

# ANN: Prediction of Heat Transfer and Flow Characteristics of a Tube with Modified Twisted Tapes

Aslı Durmuşoğlu <sup>a,1</sup>, Sibel Güneş <sup>b</sup>, Emrah Özaşır <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Hakkari Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hakkari, 30000, Türkiye  
ORCID ID: 0000-0002-2797-1304

<sup>b</sup> Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 38000, Türkiye  
ORCID ID: 0000-0002-8962-3735

<sup>c</sup> Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 38000, Türkiye  
ORCID ID: 0000-0003-3780-7644

## Abstract

In this paper, we present an Artificial Neural Networks (ANNs) model which is prone to accurately estimate the friction factor and nusselt number of a tube with modified twisted tapes. Numerical analysis were realized using the tapes with six different rates of pitch length of twisted tape to inner diameter of tube ( $y/D=3, 4, 5$ ) in a range of Reynolds number 8000 to 24000 under uniform heat flux conditions. The ANN model was improved and validated using a databank containing numerical datasets. The backpropagation algorithm is recognized to be the most extensive learning method for ANN. This algorithm is used for training and testing of the network. The results of the ANNs were demonstrated superior performance to adapt the numerical datas. Value of the coefficient of multiple determination were obtained. The  $R^2$  values were found 0,9994 for nusselt number and 0,9995 for friction factor.

**Keywords:** “Heat transfer enhancement, fluid characteristics, ANN”

## 1. Giriş

Artan nüfus yoğunluğunu ve teknolojik gelişmeler ile birlikte tüketilen enerjinin miktarı artmış ve günümüz, insanları enerjiye daha bağımlı hale getirmiştir. Bununla birlikte enerjinin verimli kullanılmasına duyulan ihtiyaç kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Endüstrinin birçok alanında, ticari ve evsel uygulamaların birçoğunda enerjini dönüşümü, kullanımı ve geri kazanımı bir ısı değişim sürecini içerir. Bu süreç içerisinde ısı verim işletme maliyetleri düşürmek, enerji kazanımı sağlamak çevresel bozucu dış etkenleri düşürmek için ısı verim artırmak büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla bu durum ısı transferi iyileştirme konusunda yapılan çalışmaların artmasına sebep olmaktadır. Literatürdeki bazı çalışmalar aşağıda detaylandırılmıştır.

Enerjinin daha etkili ve verimli kullanılmasına, bugün için alternatif bir enerji kaynağı olarak yaklaşılmaktadır. Bu kapsamda endüstrinin her alanında kullanılan ısı değiştiricileri de, ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalarda enerji ekonomisi açısından dikkat çekmektedir. Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar, pasif ve aktif yöntemler olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır. Pasif iyileştirme yöntemlerinden dönmeli akış cihazları, genelde tek fazlı zorlanmış konveksiyona uygulansa da son yıllarda çift fazlı akışta da kullanılması için çalışmalar yapılmıştır. Bu cihazlara örnek olarak sargılı tüpler, vorteks üreticileri, kıvrılmış borular, bükülmüş şeritler verilebilir.

Zhang ve diğerleri [1], bir boru içerisine yerleştirilen helisel sarılmış şerit elemanların ısı transferi ve basınç düşümüne etkisini sayısal olarak incelenmiştir. Helisel şerit elemanlar dört farklı genişlikte ( $w=7.5$  mm, 12 mm, 15 mm ve 20 mm) olup, sayısal analizler debinin 200 l/h-500 l/h değer aralığında gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde net ısı transferi iyileşme oranının 1.58-2.35 arasında değiştiği görülmüştür. Gül ve Evin [2] yaptıkları çalışmada, dairesel kesitli bir borunun girişine kısa helisel şerit elemanlar yerleştirerek, girişte girdap akımı yaratmak suretiyle, ısı transferi ve sürtünme karakteristiklerini deneysel olarak çalışmışlardır. Deneylerde, toplam ısı akısı 160  $kg/m^2s$ -1628  $kg/m^2s$  arasında ve momentum oranı 0-8.6 arasında değişmiştir. Reynolds aralığı ise 5000-30000 olarak belirlenmiştir. 30°, 45° ve 60°'lik helis açılımları sahip üç farklı helisel şerit kullanılmıştır. Isı transferindeki artışın momentum oranı ve Reynolds sayısının bir fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Helis kanal sayısının ve helis açısının ısı transferi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Helisel şerit kullanımının ısı

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar. Tel.: +0-000-000-0000 ; fax: +0-000-000-0000 .

E-posta adresi: aslidurmusoglu@hakkari.edu.tr

transfer oranını sabit pompalama gücünde Reynolds sayısına ve momentum oranına bağlı olarak % 20'ye kadar artmasına yardımcı olduğu görülmüştür.

