



# Carreau Akışkanının Dikey Germe Silindirindeki Akış Karakteristiklerinin Yapay Zeka Yaklaşımıyla Analizi

Andaç Batur Çolak<sup>1</sup>

## ÖZ

Bu çalışmada, Carreau akışkan akışının gözenekli bir ortama daldırılmış dikey bir germe silindiri üzerindeki akış karakteristikleri, yapay zeka yaklaşımı ile detaylı olarak analiz edilmiştir. Akış parametreleri olarak lokal yüzey sürtünmesi, lokal Nusselt sayısı ve lokal Sherwood sayısı parametreleri ele alınmıştır. Akış parametrelerini tahmin etmek için çok katmanlı algılayıcı mimarisine sahip üç farklı yapay sinir ağı modeli tasarlanmıştır. Literatürden elde edilmiş nümerik veri seti kullanılarak eğitilmiş olan ağ modellerinde Bayesian Düzenleme algoritması kullanılmıştır. Farklı performans parametreleri dikkate alınarak optimize edilen yapay sinir ağlarında tahmin performansı en yüksek olan modeller tercih edilmiştir. Elde edilen tahmini değerler, hedef verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca performans parametreleri de hesaplanmış ve ağ modellerinin performansları kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışma bulguları, geliştirilmiş olan yapay sinir ağlarının, doğal taşınımli Carreau akışına ait parametreleri yüksek doğrulukta tahmin edebildiğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Carreau akışkanı, germe silindiri, akış karakteristikleri, doğal taşınım, yapay sinir ağı

## Analysis of Flow Characteristics of Carreau Fluid in a Vertical Stretching Cylinder with Artificial Intelligence Approach

### ABSTRACT

In this study, the flow characteristics of Carreau fluid flow on a vertical stretching cylinder immersed in a porous medium were analyzed in detail with an artificial intelligence approach. Local skin friction, local Nusselt number and local Sherwood number parameters are considered as flow parameters. Three different neural network models with multilayer perceptron architecture are designed to estimate the flow parameters. Bayesian Regularization training algorithm was used in the network models trained using the numerical data set obtained from the literature. The models with the highest prediction performance were preferred in the artificial neural networks optimized by considering different performance parameters. The estimated values obtained were compared with the target data. In addition, the performance parameters were calculated and the performances of the network models were analyzed comprehensively. The study findings revealed that the developed artificial neural networks can predict the parameters of the free convection Carreau flow with high accuracy.

**Keywords:** Carreau fluid, stretching cylinder, flow characteristics, natural convection, artificial neural network

Geliş/Received : 23.08.2022  
Kabul/Accepted : 15.12.2022

<sup>1</sup> Doç. Dr., İstanbul Ticaret Üniversitesi, Bilişim Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul  
abcolak@ticaret.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9297-8134



## EXTENDED ABSTRACT

### 1. Introduction

Past studies on Carreau fluid flow, flows over stretching cylinder, free convection, ANN, LSF, LNN and LSN parameters have been investigated in detail. As can be seen in the comprehensive literature summary given above, although there are different studies for each of the mentioned topics, there is no study on the analysis of the flow characteristics of Carreau fluid flow in free convection towards the stretching cylinder with artificial intelligence approach. This gap, which was found in the literature as a result of the research, formed the main motivation for this research. This study, which aims to close this gap in the literature, can be considered as a pioneering study.

### 2. Data Collection Methodology

The research used data presented in the study by Lim, Shafie, Isa, Rawi and Mohamad (2022), in which the effect of thermal radiation, chemical reaction, and natural convection was examined. A total of 62 data sets were used in the study.

### 3. ANN Development

In order to estimate the LSF, LNN and LSN parameters to be analyzed to determine the flow characteristics, three different ANN models with different architectures have been developed. In the developed ANN models, the feed forward (FF) back propagation (BP) multi-layer perceptron (MLP) network model, which has been reported as high capability, is used. ANN models with different values for each parameter have been developed and performance analyzes have been made. While performing the performance analysis, first of all, the outputs of the ANN model and the target values have been compared, and the model in which achieved the most ideal agreement has been examined. In addition, coefficient of determination (R), Mean Squared Error (MSE) and Margin of Deviation (MoD) values have been determined as performance parameters and calculated performance parameters have also been examined. Bayesian Regularization has been used as the training algorithm in ANN models developed with 10 neurons in the hidden layers. 75% of the data set has been reserved for the training of the model and 25% for the testing phase.

### 4. Results and Discussion

The performance analysis of the developed ANN models has been performed in three stages. In the first stage, the performances of the training phases of the models have been examined and it is aimed to ensure that the training phase has been completed in an ideal way. In the next step, the outputs obtained from the ANN models have been compared with the target data, and in this way, the compatibility of the predicted values of the models with the target values has been examined and presented with graphics. In the last stage, the error rates of the models have been examined in detail. The numerical data obtained from the study show that each ANN model is ideally trained and can predict with high accuracy and very low error rates.

### 5. Conclusion

In this study, the flow characteristic of Carreau fluid flow in free convection through a vertical stretching cylinder in a porous medium under the influence of chemical reaction has been analyzed by artificial intelligence approach. For the purpose of flow characteristic and heat transfer analysis, LSF, LNN and LSN parameters are considered. Three different ANN models have been developed to estimate the flow parameters to be examined. There are 10 neurons in the hidden layer of ANNs in which the MLP model has been used. The outputs obtained from the ANN models designed with the Bayesian Regularization training algorithm have been compared with the target data. In addition, the estimation accuracy of the ANN models have been examined in detail by calculating the performance parameters, and the results have been presented with graphs and tables. While R values have been obtained as 0.99 for all three ANN models, the average error rates of the models have been lower than 0.07%. The study findings showed that the developed ANNs can make predictions with high accuracy. However, it has also been seen that ANNs are an ideal artificial intelligence tool that can be used to analyze the flow characteristic of Carreau fluid flow in free convection through a vertical stretching cylinder in a porous medium under the influence of chemical reaction.



## 1. GİRİŞ

Düşük ve yüksek kayma hızlarında viskoz ve güç yasası davranışı gösterme yeteneğine sahip olan Carreau akışkan modeli ilk olarak Pierre Carreau (1972) tarafından önerilmiştir. Newton tipi olmayan bir akışkan modeli olan Carreau akışkan modeli, mekanik sistemler (Nadeem, Riaz, Akbar ve Ellahi, 2013), yenilenebilir enerji sistemleri (Shahid, Bhatti, Ellahi ve Mekheimer 2022), tıp (Akbar ve Nadeem, 2014), boru hatları (Sun, Guo, Jing, Tang, Lu, Fu, Ullmann ve Brauner, 2021) ve nanoelektronik (Ayub, Zahir ve Tanveer, 2022) gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Farmasötik kimyasalların, boyaların, polimer sıvıların, polivinil klorür ve polietilenin özellikleri Carreau akışkan modeli ile açıklanabilir. Afzal, Siddique, Jarad, Ali, Abdal ve Husain (2021), genelleştirilmiş mikropolar sıvıdaki nanoparçacıkları ve yoğunlaştırılmış uzun bir yüzeye karşı Carreau sıvı akışını incelemişlerdir. Salahuddin, Awais, ve Xia (2021a), paraboloid yüzey üzerinde ısı üretimi ve aktivasyon enerjisi ile iki boyutlu Carreau nanosıvı akışını araştırmışlardır. Salahuddin, Awais, ve Salleh (2021b), Carreau nanoakışkanının manyeto-hidrokinamik, viskoz yayılımı ve aktivasyon enerjisinin parabol yüzeyi üzerindeki etkilerini hesaba katarak, 2 boyutlu sabit akışı nümerik olarak incelemişlerdir. Bilal, Saeed, Gul, Rehman, ve Khan, (2021a), uzatılmış bir substrat üzerinde düzgün bir manyetik alanın sonuçları altında Carreau nanoakışkanının ince film akışını ele almışlardır. Bhatti, Zahid, Ali, Sarwar ve Wahab (2021), bir boşluktan geçen viskoelastik Carreau nanosıvısına ait bir matematiksel model önermişlerdir. Newton tipi olmayan akışkanların bir germe silindiri yoluyla ısı transferi analizi üzerine literatürde bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bilal, Saeed, Selim, Gul, Ali ve Kumam (2021b), dalgalı olmayan bir emme/enjeksiyon darbesinin eşlik ettiği bir germe silindiri etrafındaki tutarsız sıkıştırılmaz Maxwell nanoakışkan akışını incelemişlerdir. Shafey, Alharbi, Javed, Abbas, ALrafai, Nadeem ve Issakhov (2021) Newton tipi nanoakışkan için doğrusal olmayan bir germe silindiri üzerindeki Brownian ve termoforez hareket etkilerini analiz etmişlerdir. Siddiqui, Batool, Hassan ve Malik (2022) bir gerdirme silindiri boyunca sıkıştırılmaz viskoz Cu-su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkan akışını incelemişlerdir. Li, Waqas, Khaled, Khan, Khan, Naseem ve Chu (2021), gerilmiş bir silindir üzerinde manyetize edilmiş Maxwell nanoakışkanının biyo-konveksiyon akışını araştırmışlardır. Song, Hamid, Sun, Khan ve Chinram (2022), değişken ısı özelliklerinin mevcudiyetinde geçişli bir germe silindiri üzerinde Williamson nanoakışkanın kararsız ve sıkıştırılmaz akışını incelemişlerdir.

