

**YAPAY SİNİR AĞLARI YARDIMIYLA ISI DEĞİŞTİRGEÇİ
MODELLEMESİ**

CANER TÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2013

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Ünver KAYNAK

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Ünver KAYNAK

Anabilim Dalı Başkanı

Caner TÜRK tarafından hazırlanan YAPAY SİNİR AĞLARI YARDIMIYLA ISI DEĞİŞTİRGEÇİ MODELLEMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Selin ARADAĞ

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Erdem ACAR

Üye : Doç. Dr. Selin ARADAĞ

Üye : Dr. Özgür BAYER (ODTÜ Makine Müh.)

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

CANER TÜRK

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selin ARADAĞ
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Temmuz 2013

CANER TÜRK

YAPAY SİNİR AĞLARI YARDIMIYLA ISI DEĞİŞTİRGEÇİ MODELLEMESİ

ÖZET

Bu tez çalışması yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanılarak bir plakalı ısı değiştirgeçinde Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısı tahminleri uygulaması içermektedir. Oluşturulan ağı eğitmek ve test etmek için en genel öğrenme yöntemlerinden olan ileri beslemeli geri yayılım ağı yapısı kullanılmıştır. Sinir ağı yapılandırmasını eğitmek ve test etmek için kullanılacak olan ısı değiştirgeçine ait veriler üç farklı çalışmadan alınmıştır.

İlk olarak literatürden alınan deneysel verilere uygulanan YSA yöntemi hem laminar hem de türbülanslı akışlar için incelenmiştir. YSA tahminleri, verilere ait korelasyonlar ile karşılaştırılmış ve sonuçlar detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Daha sonra YSA yöntemi TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında daha önceden deneyleri yapılan plaka verilerine uygulanmıştır. Üç farklı plaka için yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilmiş korelasyonlar, YSA yöntemi ile karşılaştırılarak sonuçlar detaylı bir şekilde belirtilmiştir.

Son olarak da aynı laboratuvarında yeni plaka tipleri için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sınırlı sayıda elde edilen ölçümlere korelasyon çıkarımı ve belirsizlik hesabı yapıldıktan sonra YSA yöntemi uygulanarak elde edilen tahminler korelasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Üç farklı çalışma sonucunda anlaşılmaktadır ki, YSA yöntemi plakalı ısı değiştirgeçlerinde özellik tahmininde korelasyona kıyasla daha iyi tahmin sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Plakalı ısı değiştirgeci, Yapay sinir ağları, Korelasyon, Nusselt sayısı, Sürtünme katsayısı, Deneysel

University : TOBB Economics and Technology University
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Mechanical Engineering
Supervisor : Associate Professor Dr. Selin ARADAG
Degree Awarded and Date : M.Sc. – July 2013

CANER TÜRK

HEAT EXCHANGER MODELLING USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

This thesis includes estimations of Nusselt number and friction factor using artificial neural networks (ANN) for plate heat exchanger. The feedforward backpropagation algorithm, the most common learning method for ANNs, is used to train and test the network. Data which will be used to train and test the neural network configuration are obtained from three separate studies, one of which is an experimental study performed in the scope of this study.

ANN method is first applied to the data taken from the literature and then examined for both the laminar and turbulent flow. ANN predictions are compared with the correlations obtained from the same data. The results are given in detail.

Secondly, ANNs are used for the data obtained from experiments which were previously performed at TOBB ETU Heat Exchanger Laboratory. Correlations obtained for three different plates after experimental studies are compared with ANN results and the results are presented in detail.

Finally, experimental studies are performed for new plates at TOBB ETU Heat Exchanger Laboratory. After correlations and uncertainty calculations for limited experimental data are obtained, predictions of ANN are compared with the results of correlations developed specifically for the experimental data.

After three different studies, it is shown that ANN provides better estimations compared to correlations for property prediction in plate heat exchangers.

Key Words: Plate heat exchanger, Artificial neural network, Correlation, Nusselt number, Friction factor, Experimental

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocalarım Doç. Dr. Selin ARADAĞ, Prof. Dr. Sadık KAKAÇ ve yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarındaki deneyler sırasında zaman ayırarak yardımlarını eksik etmeyen ayrıca yapılan deneyler sonucunda elde edilen ölçümlere korelasyon çıkarımı sırasında da yol gösteren Sn. Çağın GÜLENOĞLU'na teşekkür ederim. Deneylerin yapıldığı plakaları sağlayan TEKTES Teknolojik Tesisat Sistemleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. yetkililerinden Ufuk ATAMTÜRK ve Abdullah ÖZCAN'a çok teşekkür ederim. Tez çalışmam sırasında karşılaştığım sorunlar için tecrübelerinden ve yardımlarından yararlandığım Akın PAKSOY, İbrahim YILMAZ ve Ece ÖZKAYA'ya teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, her zaman yanımda olup yardımcı olan, koruyup kollayan aileme de sonsuz teşekkür ederim.

Tezimi değerlendiren ve gerekli düzeltmeleri yapmamı sağlayan sayın jüri üyeleri Doç. Dr. Erdem Acar ve Dr. Özgür Bayer'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
KISALTMALAR	xvii
SEMBOL LİSTESİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Isı Değiştirgeçleri	1
1.1.1. Contalı Plakalı Isı Değiştirgeci	2
1.2. Yapay Sinir Ağları	7
1.3. Literatür Taraması	11
1.4. Çalışmanın Amacı	17
2. YAPAY SİNİR AĞLARI İÇERİĞİ, YÖNTEMİ ve UYGULAMALARI	18
2.1. Yapay Sinir Ağları	18
2.2. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Kuralları	19
2.2.1. Danışmanlı Öğrenme	19
2.2.2. Danışmansız Öğrenme	20
2.2.3. Destekleyici Öğrenme	20
2.3. Yapay Sinir Ağ Mimarisi	20
2.3.1. İleri Beslemeli Sinir Ağları	20
2.3.2. Geri Beslemeli Sinir Ağları	23

2.4. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Algoritması	24
2.4.1. Geri Yayılım Algoritması (Backpropagation)	24
2.5. Yapay Sinir Ağı Modellemesi	26
2.6. Yapay Sinir Ağlarının Performansı	28
3. LİTERATÜRDEKİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
3.1. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar 1	30
3.1.1. Muley'in Deneysel Çalışmaları	30
3.1.2. Muley'in Çalışmasında Çıkarılan Korelasyonlar	31
3.2. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar 2	33
3.2.1. Aktürk ve Gülenoğlu'nun Deneysel Çalışmaları	33
3.2.2. Aktürk ve Gülenoğlu'nun Çalışmalarında Çıkarılan Korelasyonlar	36
3.3. Isı Transferi Hesaplamaları ve Korelasyon Çıkarımı	37
3.3.1. Isı Transferi Hesaplamaları	37
3.3.2. Nusselt Sayısı Korelasyonu Çıkarımı	40
3.3.3. Sürtünme Katsayısı Korelasyonu Çıkarımı	41
4. BİR CONTALI PLAKALI ISI DEĞİŞTİRGEÇİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ ve SONUÇLARI	42
4.1. Plakaların Geometrik Özellikleri	42
4.2. Deneysel Yöntem	44
4.3. Deneysel Veriler	46
4.4. Elde Edilen Ölçümlere Korelasyon Çıkarımı	47
4.5. Yapılan Deneysel Çalışmalar ile Elde Edilen Korelasyon Sonuçları	48
4.6. Yapılan Deneysel Çalışmalar için YSA Uygulamaları ve Sonuçları	51
4.6.1. Nusselt Sayısı Tahminleri ve Karşılaştırmaları	52
4.6.2. Sürtünme Katsayısı Tahminleri ve Karşılaştırmaları	57

5. LİTERATÜDEN ALINAN VERİLERE YSA UYGULAMALARI	62
5.1. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar 1 Sonuçları	62
5.2. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar 2 Sonuçları	73
5.2.1. Plaka 1, Nusselt Sayısı için YSA tahminleri ve karşılaştırmaları	73
5.2.2. Plaka 1, Sürtünme Katsayısı için YSA tahminleri ve karşılaştırmaları	82
6. DEĞERLENDİRME	87
KAYNAKLAR	90
EK-A Yapılan Deneysel Sonuçları Elde Edilen Ölçümler	94
EK-B Deneysel Çalışma İçin Belirsizlik Hesaplamaları	96
EK-C Plaka 2 YSA Sonuçları ve Karşılaştırması	99
EK-D Plaka 3 YSA Sonuçları ve Karşılaştırması	110
ÖZGEÇMİŞ	117

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Plakalı ısı değıştirgeçleri için bazı yararlı bilgiler	7
Çizelge 3.1. Literatürde kullanılan 3 farklı plakanın geometrik özellikleri	34
Çizelge 3.2. Nusselt korelasyonu için deneylerde kullanılan plaka sayıları ve alınan ölçüm sayıları	35
Çizelge 3.3. Sürtünme katsayısı korelasyonu için deneylerde kullanılan plaka sayıları ve alınan ölçüm sayıları	35
Çizelge 4.1. Yapılan deneylerde kullanılan plakaların geometrik özellikleri	43
Çizelge 4.2. Yapılan deneylerde alınan ölçümler için Min-Mak değerler	46
Çizelge 4.3. Plaka 4 için oluşturulan Nu sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri	53
Çizelge 4.4. Plaka 4 için oluşturulan f sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri	59
Çizelge 5.1. Laminar akış için YSA yöntemi sonuçları	65
Çizelge 5.2. Türbülanslı akış için YSA yöntemi sonuçları	66
Çizelge 5.3. Plaka 1 için oluşturulan Nu sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri	75
Çizelge 5.4. Plaka 1 için oluşturulan f sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri	83
Çizelge A.1. TOBB ETÜ ısı değıştirgeci laboratuvarında Plaka 4 için elde edilen deneysel ölçümler	94
Çizelge B.1. Ölçümleri alınan değerler için kritik parametre belirsizlikleri	98
Çizelge C.1. Plaka 2 için oluşturulan Nu sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri	100
Çizelge C.2. Plaka 2 için oluşturulan sürtünme katsayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri	107

Çizelge D.1. Plaka 3 için oluşturulan Nu sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri	111
Çizelge D.2. Plaka 3 için oluşturulan sürtünme katsayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri	115

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Çeşitli ısı değiştirgeçleri a) Gövde-boru tipi ısı değiştirgeci, b) Contalı plakalı ısı değiştirgeci	2
Şekil 1.2. Contalı plakalı ısı değiştirgeci	3
Şekil 1.3. Plakalar a) Farklı boyut ve desendeki plakalar b) 1940lı yıllarda kullanılan farklı desenli plakalar bilgileri	4
Şekil 1.4. Chevron tipli bir plakanın görünüşü ve karakteristik ölçüleri	5
Şekil 1.5. Basit bir sinir hücresi yapısı	9
Şekil 1.6. Basit bir yapay sinir hücre yapısı	10
Şekil 1.7. En çok kullanılan etkinlik fonksiyonları	11
Şekil 2.1. Çok katmanlı bir yapay sinir ağı	18
Şekil 2.2. Farklı sigmoid fonksiyonları	22
Şekil 2.3. Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı	23
Şekil 2.4. Geri beslemeli sinir ağı	23
Şekil 2.5. Yapay bir sinir ağı eğitim akış şeması	28
Şekil 3.1. U-tipi tek geçişli karşıt akışı plakalı ısı değiştirgeci	31
Şekil 4.1. Deneylede kullanılan plakaların 3D katı model önden görünüşü a) $\beta=27,5^\circ$ b) $\beta=62,5^\circ$	43
Şekil 4.2. TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarı deney düzeneği 3D katı model görünümü	44
Şekil 4.3. TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarı deney düzeneği şematik görünüşü	45
Şekil 4.4. Plaka 4 için elde edilen korelasyonun deneysel Nusselt sayısı verileri ile gösterimi	48
Şekil 4.5. Plaka 4 için elde edilen korelasyonun deneysel sürtünme katsayısı verileri ile gösterimi	49

Şekil 4.6. Plaka 4 için bulunan Nu korelasyonunun Plaka 1, Plaka 2 ve Plaka 3 Nusselt sayısı korelasyonlarıyla karşılaştırılması	50
Şekil 4.7. Plaka 4 için bulunan f korelasyonunun Plaka 1, Plaka 2 ve Plaka 3 sürtünme katsayısı korelasyonlarıyla karşılaştırılması	51
Şekil 4.8. Plaka 4 için oluşturulan 6-8-3-1 YSA ağ yapılandırılması şematik görünüşü	54
Şekil 4.9. Plaka 4 için 6-8-3-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	55
Şekil 4.10. Plaka 4 için 6-8-3-1 YSA modelindeki test verilerinin Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	55
Şekil 4.11. Plaka 4 eğitim verileri için Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	56
Şekil 4.12. Plaka 4 test verileri için Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	57
Şekil 4.13. Plaka 4 sürtünme katsayısı için oluşturulan 6-2-1 YSA ağ yapılandırılması şematik görünüşü	59
Şekil 4.14. Plaka 4 eğitim verileri için Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon Plaka 4 için 6-2-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	60
Şekil 4.15. Plaka 4 için 6-2-1 YSA modelindeki test verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	61
Şekil 5.1. Laminar akış için 11-10-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	67
Şekil 5.2. Laminar akış için 11-10-1 YSA modelindeki test verilerinin YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	68
Şekil 5.3. Laminar akışta eğitim verileri için YSA tahminleri	69
Şekil 5.4. Laminar akışta test verileri için YSA tahminleri ile Korelasyon sonuçları	69
Şekil 5.5. Türbülanslı akış için 11-10-5-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	70

Şekil 5.6. Türbülanslı akış için 11-10-5 -1YSA modelindeki test verilerinin YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	71
Şekil 5.7. Türbülanslı akışta eğitim verileri için YSA tahminleri	72
Şekil 5.8. Türbülanslı akışta test verileri için YSA tahminleri ile Korelasyon sonuçları	72
Şekil 5.9. Plaka 1 için 12-10-6-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	76
Şekil 5.10. Plaka 1 için 12-10-6-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	77
Şekil 5.11. Plaka 1 için 12-10-6-2 YSA modelindeki test verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	78
Şekil 5.12. Plaka 1 için 12-10-6-2 YSA modelindeki test verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	78
Şekil 5.13. Türbülanslı akışta eğitim verileri için Plaka 1 eğitim verileri için sıcak taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	79
Şekil 5.14. Plaka 1 eğitim verileri için soğuk taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	80
Şekil 5.15. Plaka 1 test verileri için sıcak taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	81
Şekil 5.16. Plaka 1 test verileri için soğuk taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	81
Şekil 5.17. Plaka 1 için 7-7-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	84
Şekil 5.18. Plaka 1 için 7-7-1 YSA modelindeki test verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	85
Şekil 5.19. Plaka 1 eğitim verileri için sürtünme katsayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	86
Şekil 5.20. Plaka 1 test verileri için sürtünme katsayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	86
Şekil C.1. Plaka 2 için 11-10-5-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	101

Şekil C.2. Plaka 2 için 11-10-5-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	102
Şekil C.3. Plaka 2 için 11-10-5-2 YSA modelindeki test verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	102
Şekil C.4. Plaka 2 için 11-10-5-2 YSA modelindeki test verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	103
Şekil C.5. Plaka 2 eğitim verileri için sıcak taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	104
Şekil C.6. Plaka 2 eğitim verileri için soğuk taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	104
Şekil C.7. Plaka 2 test verileri için sıcak taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	105
Şekil C.8. Plaka 2 test verileri için soğuk taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	105
Şekil C.9. Plaka 2 için 6-5-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	107
Şekil C.10. Plaka 2 için 6-5-1 YSA modelindeki test verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	108
Şekil C.11. Plaka 2 eğitim verileri için sürtünme katsayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	109
Şekil C.12. Plaka 2 test verileri için sürtünme katsayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları	109
Şekil D.1. Plaka 3 için 12-6-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	112
Şekil D.2. Plaka 3 için 12-6-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	112
Şekil D.3. Plaka 3 için 12-6-2 YSA modelindeki test verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	113
Şekil D.4. Plaka 3 için 12-6-2 YSA modelindeki test verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	113
Şekil D.5. Plaka 3 için 7-6-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları	115

Şekil D.6. Plaka 3 için 7-6-1 YSA modelindeki test verilerinin
sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

116

KISALTMALAR

Kisaltmalar	Açıklama
MLP	Çok Katmanlı Peceptron (Multi Layer Perceptron)
MSE	Karesel Ortalama Hata (Mean Square Error)
NTU	Transfer Birim Sayısı (Number of Transfer Units)
LMGY	Levenberg-Marquardt Geri Yayılım
RMS	Hataların Ortalama Karekökü (Root Mean Square)
TOBB ETÜ	Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
YSA	Yapay Sinir Ağı

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Toplam ısı transferi alanı [m^2]
A_l	Gerçek etkin alan [m^2]
A_{lp}	İz düşüm alan [m^2]
b	Ortalama kanal boşluğu [m]
c_p	Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi [$kJ.kg^{-1}.K^{-1}$]
D_e	Eşdeğer kanal çapı [m]
D_h	Hidrolik kanal çapı [m]
D_p	Port çapı [m]
f	Sürtünme katsayısı
G_c	Kanal kütle debisi [$kg.m^{-2}.s^{-1}$]
h	Isı taşınım katsayısı [$W.m^{-2}.K^{-1}$]
k	Isı iletim katsayısı [$W.m^{-1}.K^{-1}$]
L_h	Port merkezleri arası dikey uzaklık [m]
L_v	Port merkezleri arası yatay uzaklık [m]
L_w	Contalar arası yüzey genişliği [m]
L_{eff}	Giriş-çıkış portları arası efektif akış uzunluğu [m]
\dot{m}	Kütlesel debi [$kg.s^{-1}$]
N_{cp}	Geçiş başına kanal sayısı
N_p	Geçiş sayısı
N_t	Toplam plaka sayısı
Nu	Nusselt sayısı
p	Kıvrımlı plakanın adımı
P	Basınç [kPa]
P_c	İki kıvrım arası mesafe [m]
ΔP	Basınç düşümü [kPa]
Pr	Prandtl sayısı
Q	Isı transferi oranı
Re	Reynolds sayısı
t	Plaka kalınlığı [m]
T	Sıcaklık [$^{\circ}C$]
ΔT_{LM}	Ortalama logaritmik sıcaklık [$^{\circ}C$]
U	Ortalama ısı transferi katsayısı [$W.m^{-2}.K^{-1}$]
\dot{V}	Hacimsel debi [$m^3.sa^{-1}$]
w_{ij}	Ağırlık matrisi
β	Chevron açısı
\emptyset	Yüzey genişletme katsayısı
ρ	Yoğunluk [$kg.m^{-3}$]
μ	Dinamik viskozite [$N.s.m^{-2}$]
θ	Eşik değeri
δ	Hata
η	Öğrenme oranı

σ

Tahminlerin dağılımı

İndisler

Açıklama

in

Isı değiştirgecine giren

out

Isı değiştirgecinden çıkan

w

Duvar

b

Bulk

hot

Sıcak

cold

Soğuk

1. GİRİŞ

Sanayide kullanılan enerjinin çoğu ısıdan elde edilmektedir. Enerjinin muhafaza edilmesi sadece yeni ve daha ileri teknolojilerin kullanılmasıyla değil aynı zamanda mevcut yöntemin geliştirilmesi ve enerji geri dönüşümü sayesinde sağlanabilir. Sistemlerin iyileştirilmesi önemli miktarda enerji kazanımı sağlamaktadır. Bu enerjii kullanmanın en iyi yollarından bir tanesi yanma havası, kazanlar için besleme suları, buhar üretimi için su gibi soğuk kaynakları ısıtmaktır. Tüm bu sistemler ısı değiştirgeci donanımlarına ihtiyaç duyar [1]. Isı transferinin uygulamalarından biri olan ısı değiştirgeçleri, farklı akışkanlar arasında ısı transferi yapan araçlardır [2]. Isı transferi; ısı değiştirgeçlerinde kullanılan tasarım hesaplamalarının temelini oluşturmakta olup termodinamikte ısı, sistem ile çevre arasındaki sıcaklık farkından dolayı enerjinin taşınması sırasında sınırı geçen enerji olarak tanımlanmaktadır [3].

1.1. Isı Değiştirgeçleri

Isı değiştirgeçleri, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkanın arasında ısı enerji geçişini sağlayan araçlardır. Çok geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Güç üretimi, uzay uygulamaları, termik santraller, ısıtma, iklimlendirme, soğutma tesisatları, elektronik cihazlar, imalat endüstrisi, kimya ve gıda endüstrisi bu alanlardan bazılarıdır [4,5]. Birçok ısı değiştirgeci tasarımı bulunmaktadır. Yapı geometrisi olarak: borular, levhalar ve uzatılmış yüzeyler, ısı transferi mekanizması olarak da: tek fazlı ve iki fazlı modeller bu tasarımlar arasındadır [4]. Şekil 1.1'de iki farklı ısı değiştirgeci örnek olarak verilmiştir. Şekil 1.1a'da gövde-boru tipi ısı değiştirgeci görülmektedir. Bu ısı değiştirgeçlerinde ısı transferi büyük bir gövdenin içinden birden fazla küçük borunun geçmesiyle sağlanmaktadır. Küçük boruların içinden bir akışkan akarken diğer akışkan da gövde kısmında akmaktadır. Akışkanlar paralel ya da zıt yönde akabilmektedir [4]. Gövde boru tipi ısı değiştirgeçlerinin avantajlarından bir tanesi imalatının basit olmasıdır, aynı zamanda yüksek basınçlara dayanıklı olması bu tip ısı değiştirgeçlerinin tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır [4]. Fakat yüksek hacimli ve sürekli temizlenmesi gerekmesi ise bu ısı

değiştirgeçleri için büyük dezavantajdır [4]. Şekil 1.1b'de ise contalı plakalı bir ısı değiştirgeci bulunmaktadır. Tezin kapsamı içinde yapılan çalışmalar contalı plakalı ısı değiştirgeçlerine ait olup detaylar başlık 1.1.1'de daha ayrıntılı olarak verilmektedir. Ayrıca spiral plakalı ısı değiştirgeçleri, genişletilmiş yüzeyli ısı değiştirgeçleri gibi farklı tipler literatürde daha ayrıntılı bulunabilir.



(a)



(b)

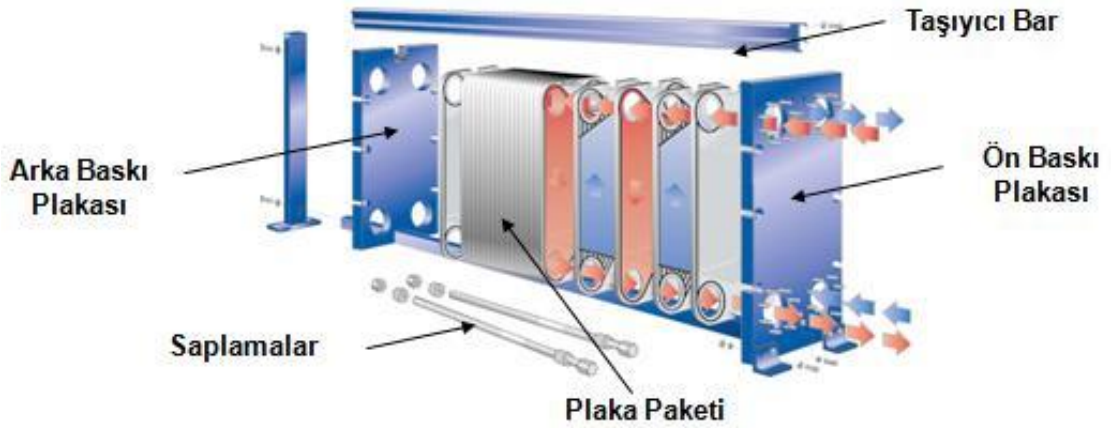
Şekil 1.1. Çeşitli ısı değiştirgeçleri [6] a) Gövde-boru tipi ısı değiştirgeci, b) Contalı plakalı ısı değiştirgeci

1.1.1. Contalı Plakalı Isı Değiştirgeci

Plakalı ısı değiştirgeçleri genel olarak kimyasal işlemler ve hijyenik uygulamalarda kullanılmaktadır [1]. Tasarımın esnek olması, işlevi yönünden az hacimli oluğu, temizlenmesinin kolay olması, küçük hidrolik çap ve türbülans dolaylı etkin ısı transferine sahip olması ve kompakt oluğu bu tip ısı değiştirgeçlerinin popülerliğini artırmaktadır [4,7]. Plakalı ısı değiştirgeçlerinin birden çok farklı tasarımı bulunmaktadır. Katman levhalı ısı değiştirgeçleri, spiral levhalı ısı değiştirgeçleri, contalı plakalı ısı değiştirgeçleri bunlara örnek gösterilebilir [4]. Bunlar arasında contalı plakalı ısı değiştirgeçleri sanayi kullanımının en yüksek olduğu tiptir. Bu yüzden tez konusunda belirtilen çalışma contalı plakalı ısı değiştirgeçleri için yapılmıştır.

Bir contalı plakalı ısı değiştirgecinin en önemli parçaları: akışkanları birbirinden ayırmak için kullanılan ince plakalar, sızdırmazlık özelliği kazandırmak için konulan

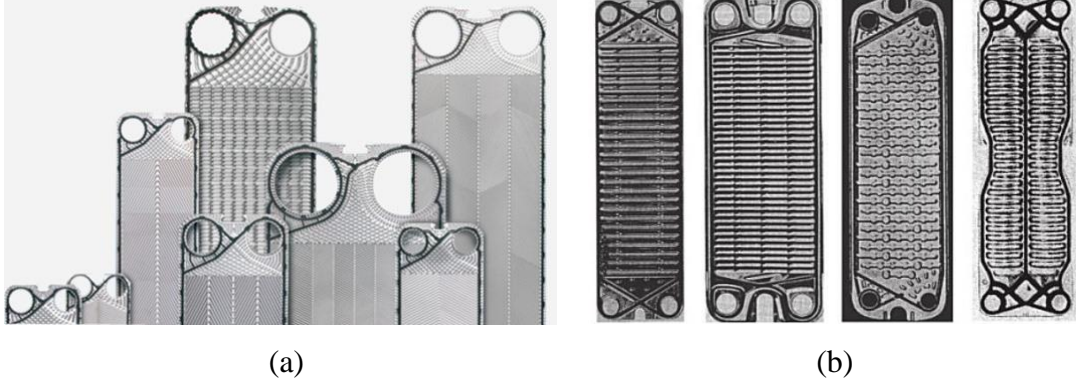
contalar, önde ve arkada baskı plakası, akışkan için giriş ve çıkış portları ve bütün parçaları bir arada tutmak için kullanılan ara parçalar şeklindedir [8]. Bu parçalar Şekil 1.2’de açıkça görülmektedir. Contalı plakalı ısı değiştirgecinde plakanın bir yüzeyinden sıcak akışkan geçerken diğer yüzeyinden soğuk akışkan geçmektedir. Bu akışkanlar aynı yönlü ya da karşıt yönlü olabilir [4]. Bir grup plaka birbirleriyle sıkıştırıldığı zaman köşelerdeki delikler devamlı bir tünel şeklini alır. Giriş portlarından giren sıcak ve soğuk akışkan ardışık olarak bu plakalar arasındaki dar boşluklara dağılmaktadır. Kullanılan contalar bir porttan giren akışkanın tüm kanallara dağılmasını engellemektedir. Sıcak ve soğuk akışkan ardışık olarak plakalar arasındaki kanallara dağılır. Genellikle bu akışlar tek geçişli ve karşıt yönlü olmaktadır [4,9]. Plakanın kalınlığını duvar olarak adlandırırız sıcak akışkandan soğuk akışkana duvar boyunca ısı transferi gerçekleşmektedir. Karşıt akışlı düzenlemelerde contalı plakalı ısı değiştirgecinin verimi daha yüksektir [8]. Plakaların sayısı ve büyüklüğü; akış debisi, akışkanın fiziksel özellikleri, basınç düşümü ve sıcaklık gibi etkenlere bağlıdır [4].



Şekil 1.2. Contalı plakalı ısı değiştirgeci [10]

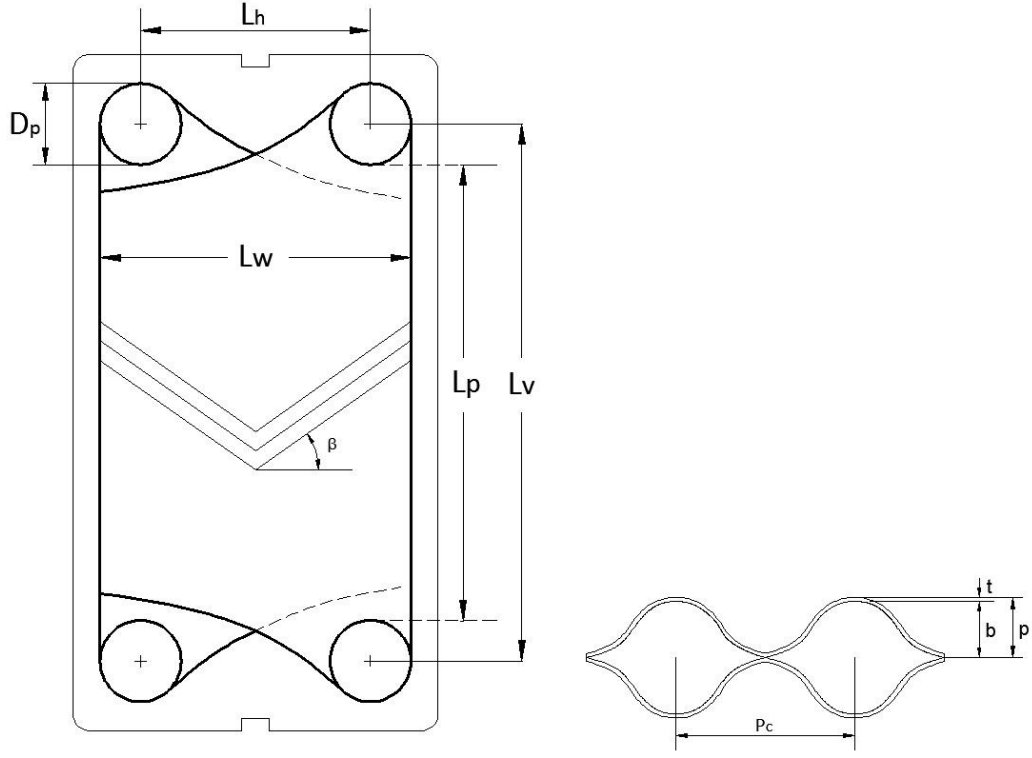
Contalı plakalı ısı değiştirgeçlerinde kullanılan plakalar tarih boyunca farklılık göstermektedir. İlk zamanlarda düz plakalar kullanılırken günümüzde plakalar değişik tip ve desenlerde baskılara sahiptirler. Bu tip plakalara örnek olarak chevron tipi plakalardır [4]. Şekil 1.3’de farklı tip ve desenlerde plakalar görülmektedir.

Plakaların üzerlerindeki desenler ve plaka geometrilerine dikkatlice bakılacak olunursa birbirinden çok farklı desen, şekil ve boyutlar görülecektir. Bu da tarih boyunca daha etkin bir ısı transferi için farklı plakaların denendiğini açıkça göstermektedir.



Şekil 1.3. Plakalar a) Farklı boyut ve desende plakalar [11] b) 1940'lı yıllarda kullanılan farklı desenli plakalar [8]

Chevron tipi plakalar kıvrımlı desenlere sahip olduğu için gelen akışın hızını ve akış yönünü değiştirmektedir. Bu sayede daha etkin ısı transferi gerçekleşmektedir. Kıvrımlı desen bir β açısına sahiptir ve bu açığa chevron açısı denir [4]. Şekil 1.4'te chevron açılı bir plakanın geometrik özellikleri gösterilmiştir. Bunlar port çapı, D_p , port merkezleri arası dikey ve yatay uzaklık, L_v , L_h , contalar arası yüzey genişliği, L_w , port kanalları arasındaki dikey uzaklık, L_p , plaka kalınlığı, t , iki kıvrım arasındaki mesafe, P_c , ortalama kanal boşluğu, b , kıvrımlı plakanın adımı, p , şeklindedir. Chevron tipi plaka kullanılan ısı değiştirgeçlerinde paketin içinde bulunan tüm plakalar aynı chevron açısına sahip plakalara veya farklı açılara sahip plakalara sahip olabilmektedir. Farklı açılara sahip plakaların bulunduğu düzeneklere karışık chevron açılı ısı değiştirgeçleri denmektedir. Chevron açısı plakanın ısı transferi karakteristiğini ve basınç düşümünü etkilemekle birlikte genel olarak 25° ve 65° derece arasında değişmektedir [4].



Şekil 1.4. Chevron tipli bir plakanın görünüşü ve karakteristik ölçüleri

Plaka üzerindeki kıvrımlar plakanın yüzey alanını artırmaktadır. Bu durumdaki yüzey alanı plakanın düz levha halindekiinden daha büyüktür. Değişen alanın izdüşüm alanı ile arasındaki ilişki genişleme faktörüyle belirtilir ve yüzey genişleme katsayısı, ϕ , denir. Kıvrımlı uzunluğun iz düşüm uzunluğa oranı:

$$\phi = \frac{\text{kıvrımlı yüzey uzunluğu}}{\text{iz düşüm yüzey uzunluğu}}$$

ϕ değeri, kıvrım adımı ve kıvrım derinliğinin bir fonksiyonudur. Bu denklem aynı zamanda gerçek etkin alanın (A_l), iz düşüm alana (A_{lp}) oranı olarak da ifade edilir [4]:

$$\phi = \frac{A_l}{A_{lp}} \quad (1.1)$$

$$A_{lp} = L_p \cdot L_w \quad (1.2)$$

$$L_p \approx L_v - D_p \quad (1.3)$$

$$L_w \approx L_n + D_p \quad (1.4)$$

$$b = p - t \quad (1.5)$$

Kıvrımlı kanallarda kullanılan karakteristik uzunluk 2 farklı biçimde ifade edilir. Bunlar hidrolik çap ve eşdeğer çaptır [12]. Bir plakalı ısı değiştirgecinin hidrolik çapı şu şekilde ifade edilmektedir:

$$D_h = \frac{4 \times \text{kanal akış alanı}}{\text{ıslak çevre}} = \frac{4A_c}{P_w} \quad (1.6)$$

$$D_h = \frac{4(b)(L_w)}{2(b + L_w\phi)} \approx \frac{2b}{\phi} \quad (1.7)$$

$b \ll L_w$ yaklaşımıyla. Hesaplamalar yapılırken kullanılan eş değer çap:

$$D_e = 2b \quad (1.8)$$

Literatürdeki ısı değiştirgeci tasarımları incelenecek olunursa yapılan hesaplamalarda hem D_h hem de D_e değerlerinin tercih edildiği görülecektir. Literatürde D_e , genellikle çıkarılan korelasyonlar ile düz plakaları kıyaslanabilmek için daha fazla tercih edilir [12]. Bu yüzden ileride yapılacak olan hesaplamalarda eşdeğer çap tercih edilmiştir.

Contalı plakalı ısı değiştirgeçlerinde en büyük dezavantaj boyutsal olarak bir üst limitin olmasıdır. Bu sınırlandırma tamamen düz levhalara basılacak olan kıvrımların yapılması sırasında kullanılan baskı makinelerinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden genelde 1500 m² üzerinde ısı değiştirgeçleri görmek mümkün olmaz. Contalı plakalı ısı değiştirgeçleri hava soğutucular için pek uygun değildir. Ayrıca havadan havaya ya da gazdan gazda uygulamalar için de kullanılmazlar [4].

Çizelge 1.1 plakalı ısı değiştirgeçlerine ait bazı bilgiler vermektedir. Plaka özellikleri ya da değiştirgecin çalışma koşulları genel olarak belirtilmiştir.

Çizelge 1.1. Plakalı ısı değiştirgeçleri için bazı yararlı bilgiler [4]

Birim	En büyük boyut	1540 m ²	
	Plaka sayısı	700'e kadar	
	Port boyutu	39 cm'ye kadar	
Plakalar	Kalınlık	0,5-1,2 mm	
	Boyut	0,03-2,2 m ²	
	Boşluk	1,5-5,0 mm	
	Temas Noktası	Her biri için 1,5-20 cm ²	Plaka sayısı ve kıvrım tiplerine bağlıdır
Çalışma	Basınç	0,1-1,5 MPa	Özel durumlarda 2,5 MPa'a kadar
	Sıcaklık	-25°C'den 150°C'ye kadar -40°C'den 260°C'ye kadar	Kauçuk contalarda
	Port hızları	5 m/s	Sıkıştırılmış asbest fiber contalarda
	Kanal akış debisi	0,05-12,5 m ³ /h	
	Maksimum akış debisi	2500 m ³ /h	
Performans	Sıcaklık yaklaşımı	En düşük 1°C	
	Isı geri kazanımı	En yüksek %90	
	Isı transfer katsayısı	3000-7000 W/m ² °C	Normal kirlenme direncinde sudan suya işlerde
	Transfer birim sayısı	0,4-4,0	
	İdeal basınç düşümü	30 kPa her bir NTU için	

1.2. Yapay Sinir Ağları

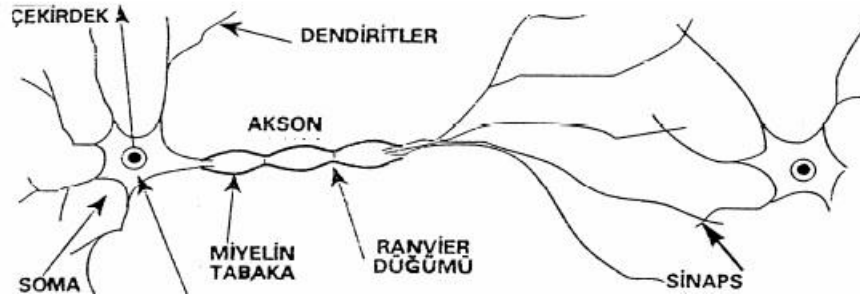
Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninden esinlenerek geliştirilmiştir. İnsan beyni dünyanın en karmaşık makinesi olarak kabul edilebilir. Beyin geçmişte kazandığı tecrübeler sayesinde gelecek kararları çok kısa sürede verebilir. İdrak etme ve

deneyimlerle kazanılmış bilgileri kullanabilme noktasında eşsizdir. Bu özelliği üstün kılan temel özellik sinirsel algılayıcılar vasıtasıyla kazanılmış ve göreceli olarak sınıflandırılmış bilgileri kullanabilmesidir. YSA, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirlerine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Bu ağlar öğrenmenin yanı sıra, ezberleme ve bilgiler arasında ilişkiler oluşturma yeteneğine de sahiptir [13].

YSA bugün matematik, fizik ve mühendislik gibi birçok farklı bilim dallarında araştırma konusu olmuştur. YSA'nın kullanımı genelde çok farklı yapıda ve formda bulunan verilerin çok hızlı bir şekilde tanımlanması ve algılanması üzerinedir. YSA'nın bu derece geniş çapta kullanılmasının en önemli nedeni klasik tekniklerle çözümü zor problemlerin çözümü için etkin bir alternatif oluşturmasıdır [14].