Murugesan ve diğerleri [3], bir boru içerisine içerisine bükülmüş kare kesitler olan kıvrılmış şerit eleman ile kesik olmayan kıvrılmış şerit elemanlar yerleştirilerek, ısı transferi iyileştirilmesi ve basınç düşümüne etkisini deneysel olarak incelemiştir. Akışkan olarak su kullanılmıştır. Çalışma aralığı Reynolds sayısı 2000 ile 12000 yapılmıştır. Sonuçlara göre net ısı transfer iyileştirmesinin kare kesitli olan şerit elemanların, kesik olmayan kıvrılmış şerit elemanlara göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Günes ve diğerleri [4], boş boru içerisine üçgen kesitli helisel sarılmış tellerin ısı transfer iyileştirmesi ve basınç düşümüne etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma boru cidarından ayrıklık mesafesine göre iki farklı mesafe, hatve oranlarına göre üç farklı hatve, uzunluk oranlarına göre iki farklı uzunluk oranı kullanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda 3858 Reynolds değerinde net iyileştirme oranı %36,5 elde edilmiştir. Kamali ve Binesh [5] ise yaptıkları çalışmada, kare kesitli bir kanalda ısı transfer iyileştirmesi ve sürtünmeyi sayısal olarak incelemek için farklı geometrilere sahip iç elemanlar ikili olarak kanala yerleştirmişlerdir. Üçgen, kare, yüksekliği akış yönünde artan yamuk ve yüksekliği akış yönünde azalan yamuk olmak üzere dört farklı geometri kullanılmıştır. Sonuçta yüksekliği akış yönünde azalan yamuğun diğerlerine göre daha iyi ısı transferi ve basınç düşümü sağladığı saptanmıştır.

Eiamsa-ard ve diğerleri [6], iç içe yerleştirilmiş iki tüp içerisine kalınlığı 1 mm ve uzunluğu 1500 mm olan paslanmaz şerit elemanlar yerleştirilerek deneysel çalışmalar yapmışlardır. Akışkan olarak soğuk ve sıcak su kullanılmıştır. Farklı hatveler ve farklı cidardan ayrıklıklarla yapılan deneyler sonucunda, hatveyle doğru orantılı olarak ısı transfer katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Sivashanmugan ve Nagarian [7] ise, dairesel bir tüp içerisine yerleştirilen sağ sol kıvrımlı helisel şerit elemanları kullanarak deneysel olarak ısı transferi ve sürtünme üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, sağ sol kıvrımlı helisel şerit elemanların ısı transferi iyileştirilmesi açısından düz sarımlı helisel elemanlara oranla daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Yapay sinir ağı (YSA), zaman alıcı ve yinelemeli bir çözümün kullanılmasını önlemek için, araştırmacılar tarafından giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu nedenle YSA ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ve enerji üretim sistemleri, güneş buhar jeneratörleri ve soğutma gibi çeşitli mühendislik uygulama alanlarında [8, 9, 10], kimyada [11] ve özellikle ısı eşanjörlerinde [12,13] yaygın olarak kullanılmaktadır.

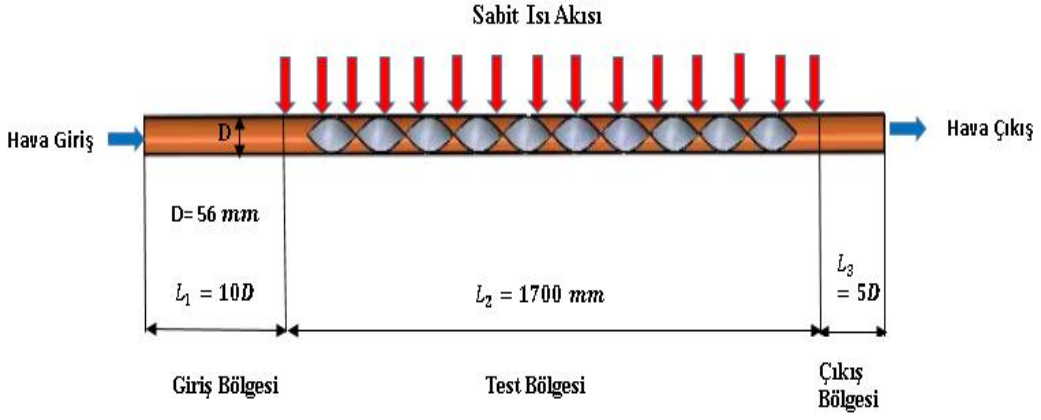
Verma ve arkadaşları [14] yaptıkları çalışmada, ısı değiştiricilerinde oluklu ve oluksuz borular kullanarak, ısı transferini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Reynolds sayısının 5000 ile 17000 aralığı ve kütle akış hızının 0,03 ile 0,13 kg/s aralığı için ısı transfer katsayısı ve nusselt sayısının değerleri elde edilmiştir. Yazarlar ayrıca ısı transfer katsayısını, Nusselt sayısını ve Reynolds sayısını tahmin etmek için bir YSA modeli oluşturmuşlardır.  $R^2$  değeri Nusselt sayısı, Reynolds sayısı ve ısı transfer katsayısı için sırasıyla 0,99999, 0,999997 ve 0,999993 olarak bulunmuştur. Hojjat [15] ise bir borulu ısı eşanjöründe soğutucu olarak kullanılan iki tip nano sıvının termal ve hidrodinamik davranışını tahmin etmek için bir yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. YSA modelinin girdileri, nano parçacık hacim konsantrasyonu, Reynolds sayısı, nano parçacık termal iletkenlik ve Prandtl sayısıdır. Sonuçlar, YSA modelinin deneysel verileri çok yüksek doğrulukla tahmin ettiğini göstermektedir.