Doğal taşınım olarak da adlandırılabilir olan serbest taşınım, akışkan hareketinin herhangi bir dış kaynak tarafından değil, sadece akışkandaki yoğunluk farkı ile oluşturulduğu bir mekanizmadır (Nisar, Mohapatra, Mishra ve Reddy, 2021). Kaldırma kuvvetlerine yol açan yoğunlukta bir değişikliğe neden olduğunda, akışkanda sıcaklık değişiklikleri meydana gelir (Rao, Vidyasagar ve Deekshitulu, 2021). Sıcaklık farklılıklarının karmaşık akış modellerine yol açabileceği bir ortamda sıklıkla meydana gelebilen serbest taşınım olgusu, araştırmacıların yoğun ilgi gösterdiği konular ara-

sında yer almaktadır. Asad, Alam, Rashad ve Sarker (2021), dikey dalgalı kenarlarla sınırlanmış dalgalı bir kanalda doğal taşınım ile ısı transferi üzerinde dalgalanmanın etkisini araştırmışlardır. Neumann, Gamisch ve Gschwander (2021) ısı değiştirici plakalara dayalı bir ısı depolama sistemini ele almışlardır. Behera, Chandrakar ve Senapati (2021), laminar serbest taşınımından kaynaklanan termoakışkan özelliklerini araştırmak için içbükey yarı küresel bir yüzey üzerinde bir nümerik analiz yapmışlardır. Shah, Wakif, Shah, Yook, Salah, Mahsud ve Hussain (2021), su içinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıklarının bir karışımını içeren dikey bir silindirde sıkıştırılmaz viskoz bir akışkanın kararsız doğal taşınım akışlarını incelemişlerdir.

Akış karakteristiğinin belirlenmesinde önemli parametreler olan lokal yüzey sürtünmesi (LYS), lokal Nusselt sayısı (LNS) ve lokal Sherwood sayısı (LSS) ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, yapılan çalışmaların genel olarak korelasyon türetme ve ısı transfer iyileştirmesi üzerine olduğu görülmektedir. Haeri ve Shrimpton (2013), LNS'nin hesaplanması için önerilecek yüksek kaliteli bir korelasyon elde etmek için düşük ila orta Reynolds sayılarında izotermal dairesel bir silindirden gerçekleşen lokal ısı transferini incelemişlerdir. Gautam ve Saini (2021), yüzeyinde gözenekli küresel şekilli elemanlardan oluşan bir paketlenmiş yataklı depolama sistemi için deneysel araştırma yoluyla elde edilen sonuçları kullanarak Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için korelasyonların geliştirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Jayawickrama, Haugen, Babler, Chishty ve Umeki (2021), Stefan akışının momentum üzerindeki etkisini ve parçacık ile akışkan arasındaki Nusselt sayısı varyasyonunu incelemişlerdir. Sulaiman, Hammouti, Climent ve Wachs (2019), seyreltik bir rejimde reaktif partiküller etrafında taşınım ile kütle transferi için bir reaktif Sherwood sayısı modeli önermişlerdir. Pigeonneau, Pereira ve Laplace (2021), sürünen akış rejiminde yükselen bir balonun kütle transferini sayısal olarak araştırmışlardır. Asadollahzadeh, Hemmati, Mostaedi, Shirvani, Ghaemi ve Mohsenzadeh (2017), bir toluen-aseton-su akışkanı kullanılan delikli bir döner disk kontaktörde kütle transfer sürecini incelemişlerdir.

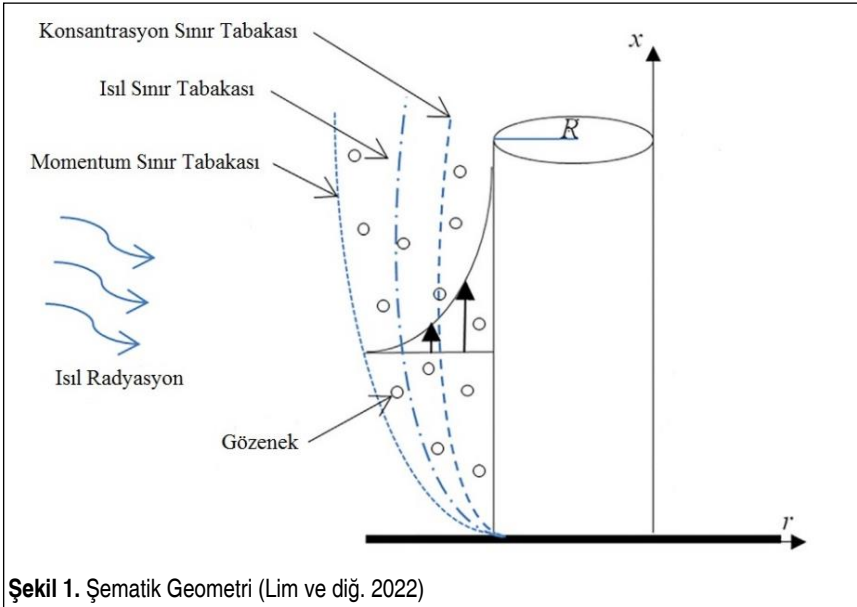
Yapay zeka teknolojilerinin gelişimi, deneysel veriler, istatistiksel sonuçlar, ekonomik veya finansal parametreler gibi verilerin yüksek doğrulukta tahmin edilmesini sağlayan matematiksel araçların geliştirilmesine de yol açmıştır. İnsan beyninin biyolojik yapısının keşfinden sonra beyin sistematığının simülasyonu ile oluşturulan yapay sinir ağları (YSA) sıklıkla kullanılan yapay zeka uygulamalardan biridir. YSA'lar, güçlü eğitim algoritmaları ve öğrenme yetenekleri sayesinde geleneksel matematiksel araçlara kıyasla yüksek performanslı bir mühendislik aracıdır (Çolak, Yıldız, Bayrak ve Tezekici, 2020). Alnaqi, Alsarraf ve Al-Rashed (2021), farklı nanoparçacık şekil ve çaplarına sahip bir nanoakışkan ile doldurulmuş bir iki fazlı parabolik oluklu güneş kolektörünün verimliliği üzerinde merkez dışı kanatlı bir soğurucu tüp kullanmanın etkisini araştırmışlardır. Dahab, Ragab, Elhag ve Khalek (2020) salınımlı akış üzerinde kütle transferi ve doğal taşınımın etkisini tahmin etmek için bir çalışma yürütmüşlerdir. Reddi ve diğ. (2016), Runge-Kutta dördüncü derece yöntemi, atış tekniği ve

YSA gibi bazı matematiksel teknikleri kullanarak kimyasal olarak geçirgen bir germe silindiri üzerindeki manyetohidrodinamik sınır tabaka kesme akışının modellenmesi üzerine çalışmışlardır.

Carreau nanoakışkan akışı, germe silindiri üzerindeki akışlar, doğal taşınım, YSA, LYS, LNS ve LSS parametreleri ile ilgili geçmiş çalışmalar, yukarıda detaylı olarak incelenmiştir. Verilen kapsamlı literatür özetinde de görüleceği üzere bahsedilen konuların her biri için farklı çalışmalar olmasına rağmen, Carreau nanoakışkan akışının doğal taşınımında germe silindirine doğru akış özelliklerinin yapay zeka yaklaşımı ile analizine yönelik bir çalışmanın literatürde bulunmadığı görülmektedir. Araştırma sonucunda literatürde bulunan bu boşluk, bu araştırmanın ana motivasyonunu oluşturmuştur. Literatürdeki bu açığı kapatmayı hedefleyen bu çalışma, öncü bir çalışma olarak değerlendirilebilir.

