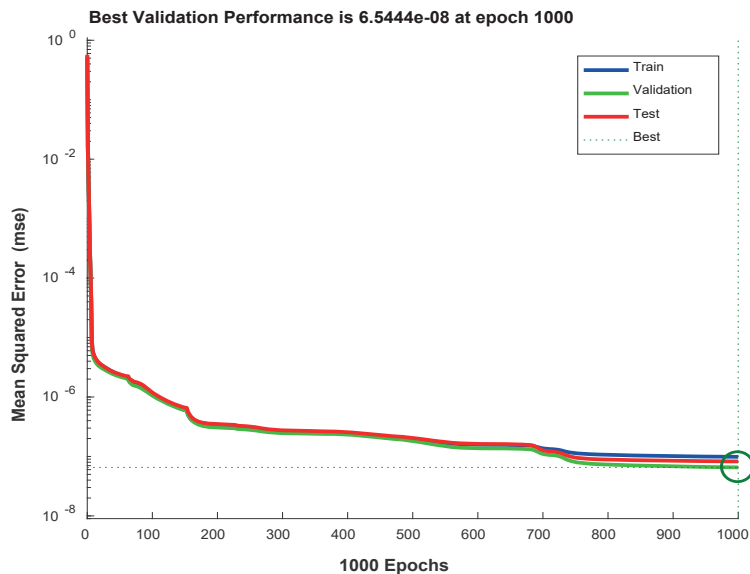
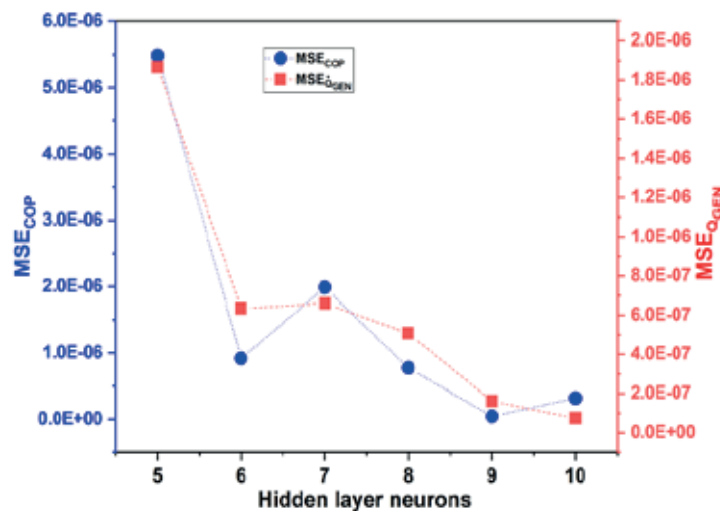


Figure 1: Mean square error of predicting the Coefficient of performance.



**Figure 2: Mean square error of predicting the thermal energy consumption.**

Figure 3 shows the effect of the number of neurons in the neural network's hidden (middle) layer on its prediction accuracy. As can be seen, increasing the number of hidden layer neurons from 5 to 10 generally increases the accuracy of predicting the absorption chiller's performance coefficient and thermal energy consumption and reduces the mean square error.



**Figure 3: Changes in mean square error in predicting performance coefficient and thermal energy consumption of absorption chiller concerning the number of hidden neurons.**

## Conclusions

In this study, a multilayer artificial perceptron neural network with the error backpropagation algorithm and neuron structure 2-10-5 (output-hidden-input) have been used to predict the Coefficient of performance and thermal energy of the single effect steam absorption chiller.



The present study results show that the mean square error of predicting the Coefficient of performance and thermal energy consumption of the absorption chiller using this method are  $3.183 \times 10^{-7}$  and  $7.466 \times 10^{-8}$ , respectively, indicating high accuracy of this method is in predicting the performance of the absorption chiller.

### **Acknowledgment**

The authors express their thanks to the department of research and innovation of the M.P.C. for their technical support.

