



IJEASED

INTERNATIONAL JOURNAL OF EASTERN ANATOLIA
SCIENCE ENGINEERING AND DESIGN

Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi
ISSN: 2667-8764 , 1(2), 246-259 , 2019
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijeased>






Araştırma Makalesi / *Research Article*

İçerisine Delikli Şerit Eleman Yerleştirilen Borudaki Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin YSA ile Tahmini

Aslı DURMUŞOĞLU ^{1*}, Sibel GÜNEŞ ², Ersin KARAKAYA ²

¹ Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hakkari, 30000, Türkiye.

² Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri, 38000, Türkiye.

Yazar Kimliği / <i>Author ID (ORCID Number)</i>	Makale Süreci / <i>Article Process</i>
*Sorumlu Yazar / <i>Corresponding author</i> : asli@erciyes.edu.tr  https://orcid.org/0000-0002-2797-1304 , A.Durmuşoğlu  https://orcid.org/0000-0002-8962-3735 , S. Güneş  https://orcid.org/0000-0002-9028-4136 , E. Karakaya	Geliş Tarihi / <i>Received Date</i> : 28.10.2019 Revizyon Tarihi / <i>Revision Date</i> : 19.11.2019 Kabul Tarihi / <i>Accepted Date</i> : 09.12.2019 Yayın Tarihi / <i>Published Date</i> : 15.12.2019
Alıntı / <i>Cite</i> : Durmuşoğlu, A., Güneş, S., Karakaya, E. (2019). İçerisine Delikli Şerit Eleman Yerleştirilen Borudaki Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin YSA ile Tahmini, Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 1(2), 246-259.	

Özet

Bu çalışmada, delikli bükülmüş şerit elemanın sürtünme faktörünü ve Nusselt sayısını doğru şekilde tahmin etmeye eğilimli bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli sunulmuştur. Deneysel testler, üniform ısı akışı koşullarında Reynolds sayısının 4860 ile 24,130 aralığında, 3 farklı hatve oranı ($y/D=2, 2.5, 3$), 2 farklı genişlik oranı ($W/D= 0.9285, 0.9642$) ve 3 farklı delik çapı oranı ($d/D= 0.0714, 0.107, 0.143$) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YSA modeli, deneysel veri setleri içeren bir veri bankası kullanılarak geliştirilip doğrulanmıştır. YSA için en kapsamlı öğrenme algoritması olan geri yayılım algoritması, ağı eğitimi ve test edilmesi için kullanılmıştır. YSA sonuçlarının deneysel veriler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Çoklu belirleme katsayısının değeri R^2 , Nusselt sayısı için 0,9992 ve sürtünme faktörü için 0,9995 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı transferi iyileştirme, Akışkan özellikleri, YSA.

ANN: Prediction of Heat Transfer and Fluid Characteristics of A Tube With Loose-Fit Perforated Twisted Tapes

Abstract

In this paper, we present an Artificial Neural Networks (ANNs) model which is prone to accurately predict the friction factor and Nusselt number of a tube with loose-fit perforated twisted tapes. Experimental tests were realized using the

tapes with three different rates of pitch length of twisted tape to inner diameter of tube ($y/D=2, 2.5, 3$), two different twisted tape width rates ($W/D=0.9285, 0.9642$) and three different rates of hole to inner diameter ($d/D=0.0714, 0.107, 0.143$) in a range of Reynolds number 4860 to 24,130 under uniform heat flux conditions. The ANN model was improved and validated using a databank containing experimental datasets. The back propagation algorithm, which is the best training algorithm, is recognized to be the most extensive learning method for ANN. This algorithm is used for training and testing of the network. The ANNs results were found to good compliance with the experimental data. Value of the coefficient of multiple determination were obtained. The R^2 values are 0,9992 for Nusselt number and 0,9995 for friction factor.

Keywords: Heat transfer enhancement, Fluid characteristics, ANN.

1. Giriş

İlerleyen teknolojiyle beraber büyük gelişme kaydeden ısı sistemler, ısı transferi iyileştirmesi konusundaki çalışmaların artmasına sebep olmuştur. Enerjinin daha verimli kullanılması da artık yeni bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Endüstride oldukça yaygın kullanılan ısı değıştiricileri ile birlikte ısı transferi önem kazanmakta ve bu da ısı transferi iyileştirme konusunda yapılan çalışmaların artmasına sebep olmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü seviyesinin artırılması, kanatçıklar veya kanat görevi yapan elemanların kullanılması, türbülatorlerin kullanılması ve oyuk yüzeylerin kullanılması ile ısı transferi iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Bunların yanı sıra, literatürde şerit elemanlarla yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Chang ve diğerleri (Chang ve ark., 2007), dairesel bir boru içersine kare kesitli elemanlar ve farklı sargı oranlarına sahip elemanlar yerleştirek, Reynolds sayısının 5000-25000 aralığında çalışmalar yapmışlardır. Sonuç olarak ısı transferi oranının, kıvrımlı şerit elemanlarda, düz elemanlara göre 1.25-1.67 daha fazla olduğu görülmüştür. Bir borunun girişine kısa helisel şerit elemanlar yerleştirek yaptıkları çalışmada, Gül ve Evin (Gül ve Evin, 2007), ısı transferi oranının arttığını gözlemlemişlerdir. Reynolds sayısını azalması ve momentum oranının artması da net iyileştirmeyi artırmıştır. Bununla birlikte ısı transferine, helisel kanalların sayısı ve helis açılarının belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Sivashanmugan ve Nagarian (Sivashanmugan ve Nagarajan, 2007), dairesel bir tüp içersine kıvrımlı helisel şerit elemanlar yerleştirek, bunun ısı transferi ve sürtünme üzerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, kıvrımlı helisel şerit elemanların, ısı transferi iyileştirilmesi açısından düz sarımlı helisel elemanlara oranla daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Eiamsa-ard, Thianpong ve Promvonge (Eiamsa-ard ve ark.,2006), iç içe yerleştirilmiş iki tüp içersine kalınlığı 1 mm ve uzunluğu 1500 mm olan paslanmaz şerit elemanlar yerleştirek deneysel çalışmalar yapmışlardır. Akışkan olarak soğuk ve sıcak su kullanılmıştır. Farklı hatveler ve farklı cidar mesafeleri kullanılarak yapılan deneyler sonucunda, hatveyle doğru orantılı olarak ısı transfer

katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Boru içerisine ters yönlerde bükülmüş şerit elemanlar yerleştirilerek etkilerini deneysel olarak inceleyen Eiamsa-ard ve Promvonge (Eiamsa-ard ve Promvonge, 2010), 3 farklı kıvrım açısı ($\theta = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) ve 3 farklı kıvrım oranı (3, 4, 5) olmak üzere 9 farklı şerit eleman kullanarak, Reynolds sayısının 3000-27000 aralığında deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, kullanılan şerit elemanların, tipik kıvrılmış şerit elemanlardan daha yüksek ısı transfer oranı, sürtünme faktörü ve ısı transferi iyileştirmesi sağladığı görülmüştür. Ayrıca ısı transfer oranının, kıvrılma oranının azalması ve kıvrılma açısının artmasıyla da arttığı gözlemlenmiştir. Nusselt sayılarında da tipik kıvrılmış şerit elemanlara oranla artış kaydedilmiştir. Promvonge (Promvonge, 2008), bükülmüş tel elemanlar içine geçirilmiş bükülmüş şerit elemanlar kullanarak deneyler yapmıştır. Akışkan olarak havanın kullanıldığı deneyler Reynolds sayısı 3000-18000 aralığında yapılmıştır. Boş tüple karşılaştırıldığında tel elemanlar ve şerit elemanların kullanıldığı deneylerde ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber küçük kıvrılma oranlarında sağlanan iyileştirmenin büyük kıvrılma oranlarından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Wongcharee ve Eiamsa-ard (Wongcharee ve Eiamsa-ard, 2011), üzerine dikdörtgen, üçgen ve yamuk şeklinde kanatlar açılmış kıvrımlı şerit elemanları boru içerisine yerleştirilerek deneyler yapmışlardır. Deneyler 3 farklı kanat giriş oranına (0.1, 0.2, 0.3) sahip elemanlarla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, yapılan deneylerde, ısı transfer oranı ve sürtünme faktörünün, kanat açılmamış durumlara göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bununla beraber, en yüksek iyileştirmenin de yamuk kanatlı şerit elemanlarla sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Verma ve arkadaşları (Verma ve ark., 2017) 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 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 (Hojjat, 2019) ise bir borulu ısı değiştiricisinde 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. Türk ve arkadaşları (Türk ve ark., 2013), plakalı ısı değiştiricilerinin termal ve hidrolik özelliklerini bir YSA modeli ile tahmin etmişlerdir. Çeşitli plakalı ısı değiştiricileri üzerinde deneyler yapılarak, plakaların her biri için plakaya özel Nusselt

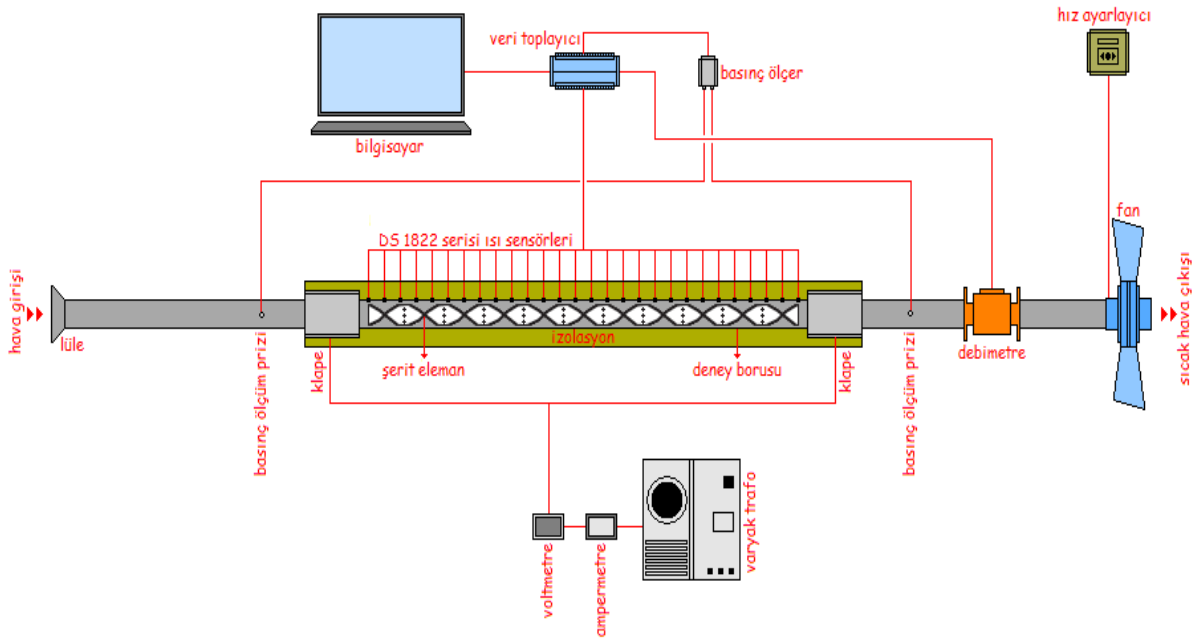
sayısı ve basınç düşümü korelasyonları geliştirilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen veriler kullanılarak yapay sinir ağları eğitilmiş ve özellik tahmini için kullanılmıştır.