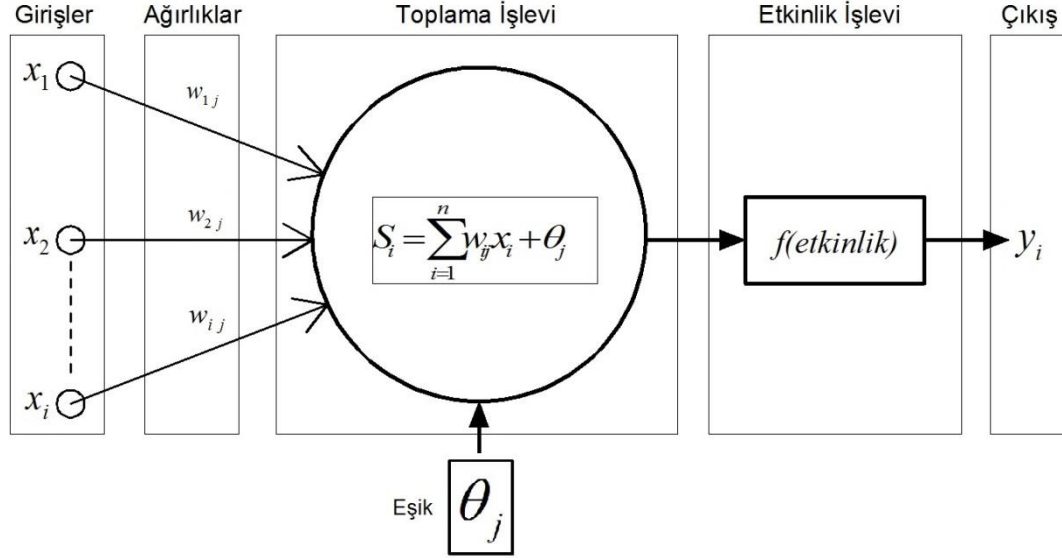
İnsan beyni ile ilgili çalışmaların tarihi çok eskidir. Teknolojinin gelişmesi bu düşünce yapısının kullanılabilirliğini ortaya çıkarmış ve ilk yapay sinir ağlarının modeli 1943 yılında atılmıştır. Sinir hekimi olan Warren McCulloch ile bir matematikçi olan Walter Pitts tarafından basit bir sinir ağı modellenmiştir. 1948 yılında Wiener "Cybernetics" isimli kitabında, sinirlerin çalışması ve davranış özelliklerine değinmiştir, 1949 da ise Hebb "Organization of Behavior" isimli kitabında, öğrenme ile ilgili ilk temel teoriyi ortaya atmıştır. Hebb kuralı denen bu teoride eğer sinir ağının bağlantı sayısını değiştirmek başarabilirse, öğrenebileceği öngörülmekteydi. Birçok araştırmacı bu kuraldan esinlenerek çalışmalar yapmıştır. 1957 yılında Frank Rosenblatt'ın Perceptron'u gerçekleştirmesinden sonra YSA alanındaki çalışmalar ve gelişmeler hızlanmıştır. Perceptron, beynin yaptığı işlemleri modelleyebilmek amacıyla yapılan araştırma ve çalışmalar neticesinde ortaya çıkan tek katmanlı eğitilebilen ve tek çıkışa sahip olan bir yapay sinir ağıdır. 1980li yıllardan sonra yapay sinir ağları konusunda büyük bir atılım gerçekleşmiş ve günümüzdeki kullanılış şeklini almıştır. Bu alanda amaçlanan başlıca gelişmeler gelecekte yeni ve daha verimli öğrenme algoritmaları ayrıca zamana bağlı değişen modellere karşılık verebilen sinir ağları oluşturmaktır [13].

Yapay sinir ağlarının daha iyi anlaşılabilmesi için biyolojik sinir ağlarının yapısı ve çalışma ilkelerinin iyi bilinmesi gerekir. İnsanın bilgi işleme olayı beyinde gerçekleşir ve beyin en karmaşık sinir ağına sahiptir. Sinir sisteminin en basit yapısı nöronlardır [14]. Sinir hücreleri sayesinde insan beyni hatırlama, düşünme, her harekette önceki deneyimlere başvurma gibi işlevleri yapmaktadır. Bu sinir hücresi temel olarak kaynaklardan girişleri alır, soma girişleri doğrusal olmayan bir şekilde işler. Akson işlenmiş girişleri çıkışa aktarır. Sinaps diğer sinirlere çıkışı gönderir [13]. Şekil 1.5'te bulunan bir nöron hücresi incelendiğinde bu süreç daha kolay anlaşılır.



Şekil 1.5. Basit bir sinir hücresi yapısı [14]

Yapay sinir ağlarının temel elemanları Şekil 1.6'te de görüleceği üzere girişler, ağırlıklar, eşik, toplama fonksiyonu, etkinlik fonksiyonu ve çıkıştır [13]. Girişler x_i sembolüyle gösterilmiştir. Bu girişlerin her biri ağırlık w ile çarpılır. Bu ürünler eşik değeri θ_j ile toplanır ve sonucu oluşturmak için etkinlik işlevi ile işlem yapılır ve y_j çıkışı elde edilir.



Şekil 1.6. Basit bir yapay sinir hücre yapısı

Elmas [13] bu tanımlamaları kitabında şu şekilde yapmaktadır;

“*Girişler* (x_1, x_2, \dots, x_n) çevreden aldığı bilgiyi sinire iletir. Girişler, dış dünyadan ya da kendinden önceki sinirlerden sinir ağına gelebilir. Genellikle rastgele birçok girdi alır [13].”

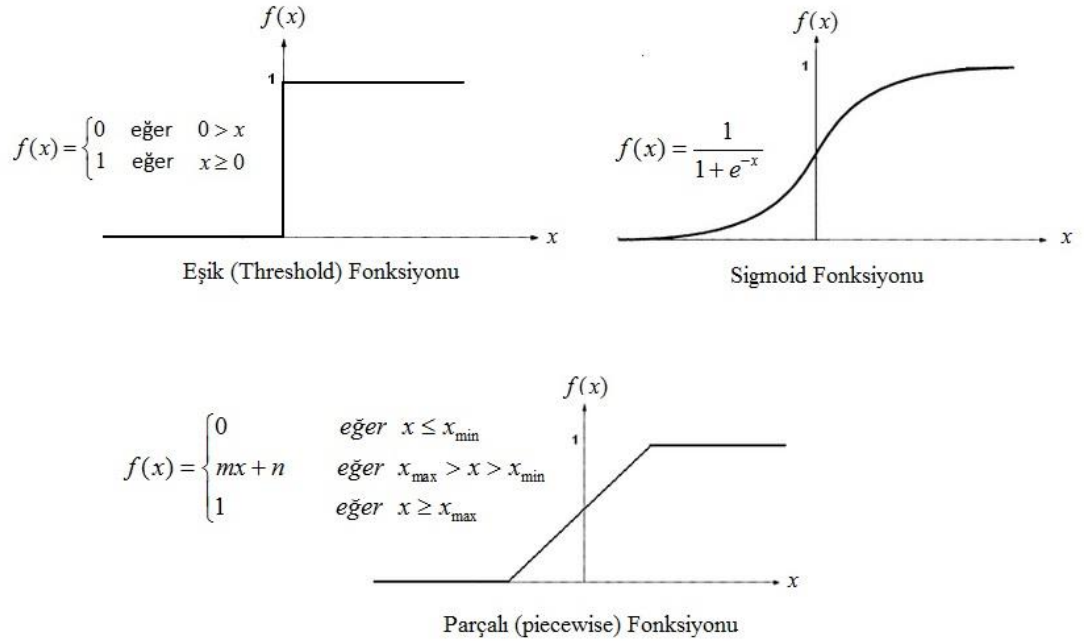
“*Ağırlıklar* (w_1, w_2, \dots, w_i), girişlere gelen girdilerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Ağırlık değerinin büyük olması, o girişin sinire güçlü bağlanması ya da önemli olması, küçük olması ise zayıf bağlanması ya da önemsiz olması anlamına gelmektedir [13].”

“*Toplama işlevi* S_i , sinirde her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamalarını eşik θ_j değeri ile toplayarak etkinlik işlevine gönderir [13].”

“*Etkinlik işlevi*, toplama işlevinden gelen bilgiyi $f(\text{etkinlik})$ değerinden geçirip çıkışa iletir. Kullanım amacı, zaman söz konusu olduğu durumlarda toplama işlevinin çıkışının değişmesine izin verir [13]. Etkinlik fonksiyonu Şekil 1.7’de gösterilen

eğrilerden biri olabilir ve çok katmanlı ağ yapılarında kullanılan en genel fonksiyonlardır [15].”

“Çıkış işlevi ise etkinlik işlevi sonucunun dış dünyaya ya da diğer sınırlara giriş olarak gönderildiği yerdir. Bir veya birden çok çıkış olabilir [13].”



Şekil 1.7. En çok kullanılan etkinlik fonksiyonları

Yapay sinir ağları ile ilgili daha detaylı bilgi Bölüm 2’de verilmektedir.

1.3. Literatür Taraması

Xie vd [16] çalışmalarında korelasyon yönteminin dezavantajından bahsetmişlerdir. Korelasyon yöntemi transfer katsayısının tanımına ve sıcaklık farklarına bağlıdır. Ayrıca akış özellikleri akışkanın sıcaklığına bağlı olduğu zaman korelasyonu elde etmek için iterasyon yöntemine ihtiyaç duyması korelasyon yönteminin dezavantajlarından biridir. Fakat yapay sinir ağları (YSA) bu yöntemlere ihtiyaç duymaz ve sadece özel bir sinir ağını eğitebilmek için girdi ve çıktı örneklerine ihtiyaç duyar.

Yaptıkları ısı değiştirgeci deneylerinde sıcak ve soğuk akışkan için sıcaklık, kütle debisi ve basınç düşümünü elde etmişlerdir. Elde ettikleri verilere hem korelasyon hem de YSA yöntemini uygulamışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Toplam 39 veri alınan bu deneylerden 30 tanesini oluşturacakları ağ yapılandırmasında eğitim, geri kalan 9 tanesi de oluşan ağı test etmek için kullanmışlardır. Çalışmada 8 girişli 3 çıkışlı bir ağ yapısı olan 8-6-5-3'ü seçmişlerdir. Girişler; Re_{su} , $Re_{yağ}$, $T_{su,giriş}$, $T_{yağ,giriş}$, toplam boru sayısı (N_t), merkez borunun çevresi (D_c), toplam bölme sayısı (N_b), bölme adımı (S_b). Çıktı tabakası da 3 parametre içermektedir. Bunlar; yağ çıkış sıcaklığı, su çıkış sıcaklığı ve ısı transferidir. Bu makale de saklı ve çıktı tabakalar için sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Makalede yapılan çalışmada YSA için öğrenme hızı 0,4'e sabitlenmiştir. Verilerin çoğunluğu için YSA hataları %2 aralığında iken, korelasyon hataları ise %8 aralığındadır. Bu sonuç doğrultusunda YSA'nın daha iyi tahmin verdiği gösterilmiştir.

Vega vd [17] çalışmalarında YSA yöntemini, açık matematiksel yöntemlere ihtiyaç duymadan karmaşık sistemleri modellemede kullanılan bir teknik olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada sınırlı sayıdaki deneysel verilere YSA yöntemi uygulanmıştır ve soğutma uygulamalarında kullanılan ısı değiştirgeçlerinin performans tahminleri bulunmaktadır. Sonuç olarak farklı koşullar altında YSA yaklaşımının ısı katsayıları tahminlerinde kullanılmasının uygun olduğu gösterilmiştir.

Islamoglu'nun [18] makalesindeki amaç, YSA yaklaşımı kullanarak kablo boru tipi ısı değiştirgeçlerindeki ısı transferini tahmin etmektir. Geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Bir C++ kodu bu algoritmayı çözmek için geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar ile YSA sonuçları arasındaki mutlak bağıl hata % 3' ün altındadır. YSA yaklaşımı ısı transferini belirlemede oldukça uygun bir yaklaşım olduğu görülmüştür.

Peng vd [19] çalışmalarında, levha kanatçık tipi ısı değiştirgecinde basınç düşümü ve ısı transferi karakteristikleri YSA yöntemi kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Deneysel olarak 5 farklı plaka-kanatçık tipi ısı değiştirgecinin ısı performansları test edilmiştir. Sürtünme etkeni (f) ve Colburn etkeni (j) değişik kanatçıklar için çeşitli

deneysel şartlarda elde edilmiştir. Geri yayılım algoritmasına dayalı ileri beslemeli yapılandırma YSA modeli olarak seçilmiştir. Bu ısı değiştirgecinde j ve f değerleri tahmini için deneysel veriler YSA da eğitilmiştir. Daha iyi bir tahmin için farklı ağ yapıları da incelenmiştir. Toplam 40 veriden 33 tanesi eğitim için, 7 tanesi ise yapılandırılan ağın doğruluğunu test etmek için kullanılmıştır. f ve j değerleri için elde edilen ortalama bağıl hata değerleri çok düşük çıkmış ve yöntemin verimli olmasına değinilmiştir.

Peng ve diğerleri [20] çalışmasında YSA'dan geri yayılım algoritmasıyla birleştirilmiş bir genetik algoritma kullanarak plaka-kanatçık tipi ısı değiştirgeçlerinin optimum tasarımını göstermişlerdir. Bu tür ısı değiştirgeçlerinde ana amaç verilen sınırlayıcı şartlarda minimum toplam ağırlık ve toplam yıllık giderdir. Toplam ağırlık için minimum başlangıç gideri ve boyutların olabildiğince küçük olması hedeflenmiştir. Toplam yıllık gider için ise en uygun basınç düşümü incelenmiştir. Toplam uzunluk, ısı değiştirgeci çekirdeğinin genişliği, sıcak taraf katman sayısı, kanatçık yüksekliği ve ısı değiştirgecinin her tarafındaki adım büyüklüğü, geri yayılım yöntemi ile desteklenen genetik algoritma için değişkenleri oluşturmaktadır. Burada geri yayılımın önemi vurgulanmış ve daha kısa sürede daha doğru sonuç verdiğiinden bahsedilmiştir. Sonuçlardan bahsedilecek olunursa; bu makale plaka-kanatçık tipi ısı değiştirgeçlerinde geri yayımlı genetik algoritma kullanılarak en uygun tasarım elde edilen ilk başarılı deneme olarak kayda geçmiştir.

Islamoglu vd [21] çalışmalarında YSA metodu kullanılarak adyabatik olmayan kılcal emme boru tipi ısı değiştirgeci performans tahmini yapmıştır. Geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada 7 tane girdi 2 tane çıktı parametresi vardır. Gizli tabaka sayısı seçiminin her problemde farklılık gösterebileceğinden ve seçilen sayının YSA metodunun performansını direk etkileyeceğinden bahsetmiştir. Çalışmalarında 650.000 eğitim döngüsünden sonra hata oranı tatmin edici bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda gizli tabakada 7 düğüm ve öğrenme oranı 0,2 olduğu zaman en iyi performans elde edildiği görülmüştür. Çıktı değerlerinin deneysel ve YSA yöntemleri arasında bağıl hata karşılaştırması yapmış, sıcaklık için YSA tahmininin maksimum hata oranı %1,94 korelasyon için %4,20 ve kütle debisi

içinse YSA tahmininin maksimum hata oranı %2,26 korelasyon içinse % 19,20 olarak bulunmuştur.

Tan vd [22] bu çalışmasında etilen glikon/su ve hava karışımı tipi akışkan içeren kompakt ısı değiştirgecindeki ısı performansını YSA yöntemiyle tahmin etmeye çalışmıştır. YSA modelinde girdi olarak, sıvı giriş sıcaklığı, hava giriş sıcaklığı, sıvı kütle debisi, hava kütle debisi, giriş blokaj yüzdeleri ve etilen alkol kütle konsantrasyonları kullanılmıştır. Toplam ısı transfer katsayısı ise çıktıyı vermektedir. Toplamda 359 adet deneysel ölçüm kullanılmıştır. Doğrusal olmayan regresyon modeli birçok bilinmeyen olan bir denklemde bilinmeyen parametrelerin Gauss-Newton algoritması ve Genetik algoritma kullanılarak iterasyon yöntemiyle tahmin etmeye dayanmaktadır. YSA modeli ile doğrusal olmayan regresyon modeli karşılaştırılmış olup, bu çalışma göstermiştir ki YSA yöntemi yüksek bir kesinlikle sıvı ve hava arasında gerçekleşen toplam ısı transferi katsayısını tahmin edebilmektedir. YSA ile alınan sonuçlar deneysel sonuçlara doğrusal olmayan regresyon modeliyle türetilmiş sonuçlardan daha yakındır.

Xie vd [23] çalışmasında 3 farklı kanatçık boru tipi ısı değiştirgeci için Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü bulmak için YSA yöntemi kullanılmıştır. YSA metodu 12 tane girdi içermektedir. Bu girdiler geometrik parametrelerden oluşmaktadır. 2 adet de çıktı mevcuttur. Bunlar ise Nusselt sayısı ile akışkanın sürtünme faktörüdür. YSA'larını eğitmek için geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Farklı ağ yapıları ve farklı sayıda gizli tabakalar kullanılarak en iyi sonuç veren yapı araştırılmıştır. Bu çalışmada YSA da kullanılmak üzere sigmoid fonksiyonu seçilmiştir. Bu fonksiyonun özelliği doğrusal ve doğrusal olmayan yapılar arasında iyi bir denge sağlamaktadır. Tahminlerde herhangi bir sorun çıkmaması için girdi-çıkı çiftleri normalleştirme olarak [0,15-0,85] alınmıştır. Farklı YSA yapıları denendikten sonra en küçük hataya sahip olan 12-9-5-2 yapılandırması seçilmiştir. Bulunan deneysel verilerin %78 ile ağ yapısı eğitilmiştir. Maksimum ortalama bağıl hata eğitilen veriler ile ölçülen veriler arasında %5' den daha azdır. Bu makale de ayrıca HAD programları kullanılarak elde edilen veriler üzerinde YSA da kullanılmıştır. Kullanılan YSA yöntemi farklı korelasyonlara göre akış sürtünmesini ve ısı

transferini daha üstünlükle tahmin ettiği söylenmektedir. HAD sonuçları ve deneysel veriler ile birleştirilmiş verilere uygulanan YSA yönteminin daha evrensel ve genel olacağını belirtilmiştir.

Islamoglu vd [24] makalesindeki amaç YSA yöntemini kullanarak kıvrımlı kanallarda ısı transferi analizi yapmaktır. YSA da en genel öğrenme yöntemlerinden olan geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmayı çözmesi için bir C++ bilgisayar programı geliştirilmiştir. YSA sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki ortalama mutlak bağıl hata %4 den daha azdır. YSA yapılandırması olarak 4-5-1 ağ yapısı kullanılmıştır. 4 adet girdi ve 1 adet çıktı mevcuttur. Deneysel verileri 2 kısma ayrılarak bir kısmı eğitim için diğer kısım ise test için kullanılmıştır. Girdi parametreleri şu şekildedir; kıvrım açısı, ekstenel çember uzunluğu, hidrolik çap ve Reynolds sayısıdır. Çıktı ise Nusselt sayısıdır. Sigmoid fonksiyonunun kısıtlayıcı etkisinden dolayı tüm girdi ve çıktı değerleri 0,1 ile 0,9 arasında olmalıdır. Bu çalışmada normalleştirilen en yüksek değer 0,9 ve normalleştirilen en küçük değer ise 0,1 olarak alınmıştır. Modelde 1 adet saklı tabaka bulunmaktadır ve bu tabaka için sırasıyla 1, 5, 10 ve 15 düğüm seçilerek modelin performansı incelenmiş ve düğüm sayısının 5 olması en iyi sonucu vermiştir. Bu sonuç öğrenme hızı ve momentum katsayısına bakılarak karar verilmiştir. 194443 adet eğitim döngüsünde ortalama mutlak bağıl hata %3'ün altında olmaktadır. Sinir ağları yönteminin regresyon analizlerine göre en önemli avantajlarının serbest doğrusal varsayım, serbestlik derecesinin büyüklüğü ve doğrusal olmayan fonksiyonlarda daha elverişli olması gerçeği vurgulanmıştır.

Vego vd [25] bu çalışması kanatçık boru tipi kompakt ısı değiştirgeci üzerinedir. Bu çalışmadaki akışkanlar; kanatçıkların içinden geçen atmosferik hava ve boruların içinden geçen ise sudur. Olası bir yoğunlaşma da beklenilebilmektedir. Daha önceden literatürde yayınlanan veriler kullanılmaktadır. Sonuç olarak, YSA yöntemi korelasyonlara nazaran çok daha güvenilir bir yöntem olduğu söylenmiş ve hata büyüklüklerinin ölçümlerdeki belirsizlikler kadar olduğunu vurgulanmıştır.

Ertunc vd [26] buharlaşmalı yoğunlaştırıcı soğutucu bir sistemin performans analizini YSA kullanarak yapmışlardır. YSA da kullanılmak üzere bulunması

gereken verileri deneysel bir düzenek kurarak almışlardır. YSA da kullanılacak girdiler şu şekildedir: yoğuşturucu yükü, hava kütle debisi, su kütle debisi, hava kuru sıcaklığı, hava ıslak sıcaklığı olmak üzere 5 adettir. Çıktılar ise yoğuşturucu atık sıcaklığı, soğutucu kütle debisi, soğutucu tarafından tüketilen kompresör gücü, kompresör motoru tarafından tüketilen elektrik gücü ve COP'dur. Bu çalışmada ortalama bağıl hata %1,90–4,18 şeklindedir. Çok karmaşık sistemlerde dahi YSA metodunun çok doğru ve hata oranının çok az olduğu tahminlerin bulunduğu vurgulanmıştır. Bunun da YSA yönteminin geliştirilmesinin doğruluğunu gösterdiği söylenmektedir.

Zdaniuk vd [27] çalışmalarında helisel kanatçıklar bulunan düz borularda sıvı su için YSA yöntemiyle Colburn j faktörü ve sürtünme katsayısı tahmin etmek üzerinedir. 2 farklı çalışmadan deneysel veriler alınıp birleştirilerek veri seti oluşturulmuştur. Çeşitli ağ yapılandırmalarından sonra 4-1 ileri beslemeli ağ yapısı en uygun olarak seçilmiştir. İlk tabakada kullanılan fonksiyon log-sigmoid, çıktı tabakasında ise doğrusal fonksiyon kullanılmıştır. Çıkan tahminler güç yasası korelasyonlarına göre (en küçük kareler yöntemiyle yapılan regresyondan elde edilen) daha doğru sonuç vermektedir.

Kelleher vd [28] çalışmalarında iki fazlı akış verileri için YSA kullanmak istemişlerdir. Soğutucularda bulunan ve çeşitli miktarlarda yağ içeren dikey tüplerden ısı transferi incelenmiştir. R-113 ve R-114'lerin kaynaması bu ısı transferinden gerçekleşmektedir. Ağ yapısı tekniği ile matematiksel korelasyonlardan daha doğru bir sonuç bulmak bu çalışmanın başlıca amacıdır. Sonuç olarak 72 farklı boru için ısı akısı tahmin edilmiştir. Alınan sonuçların kesinliği yüksek olmakla birlikte hata oranı da %10'un altındadır.

Ermis vd [29] çalışmalarında kanatçık-boru ısıl enerji depolama sisteminde geri yayılım algoritması kullanarak YSA yöntemi ile faz değişiminde ısı transferi analizi yapmışlardır. Deney düzeneği hazırlanarak veri seti oluşturulmuştur. C++ ile geliştirilen kod ile YSA analizi yaptıktan sonra, sonuçlara bakıp; 2 fazlı ısı transferi

problemlerinde YSA'nın güçlü bir araç olduğu çünkü deney düzeneği kurmak hem maddi hem de zaman açısından baya masraflı olabileceği söylenmiştir.

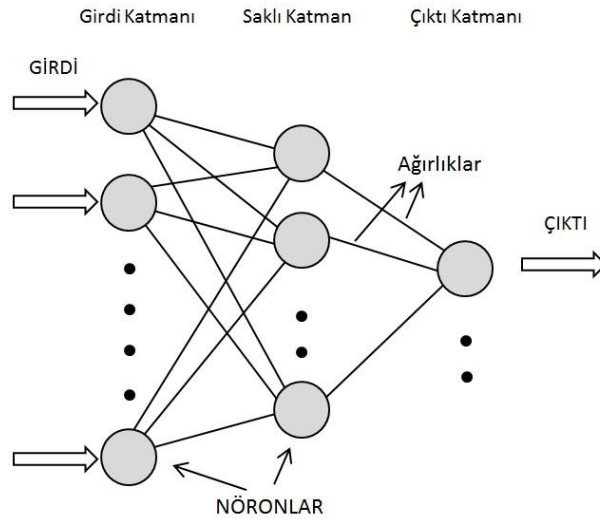
1.4. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı yapay sinir ağları yöntemiyle ısı değiştirgeci modelleyebilmektir. Bunun için seçilen ısı değiştirgeci tipi contalı plakalı ısı değiştirgecidir. Isı değiştirgeci tasarımında kullanılan en önemli parametre olan Nusselt sayısı ve sürtünme katsayıları YSA yöntemi ile tahmin edilmiştir. Literatürdeki yöntem olan korelasyonlara, alternatif bir yöntem olan YSA metodu son yıllarda önem teşkil etmeye başlamış ve bu çalışmada bu yöntemin uygunluğu gösterilmek istenmiştir. Yapay Sinir Ağları metodu öncelikle literatürden alınan deneysel verilere uygulanmıştır. Ardından TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında bulunan test düzeneğine daha önce yapılmış olan çalışmalar neticesinde elde edilen verilere uygulanmıştır. Uygulanan yöntem sonucunda elde edilen sonuçlar aynı verilere çalışmalar sonucunda çıkartılan ve belirtilen korelasyonlar ile kıyaslanmıştır. Son olarak da TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında bulunan deneysel düzeneğe bağlanan yeni bir karışık chevron açılı plaka için deneysel çalışmalar yapılmış ve elde edilen sınırlı verilere hem korelasyon yöntemi hem de YSA yöntemi uygulanarak karşılaştırılmıştır.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI İÇERİĞİ, YÖNTEMİ ve UYGULAMALARI

2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları *düğüm* ya da *sinir* olarak adlandırılan çok sayıdaki işlem elemanının bir araya gelmesiyle meydana gelir [13]. Düğümlerin sıralı bir şekilde art arda sıralanmasıyla oluşur. Böyle bir ağ yapısı birçok düğüme sahip bir dizi katman içerir. Bu düğümler nöron olarak da adlandırılmakta olup sinir ağ yapısının basit işlemcileridir. İki düğüm arasındaki her bağlantı *ağırlık* adı verilen gerçek bir değere sahiptir. Düğümlerin oluşturduğu sütuna *katman* adı verilir. İlk katman girdi katmanı, son katman ise çıktı katmanı olarak adlandırılır. Aradaki katmanlara ise saklı katman denir ve sayısı ağ yapısına bağlı olarak sayısı farklılık gösterebilir [16]. Bir katmandaki her sinir, bir sonraki katmanın bütün sinirleri ile bağlantılıdır ve bu Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Gizli katmandaki sinir sayısı da istenen sonuca göre farklılık gösterebilir. Eğer gizli sinir sayısı çok artırılırsa elde edilen sonuç istenilen sonuçtan çok uzakta olabilir ve bu ağda genelleşme sorununu meydana getirebilir [13].



Şekil 2.1. Çok katmanlı bir yapay sinir ağı

Sinir ağı yapılandırmanın birden çok yöntemi vardır ve en uygun ağ yapısını bulmak zordur. O yüzden ağ yapısı oluşumu, öğrenme algoritması ve ağ yapısının büyüklüğü deneme-yanılmanın yanı sıra tecrübeyle de karar verilebilmektedir [16].

Yapay sinir ağı oluşturulurken kullanılan mimari, öğrenme kuralı ve algoritma yapıdan yapıya farklılık göstermektedir. Modelleme yapılırken en uygun şekilde seçimler yapılmalıdır.

2.2. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Kuralları

Öğrenme yapay sinir ağlarının ayrılmaz bir parçasıdır. Yapay sinir ağı modellendikten sonra oluşan ağırlıkları giriş değerlerine veya bu girişlerin çıkışlarına bağlı olarak değiştiren veya ayarlayan kural öğrenme kuralı olarak tanımlanır. Ağları eğitmek için kullanılan öğrenme kuralı 3 farklı yöntem altında belirtilir. Bunlar danışmanlı (*supervised*) öğrenme, danışmansız (*unsupervised*) öğrenme ve destekleyici (*reinforcement*) öğrenmedir [13].

2.2.1. Danışmanlı Öğrenme

Bu öğrenme türünde yapay sinir ağlarındaki gerçek çıkış istenen çıkış ile karşılaştırılır. Bu öğrenme yönteminde en önemli rol ağırlıklarındadır. İstenen çıkış ile gerçek çıkış arasındaki hata değeri istenen değerden büyükse ağırlıklar öyle ayarlanır ki sonraki döngüde elde edilen gerçek çıkış istenen değere yaklaşır. Bu döngü istenen çıkış ile gerçek çıkış belirlenen hata değerinin altında kalana kadar devam eder. Her döngüde hata değeri azalmaktadır.

Bu yöntem için öncelikle yapay sinir ağı girişler ve çıkışlar ile eğitilmelidir. Her bir giriş grubu için o giriş grubuna ait çıkış grubu ağa sunulmalıdır. Eğitim işlemi boyunca ağırlık değerleri sürekli değişmektedir. Belirlenen hata değerinden daha düşük hata değerine sahip olduğu zaman ağ eğitme işlemi tamamlanır ve son döngüdeki ağırlık değerleri sabitlenir. Bernard Widrow ve Ted Hoff tarafından 1960

yılında geliştirilen delta öğrenme kuralı, Geoffrey Hinton ve James McClelland tarafından geliştirilen geri yayılım ağı danışmanlı öğrenmeye örnek olarak verilebilir.

2.2.2. Danışmansız Öğrenme

Danışmansız öğrenmede sistemin gerçek çıkış hakkında bilgisi yoktur. Girişlere göre kendi kendisini örnekler. Bu yöntemde ağırlıklar giriş bilgilerine göre değerlerini ayarlarlar. Danışmansız öğrenmeye Hebbian öğrenme, Grossberg öğrenme (*adaptive resonance theory*), Kohenen'in özörgütlemeli harita (*self organizing map*) ağı örnek olarak verilebilir [13]. Literatürde daha ayrıntılı bilgi bulunabilmektedir.

2.2.3. Destekleyici Öğrenme

Destekleyici öğrenme yönteminde istenilen çıkışın bilinmesine gerek yoktur. Yapay sinir ağında istenilen çıktıyı bulabilmek için gerçek bir çıktı verilmez fakat giriş ile bulunan çıktı arasında performans değerlendirmesi yapan bir kriter belirlenir. Optimizasyon problemlerinde kullanılan Boltzman kuralı ve genetik algoritmalar bu öğrenme yöntemine örnek gösterilebilir [13].

2.3. Yapay Sinir Ağ Mimarisi

Yapay sinir ağlarının düğümleri ve bağlantıları çok değişik biçimlerde meydana gelebilmektedir. Bu ağlar düğüm ve bağlantı mimarilerine göre değişik isimler alırlar. Bağlantıların yönlerine göre veya ağ içindeki işaretlerin akış yönlerine göre, ileri beslemeli (*feedforward*) ve geri beslemeli (*feedback* veya *recurrent*) olmak üzere 2 temel ağ mimarisi vardır [13].

2.3.1. İleri Besleme Sinir Ağları

Sinirler katmanlara yayılmış bulunmakta ve girişe gelen bilgi çıkışa kadar tek yönlü bağlantılar ile iletilmektedir. Bilgi aynı katmandaki diğer sinirlere iletilmez. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perceptron (*multi layer perceptron*, MLP)

ve linear vector quantization (LVQ) verilebilir. LVQ metodu destekleyici öğrenmede kullanılan bir yöntem olup, sınıflandırma problemlerinde kullanılır. Hedef değerin olmadığı bu yöntemde giriş ile çıkış arasında bir eşleştirme yapılır. MLP yönteminde ise hedef değer kümesi mevcuttur. Hedef değerler ile ağ yapısı eğitilir. Danışmanlı öğrenme yönteminden olan MLP bu yüzden mühendislik uygulamalarında yaygın tercih edilmektedir [13,30].

Bu ağ yapısında girişlere gelen bilgi x_i , gizli katman sinir sayısı j , ağırlıklar w_{ij} ise sinir içinde oluşacak olan bilgi şu şekildedir:

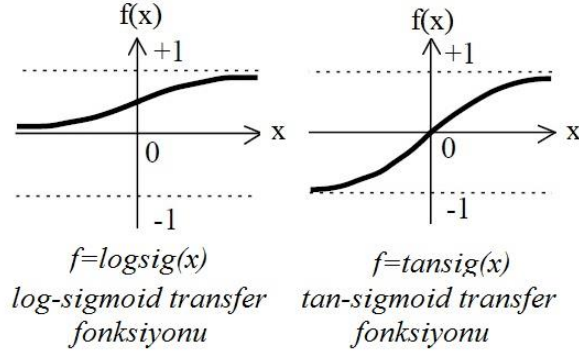
$$S_i = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i + \theta_j \quad (2.1)$$

Oluşan bu bilgi etkinlik fonksiyonunda yerine konular ve o sinirin çıktısı alınır. Şekil 1.6 incelenirse bu işlem çok rahatça anlaşılır. En yaygın kullanılan etkinlik fonksiyonları Şekil 1.7'de gösterilmiştir. Rampa fonksiyonu, basamak fonksiyonu gibi etkinlik fonksiyonları bulunmasına karşın ileri beslemeli ağlarda en yaygın kullanılan fonksiyon doğrusal olmayışı ve türevinin basit bir şekilde alınmasından dolayı sigmoid fonksiyonudur. Bir sigmoid fonksiyonu Denklem 2.2'deki gibi tanımlanır.

$$f(S_i) = \frac{1}{1 + e^{-\beta(S_i)}} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de bulunan β değeri sigmoid fonksiyonunun farklı tiplerini oluşturmaktadır ve dikliği belirler. Tez çalışmasında çıktı katmanı dışındaki katmanlarda kullanılan sigmoid fonksiyonunun türü logsig fonksiyonudur ve Denklem 2.3'de verilmektedir. Ayrıca Şekil 2.2'de farklı sigmoid fonksiyonları da belirtilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.3)$$

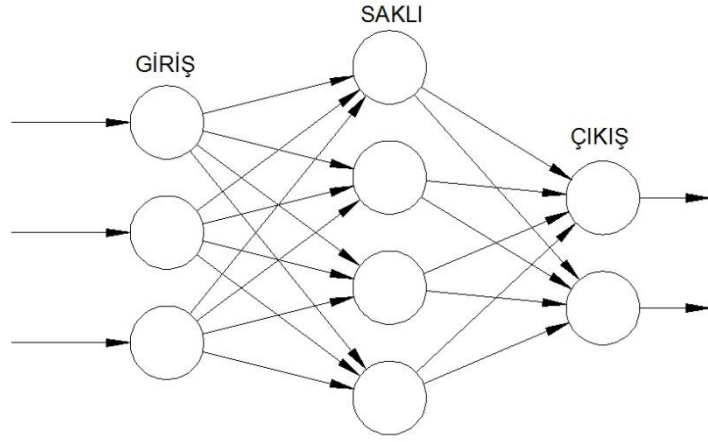


Şekil 2.2. Farklı sigmoid fonksiyonları

Fonksiyondan çıkan bilgi diğer sınırlara giriş olarak gönderilir. Tüm sınırlarda bu işlem ileri ve tek yönde yapılmaktadır. Her bir sinir kendinden sonra gelen katmandaki sınırlara bağlıdır. Çıkış sınırlarında da yapıldıktan sonra bu işlem tamamlanarak ağın çıktısı elde edilir. Genellikle bir ya da iki saklı katman ile oluşturulan ağ yeterli derece doğruluk içermektedir. Bu ağlarda çıktı katmanını dışındaki katmanlarda doğrusal olmayan (*nonlinear*) bir fonksiyon, çıktı katmanında ise doğrusal bir fonksiyon kullanılarak gerekli performans elde edilir ve ağ genelleştirilir [30]. Bu çalışmada kullanılan doğrusal olmayan fonksiyon Denklem 2.3'de verilmiştir ve çıktı katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon ise Denklem 2.4'de verilmektedir.

$$f(x) = x \quad (2.4)$$

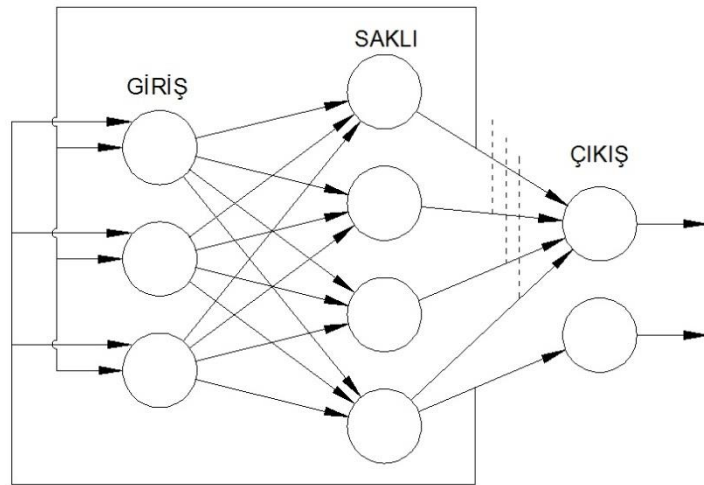
Şekil 2.3'e bakarak bilginin ileriye doğru işleyişi kolayca anlaşılabilir. Bu ağların kullanılabilirliği geri yayılım algoritması ile mümkün ve kolaydır. İleride bu algoritmadan bahsedilecektir.



Şekil 2.3. Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı

2.3.2. Geri Beslemeli Sinir Ağları

Bu ağ mimarisi genellikle danışmansız öğrenme kurallarının uygulandığı ağlarda kullanılır. Geri beslemeli ağların en önemli özelliği ağda geri besleme işleminin olmasıdır. Yani çıkış veya ara katmanlardaki çıkışlar önceki katmanlarda bulunan sinirlere giriş olarak geri beslenir. Bu durumda sinirlerdeki bilgiler hem ileri hem de geri aktarılmış olur. Şekil 2.4’de şematik olarak örnek bir geri besleme mimarisi gösterilmiştir. Bu tip mimariye en büyük örnek Hopfield ağıdır [13,30].



Şekil 2.4. Geri beslemeli sinir ağı

2.4. Yapay Sinir Ağları Öğrenme Algoritması

Giriş ve çıkışa verilen bilgilerin nasıl bir algoritma ile derleneceği çok önemlidir. Bu ağın başarısını direk etkileyen ana faktörlerden birisidir. 3 çeşit öğrenme algoritmasından bahsedilebilir. Esnek yayılım algoritması (*resilient propagation*) kısmi türevin olumsuz etkilerini öğrenme sürecinden uzak tutmak için geliştirilmiştir. Türevin değerinin değil işaretinin ağırlıkların üzerinde bir etkisi vardır. Hızlı yayılım algoritması (*Quick Propagation*) sezgisel bir algoritmadır ve sonucu doğru bir şekilde değil fakat doğruya yakın bir şekilde tahmin eder. Son olarak da Geri Yayılım Algoritması vardır [30]. Bu algoritma mühendislik problemlerinde en çok kullanılan algoritma olduğundan tez çalışmasında da yapay sinir ağlar yöntemi kullanılırken *ileri beslemeli geri yayılım algoritması* tercih edilmiştir [16]. Bu yüzden detaylı bir şekilde incelenmiş ve tezin devamında verilmiştir.

2.4.1. Geri Yayılım Algoritması (Backpropagation)

Geri yayılım çok katmanlı ileri beslemeli ağlarda kullanılan delta kuralı için genelleştirilmiş bir algoritmayı temsil eder. Delta kuralının ayrıntıları literatürde bulunabilir. Geri yayılım sayesinde ileri beslemeli ağlarda hatalar etkinlik fonksiyonunun türevi sayesinde ağda daha önce kullanılan aynı bağlantılar ile geriye doğru yayılır. Bu yöntem ile ağırlık ayarlamaları yapıldığı için geri yayılım adı kullanılmaktadır.