## 2. MATERYAL VE METODOLOJİ

Bir germe silindiri üzerindeki sıvı akışları, tel kaplama, bakır inceltme, kağıt üretimi, fotoğraf filmleri, çekme teli, metalurji, sıcak haddeme ve ham petrol arıtma gibi birçok endüstriyel üretim sürecinde yer alan faktörler olarak değerlendirilmektedir. Üretilen ürünlerin kalitesi ve üretim maliyeti, ısı ve kütle transfer hızına bağlıdır. Bu nedenle, bir germe silindiri boyunca sınır tabakası akışı, ısı transferi ve kütle transferinin araştırılması büyük ilgi görmüştür. Bu çalışmada kullanılan veriler, Lim ve diğ. (2022) tarafından yapılmış olan, ısıl radyasyon, kimyasal reaksiyon ve doğal taşınım etkisinin incelendiği çalışmadan elde edilmiştir. Lim ve diğ. (2022) tarafından ya-



Şekil 1. Şematik Geometri (Lim ve diğ. 2022)

pılmış olan bu çalışmada, serbest konveksiyonun etkisi ile dikey bir germe silindiri üzerinde gözenekli bir ortamda sıkıştırılmaz bir Carreau sıvı akışını ele alınmıştır. Çalışmanın ana odağı, radyasyonun ve ısı oluşumunun akışındaki ısı transferi üzerindeki etkisinin ve akışındaki kimyasal reaksiyon ile kütle transferinin incelenmesidir. İncelenmiş olan Carreau akışkanın, sabit iki boyutlu ekstenel simetrik bir sınır tabakası olduğu varsayılmıştır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, x eksenini dikey silindirin

**Tablo 1.** Farklı Parametreler için LYS Değerleri (Lim ve diğ. 2022)

We	n	$\lambda$	Gr	K	Pr	Rd	Q	E	LYS
0.2	0.5	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-0.9876
0.4	0.5	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-0.9781
0.6	0.5	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-0.9606
0.2	1.2	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-0.9919
0.4	1.2	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-0.9954
0.6	1.2	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-1.0011
0.2	1.4	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-0.9931
0.2	1.6	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-0.9942
0.2	1.2	0.2	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-1.0325
0.2	1.2	0.3	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-1.0726
0.2	1.2	0.1	0	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-1.1387
0.2	1.2	0.1	0.4	0.2	0.7	1	0.2	0.2	-0.8529
0.2	1.2	0.1	0.2	0	0.7	1	0.2	0.2	-0.8882
0.2	1.2	0.1	0.2	0.4	0.7	1	0.2	0.2	-1.0873
0.2	1.2	0.1	0.2	0.2	1	1	0.2	0.2	-0.9946
0.2	1.2	0.1	0.2	0.2	2	1	0.2	0.2	-1.0044
0.2	1.2	0.1	0.2	0.2	0.7	2	0.2	0.2	-0.9890
0.2	1.2	0.1	0.2	0.2	0.7	3	0.2	0.2	-0.9876
0.2	1.2	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.4	0.2	-0.9854
0.2	1.2	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.6	0.2	-0.9781
0.2	1.2	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.4	-0.9913
0.2	1.2	0.1	0.2	0.2	0.7	1	0.2	0.6	-0.9908

**Tablo 2.** Farklı Parametreler için LYS Değerleri (Lim ve diğ. 2022)

Rd	Pr	$\epsilon$	Q	$\lambda$	We	n	K	Gr	LNN
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.6591
2	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.9867
3	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-1.3169
1	1	0.2	0.2	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.6863
1	2	0.2	0.2	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.8119
1	0.7	0.4	0.2	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.6437
1	0.7	0.6	0.2	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.6303
1	0.7	0.2	0.4	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.4855
1	0.7	0.2	0.6	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.2930
1	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.7281
1	0.7	0.2	0.2	0.3	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.7928
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.4	1.2	0.2	0.2	-0.6594
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.6	1.2	0.2	0.2	-0.6599
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	1.4	0.2	0.2	-0.6592
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	1.6	0.2	0.2	-0.6593
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	1.2	0	0.2	-0.6712
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	1.2	0.4	0.2	-0.6487
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	1.2	0.2	0	-0.6386
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	1.2	0.2	0.4	-0.6782
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	0.5	0.2	0.2	-0.6587
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.4	0.5	0.2	0.2	-0.6578
1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.6	0.5	0.2	0.2	-0.6562

**Tablo 3.** Farklı Parametreler için LSS Değerleri (Lim ve diğ. 2022)

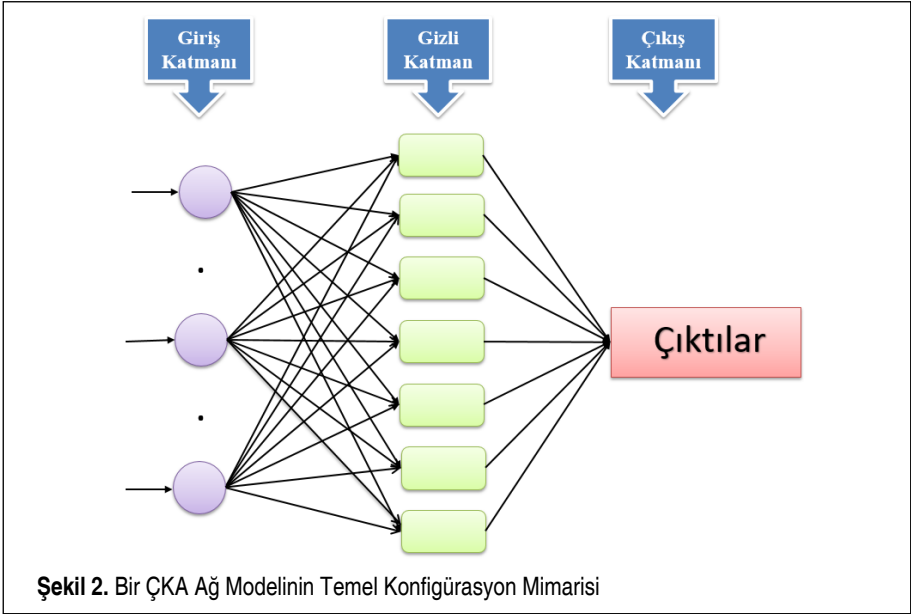
$\beta$	Sc	$\lambda$	We	n	K	Gr	LSS
0.2	1	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.7953
0	1	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.6393
0.4	1	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.9244
0.2	1.5	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.9916
0.2	2	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	-1.1612
0.2	1	0.2	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.8365
0.2	1	0.3	0.2	1.2	0.2	0.2	-0.8769
0.2	1	0.1	0.4	1.2	0.2	0.2	-0.7957
0.2	1	0.1	0.6	1.2	0.2	0.2	-0.7963
0.2	1	0.1	0.2	1.4	0.2	0.2	-0.7955
0.2	1	0.1	0.2	1.6	0.2	0.2	-0.7956
0.2	1	0.1	0.2	1.2	0	0.2	-0.8072
0.2	1	0.1	0.2	1.2	0.4	0.2	-0.7849
0.2	1	0.1	0.2	1.2	0.2	0	-0.7747
0.2	1	0.1	0.2	1.2	0.2	0.4	-0.8139
0.2	1	0.1	0.2	0.5	0.2	0.2	-0.7949
0.2	1	0.1	0.4	0.5	0.2	0.2	-0.7939
0.2	1	0.1	0.6	0.5	0.2	0.2	-0.7920

ekseni boyunca ölçülmüş ve r eksenini radyal yönde alınmıştır. Toplam 62 adet veri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada kullanılan veriler Tablo 1-3'te verilmiştir.

### 3. YSA TASARIMI

Akış özelliklerini belirlemek için analiz edilecek LSF, LNN ve LSN parametrelerini tahmin etmek amacıyla farklı mimarilere sahip üç ayrı YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen YSA modellerinde, yüksek tahmin kapasitesine sahip olduğu rapor edilmiş olan ileri beslemeli geri yayımlı çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) ağ modeli kullanılmıştır (Vaferi, Samimi, Pakgozar ve Mowla, 2014; Güzel ve Çolak, 2022; Canakci, Ozsahin ve Varol, 2012; Vaferi, Eslamloueyan ve Ayatollahi, 2011). Üç temel katmandan oluşan ÇKA ağların giriş katmanında giriş parametreleri tanımlanır. Girdi katma-





nına doğrudan bağlanan bir sonraki katman gizli katmandır ve her ÇKA ağında en az bir gizli katman yer almaktadır. Gizli katman, nöron adı verilen bir hesaplama elemanı içerir (Ahmadloo ve Azizi, 2016). Nöronlar, YSA modellerindeki kritik parametrelerden bir tanesidir. Gizli katmandan sonraki katman çıktı katmanıdır, ve çıktı katmanında tahmin değerleri elde edilmektedir. ÇKA modellerinde, giriş katmanında sisteme tanımlanan veriler, kendisinden bir sonraki katmandan başlayarak ileri doğru beslenir. Çıktı katmanında elde edilen tahmin değerleri ile hedef değerler arasındaki farklar hesaplanır ve aradaki farkın azaltılması amacıyla tekrar girdi katmanına geri gönderilir. Bir ÇKA ağ modelinin temel konfigürasyon mimarisi Şekil 2'de gösterilmiştir.