Bu çalışmada, ısı transferini iyileştirmek amacıyla 2 farklı şerit eleman genişliği, 3 farklı delik çapı oranı ve 3 farklı kırım uzunluğu olmak üzere 18 farklı elemanla Reynolds sayısının 4860-24130 aralığında gerçekleştirilen deneyler sonucunda, elde edilen Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü değerlerinin gerçek zamanlı tahmininde kullanmak üzere bir YSA modeli oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle doğrulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deney Düzenegi

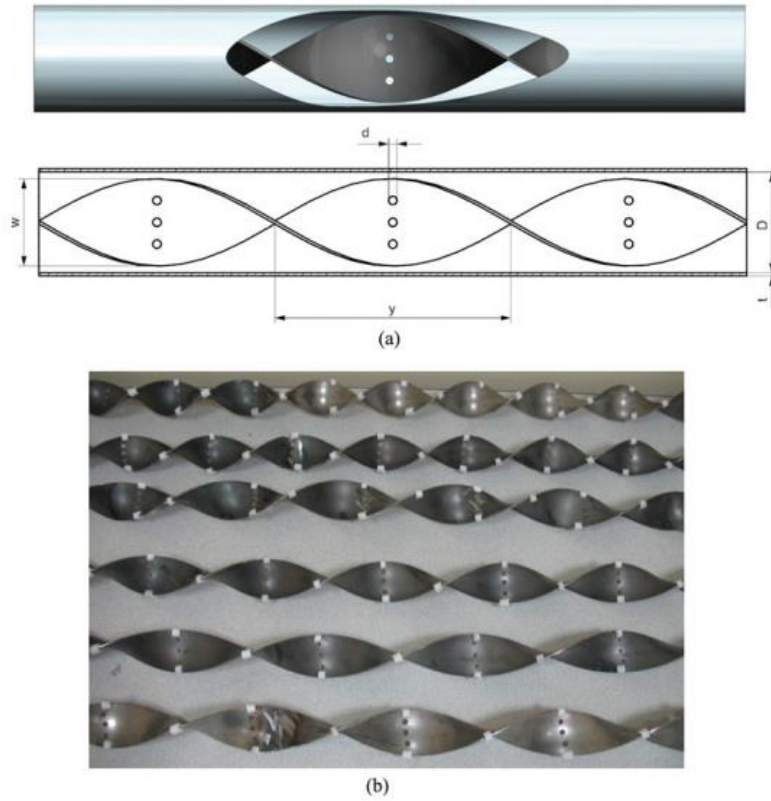
Deney borusu, fan, varyak trafo, lüle, debi ölçüm cihazı, basınç ölçüm cihazı, veri toplayıcı, hız ayarlayıcı ve bilgisayar deney düzenegini oluşturan elemanlardır. Şekil 1’ de görülen deney düzeneginde 2 adet 6 metre boyunda boru kullanılmıştır. Borular 304 SS kalite olup, cidar kalınlıkları 2 mm ve iç çapları 56 mm dir. İlk boru akışın gelişmesi için kullanılırken, ikinci boru değerlerin ölçülmesi için kullanılır. Boru ucundaki lüle akışın düzgün oluşmasını sağlar



Şekil 1. Deney Düzenegi

2.2. Boru İçerisine Yerleştirilen Şerit Elemanlar

Bu çalışmada Şekil 2' de görülen delikli şerit elemanlar boru içerisine yerleştirilmiştir. Şeritler 2 farklı genişlikte (w), 3 farklı kıvrım oranı (y/D) ve 3 farklı delik çapı oranı (d/D) olmak üzere toplamda 18 adet üretilmiştir. Bu şerit elemanlar boru içerisine yerleştirilerek ısı transferi, basınç düşümü ve net iyileşme üzerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

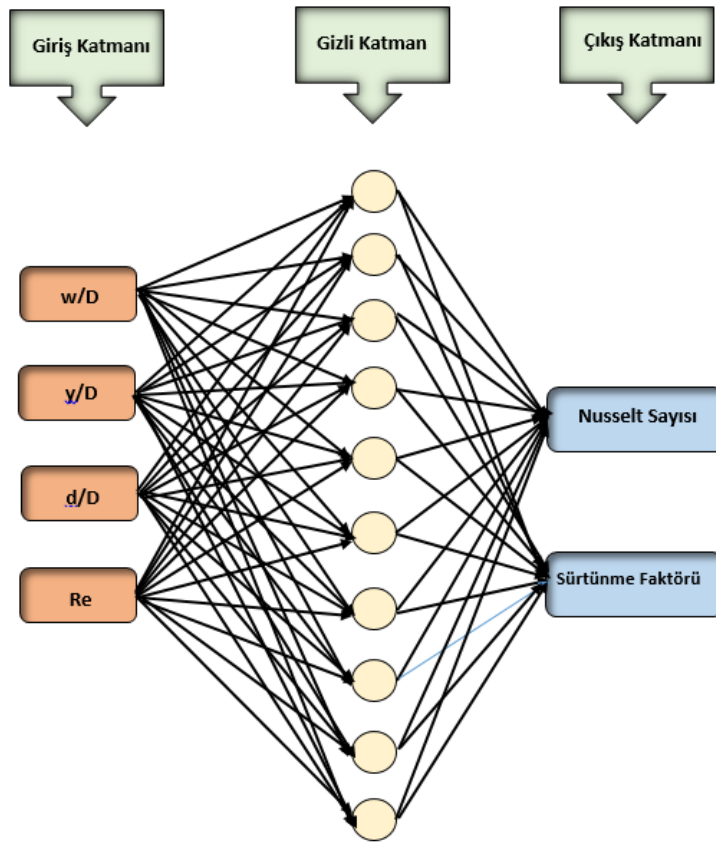


Şekil 2. Farklı çaplardaki deliklere sahip şerit elemanlar ve boru içerisindeki görünüşü

Şerit elemanlar önce 1 metre olarak üretilip, daha sonra 3 metre olacak şekilde birleştirilmiştir. Kaynak yerleri silinerek, delikler delinmiştir. Elemanlar 3 farklı kıvrım oranına (112 mm, 140 mm, 168 mm) ve 2 farklı şerit genişliğine (52 mm, 54 mm) göre üretilmiştir. Delikler ise 4 mm, 6 mm ve 8 mm olmak üzere 3 farklı çapta delinmiştir. Deneyler, farklı debilerde ve farklı ısı akılarında gerçekleştirilmiştir. 5 saniyede bir veri toplama sistemi yardımıyla veri alınıp depolanmıştır. Kaydedilen verilerin zamanla değişim grafiği çizilerek, sistemin rejime ulaşp ulaşmadığına karar verilmiştir. Her eleman için farklı debilerde 8 deney yapılmıştır. Elde edilen ortalama değerler Fortran dilinde yazılmış olan programla işlenmiş ve elde edilen sonuçlar grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir.