Q katmanlı ileri beslemeli ağ yapısı için geri yayılım algoritması aşağıda anlatılmaktadır. Algoritmada kullanılan değişken şu şekilde tanımlanmaktadır:

$q = 1, 2, \dots, Q$ katman numarası,

$H_i^q = q$ 'inci katmandaki i biriminin girdisi,

$y_i^q = q$ 'inci katmandaki i biriminin çıktısı,

$w_{ij}^q = (q-1)$ 'inci katmandaki i birimini, q -ncü katmandaki j birimine bağlayan ağırlıktır.

Algoritma ise:

1. w 'ye reel değerli küçük rastlantısal sayıları başlangıç değeri olarak atanır.
2. Rastgele bir x_i, t_i^Q (giriş, hedef) çalışma grubu seçilir ve q katmanındaki her bir j birimi için ileri yönde çıktı değerleri hesaplanır. f etkinlik fonksiyonunu temsil etmektedir. Çıkış,

$$y_i^q = f\left(\sum_{i=1}^n y_i^{q-1} w_{ij}^q\right) \quad (2.5)$$

şeklinde olur. Birinci katmanın girdileri 0 üssüyle belirtilmiştir.

$$y_i^0 = x_i \quad (2.6)$$

3. Son Q katmanında hesaplanan i birimleri için y_i^Q ve karşılık gelen t_i^Q değerleri Delta miktarlarının hesaplanmasında kullanılmalıdır. Çıktı katmanındaki çıkış birimleri için hata değerleri hesaplanır.

$$\delta_i^Q = (t_i^Q - y_i^Q) f'(H_i^Q) \quad (2.7)$$

4. $q = Q, Q-1, \dots, 2$ katmanlarındaki tüm i birimleri için geriye yayılımla deltaları yani gizli katman birimleri için hata terimleri hesaplanır.

$$\delta_i^{q-1} = f'(H_i^{q-1}) \sum_i \delta_i^q w_{ij}^q \quad (2.8)$$

5. Bütün ağırlıklar w_{ij} 'leri kullanılarak güncellenir. Aynı zamanda eşik değeri de bu şekilde güncellenir.

$$w_{ij}^{yeni} = w_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij}^q \quad (2.9)$$

$$\Delta w_{ij}^q = \eta \delta_i^q y_i^{q-1} \quad (2.10)$$

6. İkinci adıma dönüp, toplam hata kabul edilebilir bir düzeye gelene kadar sürekli tekrarlanır.

η değeri öğrenme oranını belirtir. Öğrenme oranı her zaman pozitif ve birden küçük sayı olmalıdır. Eğitim setinde kullanılan girişler birbirlerinden çok farklı ise öğrenme oranı düşük tutulur (0,1-0,2) fakat kullanılan girişler birbirlerine yakınsa eğitim oranı yüksek (0,8-0,9) tutulur. Ağ yapısı oluşturulurken bir etken de momentum teriminin hesaplamalara ilave edilmesidir. Literatürde momentum teriminin, adım sayısında ve toplam ağ hatasında bir düşüş meydana getirdiği belirtilmiştir [13]. Momentum faktörü isteğe bağlı olarak çözümü zor olan problemlerde algoritmaya eklenebilir.

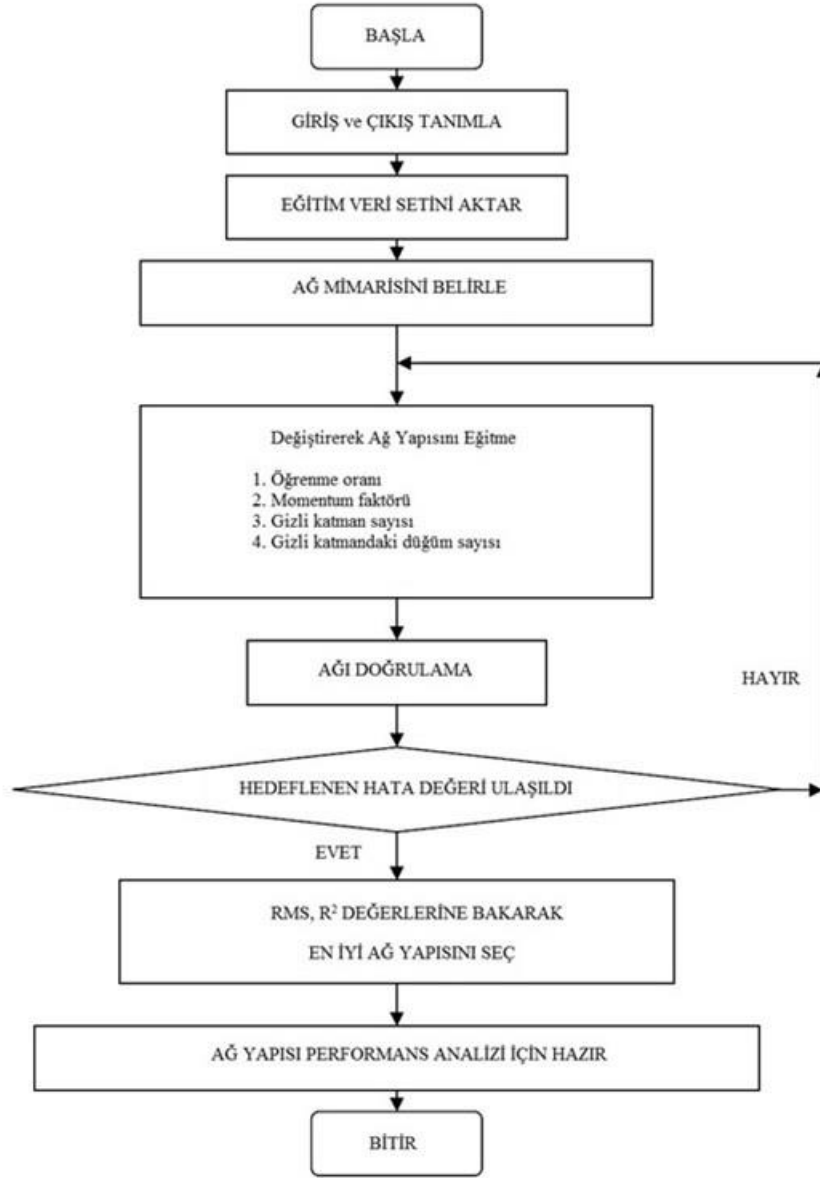
İstenen hata değerinin altında bir sonuç elde edildiği zaman öğrenme işlemi biter ve son adımda elde edilen ağırlıklar sabitlenerek ağ oluşturulur. Eğer gerçek çıkış ile istenen çıkış arasında fark yoksa ağda hiçbir değişiklik yapılmaz. Artık yapay bir sinir ağı elde edilmiştir ve performans analizi için uygundur.

2.5. Yapay Sinir Ağı Modellenmesi

Tez boyunca yapılan yapay sinir ağ çalışmalarının hepsinde MATLAB programı kullanılmıştır. Yapay sinir ağları için hazırlanacak olan veriler tamamen sayılardan oluşmalıdır. Her bir yapay sinir ağı çalışması için eldeki veriler 2 gruba rastgele bir şekilde ayrılmıştır. Birinci grup veri seti ağı eğitmek için ikinci grup veri ise ağı test etmek için kullanılmıştır. Literatürde başarılı bir öğrenme için eğitilecek sinir ağına verilen verilerin toplam veri sayısının %70-80'i oluşturması gerektiğinden bahsedilmektedir [18]. Ayrıştırma sırasında bu oran dikkate alınmıştır. Oluşturulacak yapay sinir ağına ileri beslemeli Levenberg–Marquardt Geri Yayılım (LMGY) algoritmasına sahip bir mimari kullanılmıştır ve ağ yapısı MATLAB programında *eğitim verileri* ile eğitilmiştir. LMGY algoritması diğer algoritmalara göre istenen hata değerine çok daha hızlı yakınsar [31]. Bu yüzden tüm çalışmalarda bu algoritma kullanılmıştır. Eldeki eğitim verileri ile katman ve sinir sayıları değiştirilerek farklı yapılarda ağ yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ yapılarına ikinci grup olan *test verileri* giriş olarak verilerek sonuçlar kaydedilmiştir. Burada amaç oluşturulan ağın yeni girişlere karşı vereceği sonuçların performansını incelemektedir. Böylece kullanılan yöntem geliştirilmiş olacaktır. Ağların performansı hem eğitim hem de test verileri için incelenmiştir.

Oluşturulan ağlar katmanlarındaki sinir sayılarına göre isimlendirilmiştir. Örneğin Şekil 2.3’de yer alan ağ yapısı 3-4-2 ismini alacaktır. İlk sayı giriş katmanı sinir sayısı, son sayı çıkış katmanı sinir sayısı aradaki sayılar ise sırasıyla saklı katman sinir sayılarını temsil etmektedir. Ağ yapısı oluşurken istenilen hata değerinin altında bir hata değerine sahip olana kadar tekrar edilecektir. İterasyon sayısı maksimum 1000 olarak belirlenmiş ve elde edilen tüm ağ değerleri için bu maksimum sayının hiç aşılmadığı görülmüştür. Oluşturulan çok katmanlı ağlarda çıktı katmanında doğrusal fonksiyon, ara katmanlarda ise sigmoid fonksiyonunun bir türü olan logsig fonksiyonu kullanılmak üzere seçilmiştir. Şekil 2.5’de en genel haliyle yapay bir sinir ağı oluşturma akış şeması verilmektedir ve kısa bir özeti niteliğindedir.

Bu yöntem için en önemli etkenlerden birisi de ağı eğitmek için kullanılan verilerin sayısıdır. Çok sayıda ve geniş bir aralıkta verilerin kullanılması ağın performansını artırmaktadır.



Şekil 2.5. Yapay bir sinir ağı eğitim akış şeması

2.6. Yapay Sinir Ağlarının Performansı

YSA oluşturulduktan sonra dikkat edilmesi gereken en önemli nokta hangi ağ yapısının en iyi sonuç verdiği'dir. Bunu anlamak için belirli hata testleri yapılır ve karşılaştırılır. YSA'nın öğrenmesi sırasında kullanılan ve ağın performansını ölçen fonksiyon MATLAB programında varsayılan olan karesel ortalama hata fonksiyonudur (*mean square error*, MSE). Fakat çok farklı ağ yapıları

oluşturulduktan sonra hem eğitim hem de test verilerini kıyaslamak için aşağıdaki hata tanımlamaları kullanılmıştır.

Her bir tahmin edilen çıktı değeri için tanımlanan bağıl hata;

$$\text{Bağıl Hata} = \frac{|A^e - A^p|}{A^e} \times (100)\% \quad (2.11)$$

olarak tanımlanır. A^e deneysel sonuç ve A^p ise tahmin edilen sonuçtur. (YSA'daki çıktı) Çıktı değerlerinin maksimum yerel hatası ağ yapısının maksimum hatası olarak alınmıştır. Ağ yapısı eğitilirken ağın performansı çıktı hatalarının karelerinin ortalama karekökünün (*root mean square*, rms) hesabıyla incelenir.

$$\text{rms} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left(\frac{A^e - A^p}{A^e} \right)^2} \quad (2.12)$$

M değeri toplam veri sayısını göstermektedir. rms değerinin karşılaştırmalarda küçük olması hatanın küçüklüğünü belirtir. Ağın büyüklüğü, saklı katman sayısının ve saklı düğümlerin seçimi gibi parametreler ağın performansını etkilemektedir. Oluşturulan ağ yapısını mümkün olduğunca küçük tutmak tahmin hatalarını azaltabilmektedir. Ayrıca ağın performansı eğitim verilerinden sonra test verileri ile de incelenmelidir. Bu yüzden test verilerinden elde edilen YSA tahminleri R ve σ değerlerine göre değerlendirilmektedir [23].

$$R = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M R_i = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{A^e}{A^p} \quad (2.13)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (R - R_i)^2}{M}} \quad (2.14)$$

R değeri tahminlerin ortalama kesinliğini gösterirken, σ ise tahminlerin yayılımını göstermektedir. R değeri 1'e, σ değeri de sıfıra yaklaştıkça incelenen tahminsel sonuçların gerçek değere yakınlığı artar. Bütün hata değerleri YSA çıktısı ile deneysel değer arasında hesaplanmaktadır.

3. LİTERATÜRDEKİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tezin amacı olan YSA ile ısı değiştirgeci modellemesi için ısı değiştirgeci deneysel verilerine ihtiyaç vardır. Bu bağlamda kullanılacak olan yöntem öncelikle literatürden seçilen bir çalışmanın sonuçlarına YSA modelini uygulamak ile başlar. Literatürden seçilen çalışma, plakalı ısı değiştirgeçlerinde ısı transferi ve basınç düşümü konulu bir tezdır [12]. Muley'in çalışmalarının özeti ilk başlık altında anlatılacak ve sonuçları verilecektir. Daha sonra TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında deneyleri Aktürk ve Gülenoğlu [32-36] tarafından yapılmış plakalara ait deneysel veriler için YSA yöntemi uygulanacağından bu verilere ait deneysel çalışmalar ve sonuçları ikinci bir alt başlıkta paylaşılacaktır. Son olarak ise ısı transferi hesaplamaları anlatılacak ve YSA yönteminin karşılaştırıldığı yöntem olan korelasyon hakkında bilgi verilip korelasyon çıkarımı gösterilecektir.

3.1. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar 1

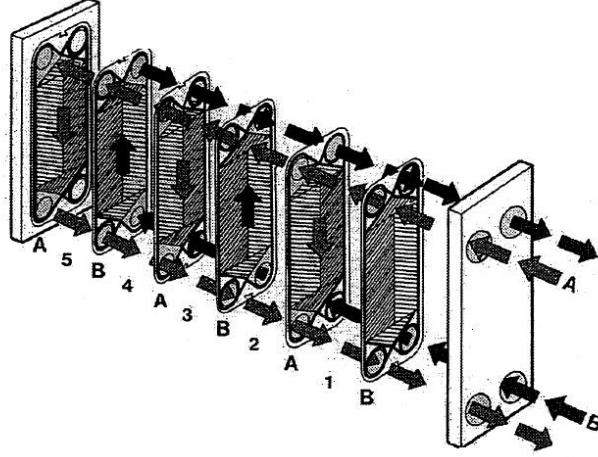
Arun Muley, plakalı ısı değiştirgeçlerinde ısı transferi ve basınç düşümünü incelemiştir [12]. Tezin içinde bahsedilen YSA yöntemi bu çalışmada sadece Nusselt sayısına uygulanmıştır. O yüzden Muley'in çalışmalarından sadece ilgili olan bilgiler verilecektir.

3.1.1 Muley'in Deneysel Çalışmaları

Deneysel çalışmaların yapılabilmesi için bir ısı-akışkan laboratuvarı kurulmuştur. Oluşturulan düzenek farklı akışkanlara, akış şekillerine ve koşullara kolayca ayarlanabilmektedir.

2 farklı plakalı ısı değiştirgeci düzeneği (ısıtma ve soğutma) yapılmış ve birbirlerine bağlanmıştır. Isı değiştirgeçleri tek geçiş, karşıt akış ve U-tipi akış düzenlemelerine sahiptir.

Kullanılan plaka sayısı çok geniş bir aralıkta deneysel ölçüm elde etmek için 8 ile 24 arasındadır. Ayrıca akışkanın Reynolds sayısı da 2 ile 10000 arasındadır.



Şekil 3.1. U-tipi tek geçişli karşıt akışı plakalı ısı değiştirgeci [12]

Deneysel olarak kullanılacak olan akışkanlar bitkisel yağ ve su olarak seçilmiştir. Bu iki akışkan için laminar, geçiş ve türbülans bölgelerinde deneyler yapılmıştır. ($2 < Re < 10000$) Hem bitkisel yağ hem de suya ait termofiziksel özellikler tezde listelenmiştir [12]. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda deneysel ölçümler elde edilmiştir. Elde edilen ölçümler; sıcak-soğuk taraf sıcaklıkları, akış debisi ve basınç düşümüdür. Bu verilerden modifiye edilmiş bir Wilson-Plot yöntemi ile korelasyonlar çıkarılmıştır.

Sıcak-soğuk taraf sıcaklıkları ve akış debisi ile birlikte plaka geometrileri kullanılarak ısı transferi hesaplamaları yapılmıştır. Deneysel düzenek ve hesaplamaların detayları Muley'in tezinde bulunabilir [12].

3.1.2 Muley'in Çalışmasında Çıkarılan Korelasyonlar

Muley [12] ısı transferi hesaplamalarından sonra kullanılan modifiye edilmiş Wilson-Plot yöntemi ile korelasyonları oluşturmuştur. Soğutucu ısı değiştirgeci için

korelasyonlar iki simetrik plaka düzeni $\beta = 30^\circ/30^\circ$ ve $\beta = 60^\circ/60^\circ$, ve bir tane de karışık plaka düzeni ($\beta = 30^\circ/60^\circ$ $\beta_{ort} = 45^\circ$) için elde edilmiştir. Laminar akış için elde edilen Nu korelasyonu Denklem 3.1’de verilmiştir. Türbülanslı akış için ise Denklem 3.2’ye bakmak yeterlidir. Bu korelasyonlar 3 farklı chevron açılı düzen içindir.

$$Nu = \begin{cases} 0,44 Re^{0,5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} & \beta = 30^\circ / 30^\circ \\ 0,50 Re^{0,5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} & \beta = 30^\circ / 60^\circ \\ 0,572 Re^{0,5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} & \beta = 60^\circ / 60^\circ \end{cases} \quad 30 \leq Re \leq 400 \quad (3.1)$$

$$Nu = \begin{cases} 0,123 Re^{0,7} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} & \beta = 30^\circ / 30^\circ \\ 0,1 Re^{0,76} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} & \beta = 30^\circ / 60^\circ \\ 0,1095 Re^{0,78} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} & \beta = 60^\circ / 60^\circ \end{cases} \quad 1000 \leq Re \quad (3.2)$$

Chevron açılı plaka düzenlemeleri için her bir plaka farklı bir korelasyon vermektedir. Laminar akışta denklemler öndeki katsayılar hariç birbirlerinin aynısıdır. Türbülanslı akışta ise denklemler birbirlerinin benzerleridir. Bu durumda denklemler hem laminar hem de türbülanslı akış için β 'ya bağımlı hale getirilmiştir. Laminar ve türbülanslı akış için Nu korelasyonlarının son halleri Denklem 3.3 ve Denklem 3.4’de görülmektedir.

$$Nu_\beta = 0,44(\beta/30)^{0,38} Re^{0,5} Pr^{1/3} (\mu/\mu_w)^{0,14} \quad 30^\circ \leq \beta \leq 60^\circ , 30 \leq Re \leq 400 \quad (3.3)$$

$$Nu_\beta = \left[0,2668 - 0,006967\beta + 7,244 \times 10^{-5} \beta^2 \right] Re^{0,728+0,0543 \sin[(2\pi\beta/90)+3,7]} Pr^{1/3} (\mu/\mu_w)^{0,14} \quad 30^\circ \leq \beta \leq 60^\circ , 1000 \leq Re \quad (3.4)$$

Deneylelerden elde edilen toplam ölçüm 178 tane laminar akış, 176 tane de türbülanslı akış için olmak üzere 354 adettir. Tezin [12] arkasındaki eklerde bu ölçümler listelenmiştir. Elde edilen ölçümlere YSA yöntemi uygulanarak sonuçlar ve karşılaştırmaları 5. Bölüm olan Sonuçlar bölümünde verilmiştir.

Muley, çalışmasında Nusselt sayısını normalleştirmiş ve işlemlerine bunun üzerinden devam etmiştir. Normalleştirilmiş Nusselt sayısı aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$Nu^+ = \frac{Nu}{Pr^{1/3} (\mu/\mu_w)^{0.14}} \quad (3.5)$$

3.2. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar 2

Bu bölümde ise TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında oluşturulmuş olan ısı değiştirgeci test tesisatında yapılmış olan deneysel çalışmalardan kısaca bahsedilecektir. Deney düzeneğinin yapılışında ve çeşitli plakalara yapılan deneylerde rol alan Fatih Aktürk ve Çağın Gülenoğlu'na ait çalışmalardan örnekler verilip, deneyleri sonucunda elde ettikleri korelasyonlar gösterilecektir. Bu başlık altında anlatılan tüm çalışmalar Aktürk ve Gülenoğlu'na aittir [32-36].

3.2.1. Aktürk ve Gülenoğlu'nun Deneysel Çalışmaları

Aktürk ve Gülenoğlu'nun çalışmalarında kullandıkları ısı değiştirgeci test düzeneği TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarına çok farklı plakaları test edecek şekilde kurulmuştur. Düzeneğin elemanları ve düzenek hakkında daha fazla detayı Aktürk'ün yüksek lisans tezinde bulmak mümkündür [35].

Deney düzeneğindeki akışkanlar tek geçiş, karşıt akış ve U tipi akış düzenine sahiptir. Sıcak ve soğuk akışkan olarak su kullanılmıştır. Deneyler 200 ile 5000 Reynolds aralığında ayrıca 9 °C ile 90 °C arasında gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında alınan ölçümler sıcak ve soğuk taraf giriş-çıkış sıcaklıkları, akışkanların giriş-çıkış arasındaki basınç düşümleri ve hacimsel debilerdir. Bu ölçümler çok farklı

sayıda ve tipte plakalar için alınmıştır. 3 farklı chevron açılı plakanın deneysel sonuçları bu bölümde incelenmiştir. Plaka 1, Plaka 2, Plaka 3 olarak adlandırılan plakaların geometrik özellikleri Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Literatürde kullanılan 3 farklı plakanın geometrik özellikleri [36]

Boyutsal Parametreler	Plaka 1	Plaka 2	Plaka 3
β (°)	30	24	30
D_p (m)	0,035	0,1	0,035
L_w (m)	0,109	0,343	0,109
L_v (m)	0,37	0,732	0,665
L_p (m)	0,335	0,632	0,63
b (mm)	2,76	2,64	2,76
t (mm)	0,45	0,45	0,45
A_l (m ²)	0,035	0,266	0,073
A_{lp} (m ²)	0,03	0,207	0,062
\emptyset	1,17	1,288	1,17

3 farklı chevron açısına sahip plakalar deney düzeneğinde farklı debiler ve sıcaklıklarda test edilmiştir. Yapılan deneylerde plaka sayısı da değiştirilerek alınan ölçümlerin yeterince genelleşmesi sağlanmıştır. Plaka tipleri, deneylerde kullanılan sayıları ve alınan ölçümlerin sayısı Çizelge 3.2 ile Çizelge 3.3’de gösterilmiştir. Çizelge 3.2’deki ölçümler Nusselt sayısı korelasyonunu bulmakta, Çizelge 3.3’deki ölçümler ise sürtünme katsayısı korelasyonunu bulmakta kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Nusselt korelasyonu için deneylerde kullanılan plaka sayıları ve alınan ölçüm sayıları [36]

Nusselt Korelasyonu için		
	Plaka Sayısı	Ölçüm Sayısı
Plaka 1	20	25
	31	27
Plaka 2	10	45
Plaka 3	21	18
	31	6

Çizelge 3.3. Sürtünme katsayısı korelasyonu için deneylerde kullanılan plaka sayıları ve alınan ölçüm sayıları [36]

Sürtünme Katsayısı Korelasyonu için		
	Plaka Sayısı	Ölçüm Sayısı
Plaka 1	20	34
	31	34
Plaka 2	10	90
Plaka 3	21	36
	31	12

Çizelge 3.2'deki her bir plakaya ait ölçüm sayısı hem sıcak hem de soğuk tarafı gösterirken Çizelge 3.3'deki ölçüm sayıları ise sıcak ve soğuk tarafın ölçüm sayısı toplamını belirtmektedir. Örneğin Çizelge 3.3'te Plaka 2 plakasındaki 90 sayısının temsil ettiği ölçüm sayısı sıcak taraf için 45 ölçüm, soğuk taraf için 45 ölçüm şeklindedir.

Deneyler sonucunda elde edilen ölçümlere YSA yöntemi uygulanmış ve çıkan sonuçlar ile bu sonuçların çıkarılan korelasyonlarla karşılaştırmaları 5. Bölüm olan Sonuçlar bölümünde verilmiştir.

3.2.2. Aktürk ve Gülenoğlu'nun Çalışmalarında Çıkarılan Korelasyonlar

Isı transferi hesaplamalarıyla birlikte yapılan ölçüm eleme işlemi sonrasında elde kalan verilere plakaya ait Nusselt sayısı korelasyonları modifiye edilmiş Wilson-Plot yöntemi ile çıkartılmıştır. Sürtünme katsayısı korelasyonları ise literatürde belirtilen Reynolds sayısı sürtünme katsayısı arasında eğri uydurma ile elde edilmiştir. Aşağıda plakalara özgün olan korelasyonlar yer almaktadır. 3 farklı chevron açısına sahip plakaların korelasyonları sırasıyla Denklem 3.6 - 3.11 arasında gösterilmektedir.

Plaka 1

$$Nu = 0,32867 Re^{0,68} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (3.6)$$

$$f = 259,9 Re^{-0,9227} + 1,246 \quad (3.7)$$

Plaka 2

$$Nu = 0,17422 Re^{0,7} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (3.8)$$

$$f = -0,003743 Re^{-0,5981} + 0,9132 \quad (3.9)$$

Plaka 3

$$Nu = 0,32774 Re^{0,675} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (3.10)$$

$$f = 1371 Re^{-1,146} + 1,139 \quad (3.11)$$

3.3. Isı transferi Hesaplamaları ve Korelasyon Çıkarımı

Deneysel sonuçlarda elde edilen ölçümler sıcak taraf giriş ve çıkış sıcaklığı, soğuk taraf giriş ve çıkış sıcaklığı, sıcak ve soğuk akışkan hacimsel debisi, sıcak akışkan giriş-çıkış arasındaki basınç düşümü ve soğuk akışkan giriş-çıkış arasındaki basınç düşümü şeklindedir. Bu verilerden deneysel Nusselt sayısının ve sürtünme katsayısının bulunması devamında ise bu verilere genelleştirilmiş birer korelasyonun nasıl çıkarılacağı anlatılmaktadır.

3.3.1 Isı Transferi Hesaplamaları

Isı transferi hesaplamaları literatürden [4, 12, 35,37] incelenerek konunun devamında listelenmiştir.

Plakalardan geçen sıcak ve soğuk akışkan arasındaki ısı transferi hesaplamalarında kullanılan μ , ρ , Pr , C_p , k gibi akış özelliklerinin bulunabilmesi için sıcak ve soğuk akışkanın ortalama sıcaklıkları ($T_{c,b} - T_{h,b}$) ve duvar sıcaklıklarının (T_w) bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu sıcaklıklar şu şekilde bulunur:

$$T_{cold,bulk} = (T_{cold,in} + T_{cold,out}) / 2 \quad (3.12)$$

$$T_{hot,bulk} = (T_{hot,in} + T_{hot,out}) / 2 \quad (3.13)$$

$$T_{wall} = (T_{c,b} + T_{h,b}) / 2 \quad (3.14)$$

Toplam transfer edilen ısı enerjisi (Q) bulmak için gerekli eşitlik Denklem 3.15 ve 3.16'da verilmiştir. Kütle debisini (\dot{m}) bulmak için gerekli bağıntı ise Denklem 3.17'de gösterilmiştir. Hacimsel debi (\dot{V}) değerleri deneyler sırasında alınan ölçümlerden biri olduğu unutulmamalıdır.

$$Q = \dot{m}_{hot} C_{p,hot} (T_{hot,in} - T_{hot,out}) \quad (3.15)$$

$$Q = \dot{m}_{cold} C_{p,cold} (T_{cold,out} - T_{cold,in}) \quad (3.16)$$

$$\dot{m} = \dot{V} \rho \quad (3.17)$$

Sıcak ve soğuk taraf akışkanları için transfer edilen toplam ısı enerjileri bulunduğundan sonra aralarında %8'den fazla fark bulunan değerler elenmektedir. Kalan değerler üstünden hesaplamalara devam edilir.

Toplam ısı transfer katsayısının (U) bulunabilmesi için logaritmik ortalama sıcaklık değeri (ΔT_{LM}) ile toplam ısı transfer alanını (A) bilmeye ihtiyaç vardır. Toplam ısı transfer alanı, plakanın geometrik özelliklerinden hesaplanabilmektedir.

$$A = A_t x N_e \quad (3.18)$$

Isı transferinde etkin plaka sayısı $N_e = N_t - 2$ şeklinde hesaplanır. N_t toplam plaka sayısını göstermektedir. Karşıt akışlı düzenlemelerde logaritmik ortalama sıcaklık değeri ise:

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln\left(\frac{(T_{h,in} - T_{c,out})}{(T_{h,out} - T_{c,in})}\right)} \quad (3.19)$$

Böylece toplam ısı transfer katsayısı (U) aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$Q = UA\Delta T_{LM} \quad (3.20)$$

Plakalar arasından geçen akışkanın Reynolds sayısı (Re), kanal kütle debisi (G_c), eşdeğer çap (D_e) ve dinamik viskoziteden (μ) bulunur.

$$G_c = \frac{\dot{m}_c}{N_{cp} b L_w} \quad (3.21)$$

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}}{N_{cp}} \quad (3.22)$$

$$N_{cp} = \frac{N_t - 1}{2N_p} \quad (3.23)$$

$$Re = \frac{G_c D_e}{\mu} \quad (3.24)$$

Toplam ısı transfer katsayısı kirlenme olmadığı düşünülürse şu şekilde hesaplanır:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{1}{h_c} + \frac{t}{k_w} \quad (3.25)$$

Deneylemlerden alınan ölçümlerden sonra elde edilen deneysel Nusselt sayısı Denklem 3.26'daki gibi hesaplanır. D_h hidrolik çapı, k_f 'de akışkanın ısı iletkenlik katsayısını temsil etmektedir.

$$Nu = \frac{hD_h}{k_f} \quad (3.26)$$

$$D_h = \frac{2b}{\phi} \quad (3.27)$$

Deneysel Nusselt sayısının matematiksel hesabının yapılabilmesi için eşdeğer Re kabulü yapmak gerekir. Deneylemler sırasında sıcak ve soğuk akışkan tarafındaki Reynolds sayıları yaklaşık olarak eşit kabul edilirse ısı transferi katsayılarının da eşit olduğu varsayımı yapılabilir; $h = h_c = h_h$ [38]. Nusselt sayısını bulurken bilinmeyen olan ısı transfer katsayısı (h) böylece:

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{U} - \frac{t}{k_w} \right] \quad (3.28)$$

şeklinde olur. Bulunan ısı transfer katsayısı (h) Denklem 3.26'da yerine yazılırsa hem sıcak hem de soğuk akışkan için deneysel Nusselt sayıları hesaplanabilir. Sıcak ve soğuk akışkan için Nu değerlerini birbirlerinden ayıran özellik ısı iletim katsayısının (k) her sıcaklıkta farklı oluşudur.

Sürtünme katsayısının deneysel olarak hesabını veren eşitlik ise Denklem 3.29'da verilmiştir. Normal koşullarda toplam basınç düşümü porttaki basınç düşümü ile kanaldaki basınç düşümünün toplamıdır. Fakat yapılan bu çalışmada basınç düşümü hesaplamalarında porttaki basınç düşümü ihmal edilmiştir. Deneyde elde edilen basınç düşümleri ve plakaların geometrik parametreleri ile hem sıcak hem de soğuk akışkan için sürtünme katsayıları Denklem 3.29 ile bulunabilir.

$$\Delta P = 4f \left(\frac{L_{eff} N_p}{D_h} \right) \left(\frac{G_c^2}{2\rho} \right) \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{-0.17} \quad (3.29)$$

3.3.2. Nusselt Sayısı Korelasyonu Çıkarımı

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda Nusselt sayısı korelasyonunu elde etmek için modifiye edilmiş Wilson-plot yöntemi kullanılmıştır. Wilson-plot yöntemi gövde boru tipi yoğuşturucularda taşınım katsayılarını bulmak için Wilson tarafından 1915 yılında bulunmuştur. Gövde boru tipi yoğuşturucularda ısı direnç hesaplamaları detaylıca literatürde bulunabilir [39]. Wilson-plot yöntemi geçen yıllar boyunca bir çok farklı uygulamaya temel oluşturmuştur. Tez kapsamında yapılan çalışmanın temelini de oluşturan Wilson-plot yönteminin modifiye edilmiş hali uygulamalı olarak aşağıda gösterilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar göstermiştir ki Nu sayısı için bulunan korelasyonlar Reynolds sayısı, Prandtl sayısı ve akışkanın ortalama sıcaklığındaki dinamik viskozite ve duvar sıcaklığındaki dinamik viskozite oranının bir fonksiyonudur [12]. Denklem 3.30'da Nusselt sayısı korelasyonunun genel hali yer almaktadır.

$$Nu = C Re^a Pr^b \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^d \quad (3.30)$$

Denklem 3.26, Denklem 3.30'da yerine yazılırsa:

$$h = \left(\frac{k_f}{D_h} \right) C Re^a Pr^b \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^d \quad (3.31)$$

denklemini ortaya çıkar. Literatürdeki çalışmalar bu denklemdeki a bilinmeyeninin 0 ile 1 arasında olduğunu göstermiştir [35]. Ayrıca bu zaman kadar yapılan araştırmaların sonuçlarında elde edilen Nu korelasyonlarında b ve d katsayıları sırasıyla 1/3 ve 0,14 olarak belirtilmiştir [12]. O yüzden a bilinmeyenine 0'dan başlanarak 1'e kadar değerler verilir ve her bir değer için Denklem 3.31 hem sıcak hem de soğuk ısı transfer katsayısı için yazılırsa (h_h, h_c) ve Denklem 3.25 ile birlikte ortak çözülürse bilinmeyen 3 parametre (h_c, h_h, C) bulunur. Her bir a değeri için bulunan C değerlerinin ortalaması alınır ve ortalamadan yüzde olarak en az sapmanın olduğu C değeri Nu korelasyonunun katsayısını o değere ait a sayısı da Re değerinin üssünü oluşturur [35].

3.3.3. Sürtünme Katsayısı Korelasyon Çıkarımı

Sürtünme katsayıları bulunduktan sonra elde edilen verilere ikinci bir eleme yapılır ve genel eğilimden sapan değerler atılır. Elde kalan sürtünme katsayıları ile Reynolds sayısı arasında kuvvet yasası (power law) uyarınca bir eğri uydurma (curve fitting) gerçekleştirilir ve Denklem 3.32'deki x, y, z bilinmeyenleri bulunarak korelasyon elde edilir. Sürtünme katsayısı korelasyonunun en genel hali Miura vd [40] tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$f = \frac{x}{Re^y} + z \quad (3.32)$$

4. BİR CONTALI PLAKALI ISI DEĞİŞTİRGEÇİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ ve SONUÇLARI

Literatürdeki çalışmalar incelendikten sonra TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında yeni bir plaka seti için deneyler yapılması ardından elde edilen ölçümlere YSA yöntemi uygulanması tez çalışmasının son aşamasını oluşturmaktadır.

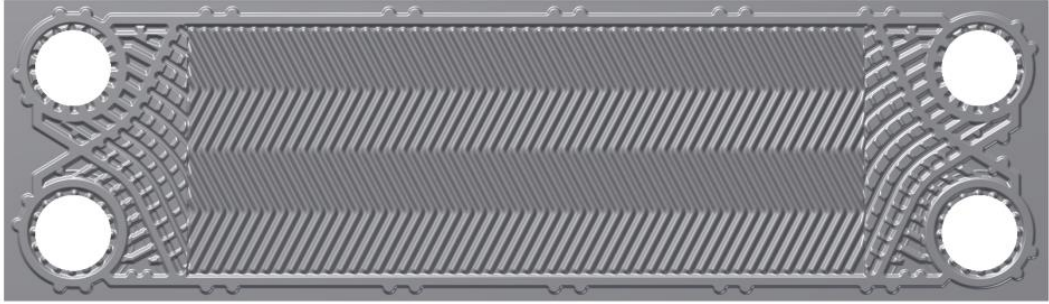
Performansı test edilecek plaka seti sanayiden temin edilmiştir. 10 plaka 27,5° chevron açılı, 10 plaka ise 62,5° chevron açılı olmak üzere plaka seti toplam 20 plakadan oluşmaktadır. Plakalar sırasıyla bir dar açı bir geniş açı olmak üzere ardışık olarak dizilip sıkıştırılmıştır. Plakanın geometrik özellikleri, deneyin yapılışı, ölçümlerin elde edilmesi ve son olarak da korelasyonun çıkarılması bu başlık altında anlatılmaktadır.

4.1. Plakaların Geometrik Özellikleri

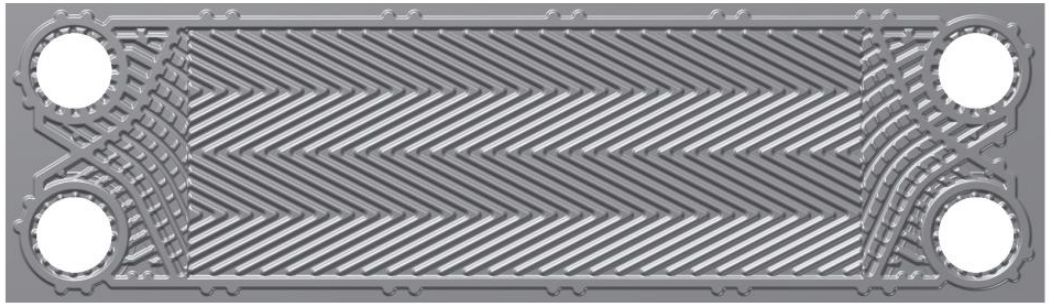
Deneyde kullanılan plakaların geometrik özellikleri deney sonucunda alınan ölçümlerle birlikte plakaların ısı ve hidrolik performansını belirlemek için önem teşkil etmektedir. Bu yüzden kullanılan karışık chevron açılı plaka setinde bulunan 2 farklı plaka lazerle taratılarak plakaların Stereolithography verileri elde edilmiş ve bu veriler plakaların 3D katı modelini oluşturmada kullanılmıştır. Şekil 4.1’de hem dar hem de geniş chevron açılı plakaların 3D katı modeli görülmektedir. Katı modeli çıkarılan plakaların geometrik özellikleri Şekil 1.4’teki boyutlandırma göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu boyutlandırma sonucundaki tüm değerler Çizelge 4.1’de verilmektedir. Bu iki plakanın Chevron açısı ve yüzey genişleme katsayısı dışında aynı ebatlara sahip oldukları dikkatten kaçmamalıdır. Bir contalı plakalı ısı değiştirgecinde plakalar art arda dizilip sıkıştırılabilmesi için boyutsal parametreleri zaten aynı olmalıdır. İleride ısı transferi ya da hidrolik özellik hesaplamalarında kullanılmak üzere Plaka 4a ve Plaka 4b’nin geometrik özelliklerinin ortalaması alınmıştır.