### **References**

1. Panahizadeh, F., Hamzehei, M., Farzaneh-Gord, M., Ochoa, A. A. V., (2020), Energy, Exergy, Economic Analysis and Optimization of Single-Effect Absorption Chiller Network, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, pp 1-31
2. Panahizadeh, F., Hamzehei, M., Farzaneh-Gord, M., Ochoa, A. A. V., (2021), Numerical Study on Heat and Mass Transfer Behavior of Pool Boiling in LiBr/H<sub>2</sub>O Absorption Chiller Generator Considering Different Tube Surfaces, Thermal Science 25(2B), pp 1599-1611
3. Panahizadeh, F., Hamzehei, M., Farzaneh-Gord, M., Ochoa, A. A. V., (2021), Thermo-Economic Analysis and Optimization of the Steam Absorption Chiller Network Plant, Thermal Science, pp 1-12



## پیش‌بینی عملکرد چیلر جذبی تک‌اثره بخار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

فرشاد پناهی زاده<sup>۱</sup>، مهدی حمزه‌ای<sup>۱\*</sup>، محمود فرزانه گردآباد<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران.  
۲. گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

نویسنده مسئول: mahdi\_hamzei@iauhvaz.ac.ir

### چکیده

چیلرهای جذبی تک‌اثره با توجه به دما و فشار منبع حرارتی مورد استفاده به دو نوع تک‌اثره آب گرم و بخار تقسیم می‌شوند. که نوع تک‌اثره بخار آن به دلیل توانایی استفاده از بخار دور ریز در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی جهت تولید سرمایه‌های فرآیندی و تهویه مطبوعی دارای کاربرد بیشتری است. در تحقیق حاضر در خصوص پیش‌بینی عملکرد چیلر جذبی تک‌اثره بخار از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده که نسبت به روش‌های مدلسازی ترمودینامیکی دارای سرعت بالاتر و هزینه محاسباتی کمتری است. شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا، تابع محرک تانژانت هیپربولیک و روش آموزش لونیبرگ-مارکواریت با تعداد ۱۵۲۸۵ داده و شاخص ارزیابی میانگین مربع خطا بکار برده شده است. ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب دمای آب برج خنک‌کننده ورودی، دمای آب سرمایشی ورودی، دمای بخار ورودی، دمای آب سرمایشی خروجی و راندمان مبدل حرارتی محلول هستند و خروجی‌های شبکه عصبی نیز ضریب عملکرد و انرژی حرارتی مصرفی چیلر می‌باشند. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهند که روش شبکه عصبی مصنوعی توانایی پیش‌بینی ضریب عملکرد و انرژی حرارتی مصرفی چیلر جذبی تک‌اثره را با میانگین مربع خطا به ترتیب  $3/183 \times 10^{-7}$  و  $7/466 \times 10^{-8}$  دارا می‌باشد که حاکی از دقت بالای این روش در پیش‌بینی عملکرد چیلر جذبی است.

کلمات کلیدی: چیلر جذبی تک‌اثره، شبکه عصبی مصنوعی، ضریب عملکرد، میانگین مربع خطا

### مقدمه

چیلرهای جذبی یکی از پرکاربردترین تجهیزات جهت تولید سرما در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی می‌باشند [۱]. مصرف برق کمتر، دوستانه محیط زیست بودن و توانایی آنها در استفاده از حرارت دور ریز جهت تولید سرما سبب مورد توجه بیشتر قرار گرفتن اینگونه چیلرها نسبت به انواع دیگر شده است [۲ و ۳]. امروزه با امکان دسترسی سریع به اینترنت و کاهش قیمت تجهیزات رایانه‌ای و مراکز داده، استفاده از هوش مصنوعی در صنایع و علوم متفاوت از جمله مهندسی، پزشکی و غیره توسعه یافته است. بطور مثال در علم میکروبی شناسی، کاراسویاما و همکاران [۴] نشان می‌دهند که یک روش بر پایه داده مبتنی بر یادگیری ماشین که زیر



