

A NEW MODEL FOR DETERMINING THE THERMODYNAMIC PROPERTIES OF LiBr-H₂O SOLUTION

Arzu ŞENCAN*, Ali Kemal YAKUT, Erkan DİKMEN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 32260, Isparta, TÜRKİYE, e-mail: sencan@tef.sdu.edu.tr,

ABSTRACT

In this study, thermodynamic properties as enthalpy and entropy of LiBr-H₂O solution were determined with The Artificial Neural Network (ANN) model for the absorption heat pump and cooling systems. Data used in the model are based on empirical and experimental data available in the literature. It is not possible to determine the thermodynamic properties at each point with the experiments conducted in the limited working span. In the study; in order to determine the thermodynamic properties of solution in all spans, a formulation was derived by a very well trained ANN model ($R^2=1$).

Key Words: Artificial Neural Network, Absorption heat pump, Lithium bromide-water, thermodynamic properties.

LiBr-H₂O ERİYİĞİNİN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİNDE YENİ BİR MODEL

ÖZET

Bu çalışmada, absorpsiyonlu ısı pompası ve soğutma sistemlerinde kullanılan LiBr-H₂O eriyiğinin entalpi ve entropi gibi termodinamik özellikleri Yapay Sinir Ağları (YSA) modeliyle belirlenmiştir. Bu modelde kullanılan veriler, literatürde mevcut olan ampirik ve deneysel veriler yardımıyla elde edilmiştir. Sınırlı çalışma aralıklarında yapılan deneylerle her noktadaki termodinamik özellikleri saptamak mümkün değildir. Çalışmada; çok iyi eğitilmiş bir YSA modeliyle ($R^2=1$), istenilen her aralıkta eriyiğin termodinamik özelliklerinin tespiti için bir formülasyon türetilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Absorpsiyonlu ısı pompası, Lityum bromid-su, termodinamik özellikler.

1. GİRİŞ

Mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılan çalışma akışkanlarının ozon tabakasına zararlı etkileri ve günümüzde yaşanan enerji darboğazı nedeniyle alternatif sistemler ve özellikle de absorpsiyonlu sistemler büyük bir önem kazanmıştır. Absorpsiyonlu sistemlerde kullanılan akışkan çiftlerinin ozon tabakasını tahrip etmemesi, enerji girdisi olarak güneş enerjisi, atık ısı, jeotermal enerji gibi kaynakların kullanılabilmesi bu sistemi daha avantajlı bir konuma getirmiştir (1,2,3). Bu yüzden, absorpsiyonlu sistemlerde kullanılacak akışkan çiftlerinin termodinamik özelliklerinin tespiti önem kazanmaktadır. Absorpsiyonlu sistemlerde hali hazırda en fazla LiBr-su eriyiği kullanılmaktadır. Bu eriyiğin istenilen her aralıkta özelliklerinin bilinmesi, absorpsiyonlu sistem analiz ve dizaynıyla uğraşanlara büyük kolaylık sağlayacaktır. Literatürde Sun tarafından LiBr-H₂O eriyiğinin entropisi dışında; entalpi, yoğunluk, doyma sıcaklığı ve basıncını

1. INTRODUCTION

Importance because working fluids used in the vapor compression cooling and air conditioning systems damage the ozone layer and due to the energy gap of these days, the importance of absorption systems has increased. Fluid pairs used in the absorption systems do not deplete the ozone. Absorption systems can be driven with energy sources such as solar energy, waste energy, geothermal energy. For these reasons, absorption systems become quite attractive (1,2,3). Therefore, determination of the thermodynamic properties of fluid pairs used in the absorption systems is very important. LiBr-water solution is the most widely used in the absorption systems. Detailed thermodynamic properties of this solution can be useful for system analysis and designers. Equations which give enthalpy, density, saturation pressure, saturation temperature of the LiBr-H₂O solution is presented in the literature by Sun (4). Furthermore, Chua presented empirical expressions for thermodynamic properties such

veren bağıntılar verilmiştir (4). Ayrıca Chua tarafından LiBr-H₂O eriyiğinin entalpi, entropi ve özgül ısı gibi termodinamik özelliklerini veren ampirik ifadeler verilmiştir (5). Fakat bu ifadeler oldukça kompleks olup çözümü uzun zaman almaktadır. Bu amaçla bu çalışmada, literatürde belli çalışma aralıklarında bulunan veriler kullanılarak LiBr-H₂O eriyiğinin termodinamik özellikleri YSA modeliyle belirlenmiş ve formülize edilmiştir. Sonuç olarak, YSA modeliyle türetilen denklemler yardımıyla daha hızlı ve basit çözümlere ulaşılmıştır.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağları, insan beyni esas alınarak modellenmiş bir sistemdir. Klasik yöntemlerle çözülemeyen problemleri insan beyninin çalışma sistemine benzer yöntemlerle çözmeye çalışır. Yapay sinir ağlarının iki türlü çalışma şekli vardır. Biri eğitime (öğrenme) diğeri test (kullanma) aşamasıdır. Bir yapay sinir ağının kullanılabilmesi için önce eğitilmesi gerekir. Bir YSA'nın birim elemanı nörondur (düğüm). Yapay sinir ağları Şekil 1'den görüldüğü üzere temel olarak girdi, gizli ve çıktı katman olmak üzere üç katmandan oluşmakta ve her katmanda bir çok nöron (düğüm) bulunmaktadır.