Bu çalışmada, ısı transferini iyileştirmek amacıyla Reynolds sayısının 8000 ile 24000 aralığında üç farklı hatve oranı ( $y/D=3, 4, 5$ ) kullanılarak ve 6 farklı konfigürasyon oluşturularak nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, elde edilen Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü değerlerinin gerçek zamanlı tahmininde kullanmak üzere bir YSA modeli oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar nümerik verilerle doğrulanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

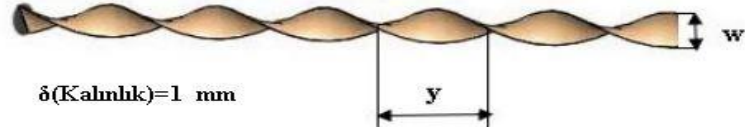
### 2.1. İçerisine Modifiyeli Şerit Eleman Yerleştirilmiş Boru Modeli

Yapılan çalışmada katı modelleme programı vasıtasıyla dairesel bir boru ve boru iç yüzeyine bitişik olarak farklı hatvelere sahip ve kademeli olarak hatve oranları değişen helisel olarak bükülmüş şeritler yerleştirilmiş şekilde tasarlanmıştır. İçerisindeki akışkan türü hava olan ve giriş sıcaklığı 22 °C olan dışardan sabit ısı akısı kullanılarak  $q=1000 \text{ W/m}^2$  ısıyı koruyan borunun ısı geçişi basınç düşümü ve boru yüzeyindeki termal gerilmeler incelenmiştir. Çalışmada kullanılan boru uzunluğu 2540 mm, boru iç çapı 56 mm'dir. Çalışmanın test alanı ise 1700 mm'dir. Akışın gelişmesini tam olarak sağlayabilmesi için giriş kısmında 10D'lik bir giriş bölgesi, akış vektörlerinin dik bir şekilde çıkabilmesi için ise 5D'lik bir çıkış bölgesi tanımlanmıştır. Çalışma Re 8000-24000 aralığında yapılmıştır. Şekil 1' de sayısal modellemede kullanılan iç eleman yerleştirilmiş dairesel borunun şematik gösterimi verilmiştir.

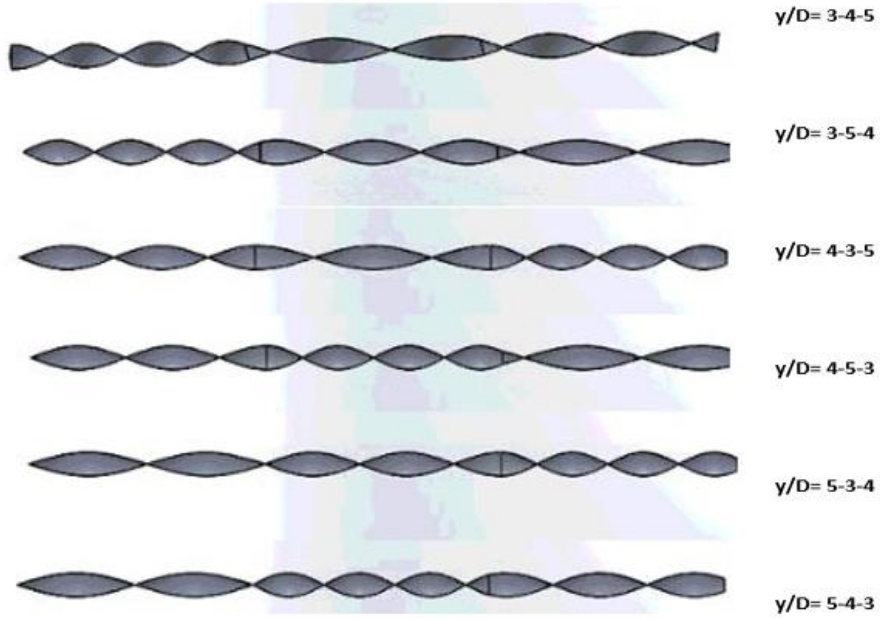


Şekil 1. Sayısal modellemede kullanılan iç eleman yerleştirilmiş dairesel boru

Sayısal modellemede boru içerisine yerleştirilmiş şerit eleman şekil 2’ de gösterilmiştir. Üç farklı hatve oranı ( $y/D = 3, 4, 5$ ) kullanılarak oluşturulan 6 farklı iç eleman konfigürasyonu ise şekil 3’ de verilmiştir.