2.3. Yapay Sinir Ağları 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. Şekil 3’ 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.



Şekil 3. YSA Ağ Yapısı

Burada giriş sinyallerinin uygulandığı katmana giriş katmanı, çıkış sinyal cevabının alındığı katmana ise çıkış katmanı denir. Mevcut çalışmada giriş katmanında 4 lineer hücre, gizli ve çıkış katmanlarında ise sırasıyla 10 ve 2 nonlineer hücre kullanılmıştır. Ağın eğitilmesi için elde edilen verilerin %70’i, test aşaması için ise %30’u kullanılmıştır. YSA’ nın kararlı yapısı için test amacıyla kullanılan veriler ağın eğitimi aşamasında kullanılmamıştır. Öğrenme oranı 0.1 ve iterasyon sayısı 1.000.000 ‘dur. Giriş değerleri, hatve oranı (y/D), genişlik oranı (w/D), delik çapı oranı (d/D) ve Reynolds sayısıdır. Çıkış değerleri ise Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü (f) ‘ dir.

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

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

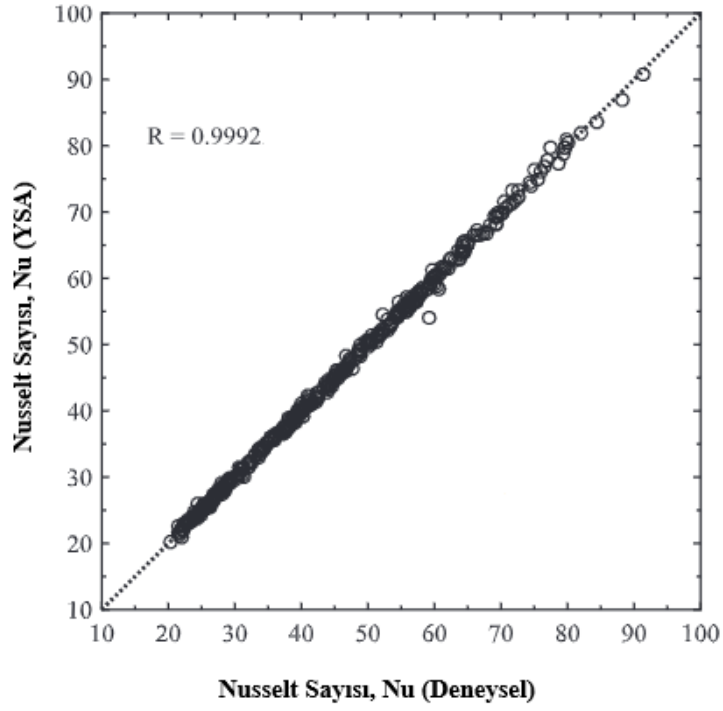
ve y_j^t ise j işlemci elemanın hedef çıkışıdır. Ara katlardaki nöronlar için ise bu faktör,

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

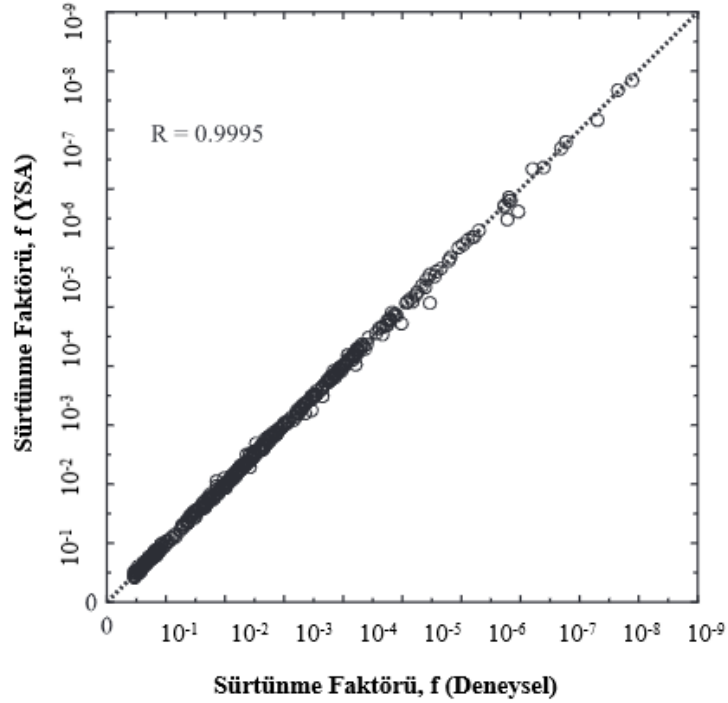
olarak verilir. Ara katlardaki nöronlar için herhangi bir hedef çıkış olmadığından, eşitlik (2) yerine eşitlik (4) kullanılır. Bu duruma bağlı olarak çıkış katmanından başlayarak δ_j faktörü, bütün katlardaki nöronlar için hesaplanır. Daha sonra eşitlik (1)' deki formüle bağlı olarak, bütün bağlantılar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