Çizelge 4.1. Yapılan deneylerde kullanılan plakaların geometrik özellikleri

Boyutsal Parametreler	Plaka 4a	Plaka 4b	Ortalama
β (°)	27,5	62,5	45
D_p (m)	0,058	0,058	0,058
L_w (m)	0,195	0,195	0,195
L_v (m)	0,694	0,694	0,694
L_p (m)	0,636	0,636	0,636
b (mm)	3	3	3
t (mm)	0,45	0,45	0,45
A_l (m ²)	0,12996	0,11913	0,12455
A_{ip} (m ²)	0,114	0,114	0,114
\emptyset	1,14	1,045	1,0925



(a)



(b)

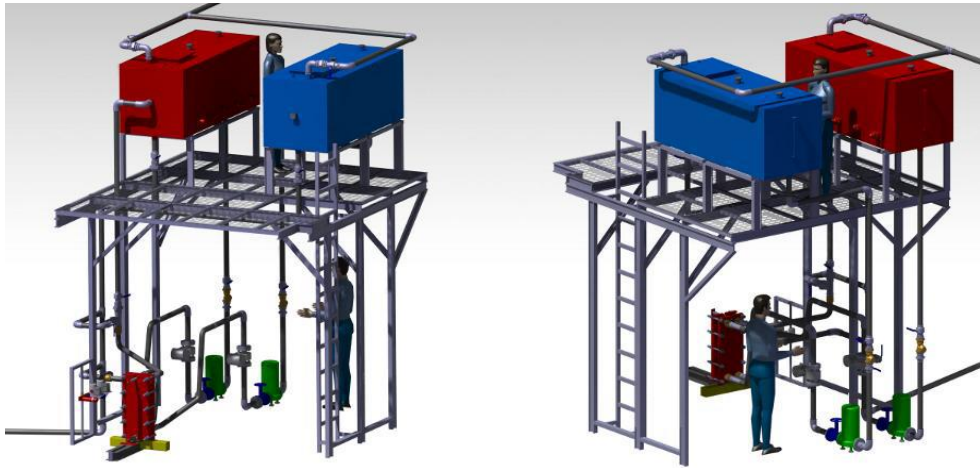
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan plakaların 3D katı model önden görünüşü
a) $\beta=27,5^\circ$ b) $\beta=62,5^\circ$

Plakaların ısı transferi hesaplamalarında kullanılan alan hesabı için gerçek değer hem kanal içi alanı hem de dağılım kanalları alanlarının toplamı şeklinde olmaktadır. Fakat dağılım kanallarının etkisi çok küçük olduğundan bu çalışmada ihmal edilerek sadece kanal alanı hesaplarda kullanılmıştır.

4.2. Deneysel Yöntem

Plakaların ısı ve hidrolik performanslarını ölçmek için yapılacak olan deneyler TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında bulunan deney düzeneğinde yapılmıştır. Deney düzeneğinin 3D katı modellemesi ve 2D şematik görünümü sırasıyla Şekil 4.2 ve 4.3'te verilmektedir. Deney düzeneğinin elemanları, performansı ve kurulurken yapılan hesaplamaları Aktürk'ün yüksek lisans tezinde bulunabilir [35].

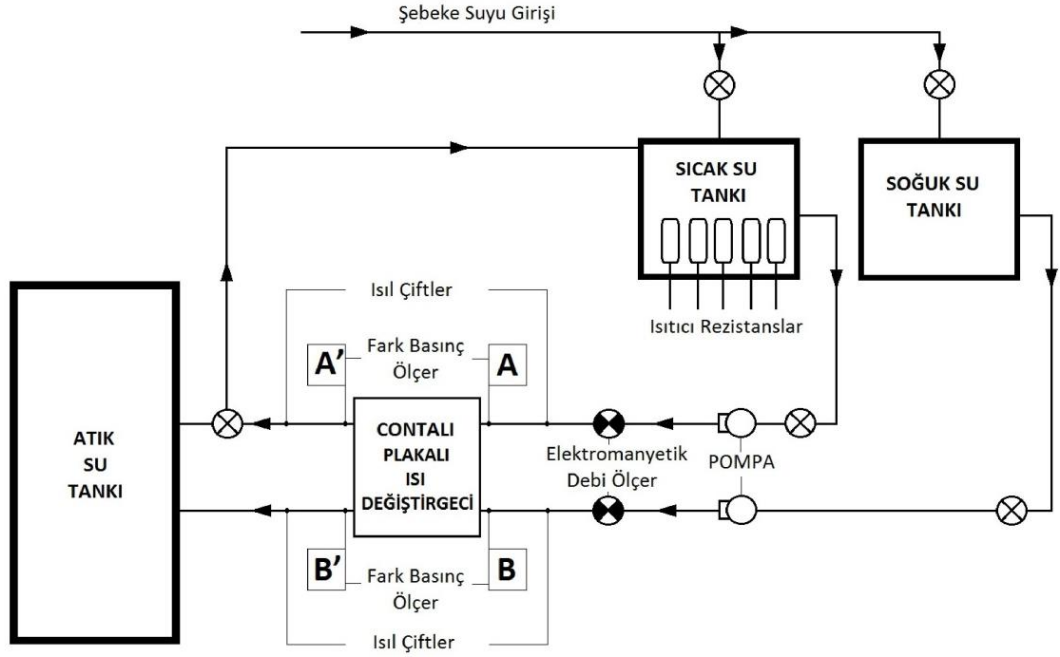
İlk olarak karışık chevron açılı plaka seti deney düzeneğine yerleştirilmiştir. U-tipi, karşıt akışlı ve tek geçişli olan bu sistemde sıcak ve soğuk akışkan olarak su kullanılmıştır. Plaka sayısı değiştirilmeden 20 adet karışık chevron açılı plaka seti için sınırlı sayıda ölçüm alınmıştır.



Şekil 4.2. TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarı deney düzeneği 3D katı model görünümü [35]

Deney düzeneğinde açık ve kapalı çevrim olmak üzere iki tip çevrim vardır. Kapalı çevrim sıcak su tankından çıkan suyun tekrardan sıcak su tankına girmesiyle, açık

çevrim ise hem sıcak hem de soğuk su tankından çıkan suyun atık su tankına gitmesiyle oluşur. Deney düzeneğinde hacimsel debi, giriş-çıkış akışkanları arasındaki basınç düşümü ve giriş-çıkış akışkanlarının sıcaklıklarının ölçümleri alınmaktadır.



Şekil 4.3. TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarı deney düzeneği şematik görünüşü [36]

Deneyin Yapılışı:

- Şehir şebekesinden alınan su, sıcak ve soğuk su tanklarına doldurulur.
- Tanklar doldurulduktan sonra sıcak su tankında bulunan elektrik rezistansları çalıştırılarak su istenilen sıcaklığa kadar ısıtılır.
- Sıcak su tankında bulunan ısıtıcılar tankın alt kısmında yer almaktadır. Bu nedenle tankın içinde bulunan suyun alt ve üst kısmında sıcaklık farklı oluşabilir. Isıtma işlemi bittikten sonra suyun her bölgede kararlı bir sıcaklığa ulaşması için kapalı çevrim açılır ve ısıl çiftler yardımıyla borulardan geçen suyun sıcaklığı takip edilerek tankın içindeki suyun sıcaklığının kararlı hale

ulaşması beklenir. Tankta bulunan suyun sıcaklığı her bölgede aynı olduğu anlaşıldıktan sonra kapalı çevrim kapatılır.

- Deneysel düzeneğindeki sıcak ve soğuk su tankları için açık çevrim konumu vanalar yardımıyla alındıktan sonra basınçölçerlerin kalibrasyonu için borulardaki hava alınır. Böylelikle deneysel düzeneği teste hazır hale gelir.
- Deneysel düzeneğinde sıcak ve soğuk suyun debileri gözle ölçülerek her bir debi değiştirme işlemi not edilir. Isılçiftler yardımıyla ısı değiştirgecine giriş ve çıkışlarda görülen sıcaklıklar veri toplayıcı sayesinde bilgisayara yazdırılır.
- Sıcaklık, basınç düşümü ve hacimsel debi ölçümleri her 20 saniyede kaydedilir.
- Deneysel sırasında debi hem sıcak hem de soğuk su için sürekli değiştirilerek geniş bir debi aralığında ölçüm alınır.
- Deneysel, tanklardaki su bitene kadar devam ettirilir.

Deneysel sırasında alınan ölçümler için maksimum ve minimum değerler Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Yapılan deneysellerde alınan ölçümler için Min-Mak değerler

Ölçümler	Minimum	Maksimum
$T_{h,i}$ (°C)	50	90,5
$T_{h,o}$ (°C)	12	77
$T_{c,i}$ (°C)	8	32
$T_{c,o}$ (°C)	24	89,8
ΔP_{hot} (kPa)	0,04	15
ΔP_{cold} (kPa)	0,14	13
V_{hot} (m ³ /sa)	0,5	6,05
V_{cold} (m ³ /sa)	0,5	5,53

4.3. Deneysel Veriler

Alınan ölçümler ile 2 farklı chevron açısına sahip plakaların geometrik özelliklerinin ortalamaları ısı transferi hesaplamalarında kullanılmıştır. Sıcak ve soğuk su için transfer edilen toplam enerji ayrı ayrı hesaplandıktan sonra %8’in üzerinde fark olan

değerler elenmiştir. Bunun sebebi deney sırasında oluşmuş belirsizlikler ve deneysel hatalar sonucu alınan ölçümlerin tutarsızlığıdır. Daha sonra kalan ölçümler üzerinden sürtünme katsayısı hesaplanmış ve basit bir eğri uydurma ile genel eğilim dışında kalan ölçümler de elenmiştir. Yapılan işlemlerden sonra korelasyon ve YSA yöntemi hesaplamalarında kullanılmak üzere 52 adet veri kalmıştır. Bu 52 ölçüm deneysel düzeneğin izin verdiği çalışma sınırları içerisinde geniş bir aralıkta alınmıştır. Bu yüzden yapılan deney sayısı yeterli bulunmaktadır. Bu değerler Ek-A'da gösterilmiştir.

4.4 Plaka 4 İçin Elde Edilen Ölçümlere Korelasyon Çıkarımı

Sınırlı sayıda elde edilen deneysel ölçümlere korelasyon çıkarımı, YSA yöntemini kıyaslamak için önem teşkil etmektedir. Wilson-Plot yöntemi kullanılarak elde edilen Nusselt sayısı korelasyonu Denklem 4.1'de verilmektedir. Eğri uydurma ile elde edilen sürtünme katsayısı korelasyonu ise Denklem 4.2'de gösterilmektedir.

$$Nu = 0,26023Re^{0,673}Pr^{1/3}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (4.1)^*$$

$$f = 386500Re^{-2,112} + 0,7299 \quad (4.2)^*$$

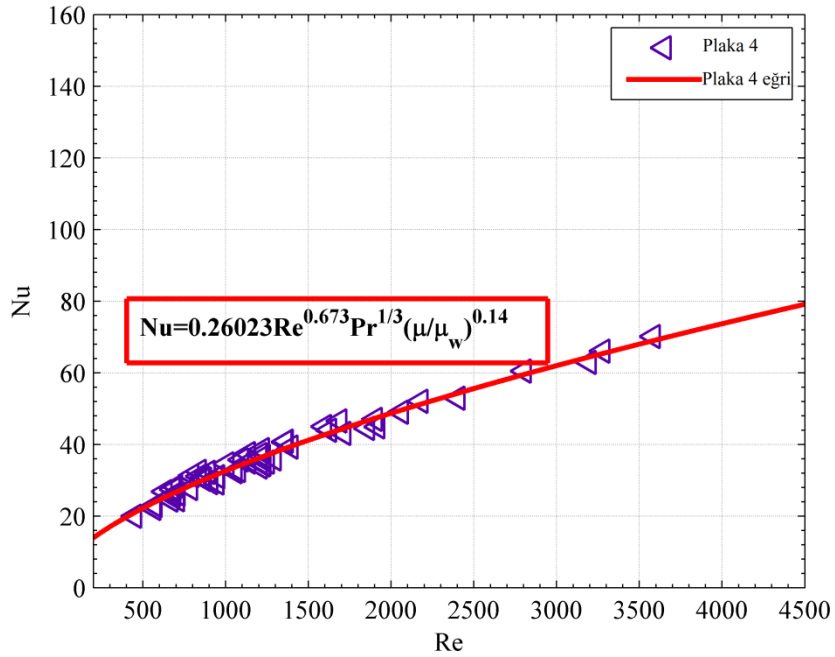
Deneysel ölçümler alınarak oluşturulan korelasyonlar için maksimum belirsizlikler: Nusselt sayısı için %2,42, sürtünme katsayısı için ise %5,32'dir. Belirsizlik hesaplamaları ise Ek-B'de anlatılmaktadır.

Çıkarılan Nusselt ve sürtünme katsayısı korelasyonları (Denklem 4.1 ve 4.2) sınırlı sayıda deneysel veri içindir. Daha fazla deney yapılarak ve plaka sayıları değiştirilerek elde edilen korelasyon geliştirilebilir.

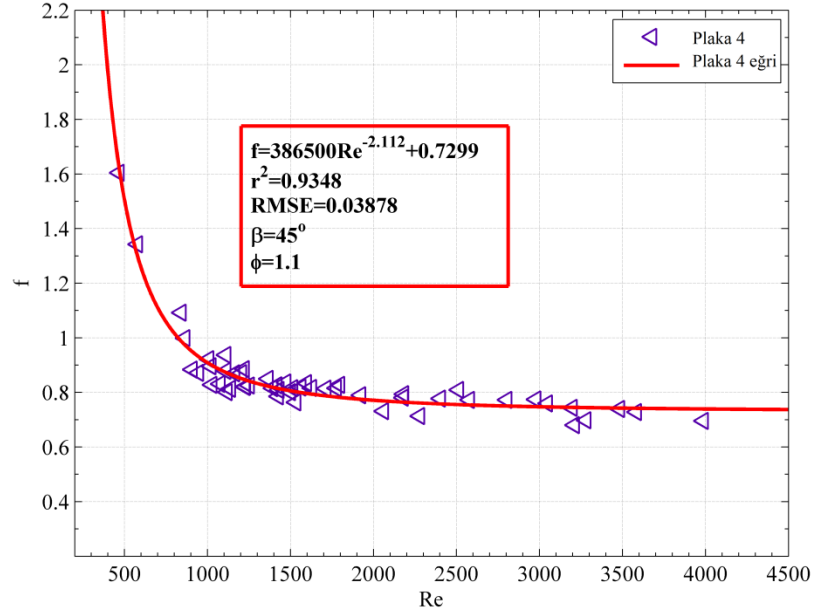
*Korelasyonların çıkarımında yardımlarından dolayı Sn. Çağın Gülenoğlu'na teşekkür ediyorum.

4.5. Yapılan Deneysel Çalışmalar ile Elde Edilen Korelasyon Sonuçları

Bölüm 4 içinde daha önceki kısımlarda ayrıntılarıyla anlatılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen Denklem 4.1 ve Denklem 4.2'deki korelasyonların, çıkarıldığı deneysel verileri ile beraber gösterimleri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de gösterilmektedir. Şekil 4.4 deneyler sonucu elde edilen Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimini gösterirken, Şekil 4.5 ise sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimini vermektedir. Şekil 4.4 ve 4.5'deki üçgenler deneysel ölçümleri temsil etmekte olup, deneysel ölçümlere eğri uydurma ile çizilen eğriler ise korelasyonu temsil etmektedir. Şekil 4.4'de Nusselt sayısı ile Reynolds sayısının doğru orantılı bir eğilime sahip olduğu anlaşılırken Şekil 4.5'deki sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile olan ilişkisinin ters orantıya sahip olduğu görülmektedir. Yalnız sürtünme katsayısı grafiğinde artan Reynolds sayılarında sürtünme katsayısının paralelleşmeye başladığına dikkat edilmelidir. Düşük Reynolds sayılarında sürtünme katsayısının etkisi daha çok hissedilir olmaya başlanmaktadır.

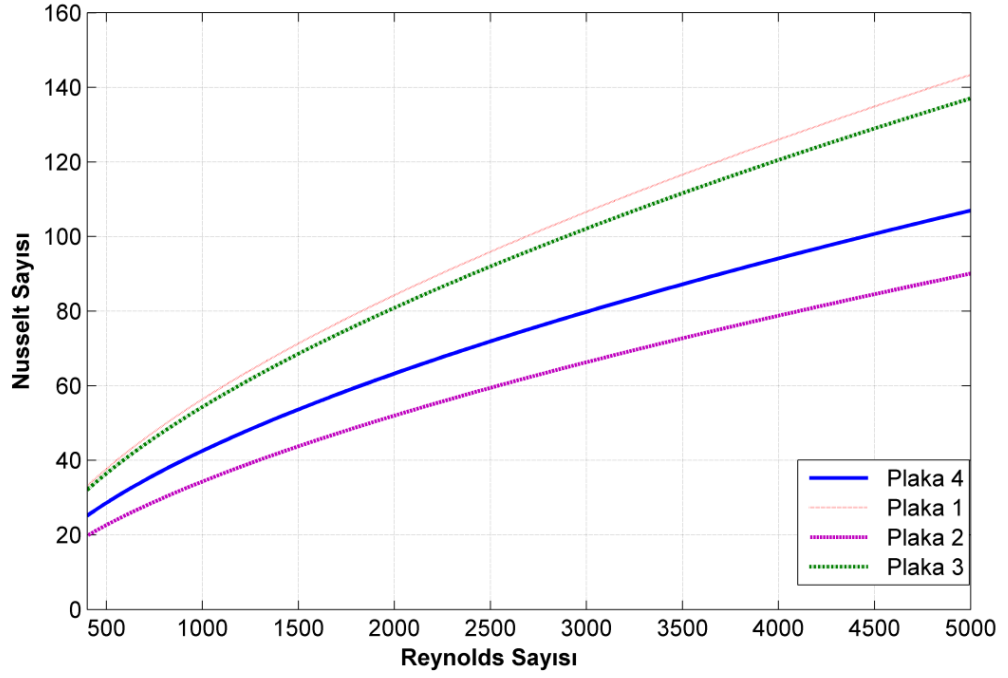


Şekil 4.4. Plaka 4 için elde edilen korelasyonun deneysel Nusselt sayısı verileri ile gösterimi



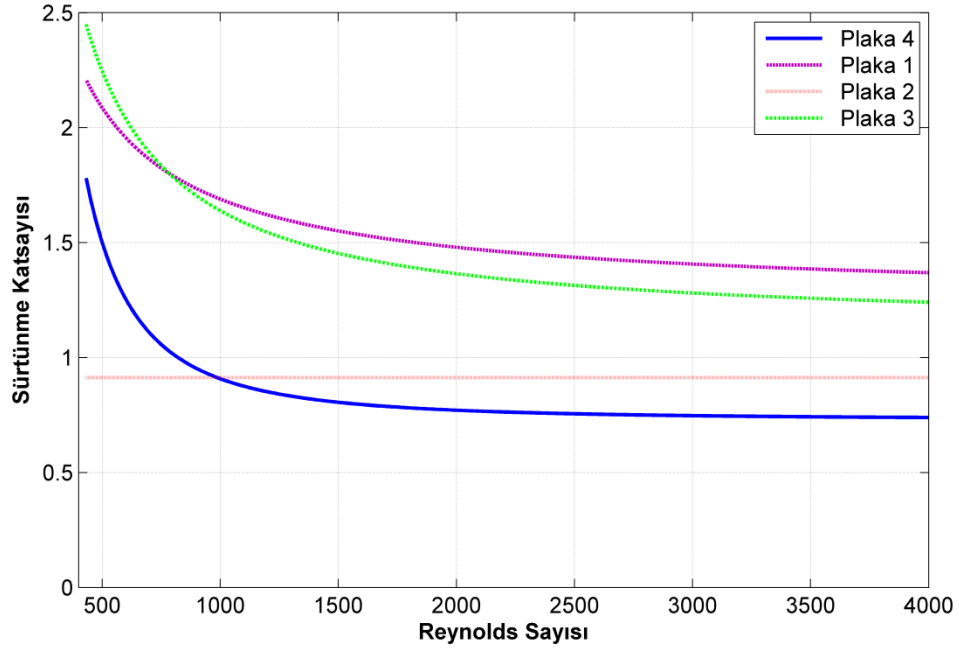
Şekil 4.5. Plaka 4 için elde edilen korelasyonun deneysel sürtünme katsayısı verileri ile gösterimi

Denklem 4.1 ve Denklem 4.2’de gösterilen korelasyonlar daha sonra aynı deney düzeneğinde daha önce deneyleri yapılan plakalara ait korelasyonlar ile karşılaştırılmıştır. Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile nasıl değiştiği Denklem 3.6, Denklem 3.8, Denklem 3.10 ve Denklem 4.1’deki korelasyonlar kullanılarak Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Denklem 4.1 elde edilirken kullanılan deneysel veriler Plaka 1, Plaka 2, Plaka 3 için bulunan Nusselt sayısı korelasyonlarında kullanılmış ve sonuçlar Plaka 4 için bulunan Nusselt sayısı korelasyonu ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.6 incelendiğinde Plaka 4 için elde edilen Nusselt sayısı korelasyonu daha önce aynı deney düzeneğinde elde edilen Nusselt sayısı korelasyonlarının sonuçlarından farklıdır. Bu sonuç elde edilen Nusselt korelasyonlarının genel itibariyle plakalara özgü olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.6. Plaka 4 için bulunan Nu korelasyonunun Plaka 1, Plaka 2 ve Plaka 3 Nusselt sayısı korelasyonlarıyla karşılaştırılması

Şekil 4.7’de ise Plaka 1, Plaka 2, Plaka 3 ve Plaka 4’e ait sürtünme katsayısı korelasyonlarının Plaka 4 deney verileri kullanılarak elde edilen sonuçlarının karşılaştırması mevcuttur. Plaka 4 ile yapılan deneyler sonucunda ölçülen değerlerden gerekli olan bilinenler Denklem 3.7, Denklem 3.9, Denklem 3.11 ve Denklem 4.2’de bulunan korelasyonlarda yerlerine yazılarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde genel olarak eğrilerin eğilimleri benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Fakat Plaka 4 için elde edilen sürtünme katsayısı korelasyonunun verdiği değerler diğer plaka korelasyonlarının sonuçlarından farklıdır. Bu da sürtünme katsayısı için elde edilen korelasyonların plakaya özgü olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.7. Plaka 4 için bulunan f korelasyonunun Plaka 1, Plaka 2 ve Plaka 3 sürtünme katsayısı korelasyonlarıyla karşılaştırılması

4.6. Yapılan Deneysel Çalışmalar için YSA Uygulamaları ve Sonuçları

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen ölçümlere çıkarılan korelasyonlar daha önce Denklem 4.1 ve Denklem 4.2’de verilmiştir. Oluşturulan YSA modellerinin çıkarılan korelasyonlar ile karşılaştırılması yapılarak YSA yönteminin performansı incelenecektir.

Deneyle yapılarak ölçümleri alınan plakalar Plaka 4a ve Plaka 4b’dir. Bu iki plakayı birbirinden ayıran özellik ise chevron açısının farklı oluşudur. YSA yönteminin karışık chevron açılı plaka setlerinde nasıl sonuçlar verdiğini incelemek deneysel çalışmanın başlıca amacıdır. Deneyle yapıldıktan sonra elde edilen ölçümler hem ısı transferi denklemleri hem de hidrolik performans denklemlerine konularak deneysel Nusselt sayıları ve sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen deneysel Nu sayısı ve f sayısına çıkarılan korelasyonlar Denklem 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir. Aynı deneysel ölçümler YSA yönteminde kullanılmak üzere

hazırlanmıştır. 2 önemli parametre olan Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısı YSA tahminleri ve karşılaştırmaları iki alt başlıkta verilmiştir.

4.6.1 Nusselt Sayısı Tahminleri ve Karşılaştırmaları

Yapılan deneyler sonucunda deney düzeneğinin izin verdiği çalışma sınırları içerisinde 52 adet veri elde edilmiştir. Elde edilen veriler YSA yönteminde kullanılmak üzere iki gruba ayrılmıştır: 40 adet eğitim, 12 adet test. Ayrıştırma işlemi tamamen rastgele olmuştur. Veri grupları oluşturulduktan sonra Matlab programı ile farklı sayıda katman ve düğümlerden oluşan ağ yapıları elde edilmiştir. Elde edilen ağ yapıları ve o ağ yapılarına ait YSA tahminlerin hataları, Denklem 4.1'de daha önce verilen korelasyonun hata sonuçlarıyla birlikte Çizelge 4.3'de verilmektedir.

Plaka 4 için Nusselt sayısını tahmin etmede kullanılan girdiler ve çıktı aşağıda listelenmiştir. Daha önceki plakalara uygulanan YSA yöntemi girdilerinden farklı olarak girdi sayısı azaltılmıştır. Karışık chevron açılı plaka setine YSA yönteminin uyarlanabilirliğinin yanında ayrıca daha düşük girdi sayılarından YSA yönteminin Nusselt sayısını tahmin etmede ne derece başarılı olduğu araştırılmaktadır. Şekil 4.8'de Nusselt sayısını tahmin etmede seçilen ağ yapısının şematik görünümü gösterilmektedir.

Girdiler

- Giriş sıcaklığı, T_i
- Çıkış sıcaklığı, T_o
- Kütle debisi, \dot{m}
- Reynolds sayısı, Re
- Prandtl Sayısı, Pr
- Viskozite oranları, μ/μ_w

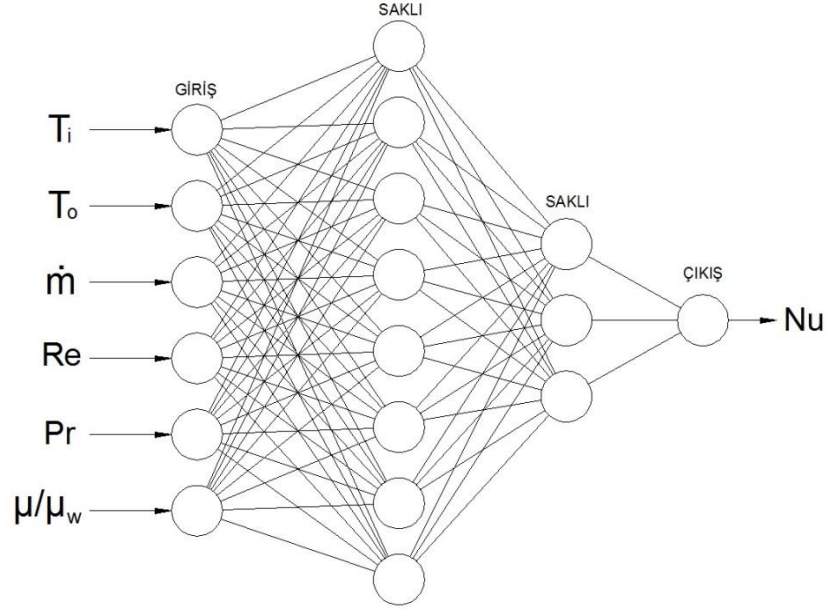
Çıktılar

- Nusselt sayısı, Nu

Çizelge 4.3. Plaka 4 için oluşturulan Nu sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri

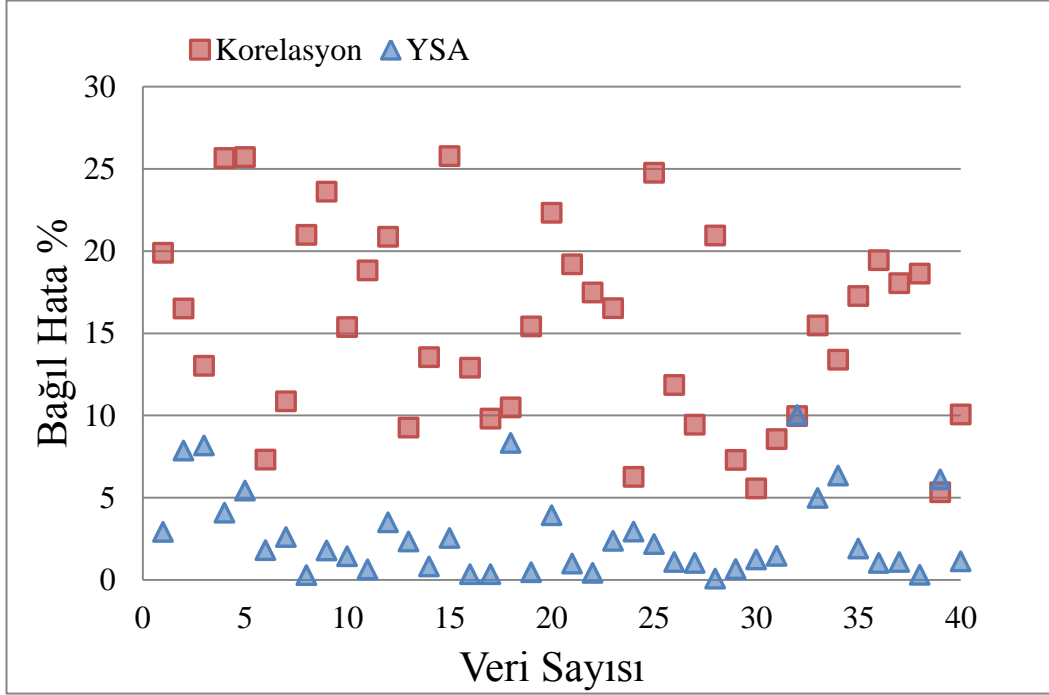
Ağ Yapısı	Eğitim Hata		Test Hata	
	Mak. Bağlı Hata %	rms	R	σ
Korelasyon	25,7722	0,1644	1,172788	0,0600
6-3-1	14,5584	0,0629	1,009940	0,0738
6-4-1	73,0819	0,1379	0,921832	0,2214
6-5-1	16,3990	0,0586	1,016210	0,0774
6-6-1	31,8331	0,1506	1,116038	0,1910
6-4-2-1	35,4763	0,0933	0,978064	0,1078
6-8-3-1	10,0154	0,0369	0,969930	0,0657

Çizelge 4.3 irdelenecek olunursa, 6 farklı ağ yapısı oluşturulup elde edilen tahminlerin deneysel sonuçlar ile karşılaştırmaları sonucunda hesaplanan hata değerleri hem eğitim hem de test veri grupları için verildiği görülecektir. Saklı katman sayısı tek iken elde edilen sonuçlar incelenirse korelasyon yöntemiyle kıyaslanabilecek bir ağ yapısı olarak 6-3-1 seçilebilir. 6-3-1 ağ yapısının eğitim verileri için ortalama bağlı hata değeri %5 civarında iken korelasyon yönteminde bu değer %15 civarındadır. Aynı zamanda 6-3-1 ağının performansını test etmek üzere sonradan gönderilen test verileri için elde edilen tahminler de korelasyondan daha iyi sonuç vermektedir. Fakat uygulanan YSA yöntemlerinde hiçbir zaman kesin doğru sonuçlar yoktur. Her zaman daha düşük hatalı ağ yapıları elde edilebilir. Bu yüzden saklı katman sayısı ikiye çıkarılarak tekrardan ağ yapıları oluşturulmuş ve bunların performansları incelenmiştir. Netice 6-8-3-1 ağ yapısının eğitim verileri için ortalama bağlı hatasının %2,66 olması bu ağ yapısını hem korelasyondan hem de 6-3-1 ağ yapısından daha çok tercih edilir kılmıştır. Bu zamana kadar saklı katmandaki düğüm sayısı hiçbir zaman girdi katmanında bulunan düğüm sayısından yüksek ağ yapısı tercih edilmemişti. Fakat oluşturulan ağlar istenilen düzeyden daha yüksek hata değerleri veriyorsa YSA yönteminde iyileştirilmeye ya da farklı seçenekler denemeye gidilebilir. Test verileri ile ağın performansı incelenmek istendiğinde R değerinin 0,96 ve σ değerinin 0,0657 olmasıyla korelasyondan iyi bir şekilde deneysel Nu değerini tahmin ettiği görülmektedir.

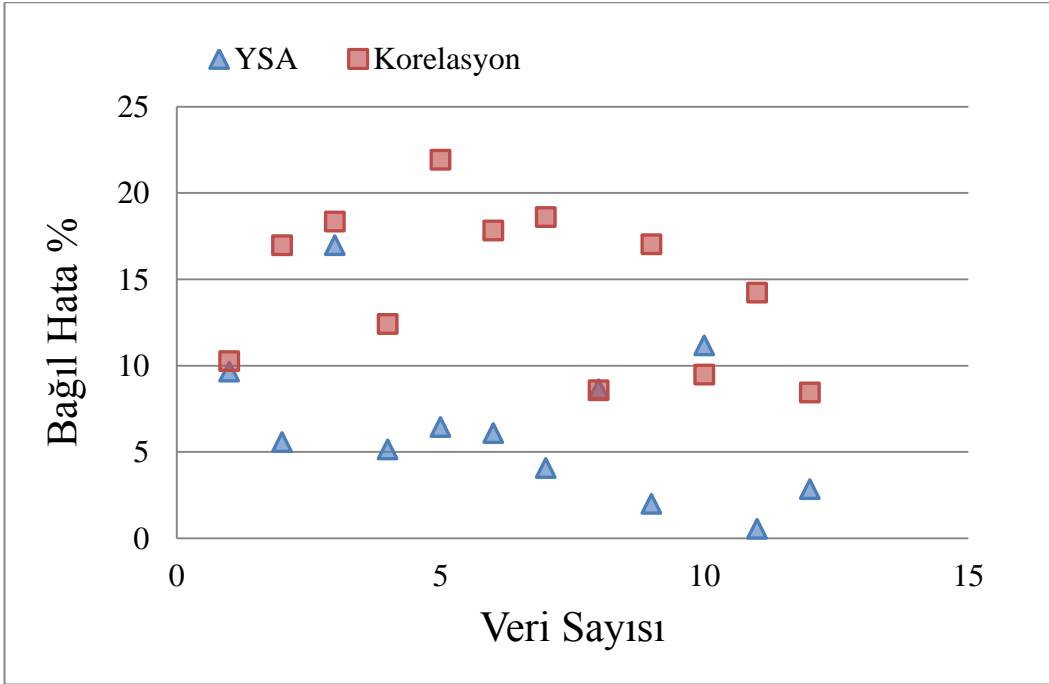


Şekil 4.8. Plaka 4 için oluşturulan 6-8-3-1 YSA ağ yapılandırılması şematik görünüşü

6-8-3-1 ağ yapısı seçildikten sonra bu ağ yapısına ait tahminlerin deneysel sonuçlar ile kıyaslanması ve hataların hesaplanması daha sonra da aynı verilere ait korelasyon sonuçlarının deneysel değerler ile kıyaslanması Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da hem eğitim hem de test verileri için gösterilmektedir. Şekil 4.9'a baktığımız zaman korelasyon hata değerlerinin genel olarak %10-25 aralığında dağıldığını, YSA tahminleri sonucunda hesaplanan hata değerlerinin ise %10 sınırı altında kaldığı anlaşılabilmektedir. YSA yöntemini eğitmekte kullanılan verilerin 6-8-3-1 ağ yapısı sonucunda oluşturduğu tahminler deneysel değerlere korelasyonlara göre çok daha yakındır. Şekil 4.10 ise seçilen 6-8-3-1 ağ yapısı için sonradan gönderilen bir grup veriye ait performans sonuçlarını vermektedir. Test verilerinin hem korelasyon hem de YSA yöntemlerince kullanılması sonucunda elde edilen hata değerlerinde YSA yönteminin korelasyona göre yine üstünlüğü söz konusudur.

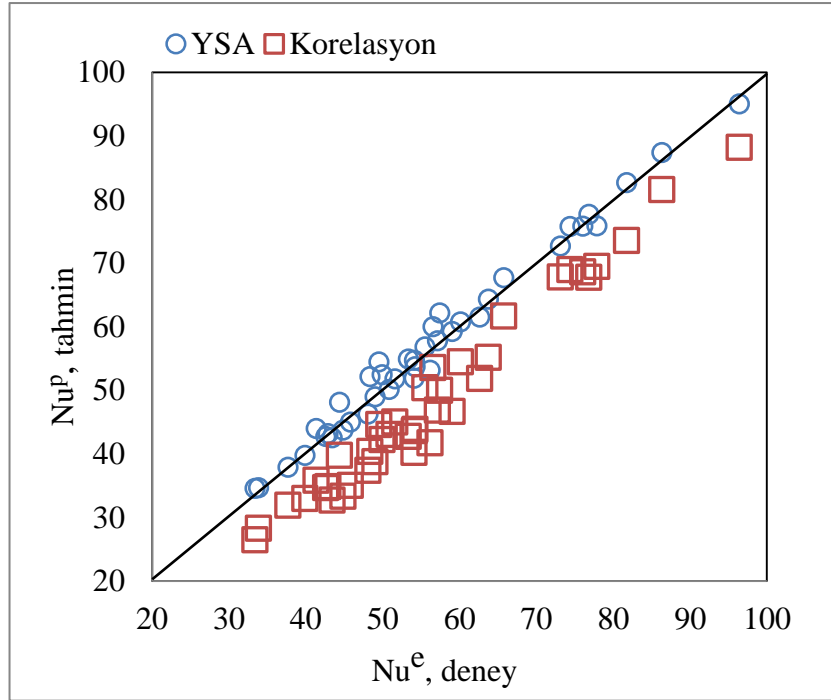


Şekil 4.9. Plaka 4 için 6-8-3-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

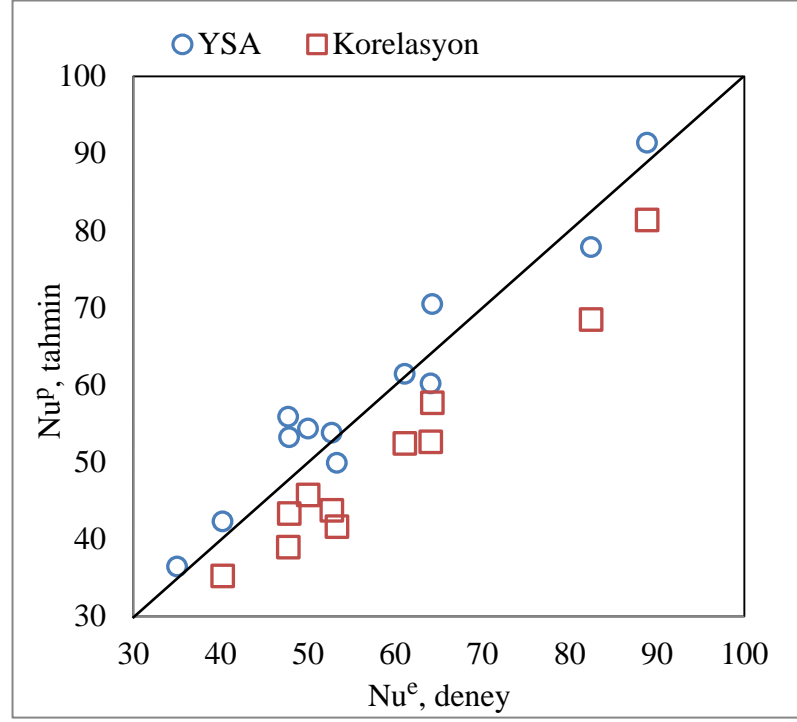


Şekil 4.10. Plaka 4 için 6-8-3-1 YSA modelindeki test verilerinin Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

Hata değerleri verilen YSA ve korelasyon yöntemlerinin, yöntemler sonucu elde edilen Nusselt değerlerinin nasıl değişti ise şekil 4.11 ile şekil 4.12’de bulunmaktadır. Eğitim ve test verileri için ayrı ayrı gösterilen Nu değerlerine bakılırsa YSA yöntemi sonucunda tahmin edilen Nu değerlerinin mkemmел çizgiye korelasyona göre daha yakın olduğu şekil 4.11 ve şekil 4.12 incelenerek anlaşılabilir.



şekil 4.11. Plaka 4 eğitim verileri için Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları



Şekil 4.12. Plaka 4 test verileri için Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları

4.6.2 Sürtünme Katsayısı Tahminleri ve Karşılaştırmaları

Deneysel çalışmanın devamında elde edilen 52 adet veri için Denklem 3.29 kullanılarak deneysel sürtünme katsayıları deney sırasında ölçümü alınan basınç düşümü ve plakanın geometrilerinden yararlanılarak bulunmuştur. Sürtünme katsayısını YSA yöntemi ile tahmin etmek için seçilen girdiler ve çıktı aşağıda, aynı zamanda Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Veriler seçildikten sonra, YSA yönteminde kullanılmak üzere iki gruba ayrılmıştır: 40 adet eğitim, 12 adet test. Ayrıştırma işlemi tamamen rastgele olmuştur. Veri grupları oluşturulup, Matlab programı ile farklı sayıda katman ve düğümlerden oluşan ağ yapıları elde edilmiştir. Elde edilen ağ yapıları ve o ağ yapılarına ait YSA tahminleri, korelasyon sonuçlarıyla birlikte Çizelge 4.4’de bulunmaktadır.