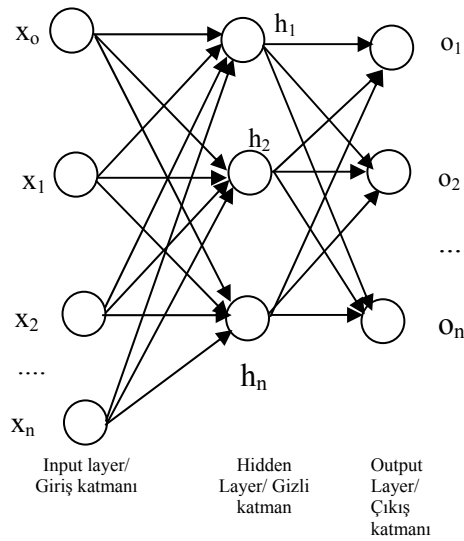


Figure 1. Artificial neural network architecture
Şekil 1. Üç katmanlı bir yapay sinir ağı

Yapay bir sinir hücresi Şekil 2'de görülmektedir. Her yapay sinir hücresi Şekil 2'den görüldüğü gibi girdiler (X_n), ağırlıklar (W_n), toplam fonksiyonu (Σ), aktivasyon fonksiyonu $F(\Sigma)$ ve çıktı (y) olmak üzere beş ana kısımdan oluşur (6,7).

as enthalpy, entropy and specific heat capacity (5). But, these expressions are too complex and their solutions require a considerable amount of time. With this aim, in this study, ANN model was used for formulation and determination of the thermodynamic properties of the LiBr-H₂O solution by using data in the literature. As a result, the faster and simpler solutions were obtained by helping equations derived with the ANN model.

2. ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

ANN is a system that is modeled according to the human brain. It tries to solve the problems which can't be solved with the classical methods, like the operating system of the human brain. The ANN modeling consists of two steps: The first step is to train the network; The second step is to test the network with data, which were not used for training. The unit element of ANN is neuron (node). As seen in Figure 1, the artificial neural network consists of three layers: input layer, hidden layer and output layer. The ANN elements are connected to each other with a sequence of layers.

Figure 2 illustrates the artificial neural network unit. As seen in Figure 2, the artificial neural network unit consists of five parts: input (X_n), weights (W_n), summation function (Σ), activation function $F(\Sigma)$ and output (y) (6,7).

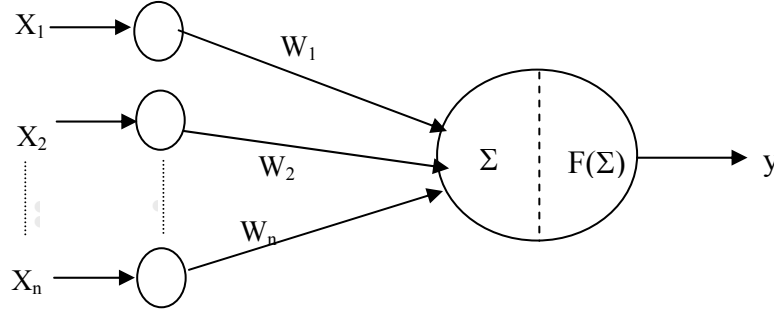


Figure 2. Artificial neural network unit
Şekil 2. Yapay sinir hücresi

Girdiler, girdi seti veya kendinden önceki bir katmandaki başka bir işlem elemanının çıktısıdır. Burada X girdi bilgilerini içeren vektör olmak üzere $X^T=[X_1, X_2, \dots, X_n]$ şeklinde ifade edilebilir. Ağırlıklar, girdi seti veya kendinden önceki bir katmandaki başka bir işlem elemanının, bu işlem elemanı üzerindeki etkisini ifade eden değerlerdir. Ağırlık katsayı değerlerini içeren vektör ise $W^T=[W_1, W_2, \dots, W_n]$ ile gösterilebilir. Toplam fonksiyonu, girdiler ve ağırlıkların tamamının bu işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonu, toplam fonksiyonun çıktısında hesaplanan değer 0 ile 1 veya -1 ile 1 arasında işlem elemanı çıktı değerine dönüştürüldüğü fonksiyondur. Çıktı, aktivasyon fonksiyonunun sonucudur (8).