Şekil 2. Boru İçerisine Yerleştirilmiş Şerit Eleman



Şekil 3. Boru İçerisine Yerleştirilmiş İç Eleman Konfigürasyonu

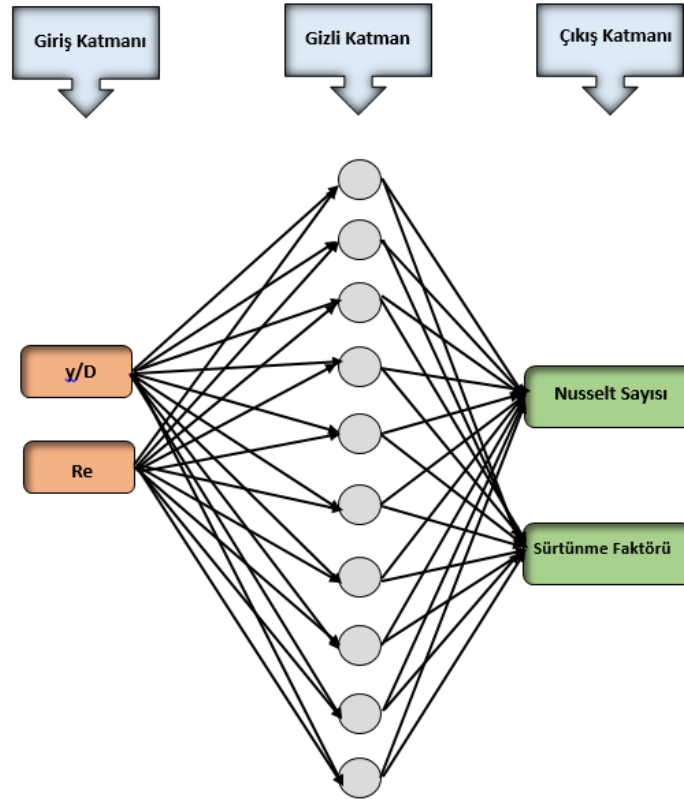
Sayısal analiz sırasında kullanılan sınır şartları ise Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Sınır Şartları

Parametreler	Boyut
Boş Boru	2540 mm
Test Bölgesi	1700 mm
Giriş Bölgesi	560 mm
Çıkış Bölgesi	280 mm
Cidar kalınlığı	1 mm
Boru İç Çapı	56 mm
Sabit Isı Akısı	1000 W/m <sup>2</sup>
Akışkan Giriş Sıcaklığı	22°C
Malzeme Çeşitleri	Cu
Model-1	y/D=3
Model-2	y/D=4
Model-3	y/D=5
Re aralığı	8000-24000

## 2.2. Yapay Sinir Ağı Modeli

Son yıllarda, yapay sinir ağı, mühendislik, tıp, işletme ve siber güvenlik vb. gibi tanımlanamayan doğrusal- doğrusal olmayan problemleri çözmek için modern araştırmacılar arasında oldukça popüler hale gelmiştir [16]. Şekil 4' de YSA' nın ağ mimarisi gösterilmiştir. Bu mimari gizli katmanlardaki düğümlerden, ağ bağlantılarından, başlangıç ağırlık ayarlarından ve etkinleştirme işlevlerinin seçiminden oluşur ve YSA'nın modellenmesinde çok önemli bir rol oynar [17].



Şekil 4. YSA Ağ Yapısı

Burada giriş sinyallerinin uygulandığı katmana giriş katmanı, çıkış sinyal cevabının alındığı katmana ise çıkış katmanı denir. Mevcut çalışmada giriş katmanında iki lineer hücre, gizli ve çıkış katmanlarında ise sırasıyla on ve iki nonlineer hücre

kullanılmıştır. YSA modeli için elde edilen verilerin %70'i eğitim, %30'u ise test aşaması için kullanılmıştır. YSA'nın kararlı yapısı için test amacıyla kullanılan veriler ağıın eğitimi aşamasında kullanılmamıştır. Öğrenme oranı 0.1 ve iterasyon sayısı 1.000.000 'dur. Giriş değerleri, hatve oranı ( $y/D$ ) ve Reynolds sayısıdır. Çıkış değerleri ise Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü ( $f$ ) ' dir.

Uygulamalarda en yaygın ve en çok kullanılmış öğretilme algoritmasıdır. Anlaşılması kolay ve matematiksel olarak kolayca ispatlanabilir olmasından dolayı en çok tercih edilen öğretilme algoritmasıdır. Bu algoritma, hataları çıkıştan girişe, geriye doğru azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Momentum geri yayılım algoritması, eğim azalan ve MLP' leri eğitmede en fazla kullanılan temel bir öğretilme algoritmasıdır. Bu algoritma ile  $i$  ve  $j$  kat işlem elemanları arasındaki ağırlıklardaki  $\Delta w_{ji}(t)$  değışikliğı hesaplanır. Bu ifade,

$$\Delta w_{ji}(t) = \eta \delta_j x_i + \alpha \Delta w_{ji}(t-1) \quad (1)$$

olarak verilir. Eşitlik (1)' de  $\eta$  öğretilme katsayısı,  $\alpha$  momentum katsayısı ve  $\delta_j$  ara veya çıkış katmanındaki herhangi bir  $j$  nöronuna ait bir faktördür. Çıkış katı için bu faktör aşağıdaki şekilde verilir;

$$\delta_j = \frac{\partial f}{\partial net_j} (y_j^t - y_j) \quad (2)$$

Burada,

$$net_j = \sum x_j w_{ji} \quad (3)$$

ve  $y_j^t$  ise  $j$  işlemci elemanın hedef çıkışıdır. Ara katlardaki nöronlar için ise bu faktör,

$$\delta_j = \left( \frac{\partial f}{\partial net_j} \right) \sum w_{qi} \delta_q \quad (4)$$

olarak verilir.