Girdiler

- Giriş sıcaklığı, T_i
- Çıkış sıcaklığı, T_o
- Kütle debisi, \dot{m}
- Reynolds sayısı, Re
- Basınç düşümü, ΔP
- Viskozite oranları, μ/μ_w

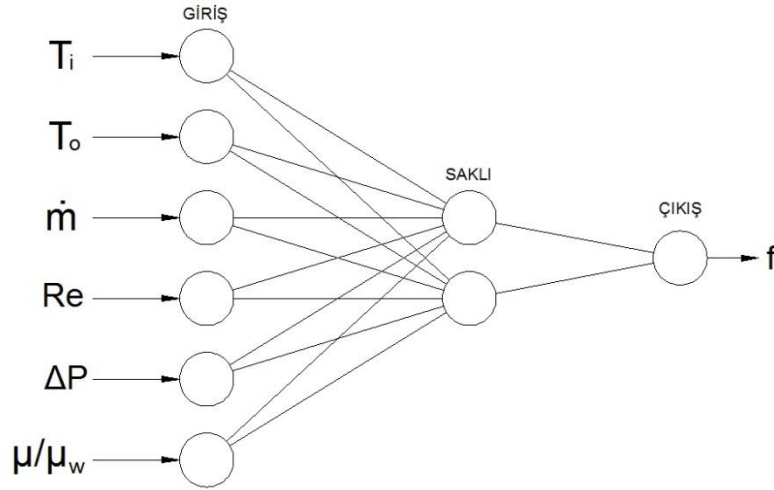
Çıktılar

- Sürtünme katsayısı, f

Çizelge 4.4'e baktığımız zaman 6 adet farklı ağ yapısının incelendiği görülmektedir. Hem eğitim hem de test verileri için incelenen bu yapılar aynı zamanda kendi aralarında ve korelasyon ile de kıyaslanmaktadır. Eğitim verileri için rms değerlerine baktığımızda en düşük değer 6-2-1 ağ yapısına ait olduğunu görülmektedir. Korelasyonun rms değeri 0,0463 iken 6-2-1 ağ yapılandırmasının rms değeri 0,0353'tür. Diğer ağ yapılandırmaları ne yazık ki korelasyon yöntemi ile kıyaslandığında korelasyondan kötü bir performans sergilemişlerdir. Yalnız bu diğer yöntemlerin kötü birer tahmin verdiği anlamına gelmemektedir. Sadece korelasyon ile kıyaslanmaları sonucunda daha korelasyona göre sürtünme katsayısını daha kötü tahmin etmişlerdir. 6-2-1 ağ yapısı korelasyon ile seçildikten sonra bu ağ yapısı için sonradan gönderilen test verileri ile ağın performansı daha ayrıntılı incelenmiştir. 6-2-1 ağ yapısı test verileri için R değeri 0,98 iken korelasyonda bu değer 0,999'dur. Korelasyonun sürtünme katsayısını tahmin etmedeki başarısı test verilerinin bir bölümü için daha yüksektir fakat tahminlerin dağılımına bakacak olursak korelasyon yönteminde bu değer 0,0382, YSA yönteminde ise 0,0301'dir. Kısacası YSA yöntemi sonucunda elde edilen test verine ait sürtünme katsayılarının dağılımı korelasyon yöntemine göre daha sık bir aralıktadır.

Çizelge 4.4. Plaka 4 için oluşturulan f sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri

Ağ Yapısı	Eğitim Hata		Test Hata	
	Mak. Bağlı Hata %	rms	R	σ
Korelasyon	9,5970	0,0463	0,999118	0,0382
6-2-1	11,4683	0,0353	0,980475	0,0301
6-3-1	24,1091	0,0588	0,995481	0,0637
6-4-1	32,1696	0,0682	0,988117	0,0799
6-6-1	33,4907	0,0702	0,991296	0,0581
6-4-2-1	46,5951	0,0856	1,050396	0,1668
6-8-3-1	31,0062	0,1147	0,954769	0,0274

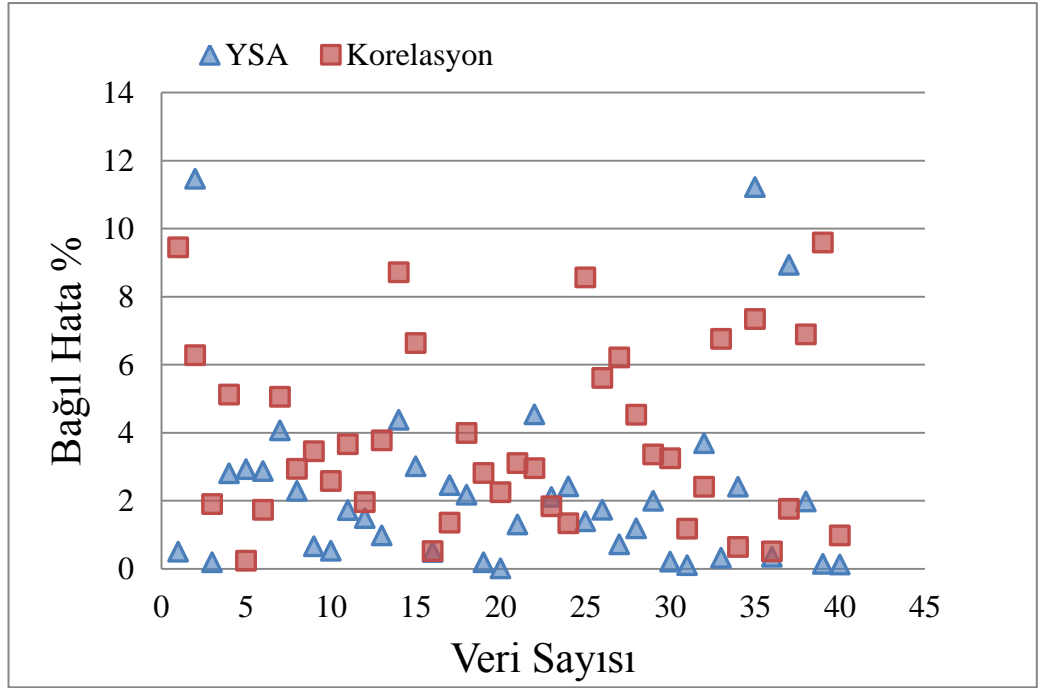


Şekil 4.13. Plaka 4 sürtünme katsayısı için oluşturulan 6-2-1 YSA ağ yapılandırılması şematik görünüşü

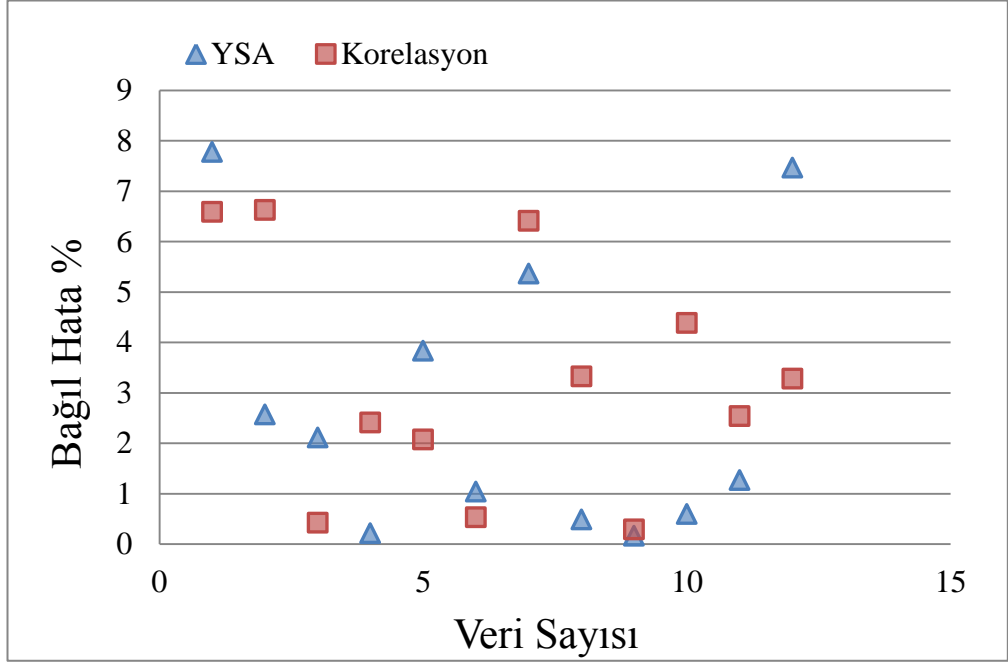
Şekil 4.13 seçilen 6-2-1 ağ yapısına ait şematik görünümü vermektedir. Her bir düğümün bir sonraki katmandaki düğümler ile bağlantı şekli aynı zamanda girdilerin izlediği matematiksel yolu da temsil etmektedir.

Şekil 4.14 ile Şekil 4.15’de 6-2-1 ağ yapısı eğitim ve test veri grupları için elde edilen YSA tahmini ve korelasyon sonuçlarının deneysel değerler ile aralarındaki hatalar verilmektedir. Eğitim verileri için YSA tahminleri ortalama bağlı hata oranı

%2,3 iken korelasyonda bu oran %3,83 çıkmaktadır. YSA tahminlerinin bağıl hataları genel itibariyle %6'lık dilimin içinde iken korelasyon bazı veriler için %6 hatta %8 sınırını geçmektedir. Seçilen ağ yapısına daha sonra gönderilen test verileri ile ek performans analizleri yapılmıştır. Şekil 4.15'de bulunan bu ek performans analizlerinden de anlaşılacağı üzere YSA yöntemi sürtünme katsayısını tahmin etmede korelasyondan çok üstün olmakla birlikte ve daha iyi bir seçenektir.



Şekil 4.14. Plaka 4 için 6-2-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları



Şekil 4.15. Plaka 4 için 6-2-1 YSA modelindeki test verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

5. LİTERATÜDEN ALINAN VERİLERE YSA UYGULAMALARI

Literatürdeki çalışmalar (önceki bölümlerde anlatılan 2 farklı deneysel çalışma) ait yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen deneysel verilere YSA yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar korelasyon yöntemiyle de karşılaştırılarak tezin devamında sunulmuştur.

3 farklı deneysel çalışmanın ölçüm sonuçları YSA yönteminde kullanılmak üzere Microsoft Excel programında hazırlanmıştır. Her bir veri topluluğu YSA yönteminin eğitim ve test kısımlarında kullanılmak üzere iki parçaya rastgele bölünmüştür. Veriler Matlab programı kullanılarak eğitilmiş ve birden fazla ağ yapılandırması oluşturulmuştur. Eğitilen veriler sonucu oluşturulan ağ yapılandırılmalarına daha önceden ayrılan test verileri gönderilerek çıktılar alınmış, incelenmiş ve hata hesaplamaları yapılarak tezin devamında sunulmuştur.

Korelasyonlar elde edildikten sonra deneysel Nusselt sayısını ve sürtünme katsayısını veren veriler korelasyonlarda da yerlerine konarak o veriye ait korelasyon sonuçları da hesaplanmıştır. Veriler eğitim ve test olarak ikiye bölünürken, verilere ait korelasyon sonuçları da ikiye bölünmüştür. Hata hesaplamaları her bir ağ yapısı için eğitim sonuçlarına Denklem 2.11 ve Denklem 2.12, test sonuçlarına ise Denklem 2.13 ve Denklem 2.14 uygulanarak yapılmıştır. Aynı hata hesaplamaları korelasyon sonuçlarına da uygulanmıştır. Daha sonra sonuçlar çizelgelerde listelenerek YSA yöntemi sonucunda hata değerleri en düşük olan ağ yapılandırmaları seçilmiş ve korelasyon yöntemiyle karşılaştırılmıştır.

5.1. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar 1 Sonuçları

Muley [12] yaptığı deneyler sonucunda elde ettiği 178 tane laminar akış ve 176 tane de türbülanslı akış ölçümlerini tezinin arkasındaki eklerde vermiştir. Nusselt sayısını tahmin etmek için alınan bu değerler YSA yöntemine uygun bir şekilde hazırlanarak eğitim ve test grubu olmak üzere 2 gruba rastgele ayrılmıştır. Muley çalışmasında hem laminar hem de türbülanslı akış için 2 farklı korelasyon geliştirmiştir. Bu

yüzden YSA yöntemi de hem laminar hem de türbülanslı akışkanlara ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu başlık altında Muley'in deneysel çalışmalarına uygulanan YSA yöntemi ve korelasyonlarıyla karşılaştırmaları bulunmaktadır.

Yapılan çalışmada 178 adet laminar veri grubundan 133 tanesi oluşturulacak YSA ağını eğitmek, kalan 45 tanesi de eğitilen ağları test ederken performanslarını ölçmek için kullanılmıştır. 176 adet türbülans veri grubundan ise 126 tanesi oluşturulacak ağ eğitmek için geri kalan 50 tanesi ise eğitilen ağları test etmek için kullanılmıştır. Laminer veri grubunun %75'i, türbülans veri grubunun ise %72'si oluşturulacak ağları eğitmek için kullanılmıştır. Bu oran literatürde, YSA yönteminde eğitilecek verilerin ayrıştırılması konularında söylenen oranlarla benzerlik göstermektedir [18].

YSA yönteminin girdi ve çıktılara ihtiyaç duyduğunu daha önce açıklanmıştı. Muley'in çalışmasına hem laminar hem de türbülanslı veri grubuna uygulanacak olan YSA yöntemindeki girdiler ve çıktılar şu şekildedir.

Girdiler

- Sıcak taraf giriş sıcaklığı, $T_{h,i}$
- Sıcak taraf kütle debisi, \dot{m}_h
- Sıcak taraf Reynolds sayısı, Re_h
- Sıcak taraf Prandtl sayısı, Pr_h
- Soğuk taraf giriş sıcaklığı, $T_{c,i}$
- Soğuk taraf çıkış sıcaklığı, $T_{c,o}$
- Soğuk taraf kütle debisi, \dot{m}_c
- Soğuk taraf Reynolds sayısı, Re_c
- Soğuk taraf Prandtl sayısı, Pr_c
- Dinamik viskozite oranları, μ/μ_w
- Chevron açısı, β

Çıktılar

- Nusselt sayısı, Nu

Bu kadar farklı girdi parametrelerinin seçilmesinin ana sebebi her bir değişkenin oluşacak ısı transferi üzerinde etkisinin bulunmasıdır. 11 adet girdi ve 1 adet çıktı belirlendikten sonra saklı katman sayısı ve saklı katmanda bulunan sinir sayıları değiştirilerek farklı ağ yapıları eğitim aşamasında oluşturulmuştur. Kısaca aynı eğitim seti için birden fazla ağ yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir ağ yapısı için test verileri incelenerek çıktılar not edilmiş ve hata hesaplamaları yapılmıştır. Çizelge 5.1’de laminar akış için, Çizelge 5.2’de ise türbülanslı akış için oluşturulan ağ yapıları ve hata değerleri gösterilmiştir. Ayrıca aynı çizelgelerin en sonunda korelasyon yönteminin de hata değerleri verilmiştir. Çizelge 5.1 ve 5.2 incelenecek olunursa, öncelikle tek saklı katman ve farklı sinir sayılarında ağ yapıları oluşturulduğu daha sonra saklı katman sayısının 2’ye çıkarıldığı ve ilk saklı katmandaki sinir sayısının sabit tutularak ikinci saklı katmandaki sinir sayısının değiştirildiği, son olarak ise saklı katman sayısının 3’e çıkarıldığı anlaşılabilir. Her bir ağ yapısından elde edilen çıktı değerlerine eğitim ve test farketmeksizin uygulanan hata tanımlamaları sonuçları da aynı çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 detaylı olarak incelemeye başlanırsa laminar akış verilerine uygulanan YSA yönteminin 8 farklı ağ yapısı için incelendiğini görülür. En iyi ağ yapısını bulmak için, öncelikle eğitim verileri için hata değerlerine bakılmalıdır. Maksimum bağıl hata sütunu bize o ağ yapısının çıktıları içerisinde bulunan maksimum değeri vermektedir. 8 farklı yapıdan 11-10-1 ağ yapısı %3,97’lik maksimum bağıl hata ve 0,01081’lik rms hatası ile en düşük hata değerlerine sahiptir. Eğitim verileri arasından seçilen bu ağ yapısının test performansı incelenmek istendiğinde ise R değerinin 1,003510 olduğu aynı zamanda tahminlerin yayılımının da çok düşük olduğu görülür. Böylelikle 11-10-1 ağ yapısı oluşturulan ağ yapıları arasında en düşük hata değerlerine sahip olduğu bilgisine ulaşılarak korelasyon sonuçlarıyla karşılaştırmak için seçilir.

Çizelge 5.1. Laminar akış için YSA yöntemi sonuçları

Ağ Yapısı	Eğitim Hata		Test Hata	
	Mak. Bağlı Hata (%)	rms (%)	R	σ
11-4-1	34,71820	0,47444	1,008671	0,043985
11-6-1	47,0726	2,20310	1,021254	0,104146
11-10-1	3,97721	0,01081	1,003510	0,019288
11-11-1	34,64105	0,41642	0,994615	0,020629
11-10-4-1	6,06400	0,01953	1,000540	0,018744
11-10-5-1	17,53090	0,23955	1,027862	0,089685
11-10-6-1	10,2672	0,05414	0,999995	0,031749
11-8-6-3-1	4,46448	0,02000	1,001343	0,023367
Korelasyon	22,01863	0,48639	0,977840	0,048118

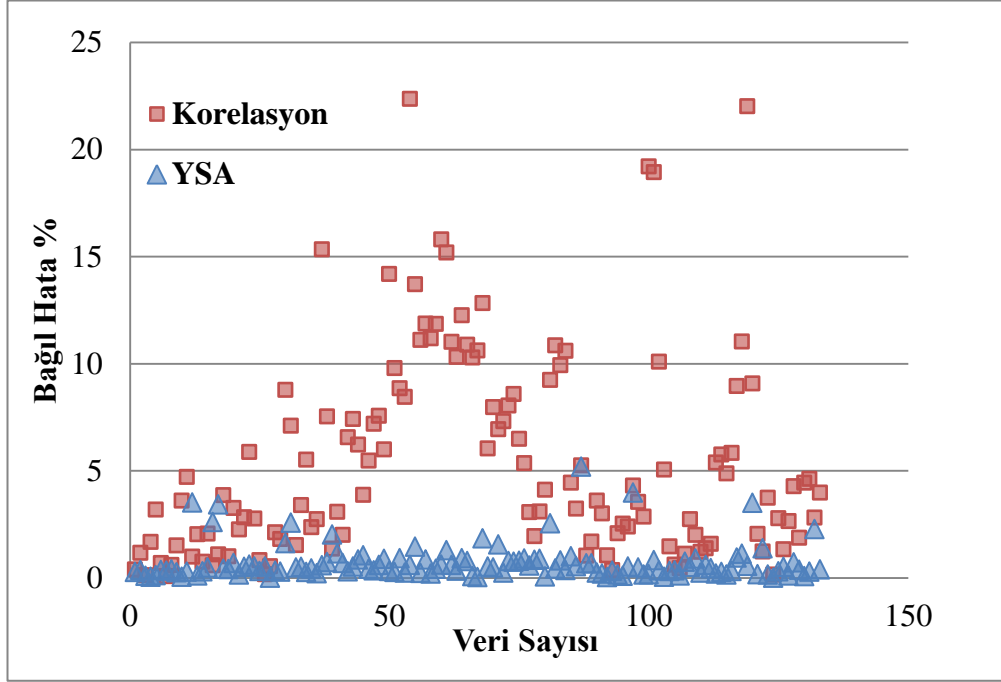
Çizelge 5.2 detaylı şekilde incelenirse yine farklı saklı katman ve düğümlerden oluşturulan bu ağ yapıları içinde en iyi sonucun 11-10-5-1 ağ yapısında olduğu anlaşılır. 11-10-1 ağ yapısının rms ve maksimum bağlı hata değerinin 11-10-5-1 den daha iyi olduğu ancak test verileri için elde edilen R ve σ değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç bize bir ağ yapısını eğitmek için kullanılan verilerin bazı zamanlarda yetersiz kalmasını ve ek testlerin uygulanması gerektiğini göstermektedir. Saklı katman sayısının çok olduğu durumlardan bir tanesi olan 11-8-6-3-1 ağ yapısına bakıldığında saklı katman sayısının artması YSA yönteminde ters etki yapmış, hata değerlerinin çok yüksek değerlere ulaşmasını sağlamıştır.

Çizelge 5.2. Türbülanslı akış için YSA yöntemi sonuçları

Ağ Yapısı	Eğitim Hata		Test Hata	
	Mak. Bağlı Hata (%)	rms	R	σ
11-4-1	27,1786	0,25847	1,00153	0,009577
11-5-1	83,6987	1,38867	0,98417	0,011552
11-6-1	61,2574	0,68938	1,01803	0,016585
11-10-1	30,0024	0,34668	1,04469	0,034895
11-11-1	41,5818	0,57330	1,00564	0,010652
11-10-4-1	41,5242	0,66019	0,98433	0,013157
11-10-5-1	37,1535	0,39117	0,98901	0,006287
11-10-6-1	107,789	4,63358	0,97259	0,078760
11-8-6-3-1	163,602	2,31110	0,48475	0,032930
Korelasyon	62,0137	1,32169	1,02053	0,011260

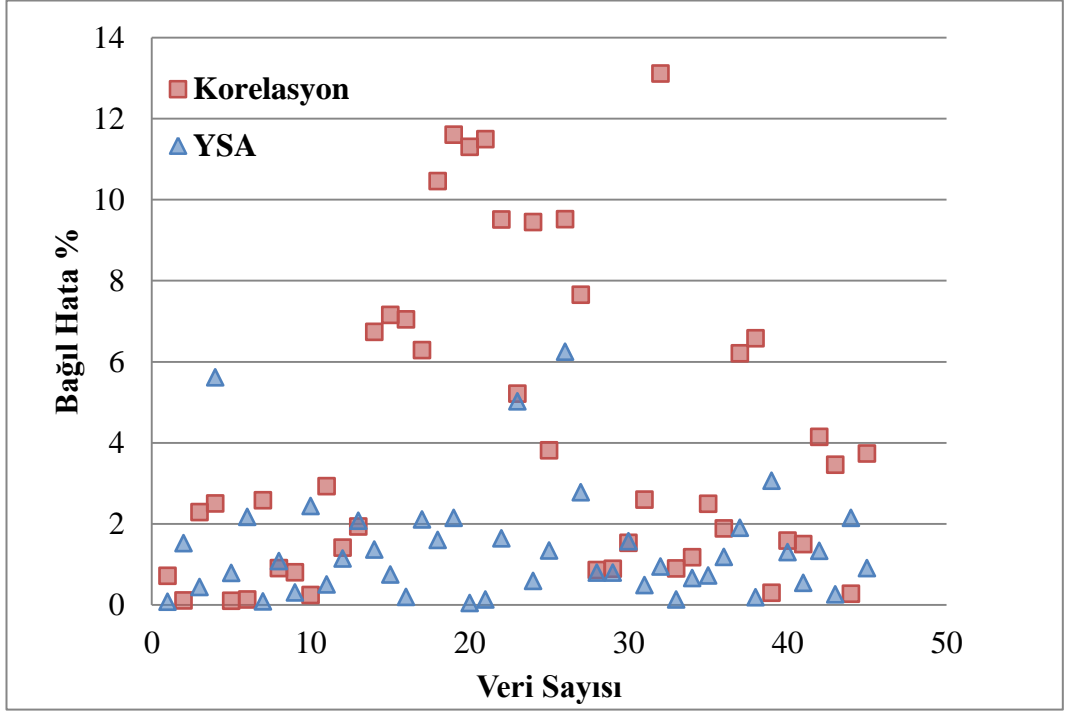
Birden fazla ağ yapısının sonuçları korelasyon yönteminden daha iyi olabilir, bu gibi durumlarda en düşük hata değerine sahip YSA yapılandırması seçilerek yöntemin gerçek deneysel sonuçlara ne kadar yaklaştığı gösterilir.

Laminar akış için uygun bulunan 11-10-1 ağ yapısında eğitimde kullanılan verilerin maksimum hatasının %4'ü geçmediği, korelasyonda ise bu oranın %22'lere çıkabildiği hem Şekil 5.1 hem de Çizelge 5.1'de açıkça görülebilmektedir. Şekil 5.1'de eğitim için kullanılan 133 verinin YSA tahminlerinin deneysel Nusselt sayılarıyla arasındaki bağlı hata değerlerini her bir veri için göstermektedir. Aynı hata değeri Korelasyon sonucunda elde edilen Nusselt sayısı ile deneysel Nusselt sayıları arasında da hesaplanmış ve Şekil 5.1'de gösterilmiştir. YSA tahminlerinin korelasyon sonuçlarına göre ne kadar daha gerçek değerlere yakın olduğu hem Şekil 5.1 hem de Şekil 5.2'den anlaşılabilir.



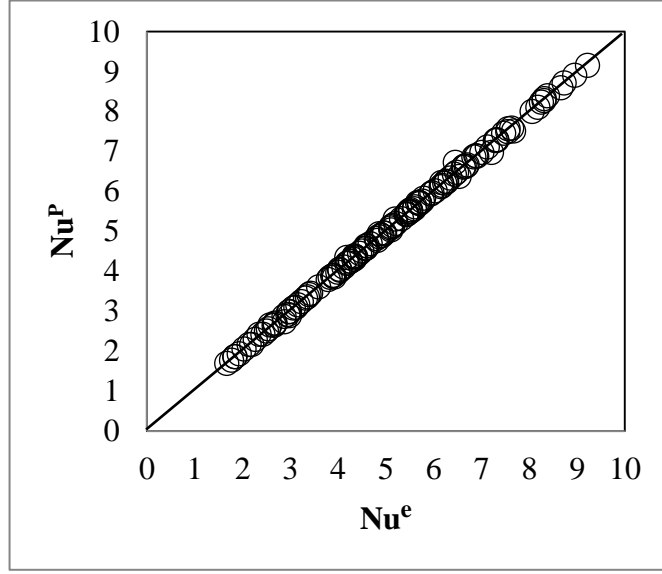
Şekil 5.1. Laminar akış için 11-10-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

Şekil 5.2’de ise eğitilen ağ yapısına uygulanan test sonucu elde edilen tahminler ile korelasyon sonucu bulunan değerlerinin bağıl hata oranlarını göstermekte olup, YSA yöntemi sonucu elde edilen Nusselt sayısının hata oranının korelasyon sonucu elde edilen değerlere göre çok daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. YSA yöntemi sonucu bulunan tahminlerin maksimum bağıl hatasının %7’iyi geçmemesi, korelasyonun ise %13 civarında olması da YSA yönteminin doğruluğunu gösterir.

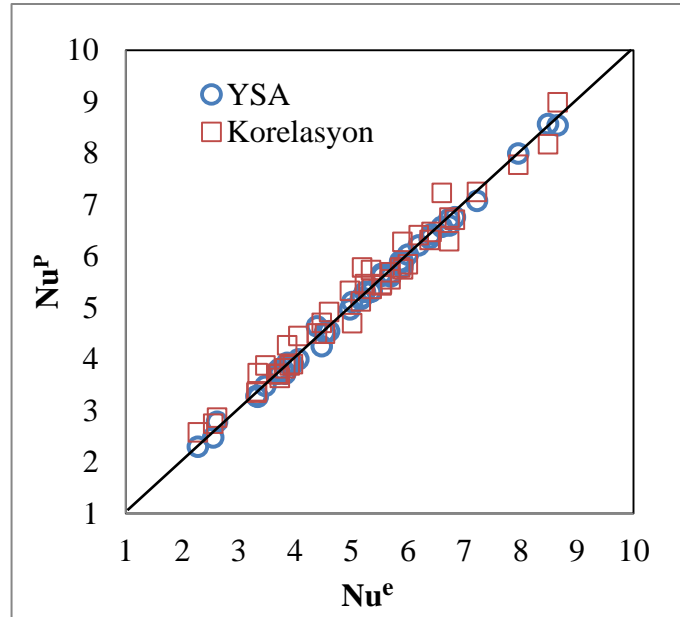


Şekil 5.2. Laminar akış için 11-10-1 YSA modelindeki test verilerinin YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

Şekil 5.3 ve 5.4’de bulunan köşegene mükemmel çizgi denmekle birlikte köşegen üzerinde bulunan her bir verinin tahmin ve deneysel değerleri aynıdır. Nu^e deneysel değerleri gösterirken, Nu^p ise tahmin edilen değerleri göstermektedir. Şekil 5.3 YSA yönteminde eğitimde kullanılan veriler sonucu elde edilen tahminlerin sayısal değerlerinin deneysel değerler ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Verilerinin çok büyük bir bölümü mükemmel çizgi üzerinde olmakla birlikte eğitimin ne kadar başarılı gerçekleştiği sonucu çıkarmak mümkündür. Şekil 5.4 ise 11-10-1 ağ yapısına laminar akış test verileri gönderilerek elde edilen Nusselt sayılarını ve aynı veriler için korelasyon sonucunda elde edilen Nusselt sayılarını göstermektedir. YSA sonucunda elde edilen tahminlerin mükemmel çizgiye daha yakın olduğu açıkça görülmektedir. 11-10-1 ağ yapısının performansını test etmek için gönderilen test girdileri sonuçlarının Laminar akış koşullarında korelasyondan daha yüksek kesinlikle sonuç verdiği anlaşılmaktadır.



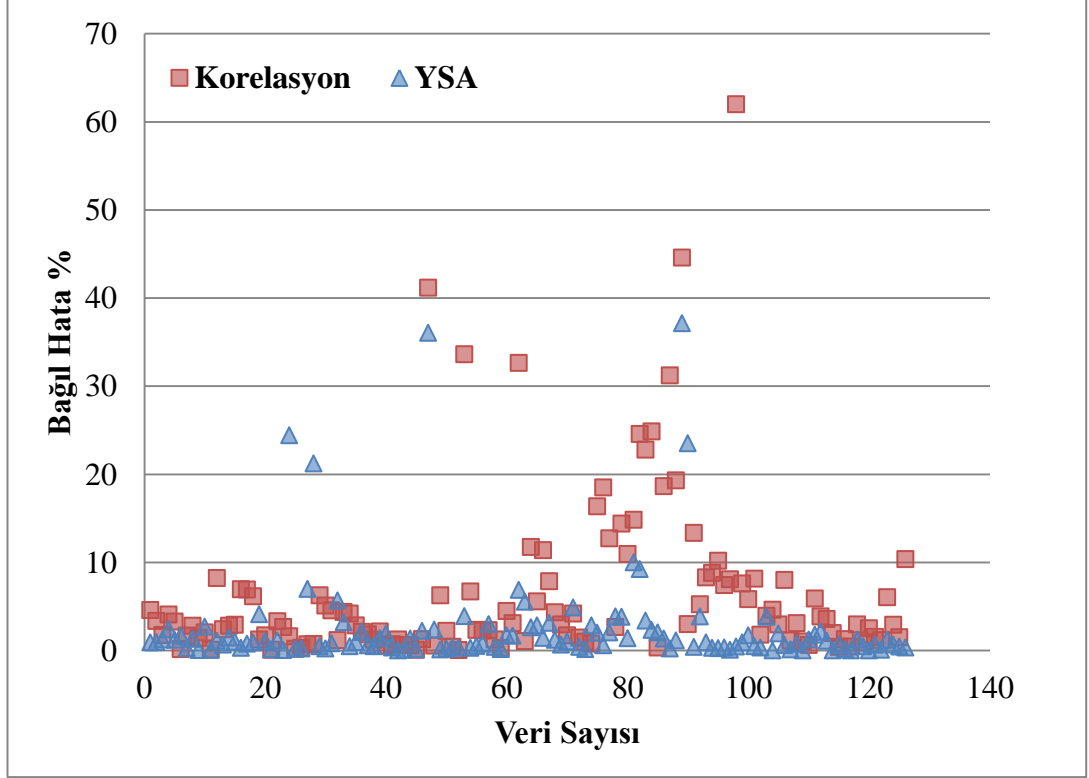
Şekil 5.3. Laminar akışta eğitim verileri için YSA tahminleri



Şekil 5.4. Laminar akışta test verileri için YSA tahminleri ile Korelasyon sonuçları

Türbülanslı akış verilerine uygulanan YSA yönteminde uygun ağ yapısı olarak 11-10-5-1 seçildikten sonra bu ağ yapısı için elde edilen Nusselt sayısı tahminlerinin korelasyon sonuçlarıyla birlikte bağıl hata yüzdeleri Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmektedir. YSA yönteminde eğitim için kullanılan verilerin maksimum bağıl hatası 11-10-5-1 ağ yapılandırması için %37 civarında iken korelasyon için bu değer

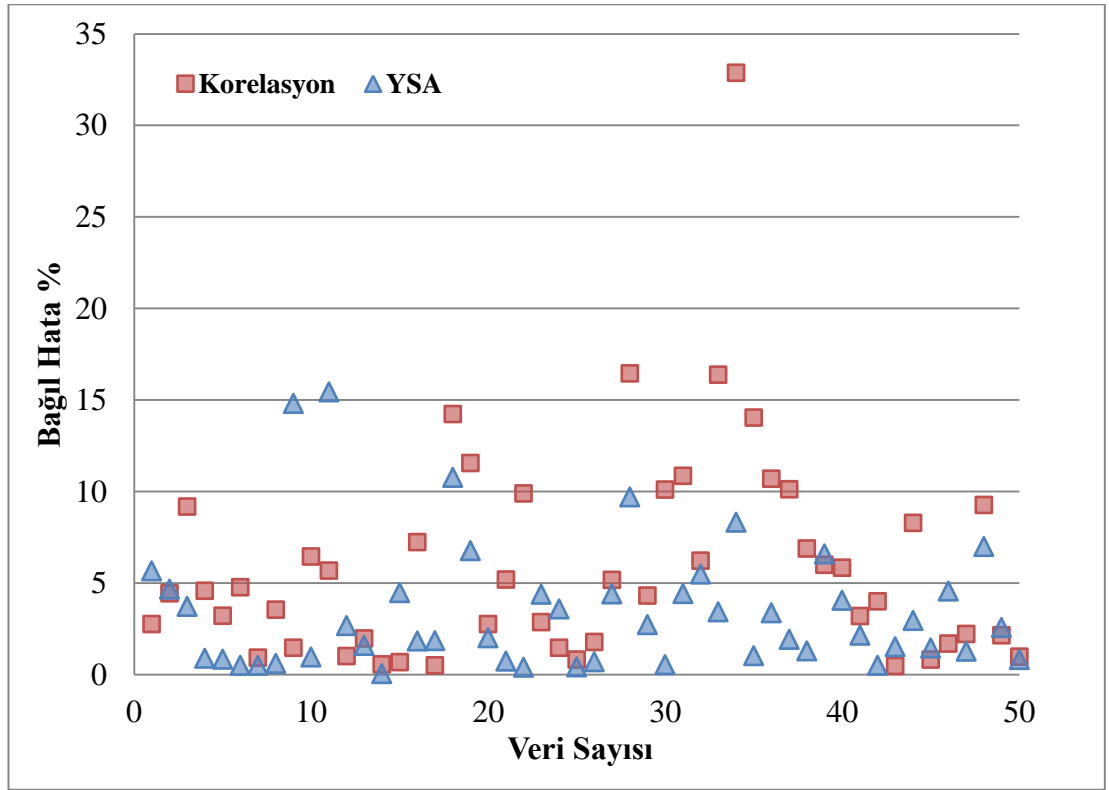
%62 civarındır. Türbülanslı akış eğitim verileri çizelgesi incelenirse 11-10-5-1 ağ yapısının rms değerinin 0,39 olduğu aksine korelasyonun ise 1,32 değeri civarında hesaplandığı görülebilir. Böylece her bir eğitim verisinin YSA çıktısının bağlı hatalarının korelasyon sonuçlarına göre ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.5. Türbülanslı akış için 11-10-5-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin YSA ve Korelasyon bağlı hata dağılımları

Şekil 5.6 ise türbülanslı akış verilerinden elde edilen YSA yöntemine test verilerinin gönderilip alınan tahminlerin deneysel sonuçlar ile aralarında hesaplanan bağlı hata değerlerini ayrıca aynı test veri grubunun korelasyon sonucunda elde edilen Nusselt sayısının yine deneysel değerler ile aralarında hesaplanan bağlı hata değerlerini her bir veri için göstermektedir. Aynı veri grubuna ait tahminlerin karşılaştırmasını içeren Şekil 5.6 incelenecek olunursa türbülanslı akış için iki tahmin yöntemi de genel olarak %20 çizgisi altında sonuçlar vermektedir. YSA yönteminin sonuçları genel olarak %10 çizgisi içinde kalsa da korelasyon sonuçlarının hata değerlerinin biraz daha fazla olarak %15 seviyelerine geldiği hatta yer yer geçtiği görülmektedir.

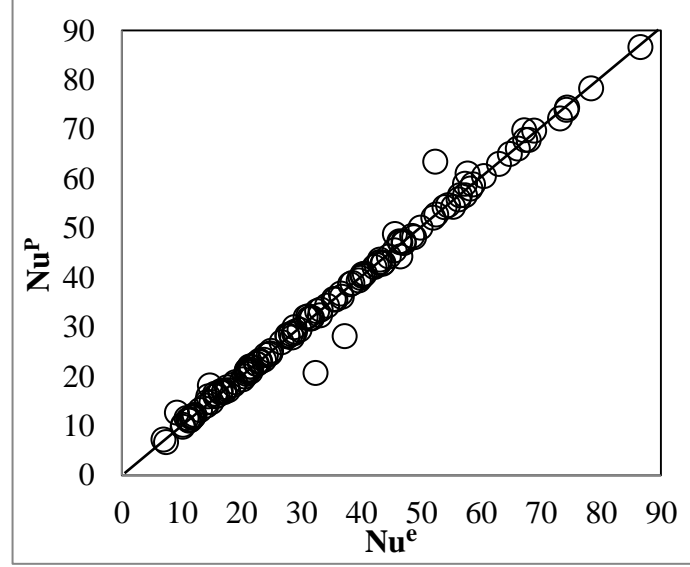
Çizelge 5.2'ye baktığımızda 11-10-5-1 ağ yapısı için test gruplardan elde edilen R değeri 0,989 ve yayılımı ise 0,0006, korelasyon için bu değerler ise sırasıyla 1,02 ve 0,011'dir. R değerlerinin yakın olması zaten beklenen bir sonuçtur. Çünkü Şekil 5.5'de bulunan bağıl hata dağılımları genel olarak birbirlerine yakın çıkmıştır. Fakat tahminlerin yayılımları incelendiği vakit düşük olan değerlerin YSA olduğu ve böylece YSA'nın tahminlerinin deneysel sonuçlara daha yakın olduğunu anlamak mümkün olmaktadır.