Hücreye taşınan her bil bilgi, girdi değerleri ve bağlantı ağırlık değerlerinin çarpılmasıyla elde edilir. Hücrede toplanan net bilgi:

$$NET = \sum_{i=1}^n X_i W_i = W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_n X_n \quad [1]$$

olarak elde edilir. Hücrede toplanan bilgi bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek hücrenin gerçek çıktı değeri olan y değeri, $y=f(NET)$ ifadesi ile elde edilir. Bu çalışmada sigmoid (eşik) aktivasyon fonksiyonu seçildiği için y çıktı değeri:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad [2]$$

olarak bulunur.

Mühendislikte ve pek çok alanda en çok kullanılan öğrenme algoritması, geriye yayılma algoritmasıdır. Bunun en büyük nedeni, öğrenme kapasitesinin yüksek ve algoritmasının basit olmasıdır. Bu yüzden yapılan çalışmada YSA'yı eğitmek için geriye yayılma algoritması kullanılmıştır.

Geriye yayılmalı ağda, öncelikle ilk katmana bir girdi vektörü uygulanır. Daha sonra girdi ve 1. katman arasındaki ağırlıklar yardımıyla, 1. katmandaki her birimin aldığı toplam girdi belirlenir. Her birim, girdisini lineer olmayan bir fonksiyondan geçirerek bir sonraki katmana göndereceği çıktıyı belirler. Bir katmandaki tüm birimlerin durumları paralel olarak belirlenir. Bu işlem, çıktı katmanındaki birimlerin durumları belirleninceye kadar sırayla tekrar edilir.

Geriye yayılma algoritması, gerçek çıktı y ile istenen

The input layer feeds data to the network, therefore it is not a computing layer since it has no weights and activation functions. Output layer represents the output response to a given input. In here, X is input vector which can be expressed as $X^T=[X_1, X_2, \dots, X_n]$. Vector which includes weights can be showed with $W^T=[W_1, W_2, \dots, W_n]$. The node receives weighted activation of other nodes through its coming connections. First, these are added (summation function). The result is then passed through an activation function, the outcome being the activation of the node. For each of the outgoing connections, this activation value is multiplied with the specific weight and transferred to the next node (8).

Artificial neuron computes a weighted sum of its input to generate an output, which can be expressed:

the $y=f(NET)$ expression obtained by this result is passed through an activation function. In this study, y output value is defined as follows because sigmoid activation function was chosen:

The back-propagation algorithm is the most widely used in engineering. The reason of this is because the back-propagation algorithm has a high learning capacity and a simple algorithm. Therefore, in this study, back-propagation algorithm was used to train ANN.

The training of all patterns of a training data set is called an epoch. The training set has to be a representative collection of input-output examples. The back-propagation training is a gradient descent algorithm. It tries to improve the performance of the neural network by reducing the total error by changing the weights along its gradient. The error is calculated as follows (9):

çıkıtı d arasındaki karesel hatayı minimum yapmak için gradyen azalma algoritmasını (gradyen descent algorithm) kullanır ve hata aşağıdaki gibi hesaplanır (9).

$$E = \frac{1}{2} \left[\sum_p \sum_k |d_{pk} - y_{pk}|^2 \right]^{1/2} \quad [3]$$

Burada; E ortalama karesel hatayı (MSE), d_{pk} istenen çıkıtı vektörünü ve y_{pk} gerçek çıkıtı vektörünü (ağ çıkıtısı) gösterir. Hatanın sıfır veya sıfıra çok yakın olması, ağın çok iyi eğitildiğini gösterir.

where E is the mean square error (MSE), d_{pk} is the desired output vector and y_{pk} is the network output (target). An error of zero would indicate that all the output patterns computed by the ANN perfectly match the expected values, and the network is well trained.

3. YSA MODELİ İLE YAPILAN UYGULAMA

Bu çalışmada, absorpsiyonlu soğutma ve ısı pompası sistemlerinde kullanılan LiBr-su akışkan çiftinin sıcaklık ve konsantrasyon değerlerine bağlı olarak entalpi ve entropi değerleri, ileri beslemeli YSA modeli yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. Modelde; sıcaklık ve konsantrasyon girdi değerlerini, entalpi ve entropi ise tahmin edilmek istenen değeri ifade etmektedir. YSA'yı eğitmek için geriye yayılma algoritması ve eşik aktivasyon fonksiyonu (sigmoid) seçilmiştir. Uygulamada kullanılacak YSA modeli farklı katman ve nöronlar için denenmiştir. Sonuç olarak en iyi tahmini, 1000 iterasyon sonucu Şekil 3. ve Şekil 4 'de görülen tek gizli katman ve sekiz nörona sahip olan ağ mimarisi sağlamıştır.