Verilerin gruplandırılması, gizli katmandaki nöron sayısı ve eğitim algoritmasının seçimi gibi parametrelerin belirlenmesi YSA modellerinin geliştirilmesindeki zorluklardan bazılarıdır. Söz konusu parametreleri belirlemek için kullanılan sabit modellerin veya teorilerin olmaması bu zorluğun nedeni olarak düşünülebilir (Çolak, 2021a). YSA modelinde kullanılan veri setinin ideal bir şekilde düzenlenmesi önemlidir. Fazla sayıda veri seti, modelin aşırı öğrenmesi ve ezberlemesi gibi sorunlara neden olurken, yetersiz veri, modelin eğitiminin ideal olmamasına ve tahmin performansının düşük olmasına neden olabilir (Çolak, 2021b). Gizli katman sayısının belirlenmesi ve eğitim algoritması için de bu durum geçerlidir. Bu nedenle, farklı parametrelerle geliştirilmiş olan YSA modellerinin performans analizi yapılmış ve en yüksek performans değerine sahip olan model belirlenmiştir. Performans analizi yapılırken öncelikle YSA modelinin çıktıları ile hedef değerler karşılaştırılmış ve en ideal uyumun sağlandığı

model seçilmiştir. Ayrıca performans parametreleri olarak korelasyon katsayısı (R), Ortalama Kare Hata (OKH) ve Sapma Oranı (SO) parametreleri belirlenmiş ve hesaplanan performans parametreleri de incelenmiştir. Performans analizleri sonucunda, tahmin performansı en yüksek olarak bulunan YSA modelleri seçilmiş ve çalışmada kullanılmıştır. Performans parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan korelasyonlar aşağıda verilmiştir (Öcal, Gökçek, Çolak ve Korkanç, 2021).

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{hdf(i)} - X_{YSA(i)})^2 \quad (1)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_{hdf(i)} - X_{YSA(i)})^2}{\sum_{i=1}^N (X_{hdf(i)})^2}} \quad (2)$$

$$SO (\%) = \left[ \frac{X_{hdf} - X_{YSA}}{X_{hdf}} \right] \times 100 \quad (3)$$

Gizli katmanlarda 10 nöron ile geliştirilen YSA modellerinde eğitim algoritması olarak Bayesian Düzenleştirme algoritması kullanılmıştır. YSA modelinde kullanılan veri setinin gruplandırılmasında, literatürden elde edilmiş metodoloji kullanılmıştır. YSA modelinin geliştirilmesinde, MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Veri setinin %75'i modelin eğitimi için, %25'i ise test aşaması için ayrılmıştır. Her bir YSA modelinin girdi, çıktı, nöron sayısı ve veri miktarı bilgileri Tablo 4'te verilmiştir.

ÇKA ağ modellerinin gizli katmanında transfer fonksiyonu olarak Tan-Sig fonksiyonu, çıkış katmanında ise Purelin fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan transfer fonksiyonları aşağıda verilmiştir (Vafaei, Afrand, Sina, Kalbasi, Sourani ve Teimouri, 2017; Akhgar, Toghraie, Sina ve Afrand, 2019).

**Tablo 4.** YSA Modeline Ait Dizayn Parametreleri

Çıktı	Girdi Parametreleri									Nöron Sayısı	Veri Seti
	We	n	λ	Gr	K	Pr	Rd	Q	ε		
LYS	We	n	λ	Gr	K	Pr	Rd	Q	ε	10	22
LNS	Rd	Pr	ε	Q	λ	We	n	K	Gr	10	22
LSS	β	Sc	λ	We	n	K	Gr			10	18

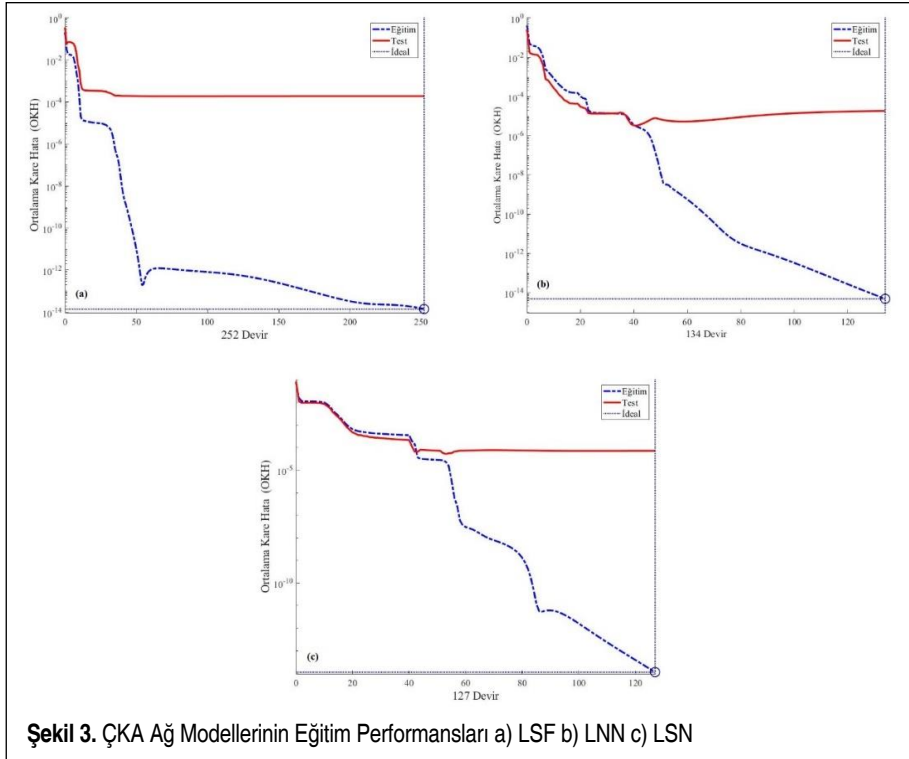
$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (4)$$

$$\text{Purelin}(x) = x \quad (5)$$

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

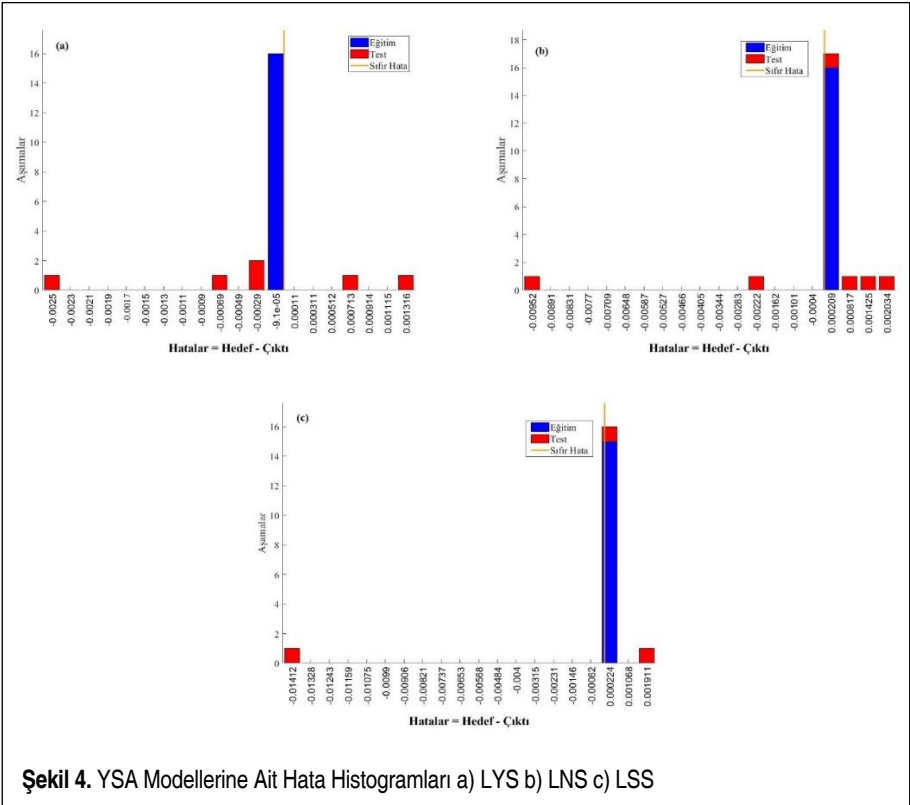
Geliştirilen YSA modellerinin performans analizi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada modellerin eğitim aşamalarının performansları incelenmiş ve eğitim aşamasının ideal bir şekilde tamamlanması hedeflenmiştir. Bir sonraki adımda YSA modellerinden elde edilen çıktılar hedef verilerle karşılaştırılmış ve bu şekilde modellerden elde edilmiş olan tahmin değerlerinin hedef değerlerle uygunluğu incelenmiş ve grafiklerle sunulmuştur. Son aşamada ise modellerin hata oranları detaylı olarak incelenmiştir.