مجموعه هوش مصنوعی می‌باشد به درک و پیش‌بینی خصوصیات جذب نور پروتئین‌های میکروبی می‌تواند کمک کند. در همین زمینه اما برای بخش شیمیایی، فرزانه گرد و همکاران [۵] برای پیش‌بینی دقیق خصوصیات ترمودینامیکی بیوگاز، از یک مدل چند لایه پرسپترون (MLP) شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد که می‌توان از این روش با دقت بالایی برای این منظور استفاده کرد. کیان و همکاران [۶] در پژوهش خود در ابتدا با استفاده از ده سال داده تجربی عملکردی چیلر تراکمی سیستم تهویه یک ساختمان در ژاپن از روش شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی بار سرمایشی و گرمایشی استفاده کردند. سپس با مقایسه، تجزیه و تحلیل تأثیر داده‌های آموزش بر نتایج پیش‌بینی، یک روش پیش‌بینی جدید مبتنی بر شبیه‌سازی بار حرارتی ساختمان برای بهبود دقت پیش‌بینی بار حرارتی با مقدار کمی از داده‌ها ارائه دادند. ارائه یک واحد تولید کننده سرمایش چیلر با تعداد زیادی از تجهیزات که دارای راندمان بالا و مصرف انرژی کمتر باشند، چالش اصلی برای بهینه‌سازی انرژی ورودی ساختمان بوده است. مو و همکاران [۷] بهینه‌سازی مدلسازی مبتنی بر کنترل چند متغیره برای جستجوی اکستریم‌های با محدودیت خطا برای به حداکثر رساندن راندمان انرژی یک واحد تولید کننده سرمایش با دو چیلر موازی را با استفاده از شبیه‌سازی دینامیکی مبتنی بر نرم افزار مودلیکا پیشنهاد دادند. این استراتژی پیشنهادی توانایی دستیابی به بهترین عملکرد سیستم در شرایط مختلف محیط و بار سرمایشی مورد نیاز را ارائه می‌دهد. پارک و همکاران [۸] در تحقیق خود دو روش متداول مدل‌سازی یادگیری ماشین که عبارتند از شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی مصنوعی ترکیبی را برای بهینه‌سازی چیلر تراکمی مورد استفاده برای تهویه مطبوع با هم مقایسه کردند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهند که تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی ترکیبی قادر به پیش‌بینی مصرف برق چیلر ذکر شده با دقت قابل قبولی هستند. نصرالدین و همکاران [۹] تجزیه و تحلیل سه نوع شبکه عصبی مصنوعی با توجه به انتشار معکوس به جلو، انتشار معکوس آبخاری و انتشار معکوس برای پیش‌بینی مشخصات دمای آب گرم تولید کننده چیلر جذبی در دماهای مختلف حباب خشک و تابش افقی را به کار بردند. آنها همچنین اثر تعداد سلول عصبی‌های مختلف و اثرات تاخیر زمانی را در نظر گرفتند. نتایج تحقیق آنها به خوبی نشان می‌دهند که توافق خوبی بین مقادیر پیش‌بینی شده و تجربی با خطا در حدود ۰/۴٪ وجود دارد. همچنین نصرالدین و همکاران [۱۰] [شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی رفتار سیستم چیلر جذبی خورشیدی در دانشگاه اندونزی توسعه دادند. برای عملکرد دقیق شبکه عصبی مصنوعی، دمای ورودی و خروجی آب سرمایشی، دمای ورودی و خروجی آب برج خنک کننده، دمای ورودی و خروجی آب گرم خروجی کلکتور خورشیدی، دمای محیط و میزان مصرف سوخت به عنوان متغیرهای ورودی انتخاب شدند. مدل شبکه عصبی مصنوعی توسعه یافته در تحقیق آنها همراه با تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی عملکرد خوبی را نشان داده و میانگین مربع خطا برای پیش‌بینی ضریب عملکرد برابر ۰/۱۴۵ شد.

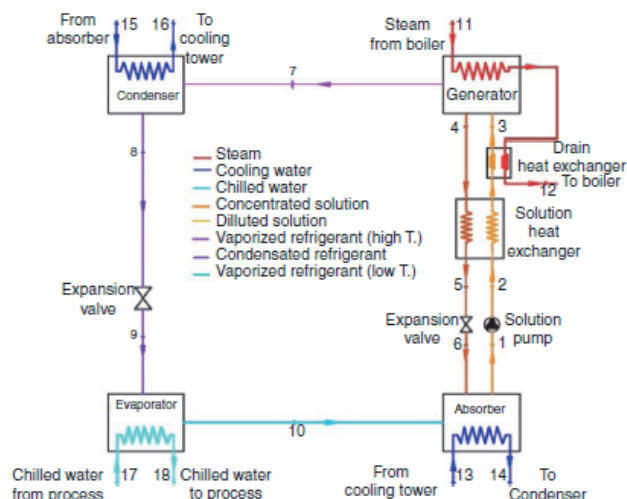
هدف از تحقیق حاضر ارزیابی کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی عملکرد چیلر جذبی تک اثره می‌باشد. مطالعه موردی بر روی چیلر جذبی تک اثره بخار مجتمع پتروشیمی مارون واقع در جنوب ایران انجام شده است. نوع شبکه استفاده شده پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا است. در همین راستا نتایج شبکه عصبی مصنوعی با نتایج حاصل از اندازه‌گیریهای تجربی مقایسه خواهند شد.