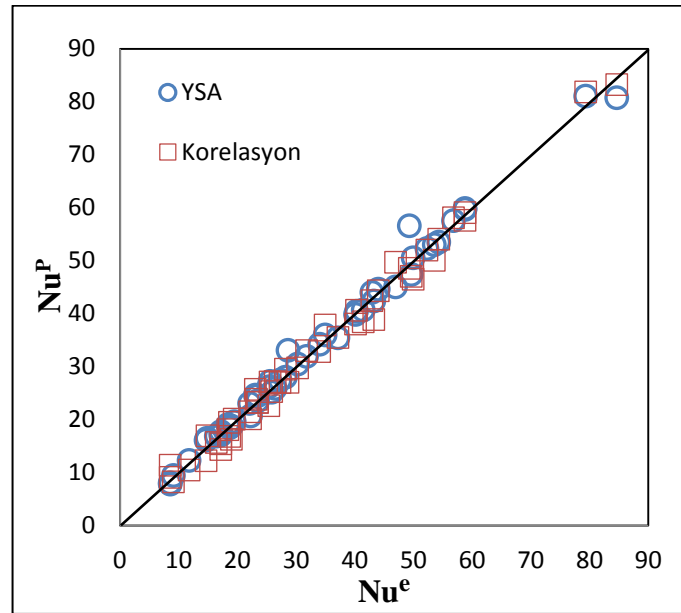
Şekil 5.6.Türbülanslı akış için 11-10-5 -1YSA modelindeki test verilerinin YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 ise türbülanslı akış verilerine uygulanan YSA ve korelasyon yöntemleri sonucunda elde edilen Nusselt değerlerini göstermektedir. Ayrıca bu değerlerin deneysel değerler ile ne kadar uyumlu oldukları da mükemmel çizgiye bakılarak anlaşılabilir. Türbülanslı akış eğitim verilerinde birkaç sapmanın dışında elde edilen Nusselt değerleri deneysel değerlere çok yakın çıkmaktadır. Test verileri için elde edilen tahminler ise hem korelasyon hem de YSA yönteminde yine

deneysel sonuçlara yakın çıkmakla birlikte kendi aralarında çok da farklı değillerdir. Nusselt sayısı değerlerinin yine de istenen yakınlık ile tahmin edilemediği anlaşılabilir. Bu durum türbülanslı akışın tanımında bulunan düzensizliğin her iki yöntemin tahminlerini de bir parça etkilemesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.7. Türbülanslı akışta eğitim verileri için YSA tahminleri



Şekil 5.8. Türbülanslı akışta test verileri için YSA tahminleri ile Korelasyon sonuçları

Muley'in [12] bir plakalı ısı değiştirgecine yaptığı deneyler sonucunda elde ettiği korelasyonlar aynı deneyin ölçümlerine uygulanarak elde edilen yapay sinir ağlarıyla karşılaştırılarak YSA yönteminin mevcut yöntem olarak kullanılan korelasyonlardan daha iyi tahmin verdiği şekiller yardımıyla gösterilmiştir. Hem laminar hem de türbülanslı akışlarda YSA yöntemi sorunsuz olarak deneysel sonuçlara daha yakın tahmin vermektedir.

5.2. Literatürdeki Deneysel Çalışmalar 2 Sonuçları

TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında deneyleri Gülenoğlu ve Aktürk tarafından yapılmış plakalar için YSA yönteminin uygulanması aşağıda yer almaktadır. 3 plaka için korelasyonları daha önce Gülenoğlu ve Aktürk tarafından bulunan deneysel sonuçlar için uygulanan YSA yöntemi hem Nusselt sayısı hem de sürtünme katsayısı tahminlerini içermektedir. Uygulanan YSA yöntemi sonuçlarından sadece Plaka 1 için olan sonuçlar bu başlık altında anlatılmaktadır. Plaka 2 ve Plaka 3'e ait sonuçlar Ek-C ve Ek-D'de verilmektedir. Plaka 1, 2 ve 3 için gerekli olan tüm deneysel sonuçlar Sn. Çağın Gülenoğlu tarafından temin edilmiştir.

5.2.1. Plaka 1, Nusselt Sayısı İçin YSA Tahminleri ve Karşılaştırmaları

Çizelge 3.1'de geometrik özellikleri bulunan Plaka 1 için temin edilen deneysel sonuçlara ısı transferi denklemleri kullanılarak belirli parametreler elde edilmiştir. Bu parametreler aşağıda anlatılmakla birlikte, oluşturulacak YSA yönteminin ağ yapısında kullanılmıştır.

Girdiler

- Sıcak taraf giriş sıcaklığı, $T_{h,i}$
- Sıcak taraf kütle debisi, \dot{m}_h
- Sıcak taraf Reynolds sayısı, Re_h
- Sıcak taraf Prandtl sayısı, Pr_h
- Sıcak taraf viskozite oranları, μ_h/μ_w
- Soğuk taraf giriş sıcaklığı, $T_{c,i}$

- Soğuk taraf çıkış sıcaklığı, $T_{c,o}$
 - Soğuk taraf kütle debisi, \dot{m}_c
 - Soğuk taraf Reynolds sayısı, Re_c
 - Soğuk taraf Prandtl sayısı, Pr_c
 - Soğuk taraf viskozite oranları, μ_c/μ_w
- Plaka sayısı

Çıktılar

- Sıcak taraf Nusselt sayısı
- Soğuk taraf Nusselt sayısı

Çıktılar kısmına dikkat edilirse iki adet çıktı olduğunu görmekteyiz. Plaka 1 için tahmin edilecek Nu değeri bu çalışmada iki kısma ayrılarak hem sıcak hem de soğuk taraf için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Buradaki amaç YSA yönteminin birden çok çıktı değeri için ne derecede kesinlikte sonuçlar verdiğini incelemektir. Sıcak ve soğuk taraf Nu değerini tahmin etmek için oluşturulan ağlar 12 girdi ve 2 çıktıya sahip olmakla birlikte farklı saklı katman ve düğüm sayılarına da sahiptir. Çizelge 5.3’de katman ve düğüm sayıları açıkça anlatılmaktadır.

Plaka 1 için elde edilen deneysel veriler Nusselt sayısı tahmini için sıcak ve soğuk taraf ayrı ayrı olmak üzere toplam 52 adettir. 36 adet veri eğitim için geri kalan 16 adet veri ise oluşturulan YSA ağını test etmek için kullanılmıştır. Eğitim ve test verileri tamamen rastgele olarak ayrılmıştır. Veri grupları ayrıldıktan sonra Matlab programı kullanılarak YSA yöntemi için ağ yapıları oluşturulmaya başlanmıştır. Tek saklı katman için farklı sinir sayıları daha sonra da birden fazla saklı katman için farklı sinir sayıları gibi bir çeşitlilikle oluşturulan ağ yapıları daha sonra test verileri için kullanılarak performans analizleri yapılmıştır. Her bir ağ yapısı için hesaplanan hata değerleri Çizelge 5.3’de gösterilmektedir.

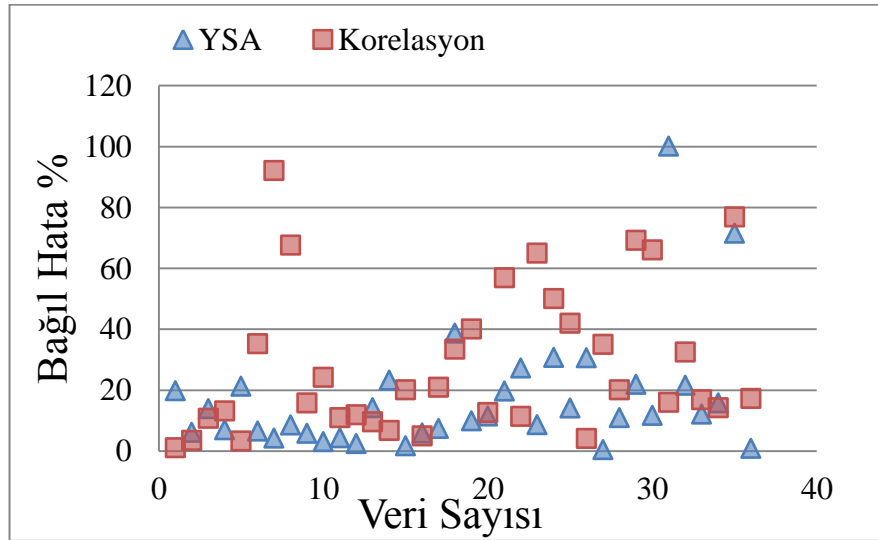
Çizelge 5.3. Plaka 1 için oluşturulan Nu sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri

Ağ Yapısı	Eğitim Hata				Test Hata			
	Nu, sıcak taraf		Nu, soğuk taraf		Nu, sıcak taraf		Nu, soğuk taraf	
	Mak. Bağlı Hata (%)	rms	Mak. Bağlı Hata (%)	rms	R	σ	R	σ
Korelasyon	92,15	0,3737	343,35	0,8857	1,1485	0,5018	0,9812	1,0210
12-12-2	81,18	0,2669	46,44	0,1927	1,1167	0,3567	1,0478	0,3913
12-10-2	82,97	0,2525	82,97	0,2113	1,0409	0,2816	0,9647	0,3923
12-8-2	64,90	0,2306	72,67	0,2075	1,0472	0,3183	1,0262	0,3408
12-6-2	66,68	0,2605	78,16	0,2647	1,0012	0,3142	0,9471	0,2278
12-4-2	132,46	0,3101	66,84	0,2320	0,9442	0,2595	0,9910	0,2435
12-10-8-2	82,49	0,2969	47,01	0,1745	0,9227	0,2873	1,0538	0,3686
12-10-6-2	100,15	0,2577	51,37	0,2020	0,9918	0,2558	0,9763	0,2460
12-10-4-2	192,93	0,6517	55,28	0,1870	1,7193	0,9002	1,0297	0,3037
12-10-8-6-2	77,41	0,2829	122,60	0,4053	0,9341	0,3815	1,0344	0,3443
12-10-8-4-2	105,21	0,2903	54,40	0,1944	0,9402	0,2354	1,0405	0,2826
12-10-8-6-4-2	202,89	0,7586	268,24	0,8000	1,2063	0,8815	1,3674	0,8550

Çizelge 5.3’de 11 adet farklı ağ yapısına ait performans sonuçları hem eğitim hem de test verileri için bulunmaktadır. YSA yönteminin korelasyon yöntemi ile kıyaslanabilmesi sadece 1 ağ yapısı ile sınırlı kalmayabilir. Fakat mevcut ağ yapıları içerisinde en iyisi seçilerek korelasyon yöntemi ile kıyaslanmaktadır. YSA yöntemi sonucunda oluşturulan ağ yapıları incelenmeye başlanırsa öncelikle eğitim verileri için rms değerlerine bakmamız gerekir. Elde edilen YSA tahminleri için hesaplanan rms değerlerinden en düşükleri sıcak taraf için 12-8-2, 12-10-2 ve 12-10-6-2 yapılandırılmalarına, soğuk taraf içinse 12-10-8-2, 12-12-2, 12-10-4-2 ve 12-10-6-2 yapılandırılmalarına aittir. Ağın eğitiminde kullanılan veriler hem sıcak hem de soğuk taraf için ayrı ayrı olduğundan ağ yapılandırılması seçilirken hem sıcak hem de soğuk taraf rms değerleri beraber değerlendirilmelidir. Bu yüzden her iki taraf için düşük hata değerlerine sahip olan 12-10-6-2 yapılandırılması korelasyon yöntemiyle kıyaslanmak için seçilmiştir. Bu seçim yapılırken oluşturulan ağlara sonradan gönderilen test verilerinden elde edilen hata değerlerinin incelenmesi de etkili olmuştur. 12-10-6-2 ağ yapısı hem sıcak hem de soğuk taraf olmak üzere ideal bir R değerine sahiptir. R değerinin 1 olması durumunda deneysel sonuçlar ile tahmin

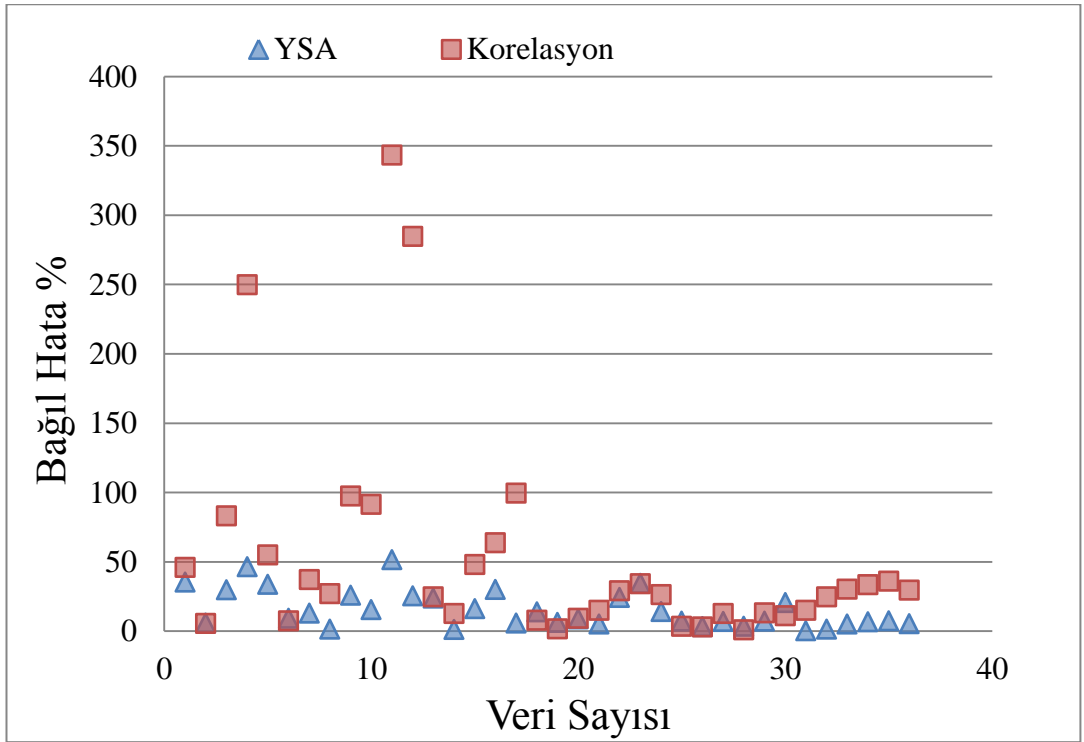
edilen sonuçların birbirlerinin aynısı olacağı unutulmamalıdır. Tahminlerin dağılımları da diğer ağ yapılarına göre gayet düşük ve istenilen seviyededir. Yalnız şu nokta gözden kaçmamalıdır. YSA tahminlerinden elde edilen hata değerleri 6 katmanlı ağ yapısı hariç korelasyondan daha düşüktür. Bu YSA yönteminin ne kadar başarılı olduğu konusunda büyük bir anlam ifade etmektedir. 6 katmanlı yapının hata değerlerinin yüksek olması yapay sinir ağları hakkında bilgi verilirken de bahsedildiği gibi ağ yapısının gerekli ağırlıkları bu kadar çok sinir için düşük hata verecek şekilde ayarlayamamasındandır.

Korelasyon yöntemiyle kıyaslanmak için seçilen ağ yapısı 12-10-6-2 olarak seçildikten sonra hem korelasyon sonuçlarına hem de YSA tahminlerine bağlı hata grafikleri çizilerek konunun devamında gösterilmiştir. Şekil 5.9 seçilen ağ yapısı ile korelasyon arasındaki eğitim sonucunda elde edilen tahminler için bağlı hata değerlerini vermektedir. Sıcak taraf için verilen bu hata değerleri incelenecek olunursa neredeyse her bir veri için YSA yöntemi Nusselt sayısını korelasyon yönteminden daha iyi tahmin etmiştir. Ortalama bağlı hatası %17 olan sıcak taraf YSA yöntemi ortalama hatası %28 olan korelasyondan bu 36 eğitim verisi için daha iyi tahmin vermektedir.



Şekil 5.9. Plaka 1 için 12-10-6-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağlı hata dağılımları

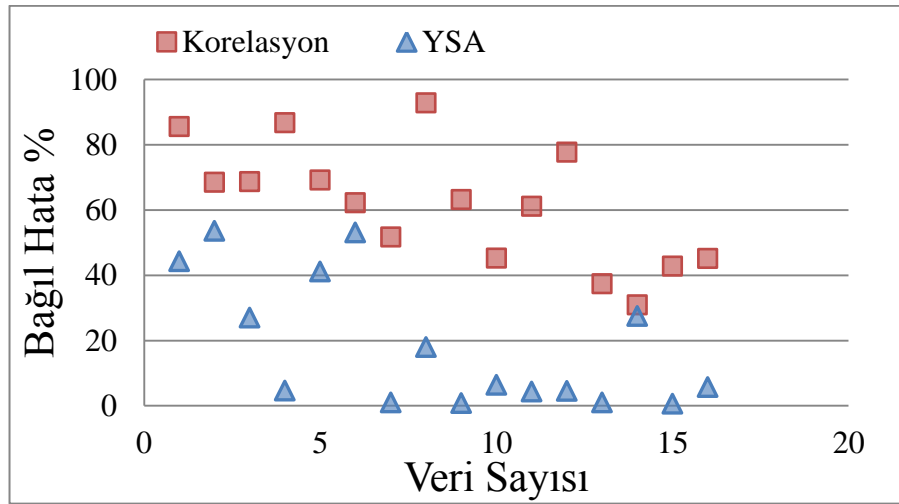
Soğuk taraf eğitim verileri için bağıl hatalar ise Şekil 5.10'da gösterilmektedir. YSA yöntemi sonucunun ortalama bağıl hatası %15 iken korelasyon sonuçlarının ortalama bağıl hatası %53 civarındadır. Ayrıca Şekil 5.10 dikkatli incelenirse bazı değerler için korelasyon yöntemi çok kötü bir sonuç ile %300 bağıl hata değerini geçmektedir. Fakat YSA yöntemi %51 ile maksimum bağıl hata değeri ile korelasyona kıyasla gayet düşük bir seviyededir. Bu da YSA yönteminin güvenilirliğini göstermektedir.



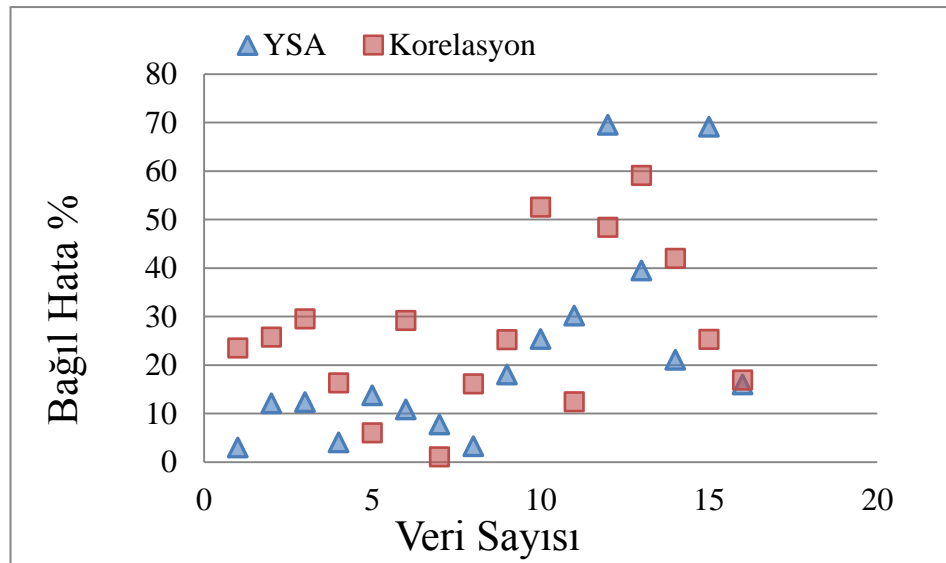
Şekil 5.10. Plaka 1 için 12-10-6-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

Ağ yapıları eğitildikten sonra ağların performanslarını ölçmek için gönderilen test verilerine ait YSA tahminlerinin ve korelasyon sonuçlarının bağıl hata değerleri hem sıcak hem de soğuk Nusselt sayısı için Şekil 5.11 ile Şekil 5.12'de verilmektedir. 16 veri için hesaplanan hata değerleri incelenecek olunursa hem sıcak taraf hem de soğuk taraf için YSA yönteminin korelasyona göre daha iyi tahmin yaptığı anlaşılmaktadır. Sıcak taraf ve soğuk taraf test verileri için R değeri sırasıyla 0,99 ve 0,97'dir. Sıcak taraf test verileri için YSA daha iyi sonuç verirken soğuk tarafta R

değeri korelasyonda daha 1'e yakındır. Bu noktada ikinci bir hata değerlendirme parametresi olan tahminlerin yayılımına (σ) bakmak gereklidir. σ değeri korelasyonda 1'in üzerindeyken YSA sonucunda 0,2460'dır. Şekil 5.12 ile birlikte incelenirse bu bilgi görülecektir ki korelasyon sonuçlarının bağıl hata dağılımları çoğu veri için YSA sonucundan daha yüksektir.

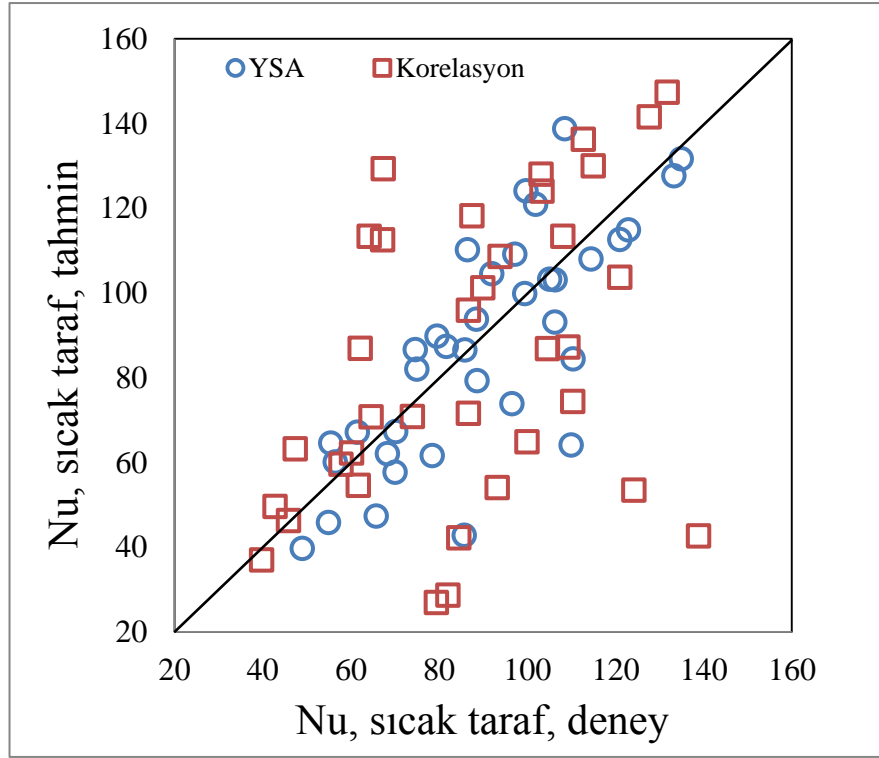


Şekil 5.11. Plaka 1 için 12-10-6-2 YSA modelindeki test verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

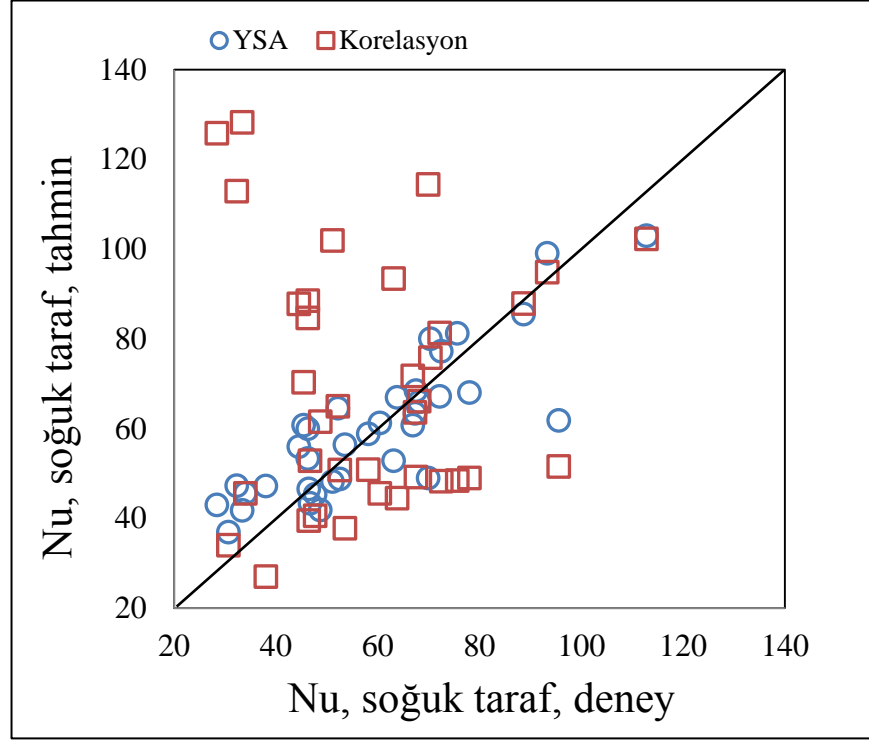


Şekil 5.12. Plaka 1 için 12-10-6-2 YSA modelindeki test verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de Nusselt sayısının hem sıcak hem de soğuk taraf eğitim verileri için YSA tahminleri ve korelasyon sonuçlarının deneysel sonuçlar ile nasıl değiştiği görülmektedir. Nusselt sayısının tahmin etmede YSA’nın mükemmel çizgi etrafında nasıl gruplaştığı açıkça anlaşılmaktadır. Nusselt sayısının değerini gösteren bu grafikler bağıl hata grafiklerine yardımcı olmak ve hatanın dışında gerçek değerin de ne derece değiştiğini anlamada önem arz etmektedir.



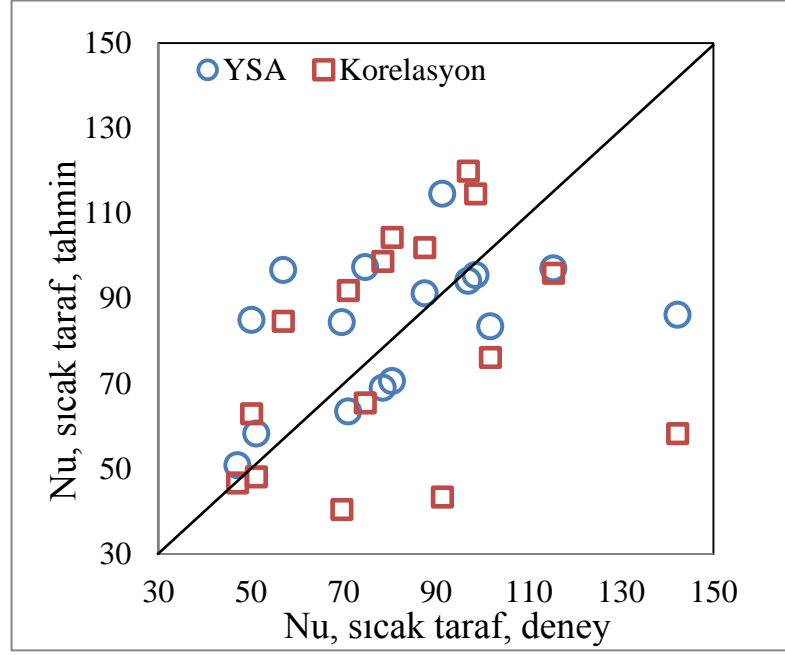
Şekil 5.13. Plaka 1 eğitim verileri için sıcak taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları



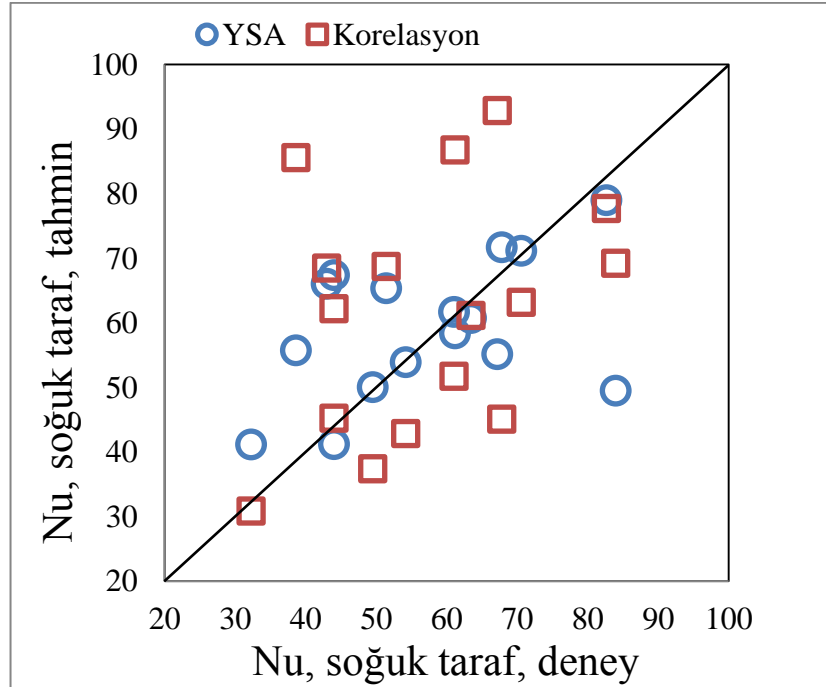
Şekil 5.14. Plaka 1 eğitim verileri için soğuk taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları

Şekil 5.15 ile Şekil 5.16 ise eğitimi gerçekleştirilen YSA ağı'nın yeni bir veri grubuyla test edilmesinden sonra elde edilen Nusselt sayısı tahminlerinin deneysel değer ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Değerler incelenirse korelasyon sonuçlarının YSA sonuçlarına göre mükemmel çizgiden daha uzaklarda yayıldığı anlaşılmaktadır.

Plaka 1 için Nusselt sayısı tahmin etmede kullanılan iki yöntem olan YSA ve korelasyon, sayısal hata değerleri ve şekiller ile yukarıda karşılaştırılmıştır. Hem sıcak hem de soğuk taraf Nusselt sayısı tahmin etmede YSA'nın çok daha düşük hata ile deneysel Nusselt sayılarına daha yakın sonuçlar verdiği hem Çizelge 5.3 hem de Şekil 5.9-5.16'da gösterilmiştir. YSA yönteminde seçilen ağ yapısı dışında kalan diğer ağ yapılarının da korelasyondan daha iyi sonuç verdiği Çizelge 5.3'den anlaşılabilir. Bu durum yöntemin Nu sayısını tahmin etmede ne kadar kuvvetli olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.15. Plaka 1 test verileri için sıcak taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları



Şekil 5.16. Plaka 1 test verileri için soğuk taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları

5.2.2. Plaka 1, Sürtünme Katsayısı İçin YSA Tahminleri ve Karşılaştırmaları

Isı değiştirgeçleri modellemelerinde büyük bir önemi olan başka bir parametre ise sürtünme katsayısıdır. Hidrolik performans hesaplamalarında kritik bir değer olan sürtünme katsayısının tahmini de Nusselt sayısı kadar zordur. Çünkü sürtünme katsayısı da hesaplamalarda doğrusal olmayan bir özellik gösterir. Literatürde sürtünme katsayı için de korelasyon yöntemi kullanılmaktadır. Çalışmanın gereği olarak sürtünme katsayısını bulabilmek için YSA yöntemini uygulanmış ve sonuçlar Plaka 1 için bu başlık altında paylaşılmıştır.

YSA yönteminde kullanılmak üzere gerekli olan değerler aynı zamanda ağı oluşturacak olan girdiler şeklindedir. Girdilerin bu şekilde seçilmesi her bir değişkenin sürtünme katsayısının tahmininde rol oynamasıdır. Deneysel ölçümler sonucunda elde edilen bu değişkenler YSA yönteminde kullanıldığı şekilde şöyledir :

Girdiler

- Giriş sıcaklığı, T_i
- Çıkış sıcaklığı, T_o
- Kütle debisi, \dot{m}
- Reynolds sayısı, Re
- Viskozite oranları, μ/μ_w
- Basınç düşümü, ΔP
- Plaka sayısı

Çıktılar

- Sürtünme Katsayısı, f

7 adet girdi 1 adet de çıktıdan oluşan değerler sıcak ve soğuk taraf farketmeksizin tek bir parametre altında toplanmıştır. Plaka 1 için hesaplanan bu değerler toplam 68 adettir. YSA yöntemi için toplam veri sayısı 2 gruba ayrılarak eğitim için 51, test için 17 adet olarak belirlenmiştir. Veri grupları ayrıldıktan sonra Matlab programı kullanılarak YSA yöntemi ile ağ yapıları farklı katman ve sinirler için oluşturulmuş

ve sonucunda elde edilen tahminlerin deneysel değerler ile aralarındaki hata hesaplamaları Şekil 5.4’de ayrıntısıyla verilmiştir.

Çizelge 5.4. Plaka 1 için oluşturulan f sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri

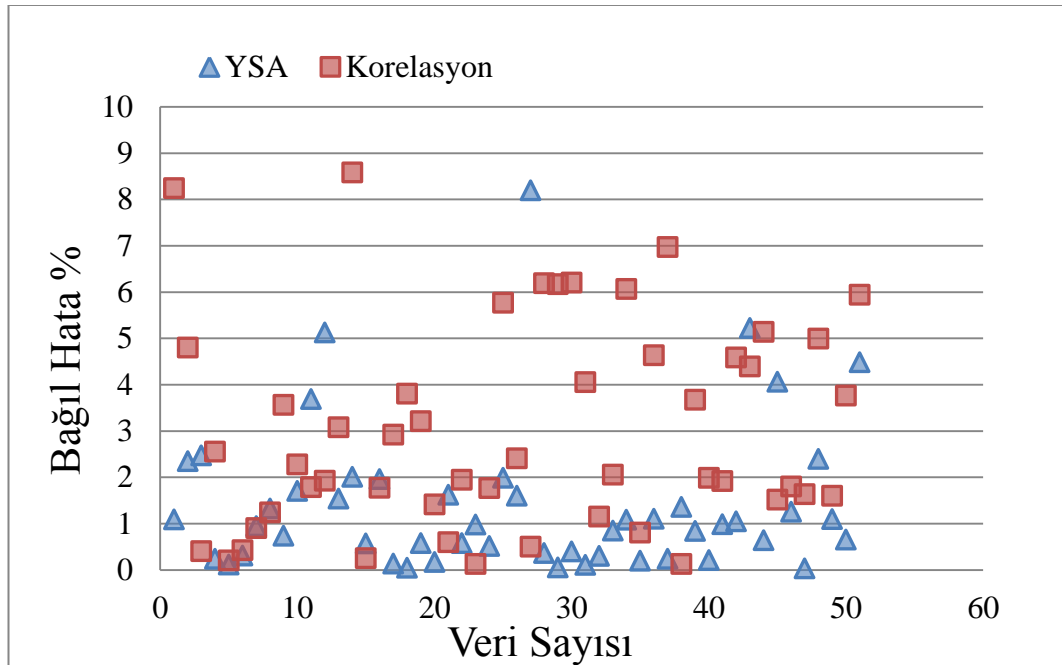
	Eğitim Hata		Test Hata	
	Mak. Bağıl Hata (%)	rms	R	σ
Korelasyon	8,5812	0,0373	1,009687	0,0278
7-2-1	8,1180	0,0308	1,006808	0,0293
7-3-1	24,0463	0,1147	0,991826	0,0986
7-4-1	8,7419	0,0283	1,015860	0,0186
7-5-1	12,6328	0,0391	1,018491	0,0363
7-6-1	11,2898	0,0277	1,005276	0,0163
7-7-1	8,1935	0,0212	1,003999	0,0111
7-5-3-1	8,1096	0,0278	1,015230	0,0220
7-5-2-1	23,6567	0,1096	1,109049	0,0892
7-4-2-1	13,5503	0,0349	1,000098	0,0334
7-6-4-2-1	5,3907	0,0212	1,014346	0,0175

10 adet farklı yapılandırma YSA ile elde edilmiştir. Her bir yapılandırma sonucunda performans değerlendirmesi için hata analizi yapılarak gerekli görülen değerler Çizelge 5.4’te belirtilmiştir. Oluşturulan ağ yapıları arasından en düşük hata oranına sahip olan her zamanki gibi seçilerek korelasyon yöntemi sonuçlarıyla karŐılaŐtırılacaktır.

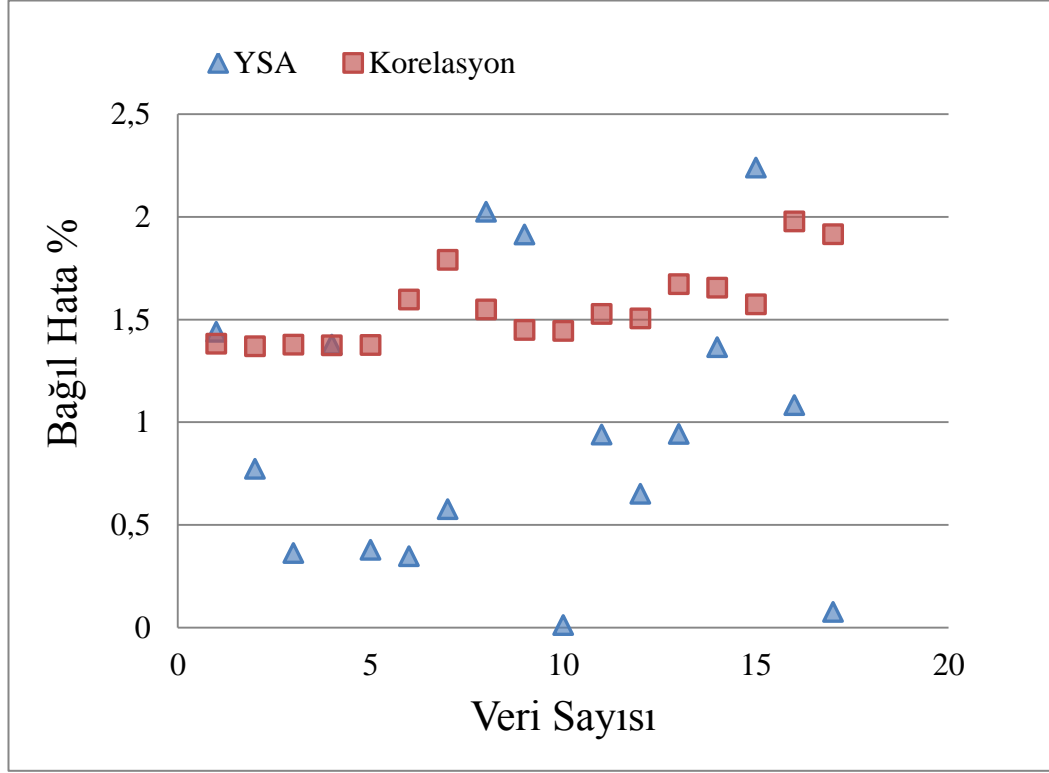
Çizelge 5.4 incelenmeye başlanırsa saklı katman sayısının ve içindeki sinir sayısının hata değerlerini belirli bir düzende etkilemediği anlaşılacaktır. YSA yönteminin içeriğinden dolayı oluşturulan her bir ağ yapısı birbirinden farklı sonuçlar verecektir. En iyi ağ yapısını seçmek için öncelikle eğitim verileri için hesaplanan rms ve maksimum hata değerlerine bakmak gerekir. Her iki değer için de düşük ağ yapıları 7-4-1, 7-7-1, 7-5-3-1 ve 7-6-4-2-1 Őeklinindedir. 4 ağ yapısı belirlendikten sonra bu ağ yapılarına daha sonra test verileri gönderilerek elde edilen hata performansları R ve σ değerlerine bakılarak yapılır. Test verileri için incelenen bu 4 ağ yapısı arasından 7-7-1 ağ yapısı genel itibariyle diğer ağ yapılarından daha düşük hata değerlerine

sahip olduğu için korelasyon ile kıyaslanmak için seçilmiştir. Ağ yapısı seçildikten sonra ağ yapısının verdiği tahminler ayrıntılı bir şekilde hata analizi yapılarak korelasyon yöntemi sonuçlarıyla kıyaslanmış ve elde edilen grafikler aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 5. 17 ve Şekil 5.18 incelenirse hem eğitim hem de test veri grubu için bağıl hata değerlerinin her bir veriye özgün olduğu anlaşılır. Eğitim veri grubuna ait YSA tahminlerin bağıl ortalaması %1,40 iken korelasyondan elde edilen sonuçların bağıl ortalama hatası %3 civarındadır. Her iki yöntem de çok düşük hata değeriyle tahminlerde bulunmakla birlikte YSA yöntemi deneysel sürtünme katsayılarına daha yakın sonuçlar vermektedir. Oluşturulan ağ yapısına yeni veri grubuyla test yapıldıktan sonra ağın performansı bir kez daha korelasyondan daha düşük sonuç vermiş ve ortalama bağıl hatası %1'in bile altındadır. Çizelge 5.4'de incelenecek olunursa 7-7-1 ağ yapısı için R değeri 1,004 ve σ değeri 0,011 olduğu görülür ve deneysel sonuçlar ile ne kadar uyumlu olduğu anlaşılır.