3. APPLICATION OF ANN MODEL

In this study, enthalpy and entropy of the LiBr-water fluid pair is estimated depending on temperature and concentration with the help of the ANN model. In the model, temperature and concentration were chosen as input. For the output layer, enthalpy and entropy was chosen. In order to train ANN, the back-propagation algorithm and sigmoid activation functions were used. The ANN model was tried for different layer and neurons. As a result, the best prediction was obtained by architecture having one hidden layer with eight neurons after 1000 iteration as shown in Figure 3 and Figure 4.

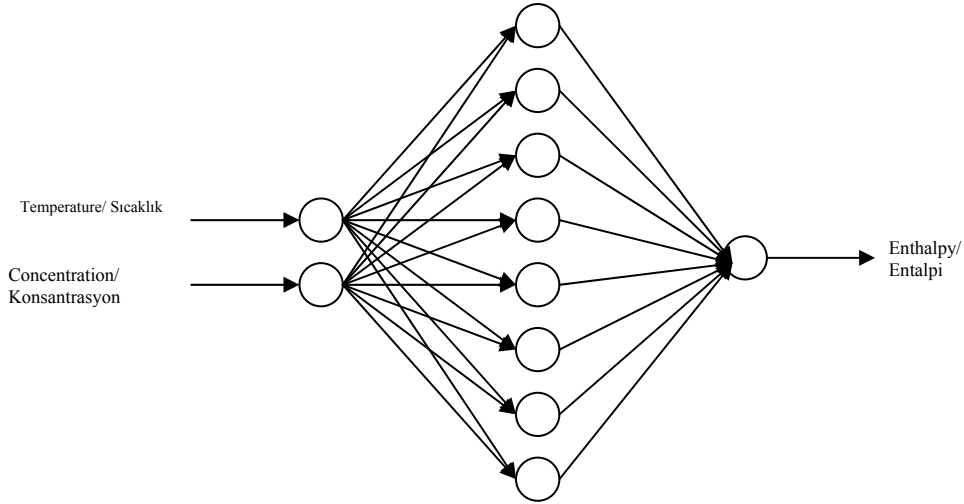


Figure 3. ANN model for enthalpy

Şekil 3. Entalpi değerlerini bulmak için kullanılan YSA modeli

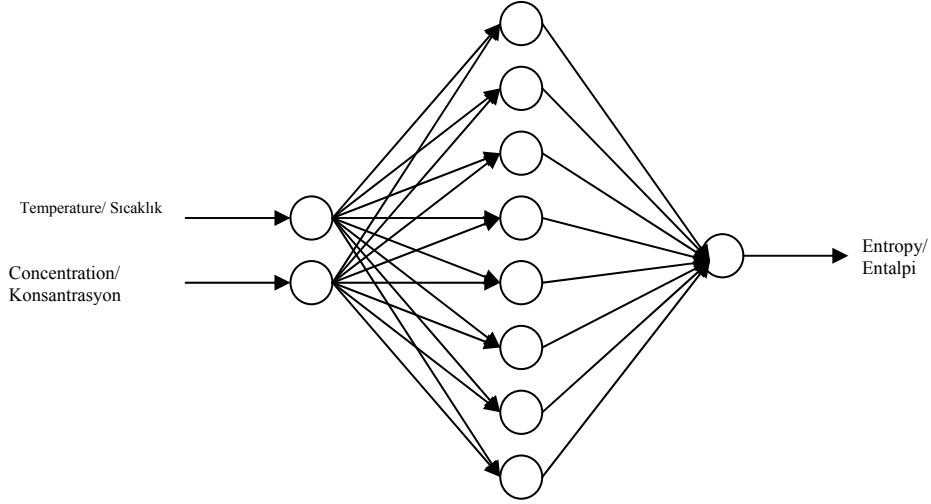


Figure 4. ANN model for entropy

Şekil 4. Entropi değerlerini bulmak için kullanılan YSA modeli

LiBr-su akışkan çiftlerinin entalpi ve entropi değerleri, 0-190 °C sıcaklıkları ve %0-75 konsantrasyon aralıklarında mevcut literatür ve deneysel verilerden elde edilmiştir (4,5). Fakat LiBr-su eriyiğinin her sıcaklık ve konsantrasyondaki entalpi ve entropi değerleri bilinmemektedir. Literatürde mevcut verilerden yararlanarak eksik entalpi ve entropi değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla, YSA modeli kullanılmıştır. Entalpileri tahmin etmek için kullanılan ilk modelde, 288 veri mevcut olup bu verilerden 239'u eğitim, geri kalan 49 veri test amacı ile kullanılmıştır. Eğitim işlemi sürecince iterasyonla MSE'deki (Mean Square Error) azalma Şekil 5'de görülmektedir. Burada ağın ne kadar eğitildiği görülmektedir. Gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler (simulasyon değerleri) arasındaki ilişki ise Şekil 6'da görülmekte olup $R^2=1$ olarak bulunmuştur.