## توصیف مساله

در شکل ۱ شماتیک چیلر جذبی تک اثره نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد این دستگاه از اجزای اصلی همچون تولید کننده، تقطیر کننده، جذب کننده، تبخیر کننده، مبدل اولیه محلول، شیر انبساطی



و پمپ محلول تشکیل شده است. در روش‌های یادگیری ماشین نیاز به داده می‌باشد اغلب این داده‌ها بصورت تجربی، تئوری یا هر دو جمع‌آوری می‌شوند. در تحقیق حاضر جهت چیلر جذبی پتروشیمی مارون در ابتدا یک کد با دقت بالا در نرم‌افزار حلگر معادلات مهندسی (EES) نوشته شده است.



شکل ۱: شماتیک چیلر جذبی تک اثره بخار

این کد کامپیوتری به گونه‌ای نوشته شده است که موازنه جرم و انرژی برای هر جزء چیلر جذبی اهم از تولید کننده، تقطیر کننده، جذب کننده، تبخیر کننده، مبدل اولیه محلول، شیر انبساطی و پمپ محلول برقرار باشد. جهت محلول لیتیوم بروماید/آب در مبدل‌های جذب کننده و تولید کننده موازنه جرم با در نظر گرفتن اینکه این محلول تشکیل شده از لیتیوم بروماید و آب برای هر عنصر با در نظر گرفتن کسر جرمی آن در محلول انجام شده است. همچنین برای موازنه انرژی برای هر مبدل چیلر جذبی نیز میزان انتقال حرارت از حاصلضرب ضریب انتقال حرارت کلی در سطح انتقال حرارت در اختلاف دمای لگاریتمی آن محاسبه شده است. تعداد معادلات و تعداد مجهولات در کد کامپیوتری نوشته شده برابر بوده و از نوشتن معادلات اضافه به دلیل ایجاد خطا پرهیز گردیده و برقراری قوانین بقاء جرم و انرژی نیز در پایان هر تکرار جهت هر جزء چک شده است. حداکثر خطای کد کامپیوتری نوشته شده نسبت به داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی به عمل آمده ۵/۱۹٪ است. سپس از کد کامپیوتری در شرایط عملیاتی متفاوت که محدودده آنها در جدول ۱ آورده شده است، داده استخراج گردیده است.

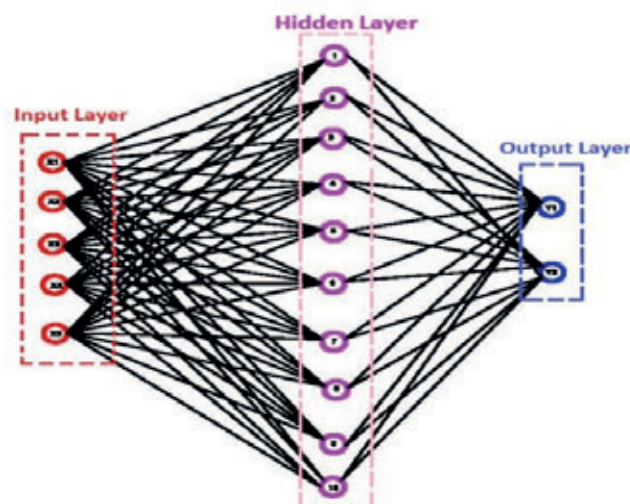
جدول ۱: محدوده پارامترهای عملیاتی

| نماد  | پارامتر                     | حداقل | حداکثر | واحد |
|-------|-----------------------------|-------|--------|------|
| $X_1$ | دمای آب برج خنک کننده ورودی | ۲۵    | ۳۸     | (C°) |
| $X_2$ | دمای آب سرمایشی ورودی       | ۱۳/۸  | ۱۹     | (C°) |
| $X_3$ | دمای بخار ورودی             | ۱۲۰   | ۱۵۰    | (C°) |
| $X_4$ | دمای آب سرمایشی خروجی       | ۸     | ۱۲     | (C°) |
| $X_5$ | راندمان مبدل حرارتی محلول   | ۰/۵   | ۰/۸    | (-)  |