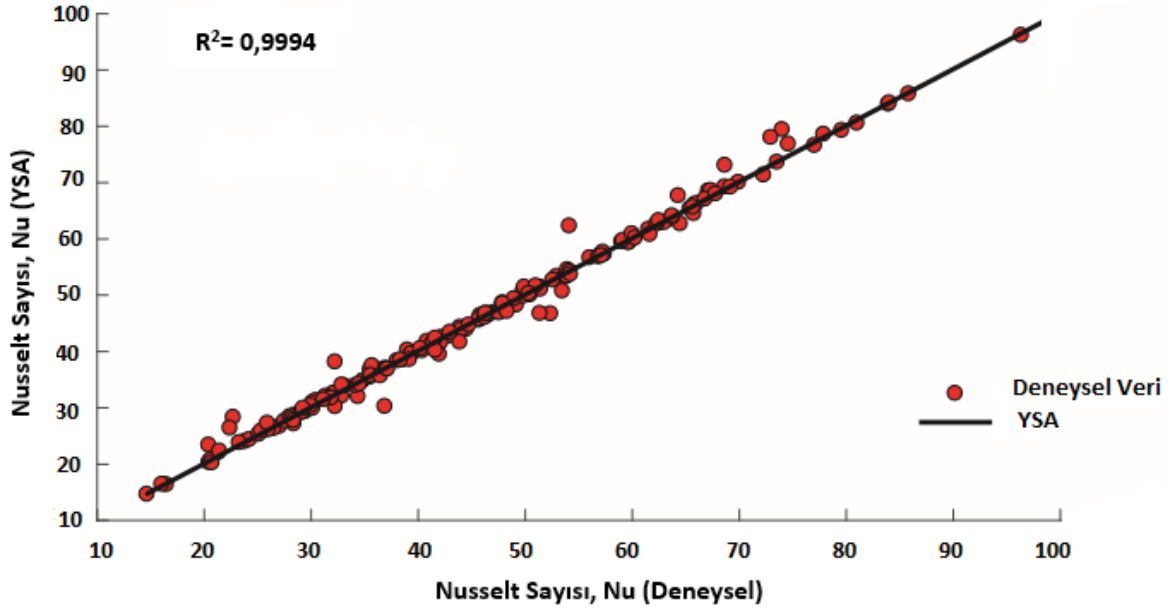
Ara katlardaki nöronlar için herhangi bir hedef çıkış olmadığından, eşitlik (2) yerine eşitlik (4) kullanılır. Bu duruma bağlı olarak çıkış katmanından başlayarak  $\delta_j$  faktörü, bütün katlardaki nöronlar için hesaplanır. Daha sonra eşitlik (1)' deki formüle bağlı olarak, bütün bağlantılar için ağırlıkların güncelleştirilmesi gerçekleştirilir.

Aktivasyon fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiyeye karşılık üreteceğı çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. Yapay sinir ağlarının bir özelliğı olan "doğrusal olmama" aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmama özelliğinden gelmektedir. Aktivasyon fonksiyonu seçilirken dikkat edilmesi gereken bir diğere nokta ise fonksiyonun türevinin kolay hesaplanabilir olmasıdır. Geri beslemeli ağlarda aktivasyon fonksiyonunun türevi de kullanıldığı için hesaplamaların yavaşlamaması için türevi kolay hesaplanır bir fonksiyon seçilir. Bu çalışmadaki ağ yapısı için aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

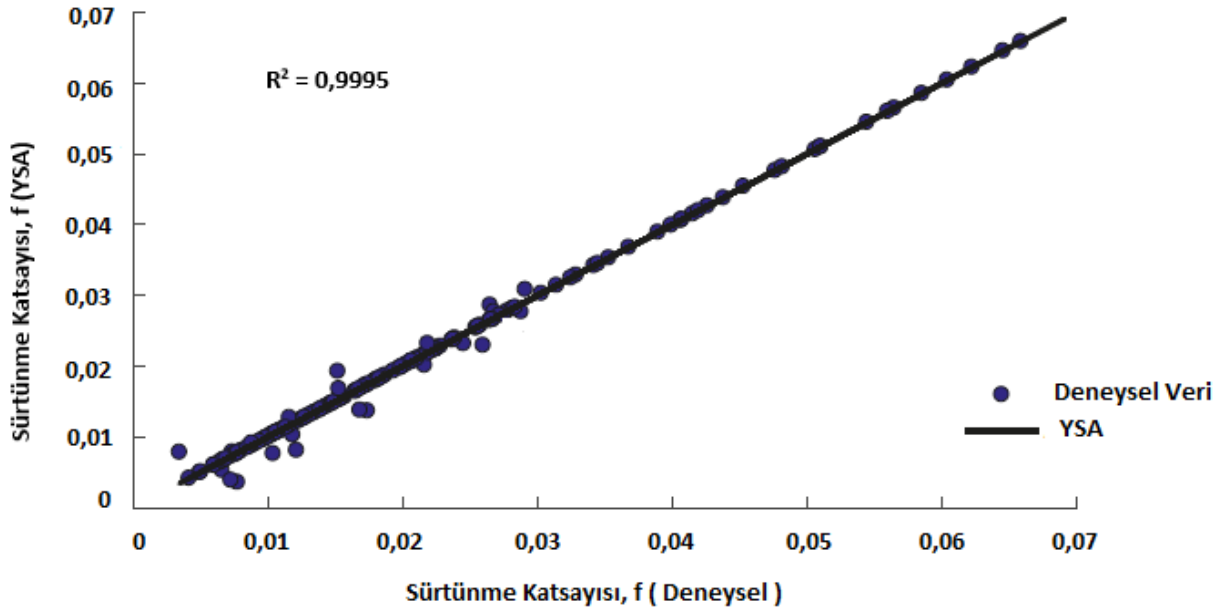
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (5)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