3. Bulgular ve Tartışma

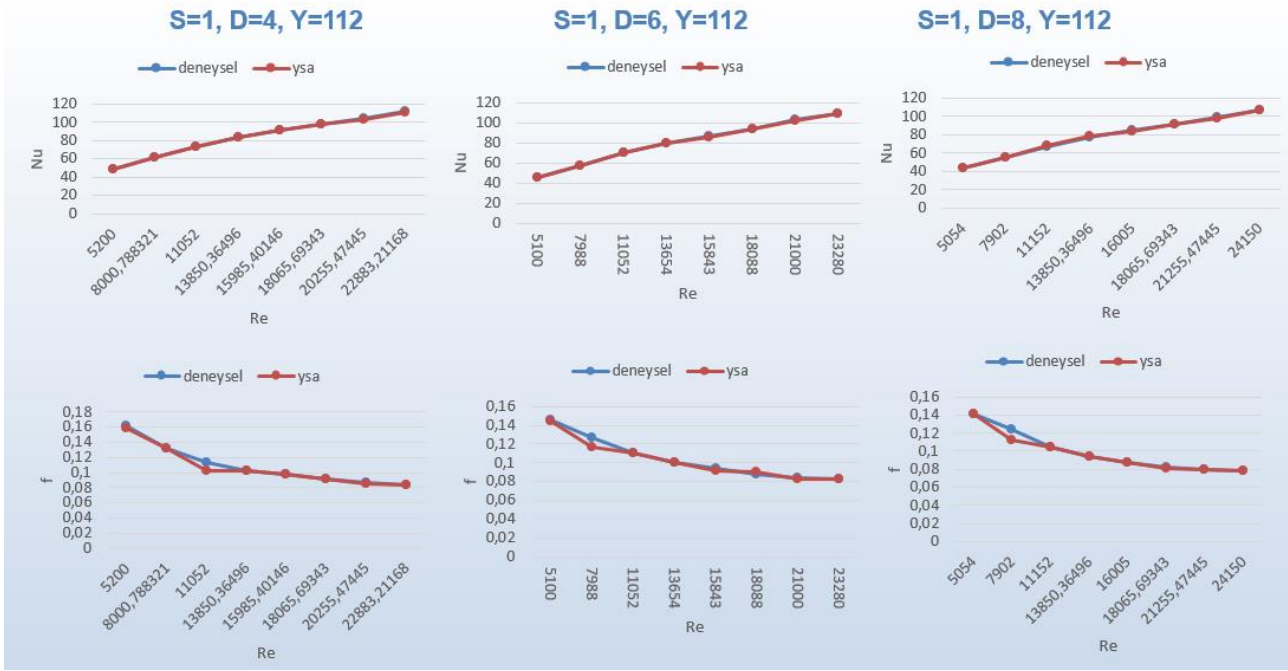
Nusselt sayısının ve sürtünme faktörünün deneysel verileri ile YSA çıkış değerlerinin karşılaştırılması şekil 4 ve 5' de verilmiştir. Ağın eğitilmesi sonucunda deneysel veriler ile YSA çıkış değerleri arasında büyük oranda uygunluk sağlandı. YSA ağ modelinin öngördüğü değerler ile deneysel veriler arasında hata oranı Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü için sırasıyla $R=0,9992$ ve $R=0,9995$ ' dir.



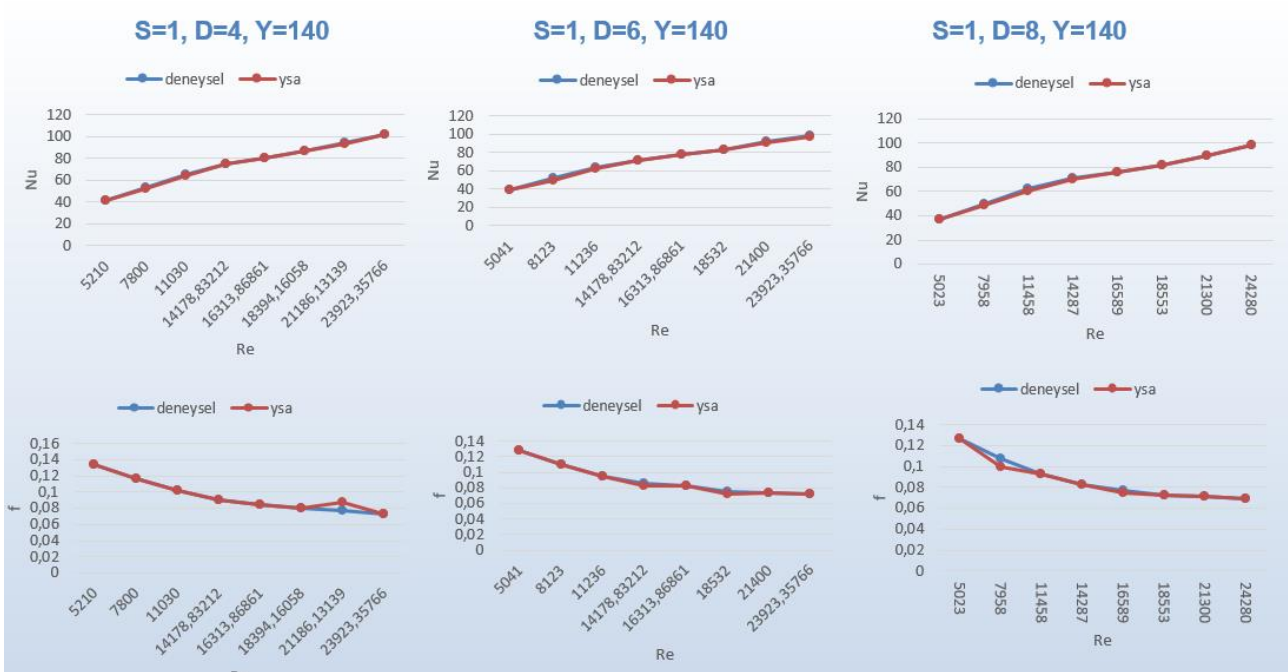
Şekil 4. Nusselt sayısı için deneysel veriler ve YSA çıkışlarının karşılaştırması