### روش شبکه عصبی مصنوعی

یادگیری ماشین زیر مجموعه هوش مصنوعی بوده و یکی از روش های پرکاربرد آن روش شبکه عصبی مصنوعی می باشد که مورد استفاده محققان فراوانی در علوم مختلف خصوصا علوم مهندسی قرار گرفته است. این روش الهام گرفته از عملکرد مغز انسان در تحلیل و پردازش داده ها است. روش پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا میان مدل های بکار برده شده در شبکه عصبی مصنوعی مورد استقبال بیشتر محققان قرار گرفته است. همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده این مدل شامل لایه ورودی، لایه پنهان (یک یا چند) و لایه خروجی است. هر لایه دارای یک یا چند سلول عصبی بوده که وظیفه پردازش یک یا چند ورودی را دارا می باشند. سلول های عصبی لایه های مختلف بوسیله لینک های به هم متصل می شوند. این لینک ها دارای وزن و بایاس های هستند که خروجی شبکه را تنظیم می کنند و این تنظیمات در پروسه آموزش شبکه به گونه ای صورت می گیرند که میانگین مربع خطا بین خروجی های شبکه عصبی مصنوعی و داده های هدف کمینه شوند. در تحقیق حاضر سلول های عصبی لایه ورودی عبارتند از دمای آب برج خنک کننده ورودی، دمای آب سرمایشی ورودی، دمای بخار ورودی، دمای آب سرمایشی خروجی و راندمان مبدل حرارتی محلول و سلول های عصبی لایه خروجی نیز ضریب عملکرد و انرژی حرارتی مورد نیاز چیلر جذبی می باشند. جهت انجام مدلسازی در روش های یادگیری ماشین ضروری است که در ابتدا چیدمان داده ها بصورت تصادفی شده و سپس داده ها نرمالیزه شوند. این کار کمک می کند که اهمیت متغیرها به واحد اندازه گیری آنها بستگی نداشته باشد و خطای پیش بینی تا حد قابل ملاحظه ای کاهش یابد. برای اینکار نیاز است که مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از متغیرها را بطور جداگانه با توجه به جدول ۱ بدست آورده، سپس با استفاده از فرمول ذیل می توان مقدار نرمالیزه شده خطی هر متغیر را بین بازه صفر تا یک محاسبه نمود.



شکل ۲: شماتیک شبکه عصبی مصنوعی

$$X^* = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (1)$$

با استفاده از رابطه ذیل مقدار میانگین مربع خطا محاسبه می گردد.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{i,target} - Y_{i,output})^2 \quad (2)$$

جزئیات روش شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر در جدول ۲ آورده شده است.





### جدول ۲: متغیرهای روش شبکه عصبی مصنوعی

|                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| ۱۵۲۸۵               | تعداد نمونه‌ها                 |
| ۳                   | تعداد لایه‌ها                  |
| ۵                   | تعداد متغیرهای ورودی           |
| ۱۰                  | تعداد سلول‌های عصبی لایه پنهان |
| ۲                   | تعداد متغیرهای خروجی           |
| ۷۰٪                 | نسبت داده‌های آموزش            |
| ۱۵٪                 | نسبت داده‌های اعتبار سنجی      |
| ۱۵٪                 | نسبت داده‌های آزمون            |
| Levenberg-Marquardt | تابع آموزش                     |
| Tanh                | تابع فعال‌سازی لایه پنهان      |
| Purelin             | تابع فعال‌سازی لایه خروجی      |

### مطالعه موردی

جهت تحقیق حاضر چیلر جذبی تک اثره بخار با ظرفیت سرمایشی ۴۷۷۵ کیلووات که در مجتمع پتروشیمی مارون در واحد تولید متانول جهت خنک‌کاری آب فرآیندی مورد استفاده قرار می‌گیرد بررسی شده است. مشخصات طراحی چیلر در جدول ۳ آورده شده است.