Enthalpy and entropy values of the LiBr-water fluid pair were obtained from experimental data and available literature in the span 0-190 °C temperatures and %0-75 concentration (4,5). But, enthalpy and entropy values in every temperature and concentration of the LiBr-water solution can not be known. In order to determine absent enthalpy and entropy values, ANN model was used. In the first model used to predict enthalpy, 288 data exist. 239 of this data set were used for training and the other 49 data used for testing. The decrease in mean square error (MSE), which wrote as performance with epoch during the training process, is shown in Figure 5. Here, it is shown that the network is well trained. Relation between real values and simulation values obtained with ANN method is shown in Figure 6 and $R^2=1$ is obtained.

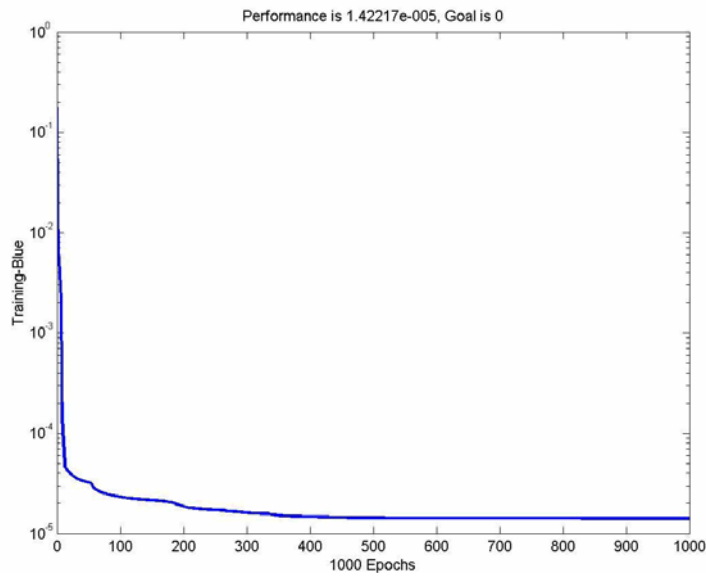


Figure 5. Epoch during the training process of enthalpy values

Şekil 5. Entalpi değerlerinin eğitim sonuçları

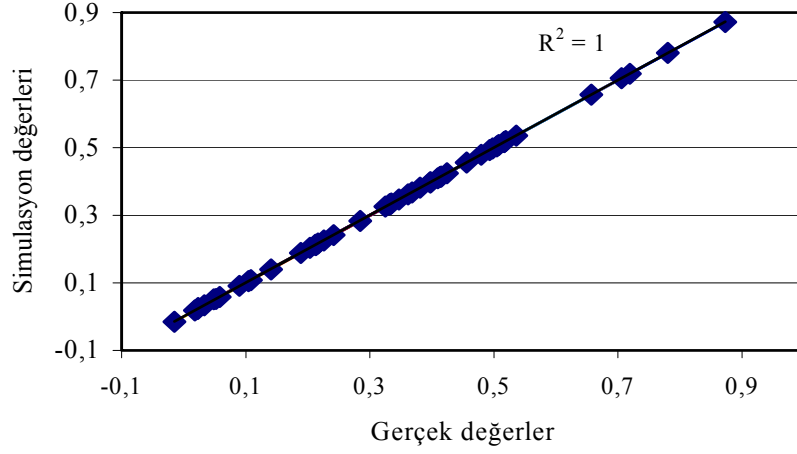


Figure 6. The regression curve R^2 for enthalpy of LiBr-water solution

Şekil 6. LiBr-su eriyiğinin entalpisini için gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler arasındaki ilişki

Entropileri tahmin etmek için kullanılan ikinci modelde, 288 veri mevcut olup bu verilerden 232'si eğitim, geri kalan 56 veri test amacı ile kullanılmıştır. Eğitim işlemi sürecince iterasyonla MSE'deki (Mean Square Error) azalma Şekil 7'de görülmektedir. Gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler (simulasyon değerleri) arasındaki ilişki Şekil 8'de görülmekte olup $R^2=1$ olarak bulunmuştur.