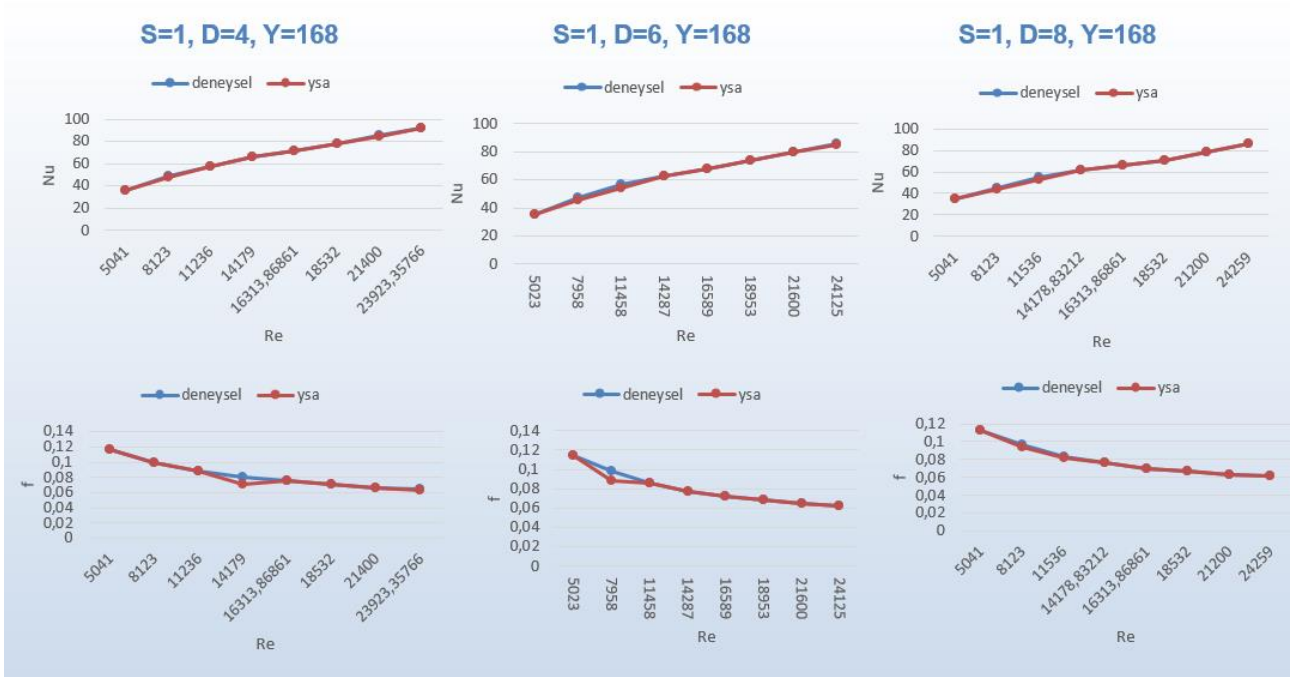
Şekil 5. Sürtünme faktörü için deneysel veriler ve YSA çıkışlarının karşılaştırması



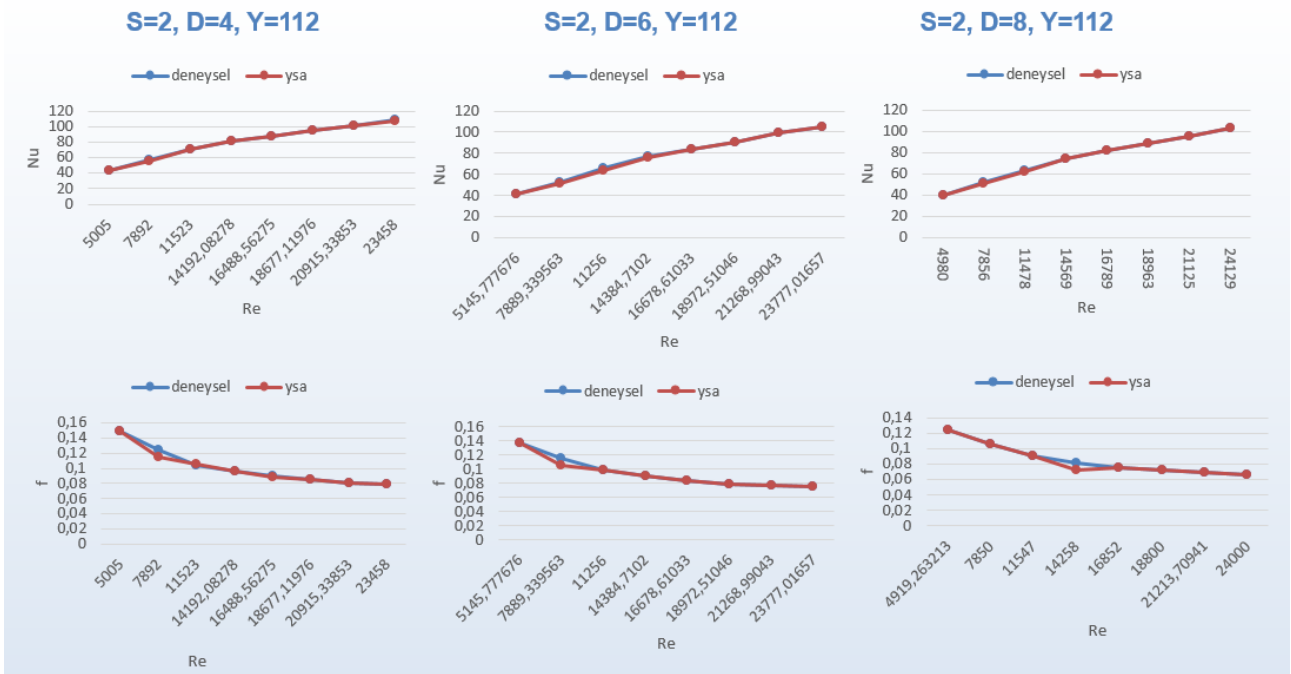
Şekil 6. $w=52$ mm, $d=4, 6, 8$ mm ve $y=112$ mm için sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının deneysel değerleri ve YSA çıkış değerleri