### جدول ۳: مقادیر طراحی چیلر مطالعه موردی

| واحد   | مقدار | پارامتر                          |
|--------|-------|----------------------------------|
| (C°)   | ۱۶/۸  | دمای آب سرمایشی ورودی چیلر       |
| (C°)   | ۱۰    | دمای آب سرمایشی خروجی چیلر       |
| (kg/s) | ۱۶۷/۲ | دبی آب سرمایشی چیلر              |
| (C°)   | ۳۵    | دمای آب برج خنک‌کننده ورودی چیلر |
| (C°)   | ۴۳    | دمای آب برج خنک‌کننده خروجی چیلر |
| (kg/s) | ۳۴۶   | دبی آب برج خنک‌کننده             |
| (C°)   | ۱۴۵   | دمای بخار ورودی چیلر             |
| (C°)   | ۹۵    | دمای کندانس خروجی چیلر           |
| (kg/s) | ۳/۰۱  | دبی بخار                         |

ضریب عملکرد و انرژی حرارتی مورد نیاز چیلر جذبی با استفاده از روابط ذیل محاسبه می‌گردند.

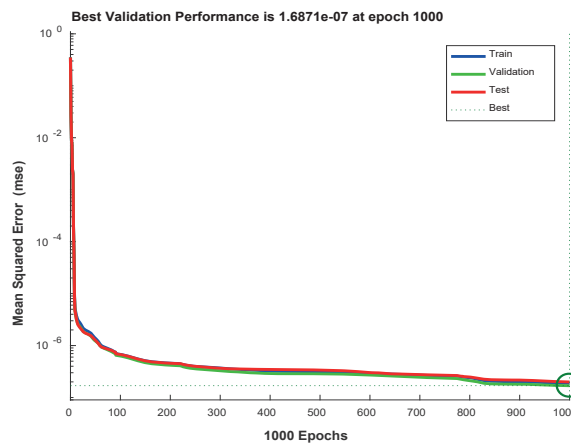
$$COP_{AC} = \frac{\dot{Q}_{EVA}}{\dot{Q}_{GEN} + \dot{W}_P} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{GEN} = \dot{m}_{st} \times (h_{st,i} - h_{st,o}) \quad (4)$$

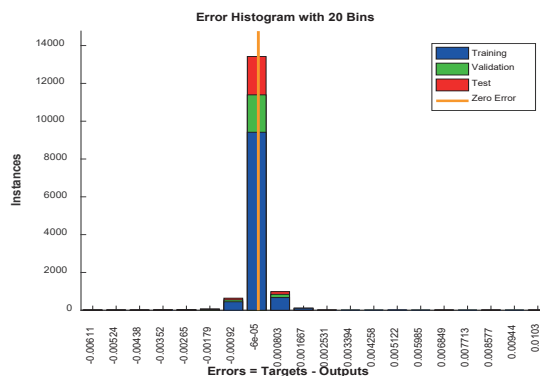


## نتایج و بحث

با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با مشخصات ذکر شده در جدول ۲ و کد نویسی کامپیوتری در محیط نرم افزار متلب پیش بینی ضریب عملکرد چیلر جذبی و انرژی حرارتی مورد نیاز آن بدست آورده شده است. در شکل ۳ میانگین مربع خطا پیش بینی انجام شده جهت ضریب عملکرد چیلر جذبی نشان داده شده و همانگونه که مشاهده می گردد خطا داده های آموزش (آبی رنگ)، اعتبارسنجی (سبز رنگ) و آزمایش (قرمز رنگ) با تکرارها در حال کاهش بوده و کمترین مقدار خطا برابر  $3/183 \times 10^{-7}$  می باشد. در شکل ۴ نیز نمودار هیستوگرام خطا به ازاء داده های مختلف ترسیم شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می گردد تمرکز خطا نزدیک صفر می باشد و حاکی از تغییرات خطا کم و قابل اعتماد بودن جواب های بدست آمده از روش شبکه عصبی مصنوعی می باشد.