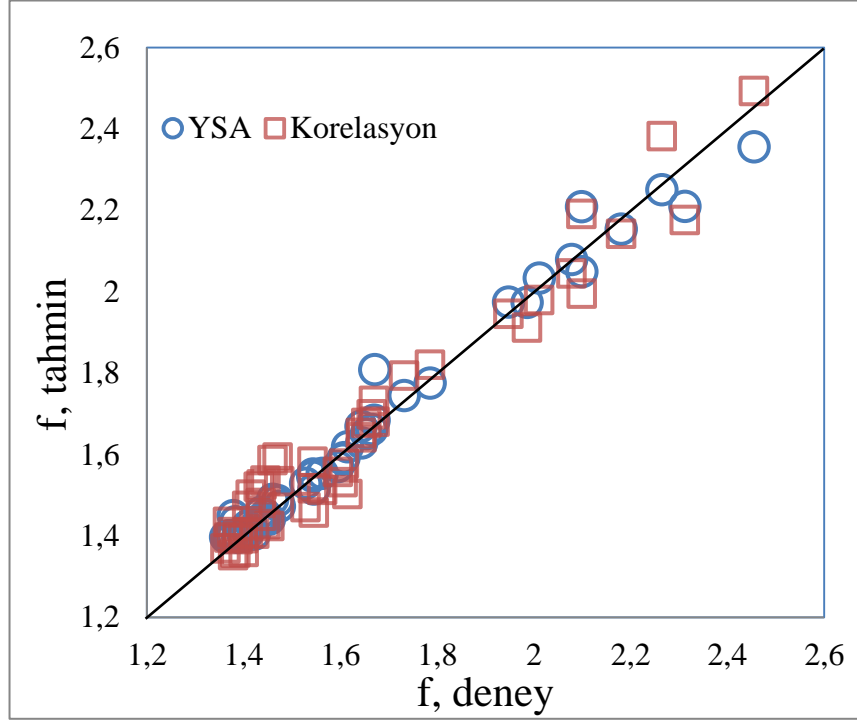
Şekil 5.17. Plaka 1 için 7-7-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları



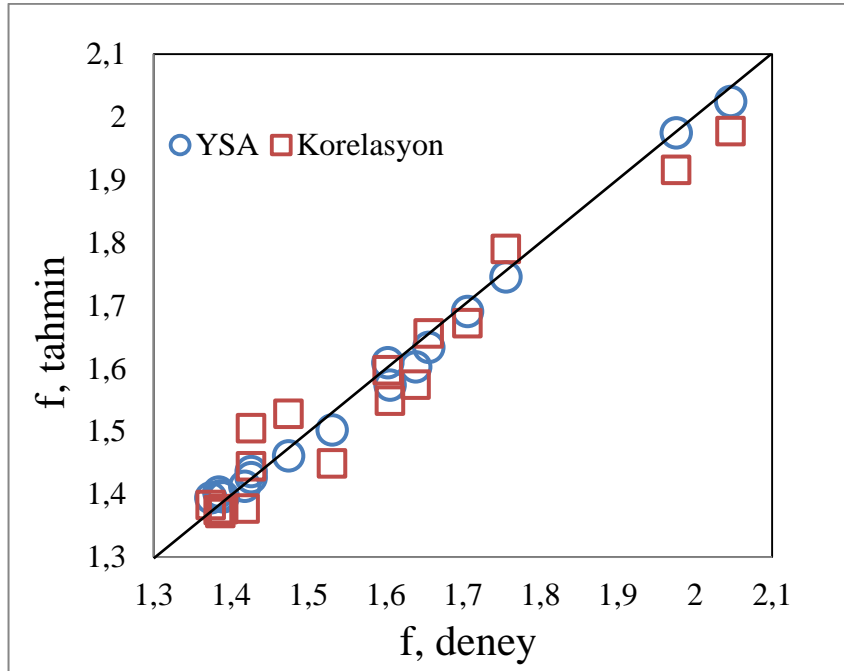
Şekil 5.18. Plaka 1 için 7-7-1 YSA modelindeki test verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

Bağıl hata değerleri gösterildikten sonra sürtünme katsayısının kendi değerinin korelasyon ve YSA yöntemleri sonunda nasıl sonuçlandığı Şekil 5.19 ile Şekil 5.20’de verilmektedir. 2 şekil incelenirse her iki yöntem sonucunda elde edilen tahminlerin mükemmel çizgiye yakın olduğu görülmektedir. Zaten bağıl hatalarının son derece düşük çıkması bunu göstermekteydi. Her ne kadar iki yöntem düşük hata değerlerine sahipse de YSA yönteminin sonucunda elde edilen sürtünme katsayıları mükemmel çizgiye daha yakındır.

Plaka 1 için verilen sürtünme katsayısı YSA tahminlerinin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğu, dahası korelasyon yönteminden elde edilen sonuçlardan daha düşük hata ile tahmin ettiği yapılan çalışma sonunda anlaşılmaktadır. YSA yöntemi sürtünme katsayısını tahmin etmede güçlü bir alternatiftir.



Şekil 5.19. Plaka 1 eğitim verileri için sürtünme katsayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları



Şekil 5.20. Plaka 1 test verileri için sürtünme katsayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları

6. DEĞERLENDİRME

Tez çalışmasının başında yapay sinir ağı yönteminin, teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzdeki mühendislik problemlerine uyarlanması, mevcut yöntemler ile karşılaştırılması ve geliştirilmesi çok kolaylaşan bir matematiksel modelleme olduğundan bahsedilmiştir. Özellikle doğrusal olmayan denklemlerin çözümünde çok başarılı bir model oluşu; yöntemin, ısı ve hidrolik performans analizlerinde kritik parametreler olan Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısı gibi doğrusal olmayan karakteristiklerin bulunmasında mevcut yöntemlere karşı çok iyi bir alternatif olabileceğine vurgu yapılmıştır. Nusselt sayısını tahmin etmenin önemi ısı transferi denklemleri incelendiğinde daha iyi anlaşılabilir. Gerekli ısı performans altında etkin ısı transferi alanını bulabilmek için Nu değerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bilim açısından doğrusal olmayan bir bilinmeyi tahmin etmede gösterilen başarı ve sanayi açısından etkin ısı transfer alanı-maliyet ilişkisi, mevcut yöntemlere ek yöntemler arama veya mevcut yöntemleri geliştirme nedenleri olarak söylenebilir. Bundan dolayı sürekli deneylerin yapılmasının hem maddi hem imkân bakımından mümkün olmayışı karakteristiğinin kendisinin çeşitli yöntemler ile tahmin edilmesine olanak sağlar.

Tez çalışmasının amacı bir ısı değiştirgecinin yapay sinir ağı yardımıyla modellenmesini içermektedir. Korelasyona alternatif olarak incelenen YSA yöntemi öncelikle literatürden seçilen bir çalışmaya uygulanmıştır. Sadece Nusselt sayısı tahminini içeren ilk uygulama hem laminar hem de türbülanslı akışlar için YSA yönteminin üstünlüğünü bariz bir şekilde ortaya koymuştur. YSA yönteminin sınırlı sayıdaki verilere uygulanışı yöntemin başarısını olumsuz yönde etkilememiştir.

Daha sonra TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında deneyleri önceden yapılmış plakalara uygulanan YSA yönteminin sonuçları detaylı şekilde tartışılmıştır. Bu çalışmada farklı olarak sürtünme katsayısı tahminleri de yer almaktadır. Isı değiştirgeci modellemesinde önem arz eden başka bir parametre ise sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayısı da korelasyonlar yardımıyla bulunmaktadır. YSA yöntemi ile korelasyonlar hem Nusselt sayısı hem de sürtünme katsayısı

parametreleri için karşılaştırılmıştır. YSA yöntemi uygulanırken Nusselt sayısı tahminlerinde çıktı parametresi sıcak ve soğuk taraf için ayrı olarak tahmin edilmiştir. Tek çıktı yerine iki çıktı kullanılarak YSA yönteminin davranışı farklı bir koşul altında incelenmiştir.

Son olarak TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında bulunan deney düzeneğine yeni bir plaka bağlanarak deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Yapılan deneylerden alınan ölçümler ısı transferi denklemleri ve plakaların geometrileri yardımıyla YSA yönteminde kullanılacak olan girdi ve çıktılara dönüştürülmüştür. Deneyleri yapılan plaka setinin karışık chevron açılı olması YSA yönteminin daha farklı bir koşul altında nasıl sonuç verdiğini görmek açısından önemlidir. Ayrıca girdi sayıları daha önceki uygulamalara göre azaltılarak yeni bir çalışma üstünde etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlara korelasyonlar modifiye edilmiş Wilson-Plot yöntemi ve eğri uydurma ile çıkarılmıştır. Çıkarılan korelasyon ile oluşturulan YSA yapılandırmaları detaylı bir şekilde karşılaştırılmış ve sonucunda YSA'nın korelasyona üstünlüğü bu çalışma koşulları altında da gösterilmiştir.

Tezde üç farklı çalışma sonucunda YSA yönteminin Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısı tahminlerinde korelasyondan daha iyi bir sonuç verdiği açıkça belirtilmiştir. YSA yöntemini kullanmanın birçok yolu vardır. Katman ve sinir sayılarının değiştirilmesi, yapılandırmada kullanılan algoritmanın veya performans değerlendirilmesi yapılırken kullanılan hata fonksiyonlarının farklı seçilmesi gibi etkenler bir YSA modellemesini etkilemektedir. Herhangi bir doğrunun bulunmadığı YSA modellemeleri her probleme farklı uygulanabilir. Bu durumda deneme-yanılma ve tecrübe ile uygun ağ yapıları ve algoritmalar seçilerek çözüm yöntemi irdelenir. YSA yönteminin bir avantajı da deneysel olarak ölçmenin mümkün olmadığı koşulları da tahmin etmesini sağlayabilmektir. Deney düzeneği elemanları ya da akışkanların kendi karakteristikleri yüzünden kısıtlanan durumların dışı da YSA yöntemi ile incelenebilir.

Gelecek çalışmalarda YSA yöntemi daha da geliştirilebilir. Çok daha farklı ağ yapıları oluşturulup korelasyon ile kıyaslanabileceği gibi, girdi ve çıktı

değişkenlerinin sayısı da azaltılıp artırılabilir. Sınırlı sayıda alınan deneysel ölçümler için deney sayıları artırılarak daha geniş Reynolds aralıklarında deneyler yürütülebilir. Ayrıca karışık chevron açılı plaka setinde plaka sayıları değiştirilerek yeni yapılan deneyler sonucu elde edilen ölçülere YSA yöntemi yeni ek bir girdi olan plaka sayısı ile baştan yapılabilir. Plakalar bilgisayar ortamında oluşturularak gerekli koşullar altında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile elde edilecek ölçümler için YSA yöntemi uygulanarak çok geniş bir aralıkta ısı değiştirgeci ısıl ve hidrolik özellik tahmin havuzu oluşturulabilir. Böylece deneysel çalışmaların sayısı azaltılarak hem maliyetten hem de zamandan tasarruf edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Shah, R., K., Subbarao, E., C., Mashelkar, R., A., Heat Transfer Equipment Design, *Hemisphere*, United States of Amerika, 1988.
- [2] Diaz, G., C., 2000, Simulation and Control of Heat Exchangers Using Artificial Neural Networks, *Doktora Tezi, University of Notre Dame*, Mechanical Engineering, Notre Dame, Indiana.
- [3] Baehr, H., D., Stephan, K., Heat and Mass Transfer, 2. Baskı, *Springer*, Germany, 2006.
- [4] Kakaç, S., Liu, H., Pramuanjaroenkij, A., Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design, 3. Baskı *CRC Press*, Florida, 2012.
- [5] Genceli, O., F., Isı Değiştiricileri, *Birsen*, İstanbul, 1999.
- [6] “Air Cooled Heat Exchangers [P] Ltd” şirketi ürün görselleri, erişim adresi: <http://www.aircooledheatexchanger.co/>, erişim tarihi: 18 Mayıs 2013.
- [7] Gut, J. A. W., Pinto, J. M., Modeling of plate heat exchangers with generalized configurations, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 571–2585, 2003.
- [8] Wang, L., Sundén, B., Manglik, R.M., Plate Heat Exchangers Design, Applications and Performance, *WITPRESS*, Southampton, Boston, 2007.
- [9] Shah, R.K., Sekulić, D.P, Fundamentals of Heat Exchanger Desing, 1. Baskı, *John Wiley & Sons, Inc.*, New Jersey, 2003.
- [10] “Atak Mühendislik” erişim adresi: <http://www.atakmuh.com/urun-gruplari/isi-esanjorleri/plakali-isi-esanjorleri/contali-tip-plakali-isi-esanjorleri>, erişim tarihi: 20 Mayıs 2013.
- [11]“Funke Industrial – Turkiye mdt mühendislik sistemleri ltd.” erişim adresi: <http://www.funke-tr.com/indexTr/>, erişim tarihi: 20 Mayıs 2013.
- [12] Muley, A., 1997, Heat Transfer and Pressure Drop In Plate Heat Exchangers, *Doktora Tezi, Univercity of Cincinnati*, Mechanical Engineering, Cincinnati, USA.
- [13] Elmas, Ç., Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), 1. Baskı *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 2003.

- [14] “Yıldız Teknik Üniversitesi YSA ders notları” erişim adresi: <http://www.yildiz.edu.tr/~gulez/3k1n.pdf>, erişim tarihi: 20 Mayıs 2013.
- [15] Haykin, S., *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2. Baskı, *Prentice Hall*, New Jersey, 1999.
- [16] Xie, G.N., Wang, Q.W., Zeng, M., Luo, L.Q., “Heat Transfer Analysis for Shell and Tube Heat Exchangers with Experimental Data by Artificial Neural Networks Approach”, *Applied Thermal Engineering*, 27, 1096-1104, 2007.
- [17] Pacheco-Vego, A., Diaz, G., Sen, M., Yang, K. T., McClain, R. L., Neural network analysis of fin-tube refrigerating heat exchanger with limited experimental data, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44(4), 763-770, 2001.
- [18] Islamoglu, Y., A new approach for the prediction of the heat transfer rate of the wire-on-tube type heat exchanger--use of an artificial neural network model, *Applied Thermal Engineering*, 23(2), 243-249, 2003.
- [19] Peng, H., Ling, X., Neural networks analysis of thermal characteristics on plate-fin heat exchangers with limited experimental data, *Applied Thermal Engineering*, 29(11-12), 2251-2256, 2009.
- [20] Peng, H., Ling, X., Optimal design approach for the plate-fin heat exchangers using neural networks cooperated with genetic algorithms, *Applied Thermal Engineering*, 28(5-6), 642-650, 2008.
- [21] Islamoglu, Y., Kurt, A., Parmaksizoglu, C., Performance prediction for non-adiabatic capillary tube suction line heat exchanger: an artificial neural network approach, *Energy Conversion and Management*, 46(2), 223-232, 2005.
- [22] Tan, C. K., Ward, J., Wilcox, S.J., Payne, R., Artificial neural network modelling of the thermal performance of a compact heat exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 29(17-18), 3609-3617, 2009.
- [23] Xie, G., Sunden, B., Wang, Q., Tang, L., Performance predictions of laminar and turbulent heat transfer and fluid flow of heat exchangers having large tube-diameter and large tube-row by artificial neural networks, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(11-12), 2484-2497, 2009.
- [24] Islamoglu, Y., Kurt, A., Heat transfer analysis using ANNs with experimental data for air flowing in corrugated channels, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(6-7), 1361-1365, 2004.

- [25] Pacheco-Vego, A., Diaz, G., Sen, M., Yang, K. T., McClain, R. L., Heat Rate Prediction in Humid Air-Water Heat Exchangers Using Correlations and Neural Networks, *ASME J. Heat Transfer*, 123, 348-354, 2001.
- [26] Ertunc, H.M., Hosoz, M., Artificial neural network analysis of a refrigeration system with an evaporative condenser, *Applied Thermal Engineering*, 26(5-6), 627-635, 2006.
- [27] Zdaniuk, G. J., Chamra, L. M., D. Keith Walters, Correlating heat transfer and friction in helically-finned tubes using artificial neural networks, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50(23-24), 4713-4723, 2007.
- [28] Kelleher, M.D., Cronley, T.J., Yang, K.T., Sen, M., Using artificial neural networks to develop a predictive method from complex experimental heat transfer data, *Am. Soc. Mech. Eng. Heat Transfer Div. (HTD)*, 369(5), 11–34, 2001.
- [29] Ermis, K., Erek, A., Dincer, I., Heat transfer analysis of phase change process in a finned-tube thermal energy storage system using artificial neural network, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50(15-16), 3163-3175, 2007.
- [30] Sesveren, Ö., 2008, Yapay Sinir Ağları Temelli Reaktif Güç Kompanzasyonu Eğitim Seti Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [31] Zayani, R., Bouallegue, R., Roviras, D., Levenberg - Marquardt Learning Neural Network for Adaptive Predistortion for Time-Varying HPA with Memory in OFDM Systems, 16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2008), Lausanne, Switzerland, Ağustos 2008.
- [32] Gulenoglu, C., Akturk, F., Gulben, G., Aradag, S., Sezer Uzol, N., Kakac, S., Farklı Sayı ve Boyutta Plakalara Sahip Plakalı Isı Değiştirgeçlerinin Deneysel İncelenmesi ve Bilgisayar Seçim Programı Oluşturulması, *Ulıbtık'11*, Zonguldak, Türkiye, Eylül 2011.
- [33] Gulenoglu, C., Akturk, F., Aradag, S., Sezer-Uzol, N., Kakac, S. Experimental Comparison of Performances of Three Different Plates for Gasketed Plate Heat Exchangers, *Sixth International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications*, May-June 2012.
- [34] Akturk, F., Gulben, G., Aradag, S., Sezer Uzol, N., Kakac, S., Experimental Investigation of the Characteristics of a Chevron Type Gasketed-Plate Heat

Exchanger, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS 2011) May 2011.

[35] Aktürk, F., 2011, Contalı Levha Tipi Plakalı Isı Değiştirgeçlerinin Deneysel Performans Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[36] Gülenoğlu, Ç., 2013, *Master Tezi*, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (Beklenen).

[37] Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Introduction to Heat Transfer, 3. Baskı, Wiley, New York, 1996.

[38] Khan, T.S., Khan, M.S., Chyu, M.C., Ayub, Z.H., Experimental investigation of single phase convective heat transfer coefficient in a corrugated plate heat exchanger for multiple plate configurations, *Applied Thermal Engineering*, 30, 1058 – 1065, 2010.

[39] Fernández-Seara, J., Uhía, F.J., Sieres, J., Campo, A., A general review of the Wilson plot method and its modifications to determine convection coefficients in heat exchange devices, *Applied Thermal Engineering*, 27, 2745–2757, 2007.

[40] Miura, R.Y., Galeazzo, F.C.C., Tadini, C.C., ve Gut, J.A.W., The Effect of Flow Arrangement on the Pressure Drop of Plate Heat Exchangers, *Chemical Engineering Science*, 63, 5386-5393, 2008.

EK-A Yapılan Deneyler Sonucu Elde Edilen Ölçümler

Çizelge A.1. TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında Plaka 4 için elde edilen deneysel ölçümler

	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	ΔP (kPa)	V (m³/sa)
1	51,5519	16,0086	0,7540	1,1700
2	70,9843	21,7000	1,3700	1,1800
3	66,0317	28,7146	0,8073	1,1700
4	51,6707	15,4341	1,3467	1,6600
5	66,0000	25,0000	1,0690	1,4100
6	51,4000	16,3195	1,5533	1,7800
7	51,5000	18,9000	1,5300	1,7400
8	71,1016	18,0656	0,8275	1,5000
9	51,5073	22,2390	1,4967	1,7400
10	70,7082	22,2525	1,7050	1,4800
11	14,0244	52,5927	1,6503	1,8500
12	18,1024	49,9488	1,6800	1,8400
13	66,0459	22,7066	1,6565	1,8100
14	18,2000	50,1810	1,6650	1,9400
15	10,9524	57,0405	1,6533	1,9900
16	90,2000	30,4571	1,4500	1,4600
17	19,4195	77,1634	1,2333	1,5500
18	51,6000	18,5317	2,5067	2,2800
19	88,2000	32,3000	1,1500	1,5300
20	65,9024	29,8585	1,8173	1,9200
21	51,4659	21,3000	2,6433	2,3600
22	80,1857	39,4333	1,4850	1,7000
23	18,0146	43,8220	3,1900	2,6100
24	56,0195	29,3537	2,6767	2,3800
25	70,7000	22,8293	2,9200	2,2700
26	19,7524	76,8857	1,9750	2,0200
27	84,3000	31,8024	1,7810	1,9800
28	79,6024	39,6707	2,0233	2,0400
29	70,9452	31,5619	3,2133	2,3200
30	88,6024	32,4585	2,0707	2,0500
31	51,5756	25,2098	4,0333	2,9300
32	84,1476	42,8571	1,7760	1,9700

33	84,2926	35,2185	2,0730	2,1200
34	18,0049	42,1902	4,6767	3,2500
35	56,3000	28,1659	3,7067	3,0300
36	88,6683	33,7268	2,4373	2,2700
37	51,5805	23,7122	5,3467	3,3800
38	88,5951	35,0213	3,2140	2,6300
39	88,3873	35,6901	3,2465	2,6700
40	18,6000	44,0927	7,1733	4,1400
41	79,9571	45,9714	3,4650	2,7600
42	90,2714	45,6619	3,6400	2,6400
43	18,8805	61,4951	6,2933	3,8200
44	18,9293	64,0634	6,2933	3,8200
45	71,0488	35,0415	6,2700	3,5800
46	56,2829	33,0390	8,0700	4,4000
47	71,1268	31,3561	7,7900	4,1900
48	80,2439	48,6561	6,2533	3,7900
49	90,5000	44,2561	7,8600	4,2700
50	80,4585	51,0098	10,2067	4,9500
51	90,1951	46,1000	9,5200	4,9400
52	80,5317	50,1634	12,7100	5,5800

EK-B Deneysel Çalışma İçin Belirsizlik Hesaplamaları

Deneysel çalışmalar sonucunda deney sırasında yapılabilecek hatalardan dolayı yapılan hesaplamalar her zaman doğru ve kesin sonuç vermez. Bundan dolayı deneysel ölçümler her zaman belirsizlik içerir. Yapılan deneysel ölçümler için belirsizlik analizi hata analizlerinin yayılımıyla bulunur.

Tek bir örnek için yapılan hata analizinin toplam belirsizliği Denklem B.1'deki gibi tanımlanır [12].

$$\delta Z = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial X_i} \delta X_i \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{B.1})$$

$$Z = Z(X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, X_n) \quad (\text{B.2})$$

Her bir Z değişkeni, δZ ile belirtilen bir belirsizliğe sahiptir. Öncelikli ölçümlerin, ölçüm aletlerinin ve akış özelliklerinin hassasiyetini hesaplayabilmek için $\delta X_i / X_i$ değerleri her bir ölçüm için hesaplanmaktadır.

Belirsizlik hesapları yapılırken kullanılan suyun akış özelliklerinin belirsizlikleri, çalışılan sıcaklıklar için %0,5 olarak alınmıştır [12]. Deney sırasında ölçümü alınan basınç düşümlerinin okunduğu cihazın belirsizliği %0,075 ve akışın hacimsel debisinin okunduğu cihazın belirsizliği ise %0,4'dür [35]. Uzunluk ölçümlerinin belirsizliği 0,001 alınmıştır. Sıcaklık ölçümleri ısı çiftler yardımıyla gerçekleştirilmiştir ve firmadan alınan belirsizlik değeri $\pm 0,003$ °C'dir.

Reynolds sayısı kütle akış ölçümleri kullanılarak hesaplanır (Denklem 3.21) ve belirsizliği ise Denklem B.3 ile bulunur.

$$\frac{\delta \text{Re}}{\text{Re}} = \left\{ \left[\frac{\delta \dot{m}}{\dot{m}} \right]^2 + \left[\frac{\delta D_e}{D_e} \right]^2 + \left[\frac{\delta A_c}{A_c} \right]^2 + \left[\frac{\delta \mu}{\mu} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{B.3})$$

Hem sıcak hem de soğuk taraf için ısı transfer hesabı Denklem 3.15 ve 3.16'da gösterilmiştir ve belirsizliği ise Denklem B.4'de gösterilmiştir.

$$\frac{\delta Q}{Q} = \left\{ \left[\frac{\delta \dot{m}}{\dot{m}} \right]^2 + \left[\frac{\delta c_p}{c_p} \right]^2 + \left[\frac{\delta \Delta T}{\Delta T} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{B.4})$$

ΔT_{LM} değeri için belirsizlik hesabı ise Denklem B.5'de verilmiştir.

$$\delta \Delta T_{LM} = \left\{ \left[\frac{\partial \Delta T_{LM}}{\partial \Delta T_1} \delta \Delta T_1 \right]^2 + \left[\frac{\partial \Delta T_{LM}}{\partial \Delta T_2} \delta \Delta T_2 \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{B.5})$$

Toplam ısı transfer katsayısının belirsizlik hesabı Denklem B.6'da verilmiştir.

$$\frac{\delta U}{U} = \left\{ \left[\frac{\delta A}{A} \right]^2 + \left[\frac{\delta Q}{Q} \right]^2 + \left[\frac{\delta \Delta T_{LM}}{\Delta T_{LM}} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{B.6})$$

Taşımla olan ısı transfer katsayısının belirsizliği Denklem 3.28 ve Denklem B.1 kullanılarak elde edilmiş ve Denklem B.7'de verilmiştir.

$$\delta h = \left\{ \left[\frac{\partial h}{\partial U} \delta U \right]^2 + \left[\frac{\partial h}{\partial t} \delta t \right]^2 + \left[\frac{\partial h}{\partial k_w} \delta k_w \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{B.7})$$

Nusselt sayısı korelasyonunda kullanılan ısı özelliklerinden bir tanesi de Prandtl sayısıdır ve Denklem B.8 ile tanımlanmaktadır. Belirsizliği ise B.9'da gösterilmiştir.

$$\text{Pr} = \frac{c_p \mu}{k} \quad (\text{B.8})$$

$$\frac{\delta \text{Pr}}{\text{Pr}} = \left\{ \left[\frac{\delta c_p}{c_p} \right]^2 + \left[\frac{\delta \mu}{\mu} \right]^2 + \left[\frac{\delta k}{k} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{B.9})$$

Nusselt sayısının deneysel ölçümünün belirsizliği Denklem B.10’de verilmektedir.

$$\frac{\delta Nu}{Nu} = \left\{ \left[\frac{\delta k}{k} \right]^2 + \left[\frac{\delta D_e}{D_e} \right]^2 + \left[\frac{\delta h}{h} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{B.10})$$

Sürtünme katsayısı tahmininde kullanılan korelasyon Denklem 4.2’de verilmektedir. Sürtünme katsayısı korelasyonu için deneysel belirsizlik ise Denklem B.11 ile bulunmaktadır.

$$\frac{\delta f}{f} = \left\{ \left[\frac{\delta \Delta P}{\Delta P} \right]^2 + \left[\frac{\delta D_e}{D_e} \right]^2 + \left[\frac{\delta L_{eff}}{L_{eff}} \right]^2 + \left[\frac{2\delta \dot{m}}{\dot{m}} \right]^2 + \left[\frac{\delta A_c}{A_c} \right]^2 + \left[\frac{\delta \rho}{\rho} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{B.11})$$

Çizelge B.1’de alınan deneysel ölçümlerin kullanıldığı fonksiyonlar için hesaplanan belirsizler arasından seçilen kritik parametrelerin listesi bulunmaktadır. Ayrıca Çizelge A.1’de verilen deneysel ölçümlerden 21 numaralı veri grubu için hesaplanan bağıl belirsizlikler de örnek olması açısından Çizelge B.1’de verilmektedir.

Çizelge B.1. Ölçümleri alınan değerler için kritik parametre belirsizlikleri

Parametreler	X _i (#21)	δX _i	Bağıl Belirsizlik (%)	Maksimum Belirsizlik (%)
Q (W)	81580,03	662,856620189	0,812523139	0,812604761
U (W/m ² K)	2679,49	21,775585161	0,812676485	0,812828223
ΔT _{LM} (°C)	13,58	0,002134855	0,015720579	0,022710978
h (W/m ² K)	5789,93	136,999137253	2,366162238	2,366212443
ḡ (kg/sa)	0,6472485	0,004144413	0,640312424	0,640312424
ΔP (kPa)	2,643333333	0,001982500	0,075	0,075
Re	948,5	9,253989286	0,975644627	0,975640183
Pr	4,677	0,040508403	0,866119376	0,870000000
Nu	50,849	1,232647098	2,424132427	2,424198652
f	0,829	0,044123372	5,322481523	5,322880258

EK-C Plaka 2 YSA Sonuçları ve Karşılaştırması

Plaka 1 ile ilgili sonuçlar ilgili çalışmanın başlığı altında verilmiştir. Aynı çalışmaya ait Plaka 2 deneysel sonuçlarına da YSA yöntemi uygulanarak aynı sonuçlar için elde edilen korelasyonlar ile kıyaslanmıştır. Plaka 2 için hem Nusselt sayısı hem de sürtünme katsayısı tahminleri aşağıda gösterilmektedir.

C.1. Plaka 2 İçin Nusselt Sayısı Tahmini ve Karşılaştırması

TOBB ETÜ ısı değiştirgeci laboratuvarında gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen deneysel ölçümler ısı transferi denklemlerinde kullanılarak YSA yöntemi için kullanılacak ağ yapılarının girdilerine çevrilmiştir. Çıktı ise korelasyon hesabını yaptı parametre olan Nusselt sayısıdır. Plaka 2 için de Plaka 1 için olduğu gibi çıktı sayısı 2 adet olarak belirlenmiştir: sıcak taraf Nusselt sayısı ve soğuk taraf Nusselt sayısı.

Girdiler

- Sıcak taraf giriş sıcaklığı, $T_{h,i}$
- Sıcak taraf kütle debisi, \dot{m}_h
- Sıcak taraf Reynolds sayısı, Re_h
- Sıcak taraf Prandtl sayısı, Pr_h
- Sıcak taraf viskozite oranları, μ_h/μ_w
- Soğuk taraf giriş sıcaklığı, $T_{c,i}$
- Soğuk taraf çıkış sıcaklığı, $T_{c,o}$
- Soğuk taraf kütle debisi, \dot{m}_c
- Soğuk taraf Reynolds sayısı, Re_c
- Soğuk taraf Prandtl sayısı, Pr_c
- Soğuk taraf viskozite oranları, μ_c/μ_w

Çıktılar

- Sıcak taraf Nusselt sayısı
- Soğuk taraf Nusselt sayısı

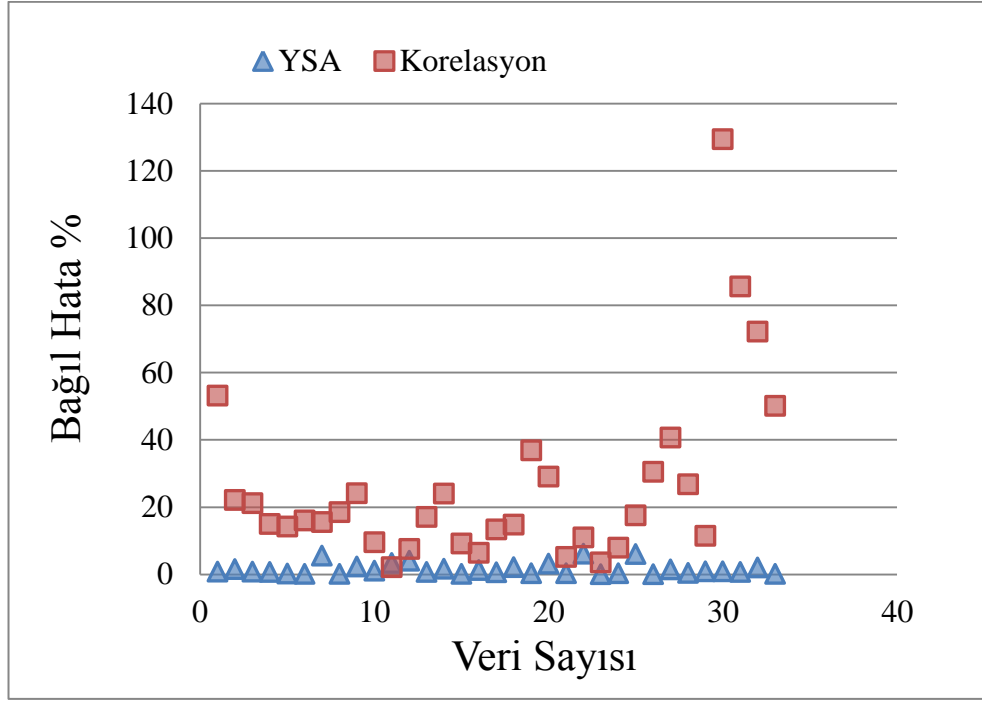
YSA yönteminde kullanılacak olan girdiler ve çıktılar belirlendikten sonra deney verileri ayrıştırılmıştır. 33 adet veri oluşturulacak ağ yapısını eğitmek, 12 adet veri ise eğitilen ağ yapılarını test etmek için kullanılmıştır. Plaka 2 için yapılan deneylerde plaka sayısı değiştirilmemiş ve 10 adettir. 11 adet girdi 2 adet çıktıdan oluşan ağ yapıları Çizelge C.1’de hem eğitim hem de test hatalarıyla birlikte gösterilmiştir.

Çizelge C.1. Plaka 2 için oluşturulan Nu sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri

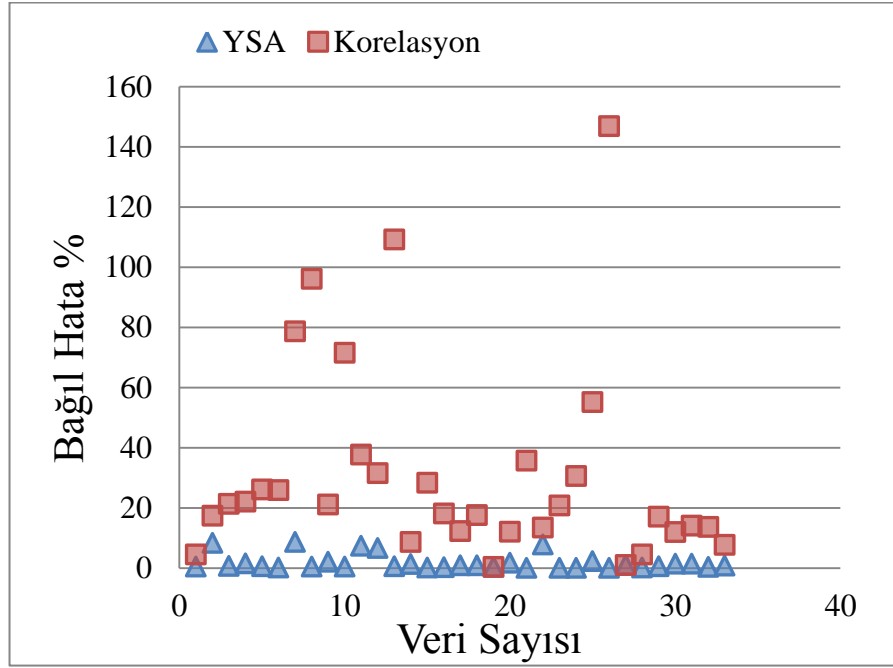
Ağ Yapısı	Eğitim Hata				Test Hata			
	Nu, sıcak taraf		Nu, soğuk taraf		Nu, sıcak taraf		Nu, soğuk taraf	
	Mak. Bağlı Hata (%)	rms	Mak. Bağlı Hata (%)	rms	R	σ	R	σ
Korelasyon	129,4069	0,3696	146,8185	0,4542	0,8597	0,1821	0,8771	0,7745
11-3-2	77,4914	0,1957	26,8768	0,0637	0,9986	0,0818	1,0918	0,2375
11-5-2	13,6186	0,0772	28,5274	0,1052	1,0276	0,1234	1,0106	0,1383
11-10-2	38,8561	0,1085	21,4038	0,0698	1,0316	0,0797	1,0854	0,1078
11-11-2	192,3730	0,5339	197,4794	0,6624	0,5242	0,2182	0,6699	0,1639
11-10-5-2	6,1386	0,0228	8,6699	0,0316	1,0263	0,1014	1,0269	0,0896
11-8-6-4-2	64,4475	0,1944	58,6140	0,1805	1,1604	0,2407	1,1549	0,2158

Çizelge C.1 incelenecek olunursa, oluşturulan ağ yapılarından eğitim verileri için en düşük rms değerine sahip olan ağ 11-10-5-2 ağıdır. Hem sıcak hem de soğuk taraf rms değerleri diğer ağ yapılarından ve korelasyondan oldukça düşüktür. Test verileri için de incelenecek olunursa, 11-10-5-2 ağ yapısı hem sıcak taraf hem de soğuk taraf R değerleri beraber değerlendirildiğinde diğer ağ yapılarına üstünlük sağlamaktadır. 11-10-5-2 ağ yapısı korelasyon ile kıyaslanmak üzere seçilmiştir. Şekil C.1, Şekil C.2, Şekil C.3 ve Şekil C.4 hem eğitim hem de test verileri için seçilen ağ yapısı

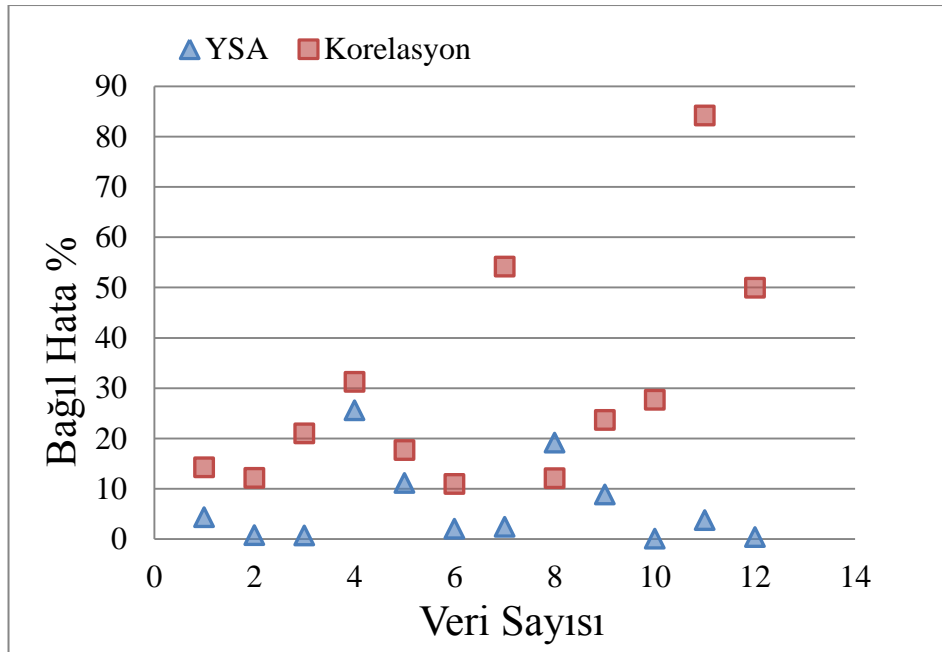
sonucunda oluşan tahminlerin deneysel değerler ile arasında oluşan hata hesaplamalarını ve korelasyon sonucunda elde edilen değerlerin deneysel değerler ile arasında oluşan hata hesaplamalarını her bir veri için göstermektedir. Hem sıcak taraf hem de soğuk taraf bağıl hata hesaplamaları için YSA yönteminin korelasyon yöntemine göre çok büyük üstünlüğü vardır.