İçerisine modifiyeli şerit elemanlar yerleştirilmiş borudaki ısı transferi ve akış karakteristiklerinin, sayısal modelleme sonucunda elde edilen değerleri ile bir veri seti oluşturularak YSA ağ modeli eğitilmiştir. Bunun sonucu olarak, Nusselt sayısının ve sürtünme faktörünün sayısal verileri ile YSA çıkış değerlerinin karşılaştırılması şekil 5 ve 6' da verilmiştir. Ağıın eğitilmesi sonucunda deneysel veriler ile YSA çıkış değerleri arasında büyük oranda uygunluk sağlanmıştır. YSA ağ modelinin öngördüğü değerler ile deneysel veriler arasında hata oranı nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için sırasıyla  $R^2=0,9994$  ve  $R^2=0,9995$  ' dir.

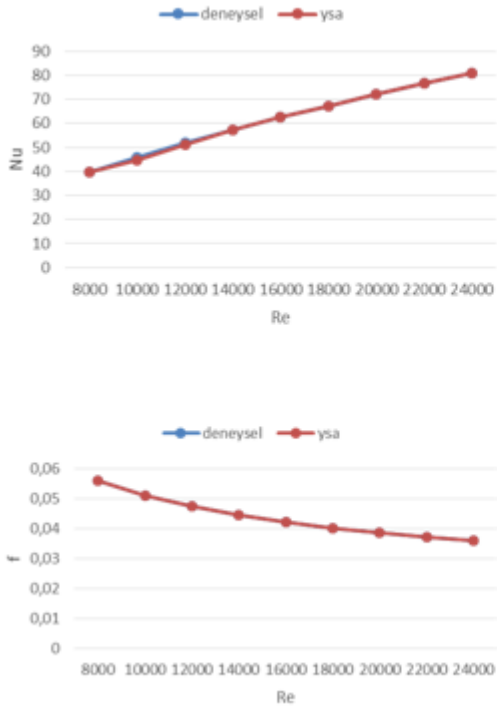


Şekil 5. Nusselt Sayısı için YSA ve Hedef Çıktıların Karşılaştırılması

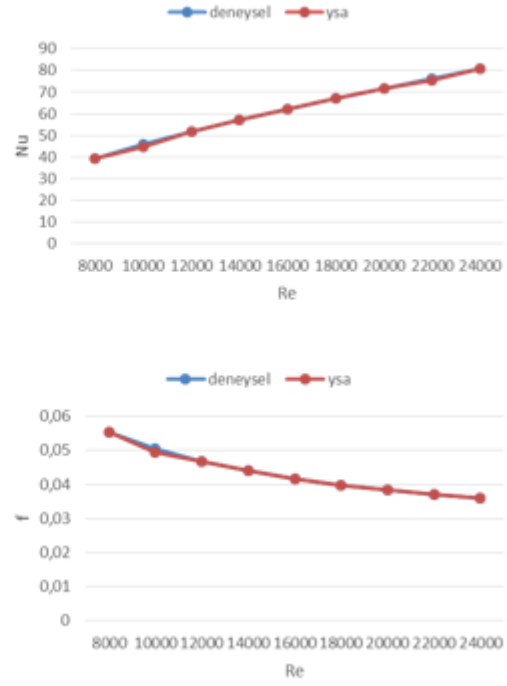


Şekil 6. Sürtünme Faktörü için YSA ve Hedef Çıktıların Karşılaştırılması

(a)

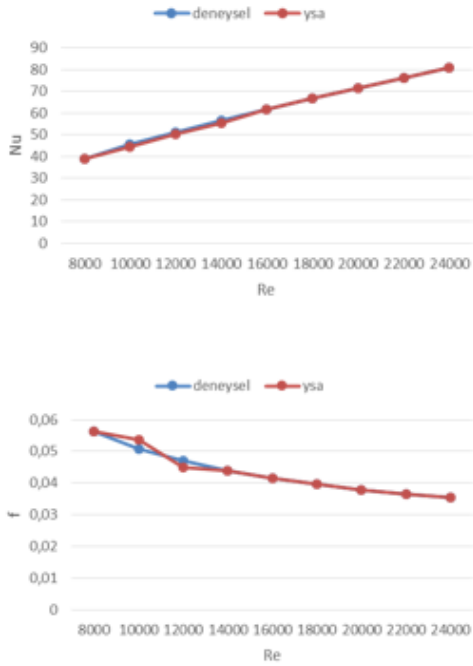


(b)