شکل ۳: میانگین مربع خطا پیش بینی ضریب عملکرد چیلر جذبی

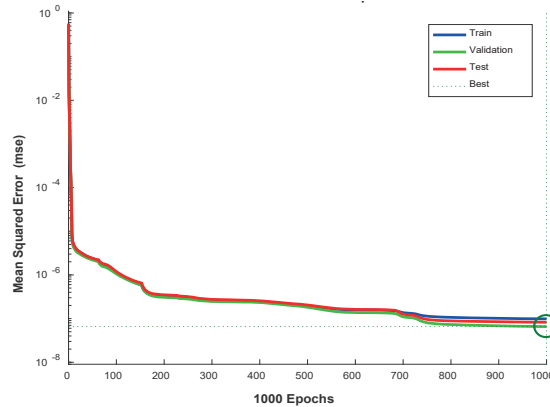


شکل ۴: هیستوگرام خطا پیش بینی ضریب عملکرد چیلر جذبی

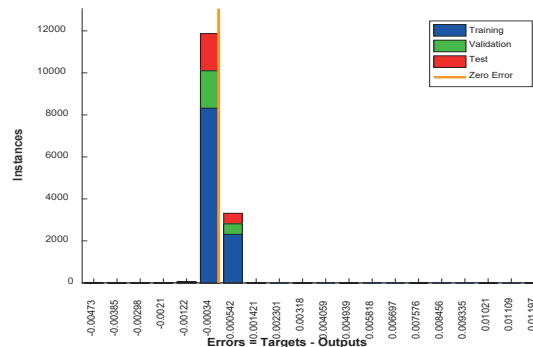
در شکل ۵ میانگین مربع خطا پیش بینی انجام شده جهت انرژی حرارتی مصرفی چیلر نشان داده شده و همانگونه که مشاهده می گردد کمترین مقدار خطا برابر  $7/466 \times 10^{-8}$  می باشد. در شکل ۶ نیز نمودار هیستوگرام خطا پیش بینی انرژی حرارتی مصرفی چیلر به ازاء داده های مختلف نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می گردد تمرکز خطا همانند پیش بینی ضریب عملکرد نزدیک به صفر می باشد. با توجه به نتایج بدست آمده می توان نتیجه گرفت که شبکه عصبی مصنوعی بخوبی توانسته پیش بینی دقیق از دو تابع



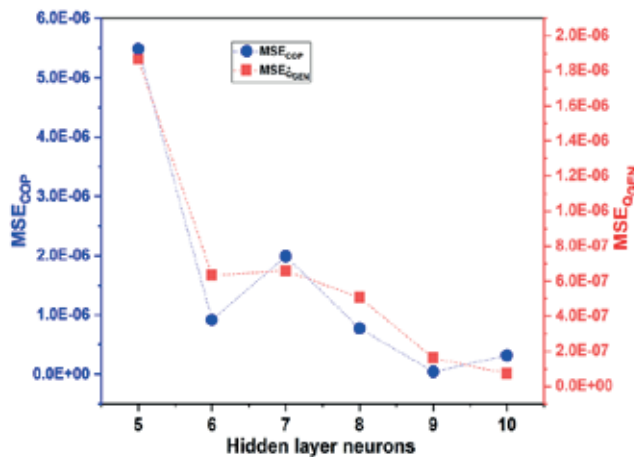
خروجی چیلر جذبی تک اثره داشته باشد. در شکل ۷ اثر تعداد سلول‌های عصبی لایه پنهان (میانی) شبکه عصبی بر دقت پیش‌بینی آن نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد افزایش تعداد سلول‌های عصبی لایه پنهان از ۵ به ۱۰ بطور کلی سبب افزایش دقت پیش‌بینی ضریب عملکرد و انرژی حرارتی مصرفی چیلر جذبی و کاهش میانگین مربع خطا می‌گردد.



شکل ۵: میانگین مربع خطا پیش‌بینی انرژی حرارتی مصرفی چیلر جذبی



شکل ۶: هیستوگرام خطا پیش‌بینی انرژی حرارتی مصرفی چیلر جذبی



شکل ۷- تغییرات میانگین مربع خطا پیش‌بینی ضریب عملکرد و انرژی حرارتی مصرفی چیلر جذبی بر حسب تعداد سلول‌های عصبی لایه پنهان