ÇKA ağ modellerinin giriş katmanında tanımlanan giriş parametreleri, doğrudan ileri katmanlara beslenir ve son katman olan çıkış katmanında tahmin değerleri elde edilir. Tahmin değerleri ile hedef değerler arasındaki farkı en aza indirmek için çıkış kat-



manından giriş katmanına bir geri yayılım gerçekleştirilir. Bu döngü, çıktı değerleri ve hedef veriler arasındaki fark değeri en aza indirilene ve en yüksek doğrulama performansına ulaşılan kadar devam eder. Bu aşamada OKH değerlerinin aldığı sayısal değerlerin incelenmesi önemlidir. OKH değerlerinin sıfıra yakınlığı, ÇKA ağ modelinin eğitim aşamasından elde edilen hataların düşük olduğunun bir göstergesidir. Şekil 3'de verilen grafikler incelendiğinde eğitim aşamasının başında yüksek olan OKH değerlerinin ilerleyen aşamalarla birlikte azaldığı görülmektedir. OKH değerlerinin en düşük değerlere ulaşması ve veri setinin her iki bölümünün en iyi doğrulama çizgisi ile kesişmesi ile hata değeri en aza indirilir ve eğitim aşaması sonlandırılır. Grafiklerden elde edilen bulgular, ÇKA ağ modellerinin eğitim aşamalarının ideal olarak tamamlandığını göstermektedir.

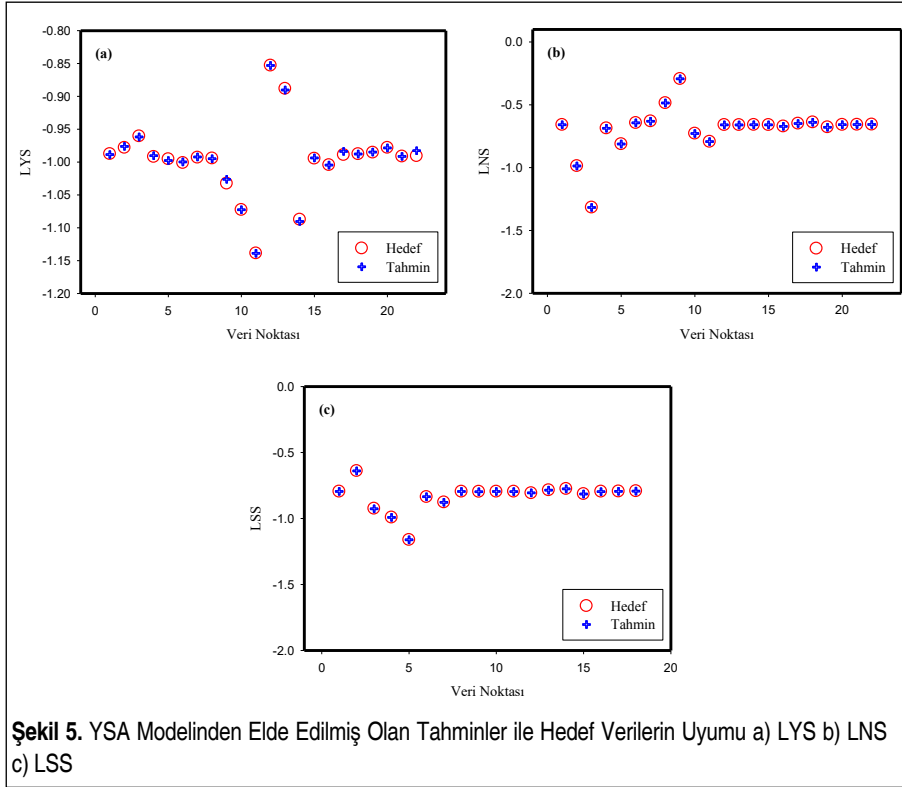
YSA modellerinin eğitim performansının analizinde hata histogramları önemli bir yere sahiptir. Hata histogramları, her bir veri seti için hedef değerler ile YSA çıktıları arasındaki farkları göstermektedir. Şekil 4'te gösterilen hata histogramları incelendiğinde, hata değerlerinin sarı çizgi ile gösterilen sıfır hata çizgisinin yakınında yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca, farkların sayısal değerlerinin de oldukça düşük

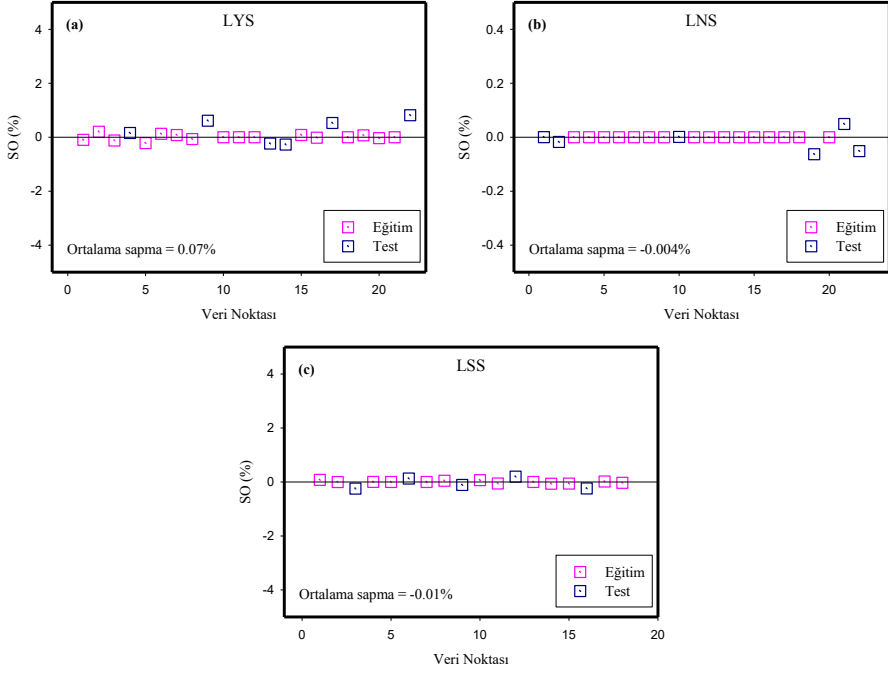


olduğunu grafiklerden görülmektedir. Hata histogramlarından elde edilen bu bulgular, geliştirilen YSA modellerinin eğitim aşamalarının çok düşük hata değerleri ile tamamlandığının bir göstergesidir.

Şekil 5'de, her bir veri noktası için YSA modelinden elde edilmiş olan çıktılar ve hedef veriler gösterilmektedir. Buradaki amaç, tahmin edilen değerlerin hedef verilerle uyumluluğunun net bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktır. Grafiklere dikkat edildiğinde YSA modelinden elde edilen çıktıları ifade eden veri noktaları ile hedef değerlere ait veri noktalarının genel olarak örtüştüğü görülmektedir. Her iki veri noktasının bu şekilde konumlanmış olması, YSA modelinden elde edilen çıktılar ile hedef değerler arasındaki mükemmel uyumu açıkça göstermektedir. Grafiklerden elde edilen bu bulgular, geliştirilen YSA modelinin yüksek doğrulukla tahmin yapabildiğini göstermektedir.