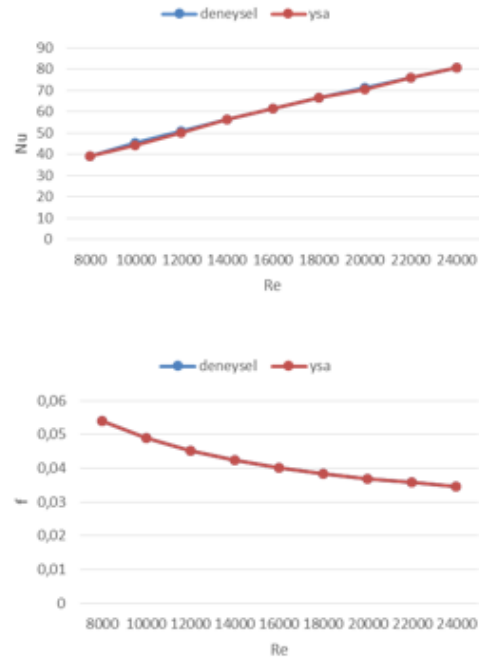


Şekil 7. (a)  $y/D=3-4-5$  Konfigürasyonu; (b)  $y/D=3-5-4$  Konfigürasyonu için YSA ve Deneysel Sonuç Karşılaştırması

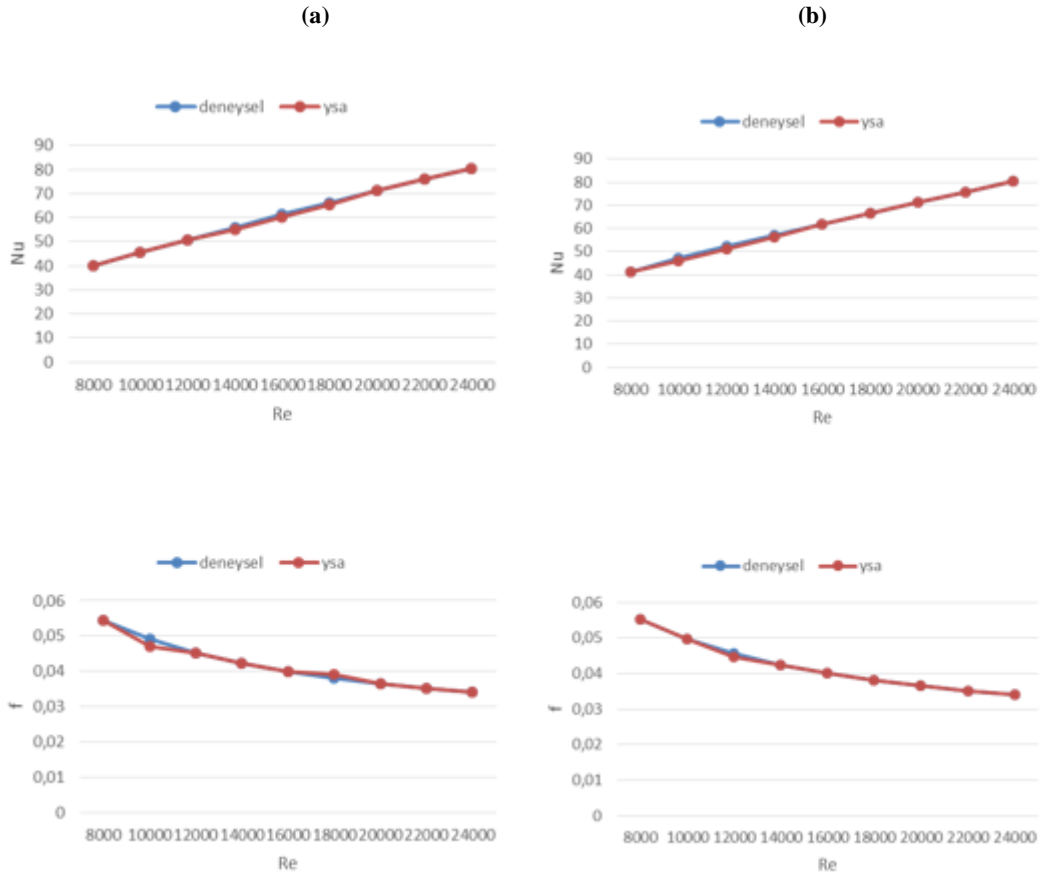
(a)



(b)



Şekil 8. (a)  $y/D=4-3-5$  Konfigürasyonu; (b)  $y/D=4-5-3$  Konfigürasyonu için YSA ve Deneysel Sonuç Karşılaştırması



Şekil 9. (a)  $y/D=5-3-4$  Konfigürasyonu; (b)  $y/D=5-4-3$  Konfigürasyonu için YSA ve Deneysel Sonuç Karşılaştırması