## نتیجه گیری

پیش بینی عملکرد چیلر جذبی به دلیل نیاز به حل نمودن همزمان معادلات موازنه جرم و انرژی برای اجزاء مختلف چیلر کاری پیچیده و زمانبر است. با توجه به پیشرفت شگرف هوش مصنوعی و کاربردهای وسیع آن در علوم مختلف در پژوهش حاضر از یکی از روش های هوش مصنوعی به نام شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا و ساختار سلول عصبی ۲-۱۰-۵ (خروجی-پنهان-ورودی) جهت پیش بینی ضریب عملکرد و انرژی حرارتی چیلر جذبی تک اثره بخار استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهند که میانگین مربع خطا پیش بینی ضریب عملکرد و انرژی حرارتی مصرفی چیلر جذبی با استفاده از این روش به ترتیب برابر  $3/183 \times 10^{-7}$  و  $7/466 \times 10^{-8}$  می باشند که حاکی از دقت بالای این روش در پیش بینی عملکرد چیلر جذبی است. همچنین نتایج حاکی از این هستند که استفاده از تعداد سلول های عصبی بیشتر در لایه میانی سبب افزایش دقت پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی می گردد.

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مرکز تحقیق و توسعه پتروشیمی مارون که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند صمیمانه تشکر می گردد.

## فهرست علائم

|     |                   |
|-----|-------------------|
| MSE | میانگین مربع خطا  |
| n   | داده              |
| COP | ضریب عملکرد       |
| X   | متغیر مستقل ورودی |
| Y   | متغیر مستقل خروجی |
| Q   | حرارت (kW)        |
| W   | کار (kW)          |
| m   | دبی (kg/s)        |
| h   | آنتالپی (kJ/kg)   |

## مراجع

1. Panahizadeh, F., Hamzehei, M., Farzaneh-Gord, M., Ochoa, A. A. V., (2020), Energy, Exergy, Economic Analysis and Optimization of Single-Effect Absorption Chiller Network, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, pp 1-31.
2. Panahizadeh, F., Hamzehei, M., Farzaneh-Gord, M., Ochoa, A. A. V., (2021), Numerical Study on Heat and Mass Transfer Behavior of Pool Boiling in LiBr/H<sub>2</sub>O Absorption Chiller Generator Considering Different Tube Surfaces, Thermal Science, 25(2B), pp 1599-1611.
3. Panahizadeh, F., Hamzehei, M., Farzaneh-Gord, M., Ochoa, A. A. V., (2021), Thermo-Economic Analysis and Optimization of the Steam Absorption Chiller Network Plant,



- Thermal Science, pp 1-12.
4. Karasuyama, M., Inoue, K., Nakamura, R., Kandori, H., Takeuchi, I., (2018), Understanding Color Tuning Rules and Predicting Absorption Wavelengths of Microbial Rhodopsins by Data-Driven Machine-Learning Approach, Scientific Reports 8.
  5. Farzaneh-Gord, M., Mohseni-Gharyehsafa, B., Arabkoohsar, A., Ahmadi, M. H., Sheremet, M. A., (2020), Precise Prediction of Biogas Thermodynamic Properties by Using ANN Algorithm, Renewable Energy 147, pp 1-13.
  6. Qian, F., Gao, W., Yang, Y., Yu, D. (2020), Potential Analysis of the Transfer Learning Model in Short and Medium-Term Forecasting of Building H.V.A.C. Energy Consumption, Energy 193, pp 116724.
  7. Mu, B., Li, Y., House, J.M., Salsbury, T.I., (2017), Real-Time Optimization of a Chilled Water Plant with Parallel Chillers Based on Extremum Seeking Control, Applied Energy 208, pp 1-16.
  8. Park, S., Ahn, K. U., Hwang, S., Choi, S., Park, Ch. S., (2019), Machine Learning Vs. Hybrid Machine Learning Model for Optimal Operation of a Chiller, Science and Technology for the Built Environment 205, pp 1-12.
  9. Nasruddin., S., Alhamid., M. I., Saito., K., (2018), Hot Water Temperature Prediction Using a Dynamic Neural Network for Absorption Chiller Application in Indonesia, Sustainable Energy Technologies and Assessments 30, pp 1-7.
  10. Nasruddin., A. N., Alhamid. M.I., Saha. B. B., Sholahudin. S., Lubis. A., (2019), Solar Absorption Chiller Performance Prediction Based on the Selection of Principal Component Analysis, Case Studies in Thermal Engineering 13.