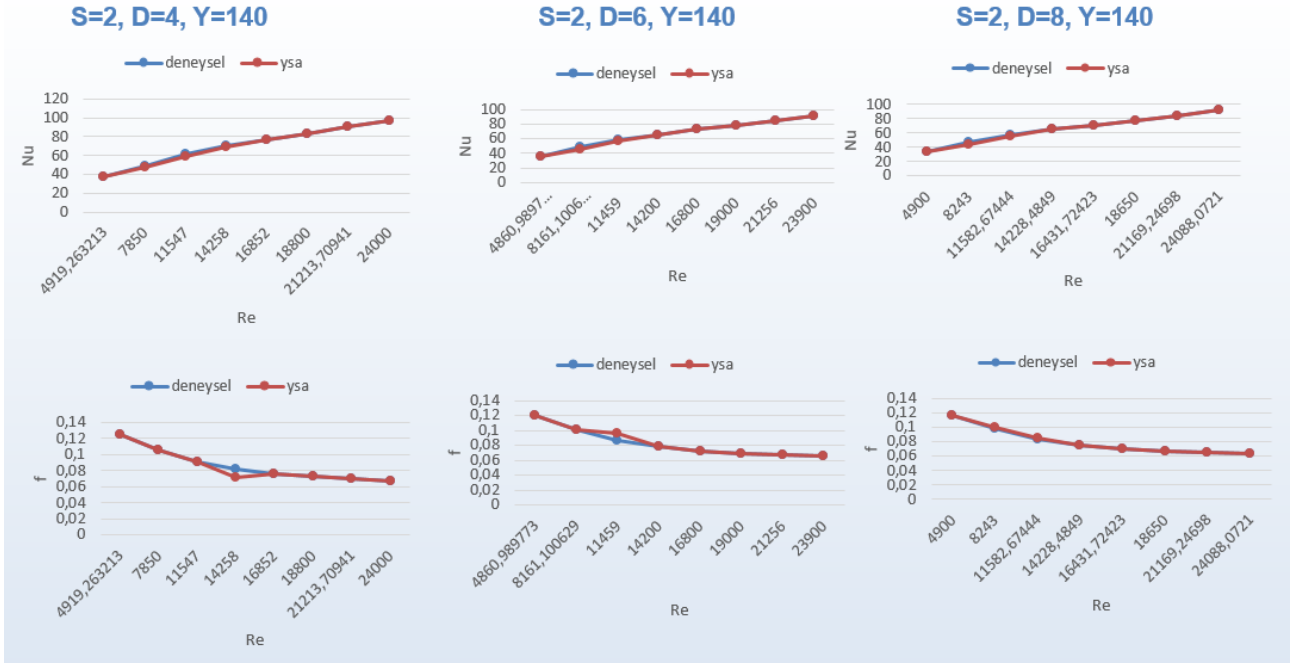
Şekil 7. $w=52$ mm, $d=4, 6, 8$ mm ve $y=140$ mm için sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının deneysel değerleri ve YSA çıkış değerleri



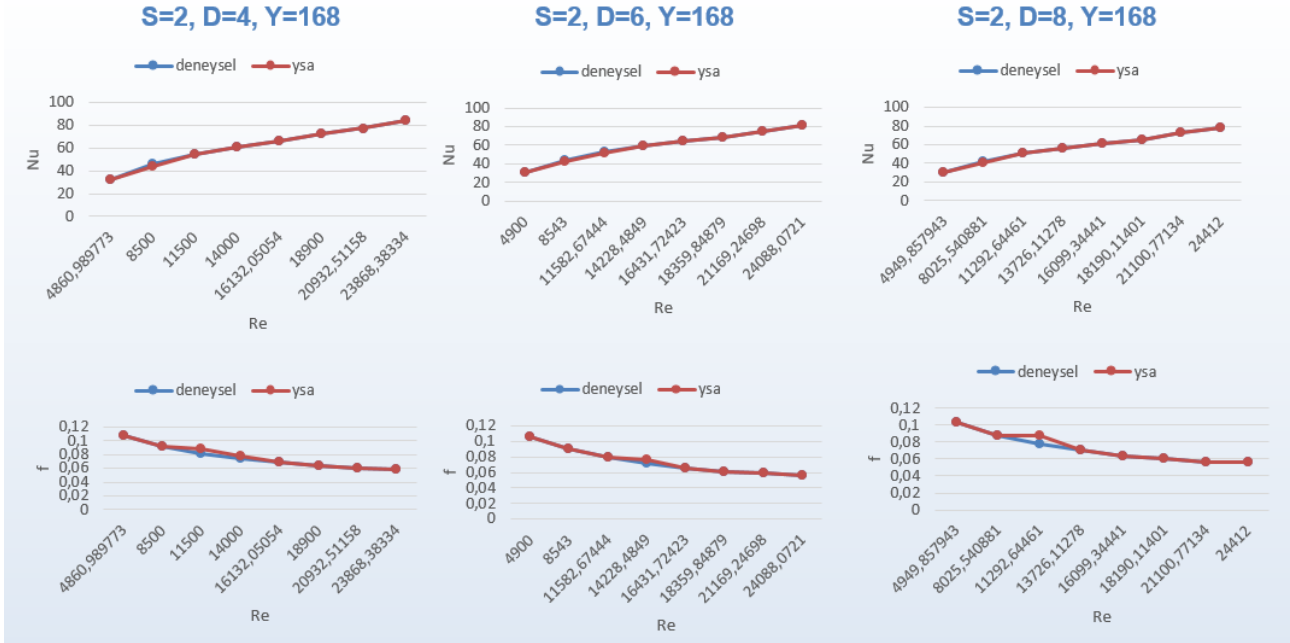
Şekil 8. w= 52 mm, d= 4 ,6, 8 mm ve y= 168 mm için sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının deneysel değerleri ve YSA çıkış değerleri



Şekil 9. w= 54 mm, d= 4 ,6, 8 mm ve y= 112 mm için sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının deneysel değerleri ve YSA çıkış değerleri



Şekil 10. $w=54$ mm, $d=4, 6, 8$ mm ve $y=140$ mm için sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının deneysel değerleri ve YSA çıkış değerleri



Şekil 11. $w=54$ mm, $d=4, 6, 8$ mm ve $y=168$ mm için sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının deneysel değerleri ve YSA çıkış değerleri

Şekil 6, 7, 8, 9, 10 ve 11’de ise 2 farklı şerit genişliği ($w=52, 54$ mm), 3 farklı delik çapı ($y=4, 6, 8$ mm) ve 3 farklı kıvrım değerine ($y=112, 140$ ve 168 mm) sahip şerit elemanların boru

içerisine yerleştirilerek yapılan deney sonuçlarına göre, Nusselt sayısı ve sürtünme oranının elde edilen değerleri görölmektedir. Aynı zamanda, Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün Reynolds sayısına göre değişimleri ve YSA çıkış değerlerinin hedeflenen değerler ile arasındaki ilişki sunulmuştur. Grafikler değerlendirildiğinde, oluşturulan YSA ağ modelinin istenilen değerlere ulaşmadaki kabiliyetinin %98-99 oranında olduğu anlaşılmaktadır.

Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünün deneysel değerleri ile YSA modelinin çıkış değerleri arasındaki ilişki sayısal olarak ise tablo 1 ve tablo 2’ de verilmiştir. Sayısal değerler de incelendiğinde istenilen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki uygunluk görölmektedir.