Şekil 7, 8 ve 9’ da ise 6 farklı çap konfigürasyonu için, Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün Reynolds sayısına göre değişimleri ve YSA çıkış değerlerinin hedeflenen değerler ile arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafikler değerlendirildiğinde YSA çıkış değerlerinin hedef değerleri yakalamadaki kabiliyetinin yüksek olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Sunulan çalışmada dış yüzeyine sabit ısı akısı uygulanan, dairesel bir boru içerisine cidara bitişik bir şekilde helisel olarak bükülmüş, üç farklı hatve oranına sahip ( $y/D=3, 4, 5$ ) elemanların 6 farklı konfigürasyonda yerleştirildiği ve 8000-24000 Reynolds sayısı aralığında sayısal olarak çözümlenen, helisel iç elemanların ısı transferi basınç düşümüne olan etkileri incelenmiş ve elde edilen veriler yapay sinir ağları kullanılarak analiz edilmiştir. YSA analizleri, en sık kullanılan algoritmaların başında gelen geri yayılım algoritması kullanılarak gerçekleştirildi. Ağ modeli, nümerik veri setlerini içeren bir veri bankası ile eğitildi ve test edildi. Çoklu belirlenme katsayısının değeri  $R^2$ , Nusselt sayısı için 0,9994 ve sürtünme faktörü için 0,9995 olarak elde edildi. YSA simülasyonundan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, geri yayılım algoritması için elde edilen sonuçların, büyük oranda nümerik analiz sonuçlarıyla aynı davranışı göstermedeki kabiliyeti, bu algoritmanın helisel olarak bükülmüş eleman yerleştirilmiş boru içerisindeki Nusselt sayısı ve  $f$  sürtünme faktörü değişimlerinin gerçek zamanlı tahmininde kullanılabilceğini ispatlamakta ve göstermektedir.

#### Referanslar

- [1] X. Zhang, Z. Liu and W. Liu, “Numerical studies on heat transfer and friction factor characteristics of a tube fitted with helical screw-tape without core-rod inserts,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 60, pp.490-498, 2013.
- [2] H. Gül and D. Evin, “Heat Transfer Enhancement in a Circular Tubes Using Helical Swirl Generator Insert at the Entrance,” *International Journal of Thermal Sciences*, vol.46, pp. 1297-1303, 2007.
- [3] P. Murugesan, K. Mayilsamy and S. Suresh, “Turbulent Heat Transfer and Pressure Drop in Tube Fitted with Square-cut Twisted Tape,” *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 18, no. 4, pp. 609-617, 2010.



- [4] S. Güneş, V. Özceyhan and O. Büyükalaca, "Heat transfer enhancement in a tube with equilateral triangle cross sectioned coiled wire inserts," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 34, no. 6, pp. 684-691, 2010.
- [5] R. Kamali, and A. R. Binesh, "The Importance of Rib Shape Effects on the Local Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of Square Ducts with Ribbed Internal Surfaces," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 35, no. 8, pp. 1032-1040, 2008.
- [6] S. Eimsa-ard, P. Nivesrangsan, S. Chokphoemphun and P. Promvong, "Influence of combined non-uniform wire coil and twisted tape inserts on thermal performance characteristics," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, no. 7, pp. 850-856, 2010.
- [7] P. Sivashanmugam and P. K. Nagarajan, "Studies on Heat Transfer and Friction Factor Characteristics of Laminar Flow Through a Circular Tube Fitted with Right And Left Helical Screw-Tape Inserts," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 32, pp. 192-197, 2007.
- [8] Kalogirou, S.A., "Applications of artificial neural networks for energy systems", *Applied Energy*, vol. 67, pp. 17-35, 2000.
- [9] S. Kmet, P. Sincak, P. Stehlik, "Artificial neural network for creep behavior predictions of a parallel-lay aramid rope under varying stresses", *Int. J. Exp. Mech.*, vol. 47, pp. 121-128, 2011.
- [10] S.P. Kyung, H.K. Soung, "Artificial intelligence approaches to determination of CNC machining parameters in manufacturing: a review", *Artif. Intell. Eng.*, vol. 12, pp. 121-134, 1998.
- [11] K.W. Chau, "A review on integration of artificial intelligence into water quality modelling", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 52, pp. 726-733, 2006.
- [12] S. Sanaye, H. Hajabdollahi, "Thermal-economic multi-objective optimization of plate fin heat exchanger using genetic algorithm", *Appl. Energy*, vol. 87, pp. 1893-1902, 2010.
- [13] K. Varshney, P.K. Panigrahi, "Artificial neural network control of a heat exchanger in a closed flow air circuit", *Appl. Soft Comput.*, vol. 5, pp. 441-465, 2005.
- [14] T.N. Verma, P. Nashine, D. V. Singh, S. Singh and D. Panwar, "ANN: Prediction of an experimental heat transfer analysis of concentric tube heat exchanger with corrugated inner tubes," *Applied Thermal Engineering*, vol. 120, pp. 219-227, 2017.
- [15] M. Hojjat, "Nanofluids as coolant in a shell and tube heat exchanger: ANN modeling and multi-objective optimization," *Applied Mathematics and Computation*, vol 365, issue C,1-15, 2020.
- [16] M. Luy, U. Saray, "Wind speed estimation for missing wind data with three different backpropagation algorithms," *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, vol. 30, no. 1, pp. 45-54, 2012.
- [17] Göçmen, E , Derse, O . "Forecasting of Electricity Generation Shares by Fossil Fuels Using Artificial Neural Network and Regression Analysis in Turkey," *International Scientific and Vocational Studies Journal* , 2 (2), 20-30, 2018.