In the second model used to predict entropy, 288 data exist. 232 of this data set were used for training and the other 56 data were used for testing. The decrease in mean square error (MSE), which wrote as performance with epoch during the training process, is shown in Figure 7. Relation between real values and simulation values obtained with ANN method is shown in Figure 8 and $R^2=1$ is obtained.

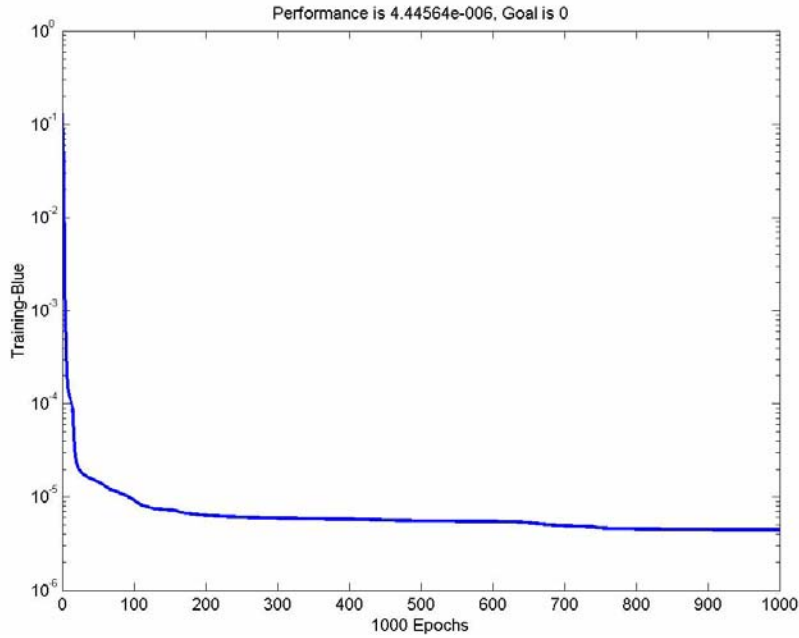


Figure 7. Epoch during the training process of entropy values

Şekil 7. Entropi değerlerinin eğitim sonuçları

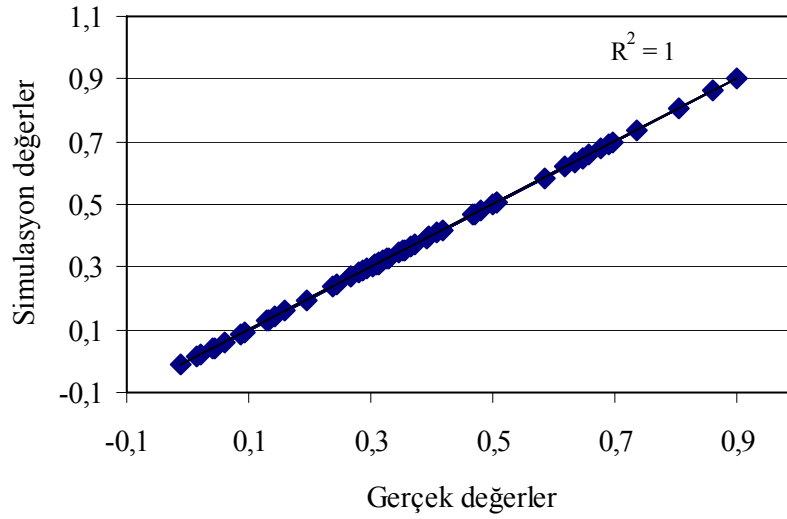


Figure 8. The regression curve R^2 for entropy of LiBr-water solution

Şekil 8. LiBr-su eriyiğinin entropisi için gerçek değerler ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler arasındaki ilişki

4. YSA MODELİ SONUÇLARI

YSA modelinin yukarıda görüldüğü gibi, oldukça iyi eğitim ve test sonuçları vermesi sebebiyle ($R^2=1$) LiBr-su eriyiğinin entalpi ve entropi değerleri, sıcaklık ve konsantrasyona bağlı olarak ağırlıklar ve aktivasyon fonksiyonları yardımıyla formülize edilebilir.