YSA modellerinin tahmin performansının analizinde modellerin sapma oranlarının incelenmesi önemlidir. Sapma oranları, YSA modelinden elde edilen çıktılar ile hedef veriler arasındaki sapma oranlarını temsil eder. Şekil 6, denklem (3) kullanılarak her bir veri noktası için hesaplanan SO değerlerini göstermektedir. Grafiklerdeki veri



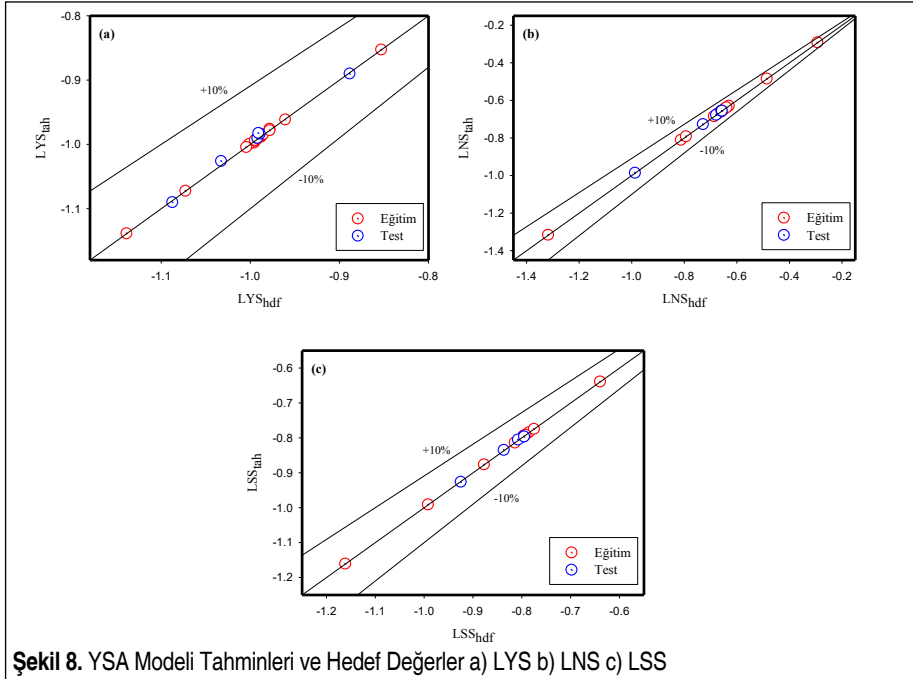
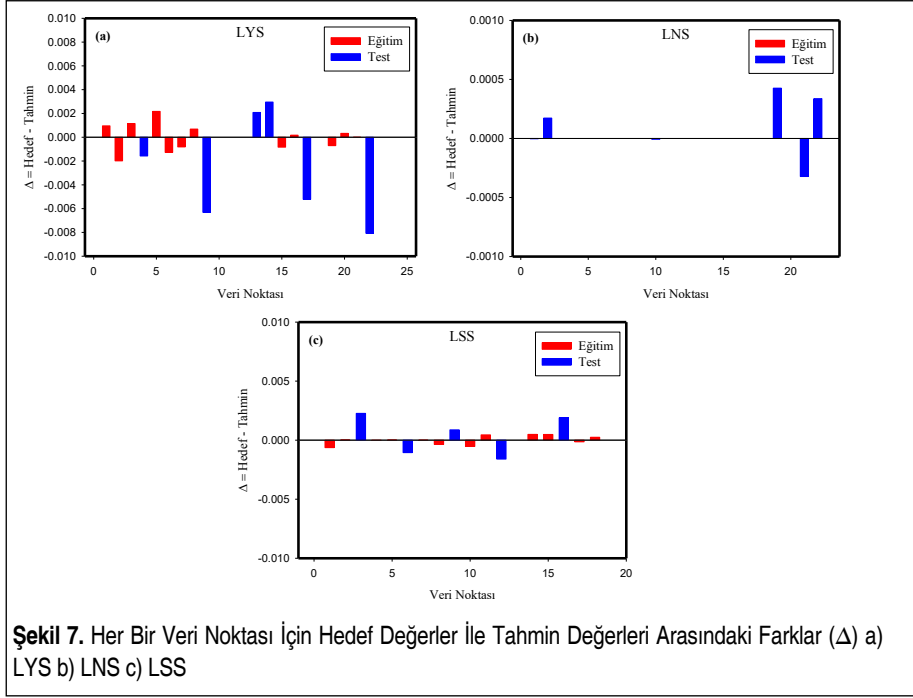


**Şekil 6.** Her Bir Veri Noktası İçin Hesaplanmış Olan SO Değerleri a) LYS b) LNS c) LSS

noktalarının konumları dikkate alındığında genellikle sıfır hata çizgisine yakın olarak konumlandığı görülmektedir. Hesaplanan veri noktalarının sıfır hata çizgisine yakınlığı, tahmin verisi ile hedef veri arasındaki düşük sapma ile doğru orantılıdır. Grafiklerden elde edilen bu veriler, geliştirilen YSA modellerinin düşük sapma oranları ile tahminler yapabildiğini göstermektedir.

YSA modellerinin tahmin hatalarını daha detaylı incelemek için, veri setinin her bir noktası için hedef veriler ile tahmin değerleri arasındaki fark değerleri ( $\Delta$ ) hesaplanmış ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Eğitim ve test veri seti için hesaplanan fark değerleri incelendiğinde genel olarak çok düşük sayısal değerlere sahip oldukları görülmektedir. Genel olarak eğitim veri seti için hesaplanan fark değerlerinin test veri seti için hesaplanan değerlerden daha düşük olduğuna dikkat edilmelidir. Bunun nedeni, test için gruplandırılmış veri setinin, eğitim veri setinden sayıca daha düşük olmasıdır. Test veri seti için fark değerleri, eğitim veri setinden daha yüksek olmasına rağmen sayısal olarak incelendiğinde çok düşük olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 7'den elde edilen sonuçlar, tasarlanan ÇKA ağ modellerinin, çok düşük hata değerleriyle ve ideal olarak geliştirildiğini doğrulamaktadır.

Şekil 8'deki grafiklerin x eksenini hedef verileri içerirken, y eksenini hedef değerleri içer-



mektedir ve grafiklerin her iki eksenini de aynı aralıktadır. Grafiklerdeki veri noktaları incelendiğinde, verilerin genellikle sıfır hata doğrusu üzerinde yer aldıkları görülmektedir. Bununla birlikte, veri noktalarının da  $\pm\%10$  hata bandında olduğuna dikkat edilmelidir. Grafiklerden elde edilen bulgular, YSA çıktılarının hedef değerlerle iyi bir uyum içinde olduğunun bir başka kanıtıdır.

Geliştirilen YSA modellerine ait nümerik detaylar Tablo 5-7'de verilmiştir. Tablolarda hedef veriler, YSA çıktıları, kullanılan her bir verinin grubu, SO değerleri, hedef ve tahmin değerleri arasındaki farklar ( $\Delta$ ) ve OKH değerleri verilmiştir. Tablo 5-7 ince-

**Tablo 5.** YSA Modeline Ait Sonuçlar (LYS)

Hedef	Tahmin	Grup	SO (%)	$\Delta$	OKH
-0.9876	-0.9886	Eğitim	-0.097307	9.61E-04	9.61E-05
-0.9781	-0.9761	Eğitim	0.202904	-1.98E-03	-1.98E-05
-0.9606	-0.9617	Eğitim	-0.119982	1.15E-03	1.15E-05
-0.9919	-0.9903	Test	0.158994	-1.58E-03	-1.58E-05
-0.9954	-0.9976	Eğitim	-0.218181	2.17E-03	2.17E-05
-1.0011	-0.9998	Eğitim	0.127286	-1.27E-03	-1.27E-05
-0.9931	-0.9922	Eğitim	0.081658	-8.11E-04	-8.11E-06
-0.9942	-0.9949	Eğitim	-0.069073	6.87E-04	6.87E-05
-1.0325	-1.0262	Test	0.611452	-6.31E-03	-1.03E-05
-1.0726	-1.0726	Eğitim	0.000018	-1.96E-07	-1.96E-07
-1.1387	-1.1387	Eğitim	-0.000069	7.86E-07	7.86E-07
-0.8529	-0.8529	Eğitim	-0.000105	8.97E-07	8.97E-07
-0.8882	-0.8903	Test	-0.234518	2.08E-03	1.02E-05
-1.0873	-1.0903	Test	-0.271950	2.96E-03	-9.70E-05
-0.9946	-0.9937	Eğitim	0.084209	-8.38E-04	-8.38E-05
-1.0044	-1.0046	Eğitim	-0.017432	1.75E-04	1.75E-05
-0.9890	-0.9838	Test	0.527931	-5.22E-03	-5.22E-05
-0.9876	-0.9876	Eğitim	0.000020	-1.94E-07	-1.94E-07
-0.9854	-0.9847	Eğitim	0.071716	-7.07E-04	-7.07E-05
-0.9781	-0.9785	Eğitim	-0.033474	3.27E-04	3.27E-05
-0.9913	-0.9913	Eğitim	0.000416	-4.13E-06	-4.13E-06
-0.9908	-0.9827	Test	0.814989	-8.07E-03	1.19E-05