Tablo 1. Nusselt sayısının deneysel değerleri ve YSA çıkış değerlerinin karşılaştırılması

D. no	y/D	d/D	w/D	Re	Nu _{deneysel}	Nu _{YSA}
1	2	0,0714	0,9285	5200	48,6	48,5
2	2	0,107	0,9285	7988	57,8	57,6
3	2	0,143	0,9285	11152	67,22	67,33
4	2,5	0,0714	0,9285	14178,8321	74,835	74,629
5	2,5	0,107	0,9285	16313,8686	77,5	77,325
6	2,5	0,143	0,9285	18553	81,7	81,547
7	3	0,0714	0,9285	21400	90,365	90,458
8	3	0,107	0,9285	24125	86	85,893
9	3	0,143	0,9285	24130	87	86,654
10	2	0,0714	0,9642	5005	43,3	43,2
11	2	0,107	0,9642	7889,34	53	52,398
12	2	0,143	0,9642	11478	63,55	63,32
13	2,5	0,0714	0,9642	14258	70,2	70,1
14	2,5	0,107	0,9642	16800	72,8	72,6
15	2,5	0,143	0,9642	18650	77	76,9
16	3	0,0714	0,9642	20932,51	77	76,827
17	3	0,107	0,9642	24088,07	81	81,1
18	3	0,143	0,9642	24112	78,5	78,4

Tablo 2. Sürtünme katsayısının deneysel değerleri ve YSA çıkış değerlerinin karşılaştırılması

D. no	y/D	d/D	w/D	Re	f deneysel	f YSA
1	2	0,0714	0,9285	5200	0,162	0,160
2	2	0,107	0,9285	7988	0,127	0,121
3	2	0,143	0,9285	11152	0,104001	0,104003
4	2,5	0,0714	0,9285	14178,8321	0,091	0,088
5	2,5	0,107	0,9285	16313,8686	0,0821	0,0832
6	2,5	0,143	0,9285	18553	0,072939	0,072985
7	3	0,0714	0,9285	21400	0,0668	0,0666
8	3	0,107	0,9285	24125	0,0629	0,061
9	3	0,143	0,9285	24130	0,061221	0,061217
10	2	0,0714	0,9642	5005	0,149	0,148
11	2	0,107	0,9642	7889,34	0,115312	0,115314
12	2	0,143	0,9642	11478	0,095194	0,095194
13	2,5	0,0714	0,9642	14258	0,081611	0,081610
14	2,5	0,107	0,9642	16800	0,073053	0,073048
15	2,5	0,143	0,9642	18650	0,066571	0,066571
16	3	0,0714	0,9642	20932,51	0,06	0,0585
17	3	0,107	0,9642	24088,07	0,056647	0,056638
18	3	0,143	0,9642	24112	0,056	0,056

4. Sonuçlar ve Öneriler

Sunulan çalışmada, içerisine delikli şerit eleman yerleştirilmiş boru içerisindeki akışın, akış karakteristiklerinin YSA ile tahmini gerçekleştirilmiştir. Deneysel testler, üniform ısı akısı koşullarında, Reynolds sayısının 4860 ile 24,130 aralığında, 3 farklı hatve oranı ($y/D= 2, 2,5, 3$), 2 farklı genişlik oranı ($w/D= 0,9285, 0,9642$) ve 3 farklı delik çapı oranı ($d/D= 0,0714, 0,107, 0,143$) kullanılarak yapıldı. YSA modeli, deneysel veri setlerini içeren bir veri bankası ile eğitildi ve test edildi. Hata değerleri Nusselt sayısı için $R=0,9992$ ve sürtünme faktörü için $R=0,9995$ olarak tespit edildi. Elde edilen sonuçlar neticesinde Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü değerlerinin gerçek zamanlı tahmininde, geri yayılım algoritması kullanılarak oluşturulan YSA ağ modeli büyük oranda başarı göstermiştir.

Kaynaklar

- Chang, S. W., Jan, Y. J., Liou, J. S.,(2007). Turbulent Heat Transfer and Pressure Drop in a Tube Fitted with Serrated Twisted Tape, *International Journal of Thermal Sciences*, 46, 506-518,
- Eiamsa-ard S., Promvong P., (2010). Performance Assessment in a Heat Exchanger Tube with Alternate Clockwise and Counter-clockwise Twisted Tape Inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 1364-1372.
- Eiamsa-ard S., Thianpong C. and Promvong P.,(2006). Experimental Investigation of Heat Transfer and Flow Friction in a Circular Tube Fitted with Regularly Spaced Twisted Tape Elements, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33, 1225-1233.
- Gül, H., Evin, D., (2007). Heat Transfer Enhancement in a Circular Tubes Using Helical Swirl Generator Insert at the Entrance, *International Journal of Thermal Sciences*, 46, 1297-1303.
- Hojjat, M., (2020). Nanofluids as coolant in a shell and tube heat exchanger: ANN modeling and multi-objective optimization, *Applied Mathematics and Computation*, 365.
- Promvong P.,(2008). Thermal Augmentation in Circular tube with Twisted Tape and Wire Coil Turbulators, *Energy Conversion and Management*, 49, 2949-2955.
- Sivashanmugam, P., Nagarajan, P. K., (2007). 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*, 32, 192- 197.
- Türk C., Gülenoğlu Ç., Özkaya E., Genç Y., Aradağ S., Kakaç S., Özcan A., (2013). Deneysel Çalışmalar, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Yapay Sinir Ağları ile Plakalı Isı Değiştirgeci Tasarımı, *Tesisat Mühendisliği*, 134, 23-30.
- Verma, T. N., Nashine, P., Singh., D. V., Singh, S., Panwar, D., (2017). ANN: Prediction of an experimental heat transfer analysis of concentric tube heat exchanger with corrugated inner tubes, *Applied Thermal Engineering*, 120, 219-227.
- Wongcharee K., Eiamsa-ard S., (2011). Heat Transfer Enhancement by Twisted Tapes with Alternate Axes and Triangular, Rectangular and Trapezoidal Wings, *Chemical Engineering and Processing*, 50, 211-219.