Aşağıda YSA modelinden elde edilen matematiksel formülasyonlar verilmiştir. Bu formüllerde; E_i , ağırlıklar ve girdi değerlerinin toplamını, F_i ise gizli katmanya ait her bir nörondaki aktivasyon fonksiyonunu göstermektedir. Aktivasyon fonksiyonu, F_i fonksiyonundan görüldüğü gibi log-sigmoid olarak seçilmiştir. Şekil 3'de görülen modelde; konsantrasyon (X) ve sıcaklık (T) olmak üzere iki adet girdi, tek gizli katmanda 8 adet nöron ve tek çıktı değeri olarak entalpi değerleri bulunmaktadır. Bu verilere göre entalpi değerlerini hesaplamak için aşağıdaki formüller türetilmiştir:

$$E_1 = 4.2676X - 1.2627T - 1.4966 \quad [4]$$

$$F_1 = \frac{1}{1 + e^{-E_1}} \quad [5]$$

$$E_2 = -3.1227X + 1.0459T - 0.93206 \quad [6]$$

$$F_2 = \frac{1}{1 + e^{-E_2}} \quad [7]$$

$$E_3 = 5.6623X - 3.7293T - 2.6641 \quad [8]$$

$$F_3 = \frac{1}{1 + e^{-E_3}} \quad [9]$$

$$E_4 = 1.7248X - 0.47757T + 0.6311 \quad [10]$$

4. RESULTS OF ANN MODEL

As a result of the relatively good regression values of the training and test results ($R^2=1$) of ANN, as shown above, result weights and activation functions related to temperature and concentration can be used in order to calculate enthalpy and entropy of the LiBr-water solution.

Mathematical formulations obtained from the ANN model were presented. In these formulas; E_i and F_i values were obtained so that weight values are substituted in summations and activation functions in each neuron belong to a hidden layer. The activation function was chosen as log-sigmoid as shown from F_i function. In the model shown in Figure 3, concentration (X) and temperature (T) were chosen as input. For the output layer, enthalpy was chosen. To calculate enthalpy values, the following formulations were derived:

$$F_4 = \frac{1}{1 + e^{-E_4}} \quad [11]$$

$$E_5 = 12.7082X - 8.7818T + 8.483 \quad [12]$$

$$F_5 = \frac{1}{1 + e^{-E_5}} \quad [13]$$

$$E_6 = -0.064516X + 7.2131T + 2.5795 \quad [14]$$

$$F_6 = \frac{1}{1 + e^{-E_6}} \quad [15]$$

$$E_7 = 0.026916X - 63.5969T - 1.6957 \quad [16]$$

$$F_7 = \frac{1}{1 + e^{-E_7}} \quad [17]$$

$$E_8 = -39.5995X + 37.9497T - 40.4815 \quad [18]$$

$$F_8 = \frac{1}{1 + e^{-E_8}} \quad [19]$$

$$E_9 = -12.2997F_1 + 57.3418F_2 - 3.0813F_3 + 111.869F_4 - 2.4623F_5 + 27.0311F_6 - 44.8749F_7 + 44.213F_8 - 112.8907 \quad [20]$$

Bu eşitliklerde X, eriyikteki LiBr konsantrasyonunu, T ise eriyik sıcaklığını ifade etmektedir. [4-20] eşitliklerinden LiBr-su eriyiğinin istenilen her aralıktaki entalpisi, sıcaklık ve konsantrasyona bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

where X is LiBr concentration in the solution, T is temperature of the solution. From equations [4-20], enthalpy of the LiBr-water solution depending on temperature and concentration can be calculated by:

$$F_9 = \text{Entalpi} = \left(\frac{1}{1 + e^{-E_9}} \right) \cdot 810 \quad [21]$$

Şekil 4'de görülen modelde; konsantrasyon (X) ve sıcaklık (T) olmak üzere iki adet girdi, tek gizli katmanda 8 adet nöron ve tek çıktı değeri olarak entropi değerleri bulunmaktadır. Bu verilere göre entropi değerlerini hesaplamak için aşağıdaki formüller türetilmiştir:

In the model shown in Figure 4, concentration (X) and temperature (T) were chosen as input. For the output layer, entropy was chosen. To calculate entropy values, the following formulations were derived:

$$E_1 = 5.1252X - 8.8669T - 20.0589 \quad [22]$$

$$F_1 = \frac{1}{1 + e^{-E_1}} \quad [23]$$

$$E_2 = -2.6391X + 12.6659T + 7.9354 \quad [24]$$

$$F_2 = \frac{1}{1 + e^{-E_2}} \quad [25]$$

$$E_3 = -6.1627X + 6.5782T - 12.2286 \quad [26]$$

$$F_3 = \frac{1}{1 + e^{-E_3}} \quad [27]$$

$$E_4 = 2.0851X - 0.76933T - 0.69577 \quad [28]$$

$$F_4 = \frac{1}{1 + e^{-E_4}} \quad [29]$$

$$E_5 = -4.6131X - 0.56527T + 12.6079 \quad [30]$$

$$F_5 = \frac{1}{1 + e^{-E_5}} \quad [31]$$

$$E_6 = 1.1927X + 4.3988T + 1.9183 \quad [32]$$

$$F_6 = \frac{1}{1 + e^{-E_6}} \quad [33]$$

$$E_7 = -2.6713X + 9.918 + 6.1635 \quad [34]$$

$$F_7 = \frac{1}{1 + e^{-E_7}} \quad [35]$$

$$E_8 = 1.1663X + 4.099T + 3.0639 \quad [36]$$

$$F_8 = \frac{1}{1 + e^{-E_8}} \quad [37]$$

$$E_9 = 2.6829F_1 - 417.3895F_2 + 694.964F_3 - 5.1552F_4 - 400.806F_5 - 473.3985F_6 + 276.4772F_7 + 1453.4039F_8 - 435.7258 \quad [38]$$