**Tablo 6.** YSA Modeline Ait Sonuçlar (LNS)

Hedef	Tahmin	Grup	SO (%)	$\Delta$	OKH
-0.6591	-0.6591	Test	0.000413	-2.72E-06	-2.72E-06
-0.9867	-0.9869	Test	-0.017518	1.73E-04	-9.83E-03
-1.3169	-1.3169	Eğitim	-0.000014	1.90E-07	1.90E-07
-0.6863	-0.6863	Eğitim	0.000004	-2.76E-08	-2.76E-08
-0.8119	-0.8119	Eğitim	0.000007	-5.80E-08	-5.80E-08
-0.6437	-0.6437	Eğitim	0.000006	-3.69E-08	-3.69E-08
-0.6303	-0.6303	Eğitim	0.000010	-6.47E-08	-6.47E-08
-0.4855	-0.4855	Eğitim	0.000014	-6.60E-08	-6.60E-08
-0.2930	-0.2930	Eğitim	0.000017	-4.89E-08	-4.89E-08
-0.7281	-0.7281	Test	0.000995	-7.25E-06	-2.31E-03
-0.7928	-0.7928	Eğitim	0.000006	-5.07E-08	-5.07E-08
-0.6594	-0.6594	Eğitim	0.000005	-3.13E-08	-3.13E-08
-0.6599	-0.6599	Eğitim	0.000010	-6.32E-08	-6.32E-08
-0.6592	-0.6592	Eğitim	0.000010	-6.35E-08	-6.35E-08
-0.6593	-0.6593	Eğitim	0.000006	-3.95E-08	-3.95E-08
-0.6712	-0.6712	Eğitim	0.000008	-5.08E-08	-5.08E-08
-0.6487	-0.6487	Eğitim	0.000008	-5.46E-08	-5.46E-08
-0.6386	-0.6386	Eğitim	0.000008	-5.32E-08	-5.32E-08
-0.6782	-0.6786	Test	-0.062843	4.26E-04	1.43E-03
-0.6587	-0.6587	Eğitim	0.000009	-5.64E-08	-5.64E-08
-0.6578	-0.6575	Test	0.049007	-3.22E-04	6.78E-04
-0.6562	-0.6565	Test	-0.051473	3.38E-04	2.34E-03

**Tablo 7.** YSA Modeline Ait Sonuçlar (LSS)

Hedef	Tahmin	Grup	SO (%)	$\Delta$	OKH
-0.7953	-0.7947	Eğitim	0.0796	-6.33E-04	-6.33E-04
-0.6393	-0.6393	Eğitim	-0.0014	9.23E-06	9.23E-06
-0.9244	-0.9267	Test	-0.2453	2.27E-03	4.23E-02
-0.9916	-0.9916	Eğitim	0.0023	-2.31E-05	-2.31E-05
-1.1612	-1.1612	Eğitim	-0.0006	6.48E-06	6.48E-06
-0.8365	-0.8354	Test	0.1263	-1.06E-03	-1.06E-03
-0.8769	-0.8769	Eğitim	0.0003	-2.88E-06	-2.88E-06
-0.7957	-0.7954	Eğitim	0.0457	-3.63E-04	-3.63E-04
-0.7963	-0.7972	Test	-0.1101	8.77E-04	5.68E-03
-0.7955	-0.7949	Eğitim	0.0672	-5.35E-04	-5.35E-04
-0.7956	-0.7960	Eğitim	-0.0571	4.54E-04	4.54E-04
-0.8072	-0.8056	Test	0.1989	-1.61E-03	-2.61E-03
-0.7849	-0.7849	Eğitim	-0.0001	5.00E-07	5.00E-07
-0.7747	-0.7752	Eğitim	-0.0637	4.94E-04	4.94E-04
-0.8139	-0.8144	Eğitim	-0.0595	4.84E-04	4.84E-04
-0.7949	-0.7968	Test	-0.2387	1.90E-03	4.15E-03
-0.7939	-0.7937	Eğitim	0.0180	-1.43E-04	-1.43E-04
-0.7920	-0.7922	Eğitim	-0.0315	2.50E-04	2.50E-04

**Tablo 8.** YSA Modeline Ait Performans Parametreleri

Çıktı	OKH	R	SO (%)		
			Minimum	Maksimum	Ortalama
LYS	4.68E-06	0.99984	0.00002	0.81	0.07
LNS	-3.50E-04	0.99993	0.000004	-0.06	-0.004
LSS	2.69E-03	0.99603	-0.00006	-0.24	-0.01



lendiğinde her bir veri için YSA modelinin çıktılarının hedef değerlere yakın olduğu görülmektedir. Tablolarda,  $SO$ ,  $\Delta$  ve  $OKH$  değerlerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Her bir YSA modelinin performans parametreleri de Tablo 8'de sunulmuştur. Tablolardan elde edilen sayısal veriler, her bir YSA modelinin ideal olarak eğitildiğini, yüksek doğrulukta ve çok düşük hata oranlarıyla tahmin yapabildiğini göstermektedir.

## 5. SONUÇ

Newton tipi olmayan bir akışkan modeli olan Carreau akışkanı, kimya mühendisliği ve polimerik süspansiyonlarda önemli bir işleve sahiptir. Boyaların, farmasötik kimyasalların, polimer sıvıların, Polivinil Klorür ve Polietilenin özellikleri Carreau sıvı modeli ile açıklanabilir. Bu çalışmada, Carreau akışkan akışının kimyasal reaksiyon etkisi altında gözenekli bir ortamda dikey gerdirme silindiri boyunca serbest taşınımındaki akış karakteristiği yapay zeka yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Akış karakteristiği ve ısı transferi analizi amacıyla LYS, LNS ve LSS parametreleri ele alınmıştır. İncelenen akış parametrelerini tahmin etmek için üç farklı YSA modeli geliştirilmiştir. ÇKA ağ modelinin kullanıldığı YSA'ların gizli katmanında 10 adet nöron bulunmaktadır. Bayesian Düzenleme eğitimi algoritması ile tasarlanan YSA modellerinden elde edilen çıktılar, hedef verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca performans parametreleri hesaplanarak YSA modellerinin tahmin doğruluğu detaylı olarak incelenmiş, sonuçlar grafik ve tablolarla sunulmuştur. Her üç YSA modeli için  $R$  değerleri 0.99 olarak elde edilirken modellerin ortalama hata oranları %0.07'nin altında kalmıştır. Çalışma bulguları, geliştirilen YSA'ların yüksek doğrulukla tahminler yapabildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, YSA'ların, Carreau akışkan akışının doğal taşınımındaki akış karakteristiğini, gözenekli bir ortamda, kimyasal reaksiyon etkisi altında analiz etmek için kullanılabilecek ideal bir yapay zeka aracı olduğu da görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Lim ve diğ. (2022) tarafından yapılmış olan çalışmadan elde edilmiştir. Yazar, katkılarından dolayı Lim ve diğ. (2022)'ne teşekkür eder.

## SİMGELER/KISALTMALAR

ÇKA	Çok katmanlı algılayıcı
LNS	Lokal Nusselt sayısı
LSS	Lokal Sherwood sayısı
LYS	Lokal yüzey sürtünmesi
OKH	Ortalama kare hatası
R	Korelasyon katsayısı



SO	Sapma Oranı
YSA	Yapay sinir ağı
Yunan Alfabeti	
$\Delta$	Fark
<b>Alt indisler</b>	
hdf	Hedef
tah	Tahmin

## KAYNAKÇA

- Afzal, S., Siddique, I., Jarad, F., Ali, R., Abdal, S. & Hussain, S. (2021). Significance of double diffusion for unsteady Carreau micropolar nanofluid transportation across an extending sheet with thermo-radiation and uniform heat source, *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101397.
- Ahmadloo, E. & Azizi, S. (2016). Prediction of thermal conductivity of various nanofluids using artificial neural network, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 74, 69–75.
- Akbar, N.S. & Nadeem, S. (2014). Carreau fluid model for blood flow through a tapered artery with a stenosis, *Eng. Phys. Math.*, 5, 1307–1316.
- Akhgar, A., Toghraie, D., Sina, N. & Afrand, M. (2019). Developing dissimilar artificial neural networks (ANNs) to prediction the thermal conductivity of MWCNT-TiO<sub>2</sub>/Water-ethylene glycol hybrid nanofluid, *Powder Technology* 355, 602–610.
- Alnaqi, A.A., Alsarraf, J. & Al-Rashed, A.A.A.A. (2021). Effect of off-center finned absorber tube and nanoparticle shape on the performance of two-fluid parabolic solar collector containing nanofluid: An application of artificial neural network, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 48, 101668.
- Asad, F.A., Alam, N., Rashad, A.M. & Sarker, M.A. (2021). Impact of undulation on magneto-free convective heat transport in an enclosure having vertical wavy sides, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 127, 105579.
- Asadollahzadeh, M., Hemmati, A., Mostaeidi, M.T., Shirvani, M., Ghaemi, A. & Mohsenzadeh, Z.S. (2017). Use of axial dispersion model for determination of Sherwood number and mass transfer coefficients in a perforated rotating disc contactor, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25, 53–61.
- Ayub, S., Zahir, H. & Tanveer, A. (2022). Mixed convection and non-linear thermal radiative analysis for Carreau-Yasuda nanofluid in an endoscope, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 138, 106371.
- Behera, B.R., Chandrakar, V. & Senapati, J.R. (2021). Free convection heat transfer from a concave hemispherical surface: A numerical exercise, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 125, 105324.



- Bhatti, S., Zahid, M., Ali, R., Sarwar, A. & Wahab, H.A. (2021). Blade coating analysis of a viscoelastic Carreau fluid using Adomian decomposition method, *Mathematics and Computers in Simulation*, 190, 659–677.
- Bilal, M., Saeed, A., Gul, T., Rehman, M. & Khan, A. (2021a). Thin-film flow of Carreau fluid over a stretching surface including the couple stress and uniform magnetic field, *Partial Differential Equations in Applied Mathematics* 4, 100162.
- Bilal, M., Saeed, A., Selim, M.M., Gul, T., Ali, I. & Kumam, P. (2021b). Comparative numerical analysis of Maxwell's time-dependent thermo-diffusive flow through a stretching cylinder, *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 101301.
- Canakci, A., Ozsahin, S., & Varol, T. (2012). Modeling the influence of a process control agent on the properties of metal matrix composite powders using artificial neural networks, *Powder Technol.*, 228, 26–35.
- Carreau, P.J. (1972). Rheological equations from molecular network theories. *Trans. Soc. Rheol.*, 16, 99127.
- Çolak, A.B. (2021a). Experimental analysis with specific heat of water based zirconium oxide nanofluid on the effect of training algorithm on predictive performance of artificial neural network, *Heat Transfer Research*, 52(7), 67 – 93.
- Çolak, A.B. (2021b). An experimental study on the comparative analysis of the effect of the number of data on the error rates of artificial neural networks, *International Journal of Energy Research*, 45(1), 478 – 500.
- Çolak, A.B., Yıldız, O., Bayrak, M. & Tezekici, B.S. (2020). Experimental study for predicting the specific heat of water based Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hybrid nanofluid using artificial neural network and proposing new correlation, *International Journal of Energy Research*, 44(9), 7198-7215.
- Dahab, S.M.A., Ragab, M., Elhag, A.A. & Khalek, S.A. (2020). Free convection effect on oscillatory flow using artificial neural networks and statistical techniques, *Alexandria Engineering Journal*, 59, 3599–3608.
- Gautam, A. & Saini, R.P. (2021). Development of correlations for Nusselt number and friction factor of packed bed solar thermal energy storage system having spheres with pores as packing elements, *Journal of Energy Storage*, 36, 102362.
- Güzel, T. & Çolak, A.B. (2022) Investigation of the usability of machine learning algorithms in determining the specific electrical parameters of Schottky diodes, *Materials Today Communications*, 33, 104175.
- Haeri, S. & Shrimpton, J.S. (2013). A correlation for the calculation of the local Nusselt number around circular cylinders in the range  $10 \leq Re \leq 250$  and  $0.1 \leq Pr \leq 40$ , *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 59, 219–229.
- Jayawickrama, T.R., Haugen, N.E.L., Babler, M.U., Chishty, M.A. & Umeki, K. (2021). The effect of Stefan flow on Nusselt number and drag coefficient of spherical particles in non-isothermal gas flow, *International Journal of Multiphase Flow*, 140, 103650.



- Li, Y.X., Waqas, H., Khaled, K.A., Khan, S.A., Khan, M.I., Khan, S.U., Naseem, R. & Chu, Y.M. (2021). Simultaneous features of Wu's slip, nonlinear thermal radiation and activation energy in unsteady bio-convective flow of Maxwell nanofluid configured by a stretching cylinder, *Chinese Journal of Physics*, 73, 462–478.
- Lim, Y.J., Shafie, S., Isa, S.M., Rawi, N.A. & Mohamad, A.Q. (2022). Impact of chemical reaction, thermal radiation and porosity on free convection Carreau fluid flow towards a stretching cylinder, *Alexandria Engineering Journal*, 61, 4701-4717.
- Nadeem, S., Riaz, A., Akbar, N.S. & Ellahi, R. (2013). Series solution of unsteady peristaltic flow of a Carreau fluid in eccentric cylinders, *Ain Shams Eng. J.*, 5, 293-304.
- Neumann, H., Gamisch, S. & Gschwander, S. (2021). Comparison of RC-model and FEM-model for a PCM-plate storage including free convection, *Applied Thermal Engineering*, 196, 117232.
- Nisar, K.S., Mohapatra, R., Mishra, S.R. & Reddy, M.G. (2021). Semi-analytical solution of MHD free convective Jeffrey fluid flow in the presence of heat source and chemical reaction, *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 837–845.
- Öcal, S., Gökçek, M., Çolak, A.B. & Korkaç, M. (2021). A comprehensive and comparative experimental analysis on thermal conductivity of TiO<sub>2</sub>-CaCO<sub>3</sub>/Water hybrid nanofluid: Proposing new correlation and artificial neural network optimization, *Heat Transfer Research*, 52(17), 55–79.
- Pigeonneau, F., Pereira, L. & Laplace, A. (2021). Mass transfer around a rising bubble in a glass-forming liquid involving oxidation-reduction reaction: Numerical computation of the Sherwood number, *Chemical Engineering Science*, 232, 116382.
- Rao, S.R., Vidyasagar, G. & Deekshitulu, G.V.S.R. (2021). Unsteady MHD free convection Casson fluid flow past an exponentially accelerated infinite vertical porous plate through porous medium in the presence of radiation absorption with heat generation/absorption, *Materials Today: Proceedings*, 42, 1608–1616.
- Salahuddin, T., Awais, M. & Xia, W.F. (2021a). Variable thermo-physical characteristics of Carreau fluid flow by means of stretchable paraboloid surface with activation energy and heat generation, *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100971.
- Salahuddin, T., Awais, M. & Salleh, Z. (2021b). A flow study of Carreau fluid near the boundary layer region of paraboloid surface with viscous dissipation and variable fluid properties, *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 901-909.
- Shafey, A.M.E., Alharbi, F.M., Javed, A., Abbas, N., ALrafai, H.A., Nadeem, S. & Issakhov, A. (2021). Theoretical analysis of Brownian and thermophoresis motion effects for Newtonian fluid flow over nonlinear stretching cylinder, *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101369.
- Shah, N.A., Wakif, A., Shah, R., Yook, S., Salah, B., Mahsud, Y. & Hussain, K. (2021). Effects of fractional derivative and heat source/sink on MHD free convection flow of nanofluids in a vertical cylinder: A generalized Fourier's law model, *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101518.



- Shahid, A., Bhatti, M.M., Ellahi, R. & Mekheimer, Kh.S. (2022). Numerical experiment to examine activation energy and bi-convection Carreau nanofluid flow on an upper paraboloid porous surface: Application in solar energy, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102029.
- Siddiqui, B.K., Batool, S., Hassan, Q.M. & Malik, M.Y. (2022). Repercussions of homogeneous and heterogeneous reactions of 3D flow of Cu-water and AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluid and entropy generation estimation along stretching cylinder, *Ain Shams Engineering Journal*, 13, 101493.
- Song, Y.Q., Hamid, A., Sun, T.C., Khan, M.I. & Chinram, R. (2022). Unsteady mixed convection flow of magnetoWilliamson nanofluid due to stretched cylinder with significant non-uniform heat source/sink features, *Alexandria Engineering Journal*, 61, 195–206.
- Sulaiman, M., Hammouti, A., Climent, E. & Wachs, A. (2019). Coupling the fictitious domain and sharp interface methods for the simulation of convective mass transfer around reactive particles: Towards a reactive Sherwood number correlation for dilute systems, *Chemical Engineering Science*, 198, 334–351.
- Sun, J., Guo, L., Jing, J., Tang, C., Lu, Y., Fu, J., Ullmann, A. & Brauner, N. (2021). Investigation on laminar pipe flow of a non-Newtonian Carreau-Extended fluid, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 205, 108915.
- Vafaei, M., Afrand, M., Sina, N., Kalbasi, R., Sourani, F. & Teimouri, H. (2017). Evaluation of thermal conductivity of MgO-MWCNTs/EG hybrid nanofluids based on experimental data by selecting optimal artificial neural networks, *Physica E*, 85, 90–96.
- Vaferi, B., Eslamloueyan, R. & Ayatollahi, S. (2011). Automatic recognition of oil reservoir models from well testing data by using multi-layer perceptron networks, *J. Petrol. Sci. Eng.*, 77, 254–262.
- Vaferi, B., Samimi, F., Pakgozar, E. & Mowla, D. (2014). Artificial neural network approach for prediction of thermal behavior of nanofluids flowing through circular tubes, *Powder Technol.*, 267, 1–10.