Bu eşitliklerde X, eriyikteki LiBr konsantrasyonunu, T ise eriyik sıcaklığını ifade etmektedir. [22-38] eşitliklerinden LiBr-su eriyiğinin istenilen her aralıktaki entropisi, sıcaklık ve konsantrasyona bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

where X is the LiBr concentration in the solution, T is the temperature of solution. From the equations [22-38], entropy of the LiBr-water solution depending on temperature and concentration can be calculated by:

$$F_9 = \text{Entropi} = \left(\frac{1}{1 + e^{-E_9}} \right) * 2.25 \quad [39]$$

5. SONUÇLAR

Absorbsiyonlu sistemlerde kullanılan akışkan çiftlerinin sistem performansı üzerine olan etkisi, bunlara ait termodinamik özelliklerinin bilinmesini gerekli hale getirmektedir. Absorbsiyonlu sistemlerde en fazla kullanılan akışkan çiftlerinden biri olan LiBr-su eriyiğinin termodinamik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla, şimdiye kadar pek çok teorik ve deneysel çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada; yeni bir yaklaşım olan YSA modeli yardımıyla, sıcaklık ve konsantrasyon değerlerine bağlı olarak, LiBr-su eriyiğinin entalpi ve entropi değerleri matematiksel olarak formüle edilmiştir. Modelden elde edilen basit formüllerle, istenilen her sıcaklık ve konsantrasyon aralığında entalpi ve entropi değerleri hızlı bir şekilde başarıyla hesaplanabilmektedir. Bu yeni yaklaşım, farklı akışkan ve akışkan çiftlerinin termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde de oldukça yararlı olacaktır.

5. CONCLUSIONS

Fluid pairs used in the absorption systems have an important effect on system performance and therefore require knowledge of the thermodynamic properties of the solution. LiBr-water solution has been the most widely used fluid pairs in the absorption systems. In order to determine thermodynamic properties of the solution, very theoretical and experimental studies have been carried out until now.

In this study, enthalpy and entropy values of the LiBr-water solution depending on temperature and concentration were obtained with the help of the ANN model and mathematical formulations are presented. Enthalpy and entropy values can be calculated quickly with simple equations obtained from the model. A new approach will be useful to determine the thermodynamic properties of different fluid and fluid pairs.

REFERENCES/ KAYNAKLAR

1. Chua, H.T., Toh, H.K., Malek, A., Ng, K.C., Sirinivasan, K., "A General Thermodynamic Framework for Understanding the Behaviour of Absorption Chillers", *Int. J. Refrig.*, 23: 491-507 (2000).
2. Herold, K.E., Rademacher, R., Klein, S.A., *Absorption Chillers and Heat Pumps*, **CRC Press**, New York: 324 (1996).
3. Tozer, R.M., James, R.W., "Fundamental thermodynamics of ideal absorption cycles", *Int. J. Refrig.*, 20(2): 120-135 (1997).
4. Sun, D.W., "Thermodynamic Design Data and Optimum Design Maps for Absorption Refrigeration Systems", *Applied Thermal Engineering*, 17(3): 211-221 (1997).
5. Chua, H.T., Toh, H.K., Malek, A., Ng, K.C., Sirinivasan, K., "Improved thermodynamic property fields of LiBr-H₂O solution", *Int. J. Refrig.*, 23: 412-429 (2000).
6. Fu, L.M., *Neural Networks in Computer Intelligence*, **Mc Graw-Hill International Editions**: 460 (1994).
7. Tsoukalas, L.H., Uhrig, R.E., *Fuzzy and Neural Approaches In Engineering*, **John Wiley&Sons Inc.**: 587 (1997).
8. Efe, Ö., Kaynak, O., *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları*, **Boğaziçi Üniversitesi**, İstanbul (2000).
9. Kalogirou, S.A., "Applications of artificial neural networks in energy systems A review", *Energy Conversion&Management*, 40: 1073-1087 (1999).

Received/ Geliş Tarihi: 30.04.2003 Accepted/ Kabul Tarihi: 30.01.2004