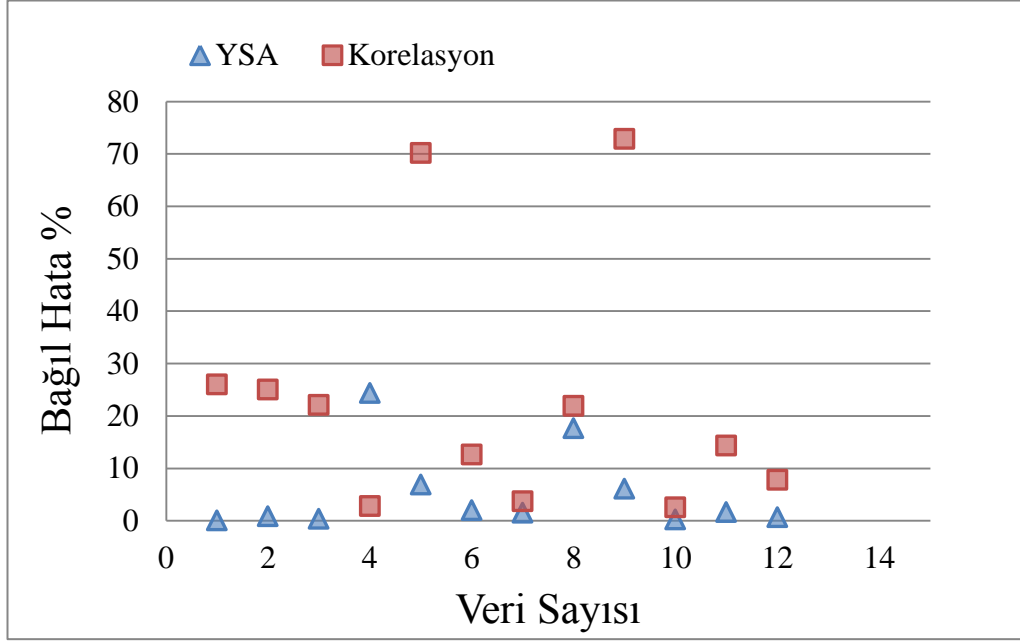
Şekil C.1. Plaka 2 için 11-10-5-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları



Şekil C.2. Plaka 2 için 11-10-5-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

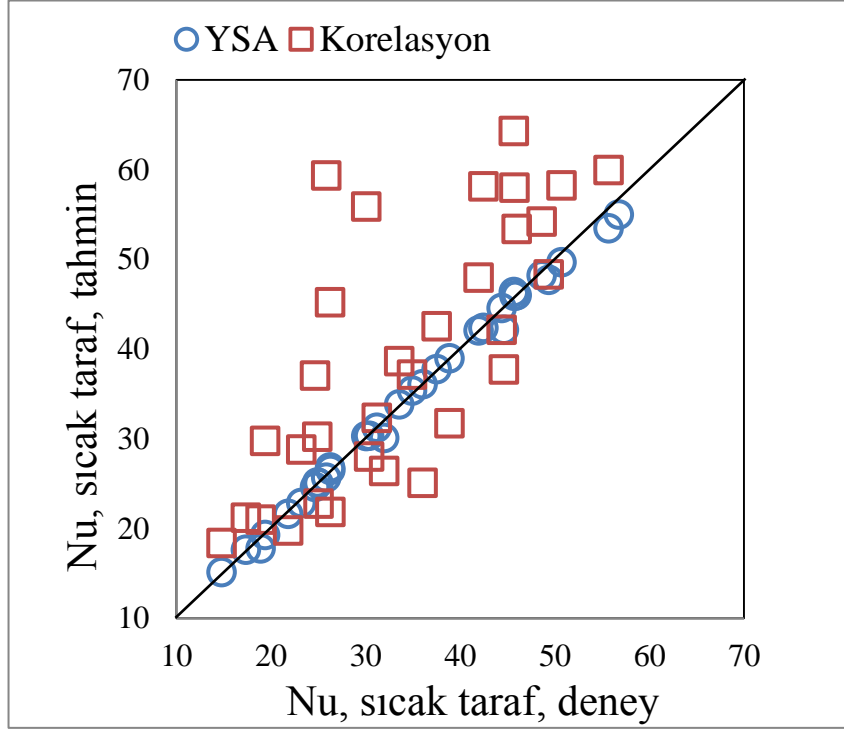


Şekil C.3. Plaka 2 için 11-10-5-2 YSA modelindeki test verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

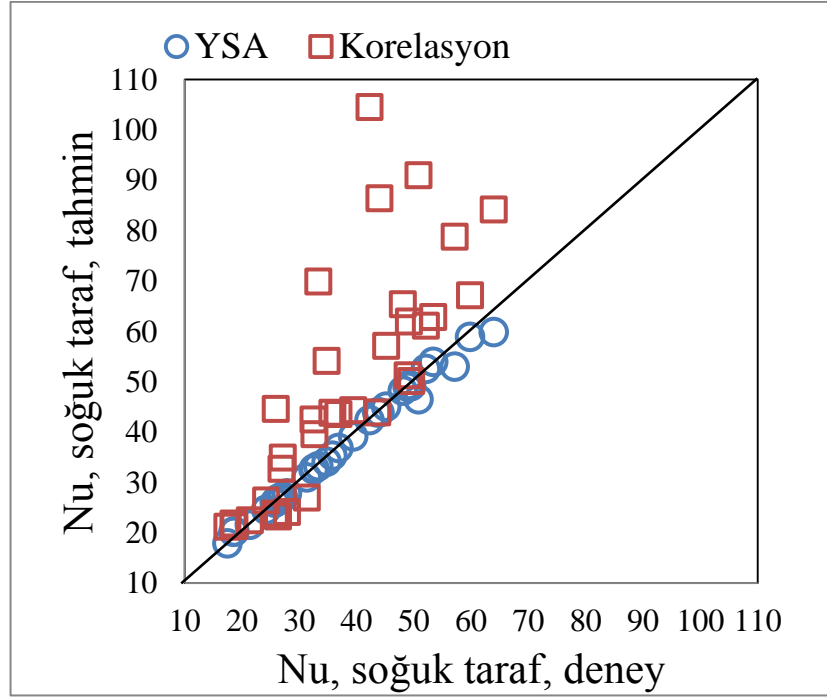


Şekil C.4. Plaka 2 için 11-10-5-2 YSA modelindeki test verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

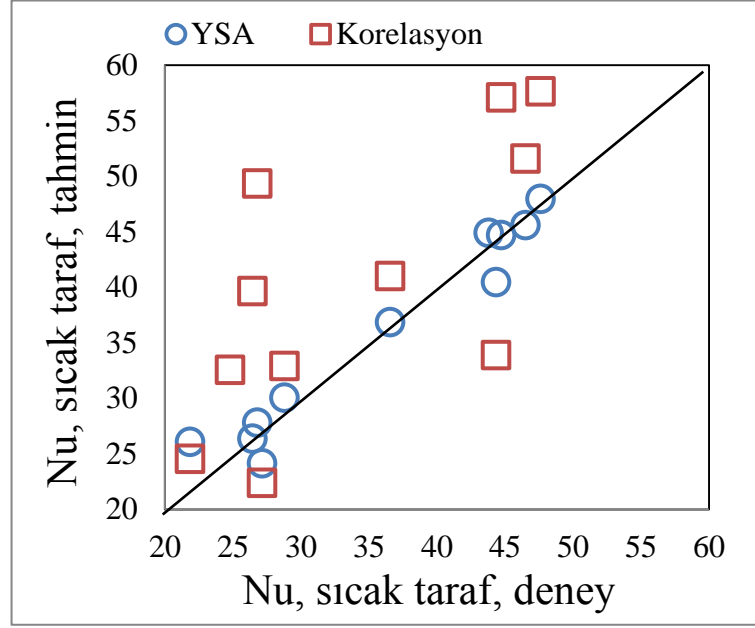
Şekil C.5-C.8 arasında ise bağıl hata değerleri hesaplanan Nusselt sayılarının YSA ve korelasyon yöntemi sonucundaki tahmin değerlerini vermektedir. 4 grafik için de YSA sonuçları mükemmel çizgiye korelasyon sonuçlarına göre çok daha yakındır.



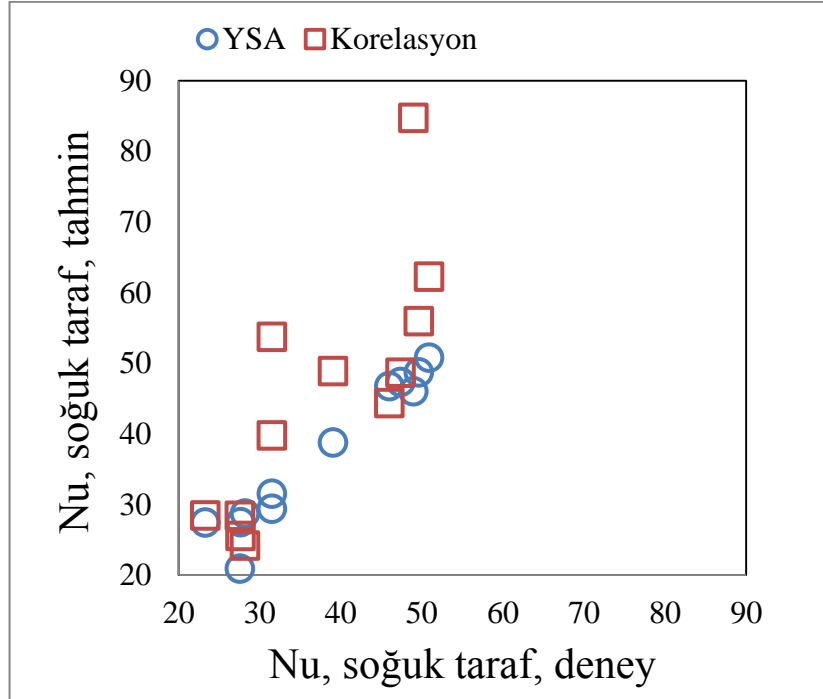
Şekil C.5. Plaka 2 eğitim verileri için sıcak taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları



Şekil C.6. Plaka 2 eğitim verileri için soğuk taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları



Şekil C.7. Plaka 2 test verileri için sıcak taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları



Şekil C.8. Plaka 2 test verileri için soğuk taraf Nu sayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları

C.2. Plaka 2 İçin Sürtünme Katsayısı Tahmini ve Karşılaştırması

Nusselt sayısı tahminlerinden sonra Plaka 2 için sürtünme katsayısı tahminleri hem YSA hem de korelasyon için yapılmıştır. YSA yönteminde ağ yapısı oluşturmak için seçilen girdiler ve çıktı aşağıda yer almaktadır. 6 adet girdi ve 1 adet çıktıya sahip bu ağ yapıları farklı katman ve sınırlar için oluşturularak performans analizleri yapılmıştır. Çizelge C.2’de farklı ağ yapıları ve her bir ağ yapısına ait hata analizleri okunabilir. Sürtünme katsayısı tahminini yapmak için YSA yönteminde kullanılmak üzere 90 adet veri hem sıcak hem de soğuk taraf karışık olmak üzere hazırlanmıştır. Rastgele iki gruba ayrılan verilerden eğitim için olanı 67 adet, test için olanı ise 23 adettir.

Girdiler

- Giriş sıcaklığı, T_i
- Çıkış sıcaklığı, T_o
- Kütle debisi, \dot{m}
- Reynolds sayısı, Re
- Viskozite oranları, μ/μ_w
- Basınç düşümü, ΔP

Çıktılar

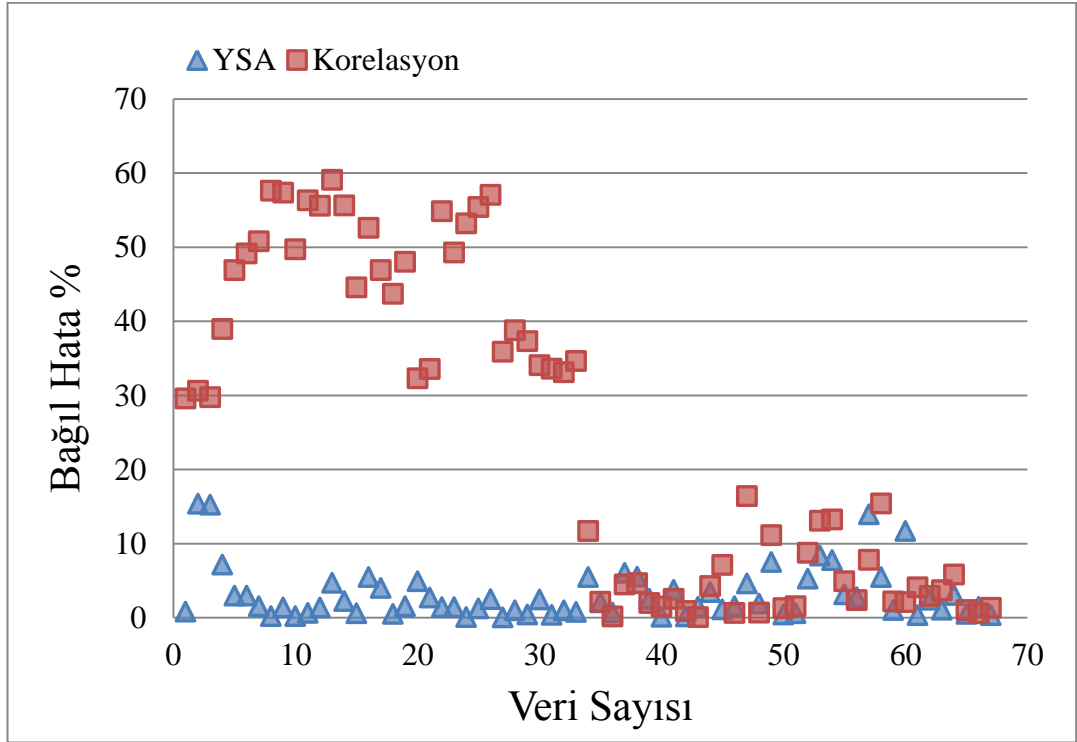
- Sürtünme Katsayısı, f

Çizelge C.2 incelenirse en düşük rms oranına sahip ağ yapısı 6-5-1 olarak anlaşılır. 6-2-1 ağ yapısının da rms değeri düşük olmakla birlikte 6-5-1 ağ yapısına yakındır. İki arasında seçim yapılması için test verileriyle elde edilen performanslara bakılması gerekir. Hem R değeri hem de σ değeri 6-5-1 ağ yapısı için ideale en yakındır. Bundan dolayı korelasyonla karşılaştırmak üzere 6-5-1 ağ yapısı seçilmiştir. Korelasyonun eğitim verileri için ortalama bağıl hata değeri %24 iken bu oran 6-5-1 ağ yapısında %3 civarındadır. Şekil C.9-C.12 incelenecek olunursa 6-5-1 ağ yapısına ait hem YSA hem de korelasyon sonunda tahmin edilen değerlerin bağıl hataları her bir veri için gösterildiği anlaşılacaktır. Hem eğitim hem de test

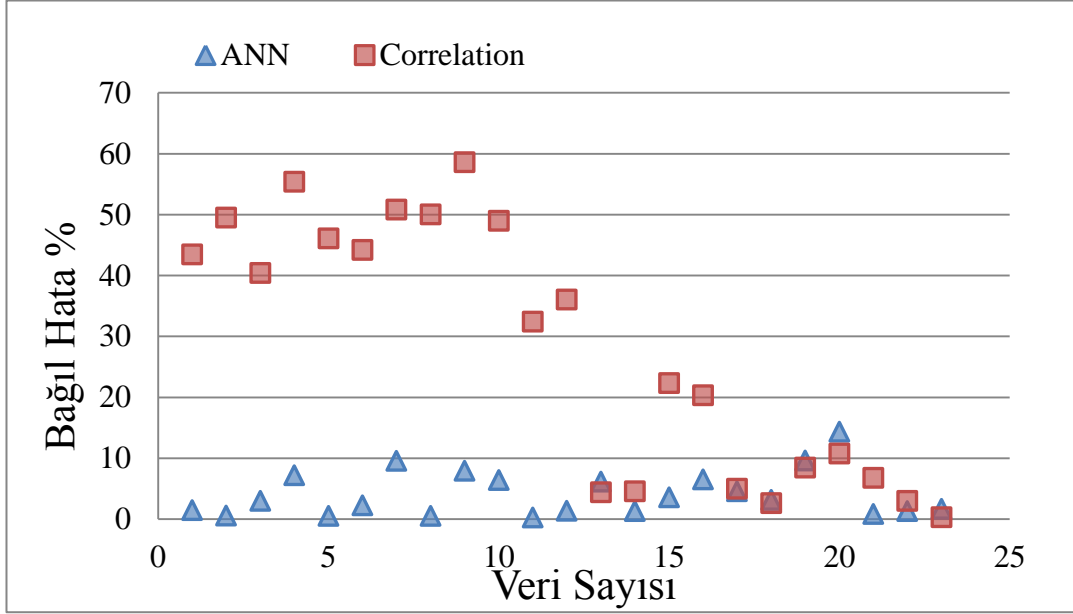
verilerinin tahminlerinde YSA korelasyona göre deneysel değerlere çok daha yakın tahminde bulunduğu anlaşılabacaktır.

Çizelge C.2. Plaka 2 için oluşturulan sürtünme katsayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri

	Eğitim Hata		Test Hata	
	Mak. Bağıl Hata %	rms	R	σ
Korelasyon	59,05992981	0,32670584	1,4533348	0,78382
6-2-1	13,83092094	0,0544283	0,9973186	0,5888
6-3-1	18,36097273	0,08235673	1,0506021	0,63876
6-4-1	43,39662453	0,07647828	1,0030631	0,60284
6-5-1	15,3497071	0,04646421	1,0023677	0,57978
6-6-1	15,68318109	0,08721398	0,9821611	0,62763
6-4-2-1	17,40286814	0,06966355	1,0303689	0,62329

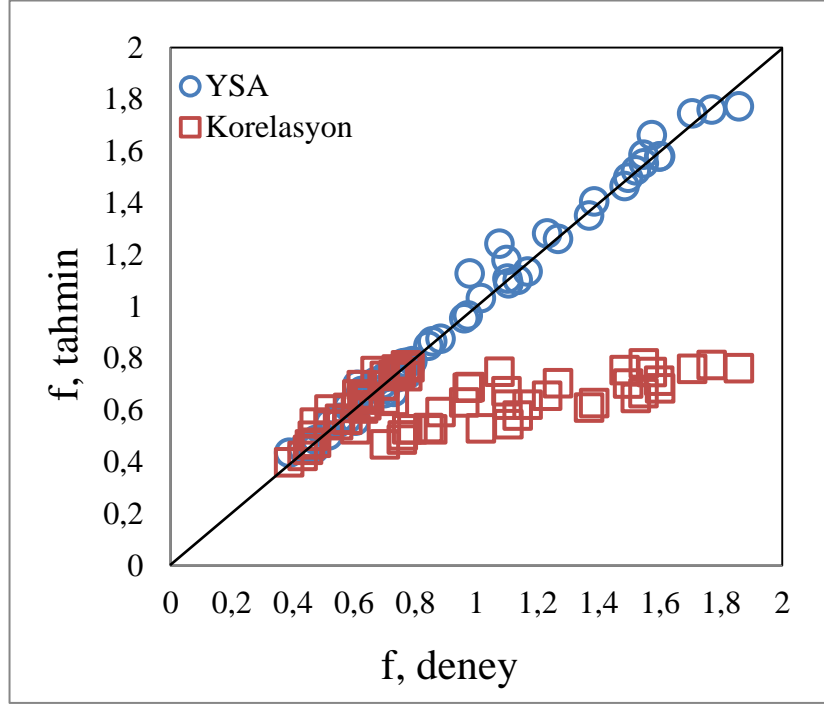


Şekil C.9. Plaka 2 için 6-5-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

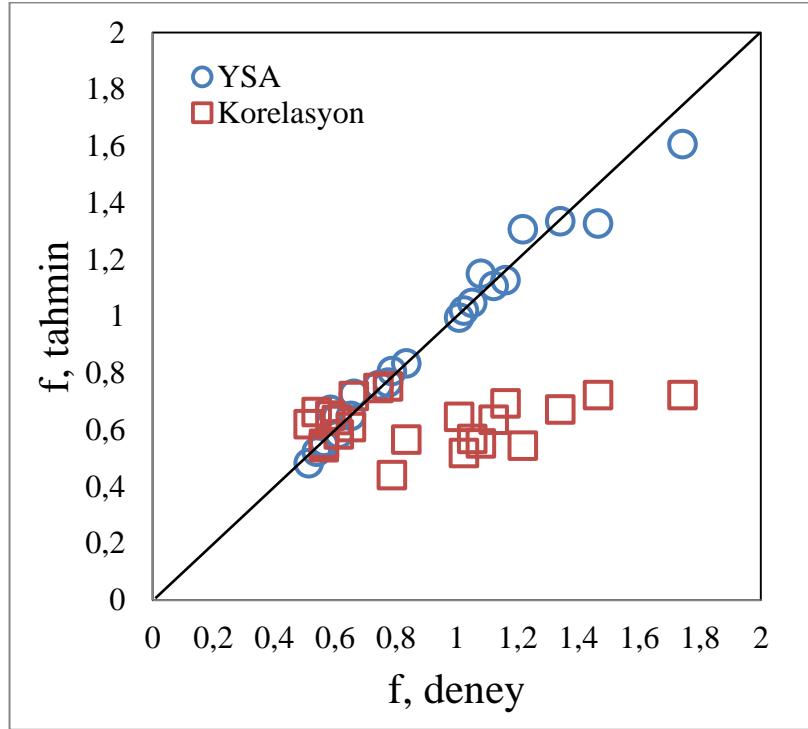


Şekil C.10. Plaka 2 için 6-5-1 YSA modelindeki test verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

Şekil C.11 ve Şekil C.12 deneysel sürtünme kuvvetlerinin tahminler ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Hem test hem de eğitim veri gruplarına uygulanan YSA yöntemi sonucunda elde edilen tahminler mükemmel çizgiye daha yakındır. Kısacası Plaka 2 içinde YSA yöntemi sürtünme katsayısını tahmin etmede korelasyona göre çok üstündür ve iyi bir alternatiftir.



Şekil C.11. Plaka 2 eğitim verileri için sürtünme katsayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları



Şekil C.12. Plaka 2 test verileri için sürtünme katsayısı YSA tahminleri ve Korelasyon sonuçları

EK-D Plaka 3 YSA Sonuçları ve Karşılaştırması

Bu bölümde Plaka 3 için elde edilen YSA sonuçları ve korelasyon ile karşılaştırılması anlatılacaktır. Plaka 1 ve Plaka 2'den sonra son olarak Plaka 3 sonuçları hem Nusselt sayısı hem de sürtünme katsayısı tahminleri için verilmektedir.

D.1. Plaka 3 İçin Nusselt Sayısı Tahmini ve Karşılaştırması

Nusselt sayısı tahmini için elde edilen deneysel ölçümler ısı transferi hesaplamalarıyla YSA yönteminde oluşturulacak ağ yapısının girdilerine çevrilmişlerdir. Bu girdiler aşağıda verilmekle birlikte 12 adettir. 2 adet de çıktı bulunmaktadır. Plaka 3 için de Nusselt sayısı tahmini hem sıcak taraf hem de soğuk taraf olmak üzere 2 adettir. Toplam 24 adet verinin 17 tanesi ağ eğitmek için geri kalan 7 tanesi de daha sonra ağ test etmek için rastgele ayrılmıştır. Ağ yapıları, farklı katman ve sinir için oluşturulmuş ve Çizelge D.1'de verilmiştir.

Girdiler

- Sıcak taraf giriş sıcaklığı, $T_{h,i}$
- Sıcak taraf kütle debisi, \dot{m}_h
- Sıcak taraf Reynolds sayısı, Re_h
- Sıcak taraf Prandtl sayısı, Pr_h
- Sıcak taraf viskozite oranları, μ_h/μ_w
- Soğuk taraf giriş sıcaklığı, $T_{c,i}$
- Soğuk taraf çıkış sıcaklığı, $T_{c,o}$
- Soğuk taraf kütle debisi, \dot{m}_c
- Soğuk taraf Reynolds sayısı, Re_c
- Soğuk taraf Prandtl sayısı, Pr_c
- Soğuk taraf viskozite oranları, μ_c/μ_w

Plaka sayısı

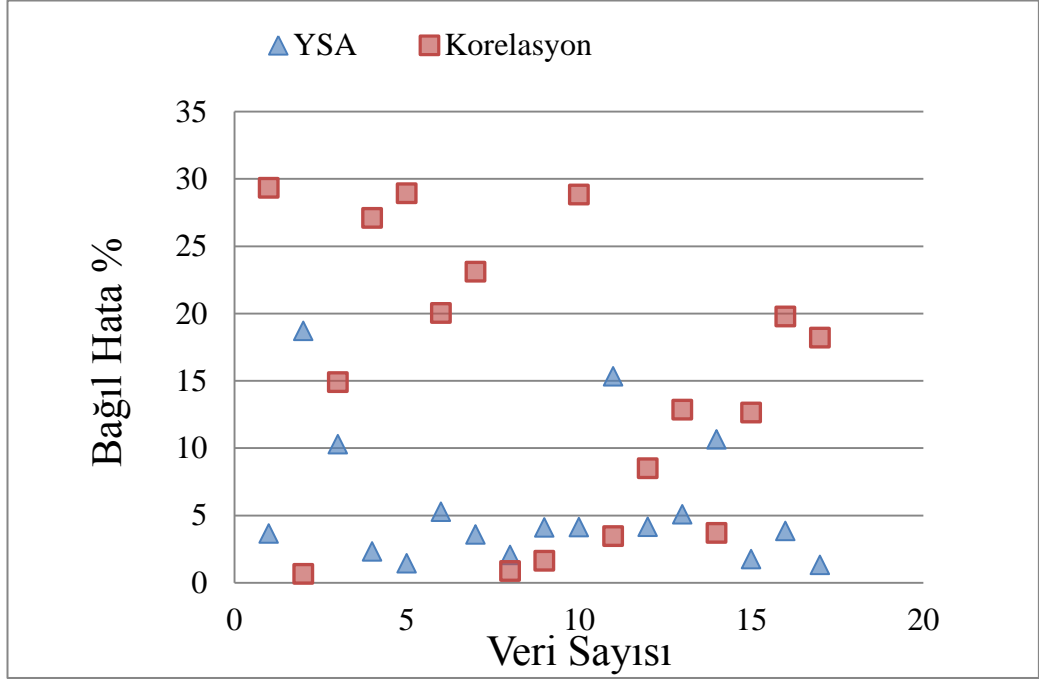
Çıktılar

- Sıcak taraf Nusselt sayısı
- Soğuk taraf Nusselt sayısı

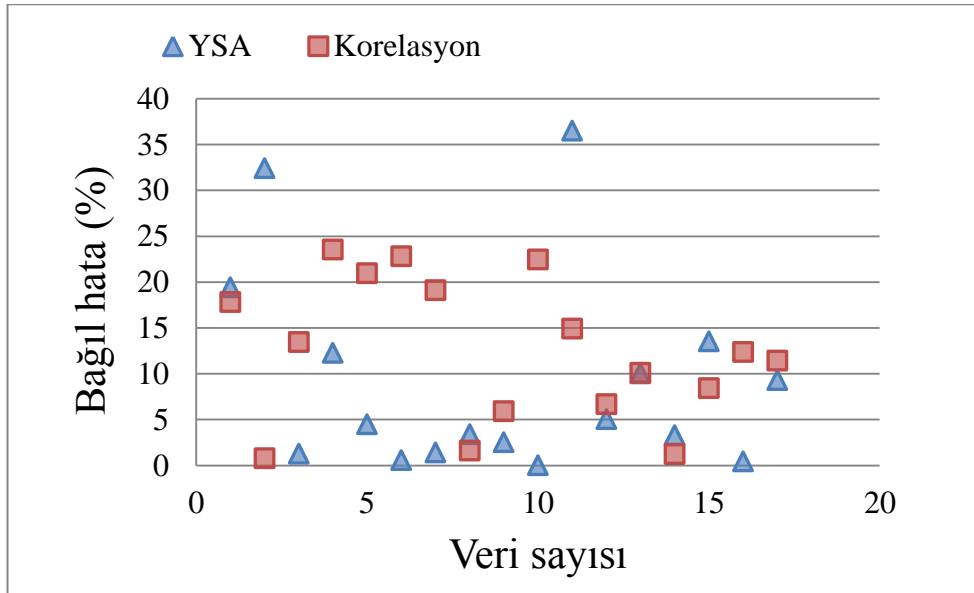
Çizelge D.1 incelenecek olunursa hem sıcak taraf hem de soğuk taraf eğitim verileri için rms değeri en düşük ağ yapısı 12-6-2'dir. 12-6-2 ağ yapısı için test değerlerine de baktığımızda R değerlerinin de 1'e yakın olması bu ağ yapısını diğer ağ yapılarından bir adım öne çıkarmaktadır. Düşük hata oranlarına sahip ağ yapısı seçildikten sonra korelasyonla karşılaştırmak için her bir veriye hem test hem de eğitim olmak üzere bağıl hata analizi yapılmış ve Şekil D.1-D.4'te verilmiştir. 4 şekil incelendiğinde YSA yönteminin hata değerlerinin korelasyona göre nasıl düşük seviyelerde olduğu anlaşılmaktadır. Sadece soğuk taraf test grafiğinde korelasyondan daha iyi değildir. Bu da 2 çıktılı ağ yapılarının bir dezavantajı olarak düşünülebilir. Sistem aynı anda 2 çıktı birden düşük hata ile tahmin etmeye çalıştığı zaman bazı durumlarda çıktılarından biri istenilen hata seviyelerine ulaşmayabiliyor.

Çizelge D.1. Plaka 3 için oluşturulan Nu sayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri

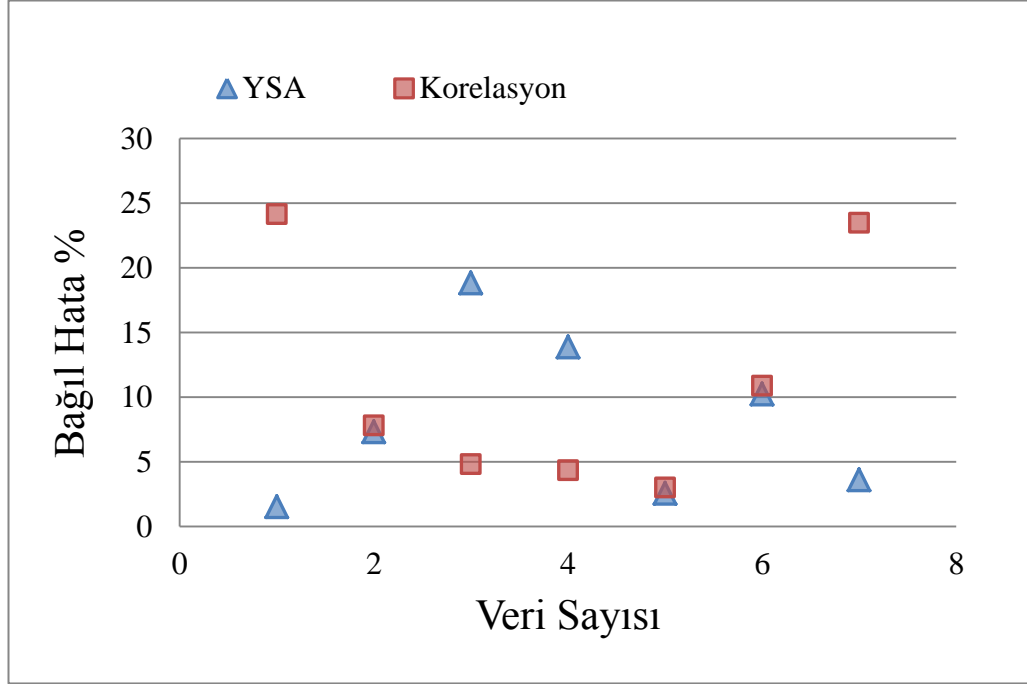
Ağ Yapısı	Eğitim Hata				Test Hata			
	Nu, sıcak taraf		Nu, soğuk taraf		Nu, sıcak taraf		Nu, soğuk taraf	
	Mak. Bağıl Hata (%)	rms	Mak. Bağıl Hata (%)	rms	R	σ	R	σ
Korelasyon	29,33	0,18	23,53	0,15	0,9263	0,0593	1,0511	0,7017
12-12-2	50,79	0,16	73,61	0,25	0,9176	0,0926	0,8720	0,1027
12-10-2	70,67	0,48	362,16	1,05	1,8690	0,3946	1,1263	0,3310
12-6-2	18,69	0,08	36,48	0,14	1,0097	0,0650	0,9252	0,0613
12-5-2	60,09	0,15	78,97	0,20	0,9913	0,0818	0,9354	0,0676
12-10-8-2	75,45	0,22	91,80	0,24	0,8435	0,1010	0,8536	0,0977
12-10-6-2	77,16	0,56	190,83	0,53	2,3552	0,6400	0,7978	0,2111



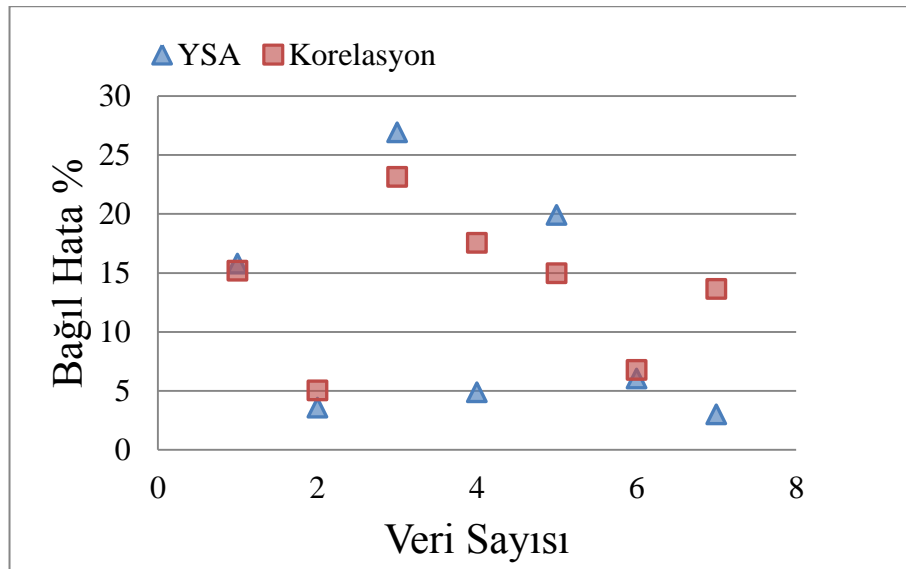
Şekil D.1. Plaka 3 için 12-6-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları



Şekil D.2. Plaka 3 için 12-6-2 YSA modelindeki eğitim verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları



Şekil D.3. Plaka 3 için 12-6-2 YSA modelindeki test verilerinin sıcak taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları



Şekil D.4. Plaka 3 için 12-6-2 YSA modelindeki test verilerinin soğuk taraf Nu sayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

D.2. Plaka 3 İçin Sürtünme Katsayısı Tahmini ve Karşılaştırması

Plaka 3 için sürtünme katsayısı tahminleri ve korelasyonla karşılaştırılmaları bu başlık altında verilmektedir. Deneysel ölçümler, plakanın geometrik özellikleriyle birlikte hidrolik akış hesaplamaları kullanılarak YSA yönteminde kullanılacak girdi ve çıktılara dönüştürülmüştür. Girdiler 7 tane çıktı ise 1 tane olmak üzere aşağıda listelenmiştir. Toplam 48 adet verinin 36 tanesi ağı eğitmek geri kalan 12 tanesi ise ağı test ederek performansını ölçmek için kullanılmıştır. Veriler rastgele olarak iki gruba ayrıldıktan sonra Çizelge D.2’de gösterildiği gibi farklı şekillerde ağ yapıları oluşturulmuş ve her bir ağ yapısı için hata analizi yapılmıştır.

Girdiler

- Giriş sıcaklığı, T_i
- Çıkış sıcaklığı, T_o
- Kütle debisi, \dot{m}
- Reynolds sayısı, Re
- Viskozite oranları, μ/μ_w
- Basınç düşümü, ΔP
- Plaka sayısı

Çıktılar

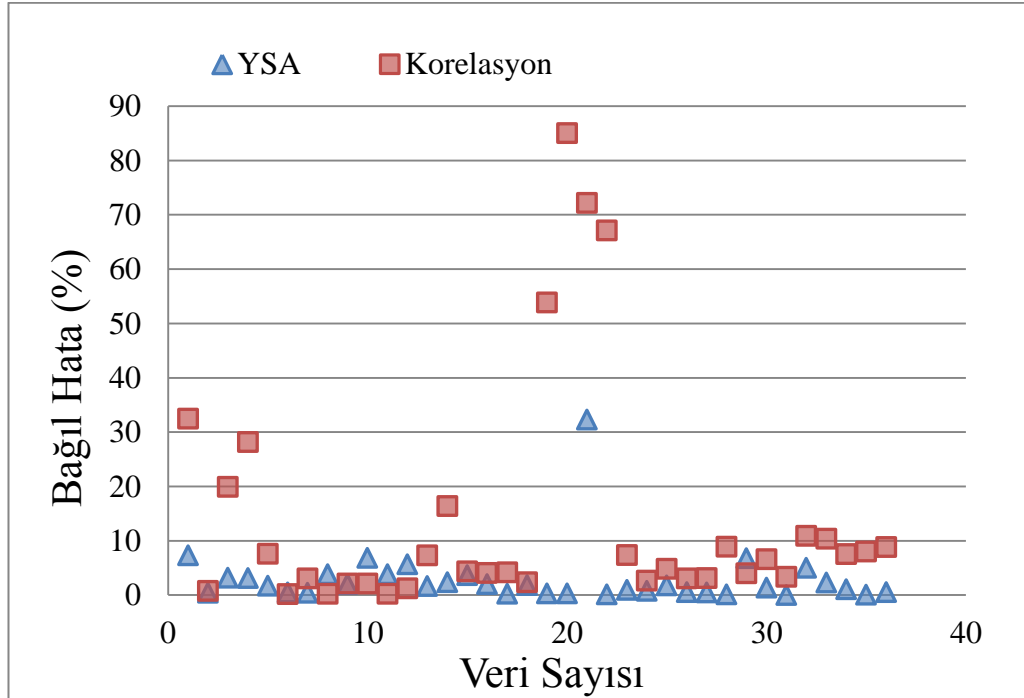
- Sürtünme Katsayısı, f

Çizelge D.2’deki ağ yapıları karşılaştırılacak olunursa en küçük rms değerine sahip 7-6-1 ağ yapısı hemen göze çarpacaktır. Diğer ağ yapılarına göre eğitim verileri için oldukça düşük hatalar veren bu ağ yapısının test performansı da diğer ağ yapılarına göre çok daha üst düzeydir. Eğitim ve test verileri beraber değerlendirildiğinde korelasyonla karşılaştırılmak için seçilecek ağ yapısı 7-6-1’dir.

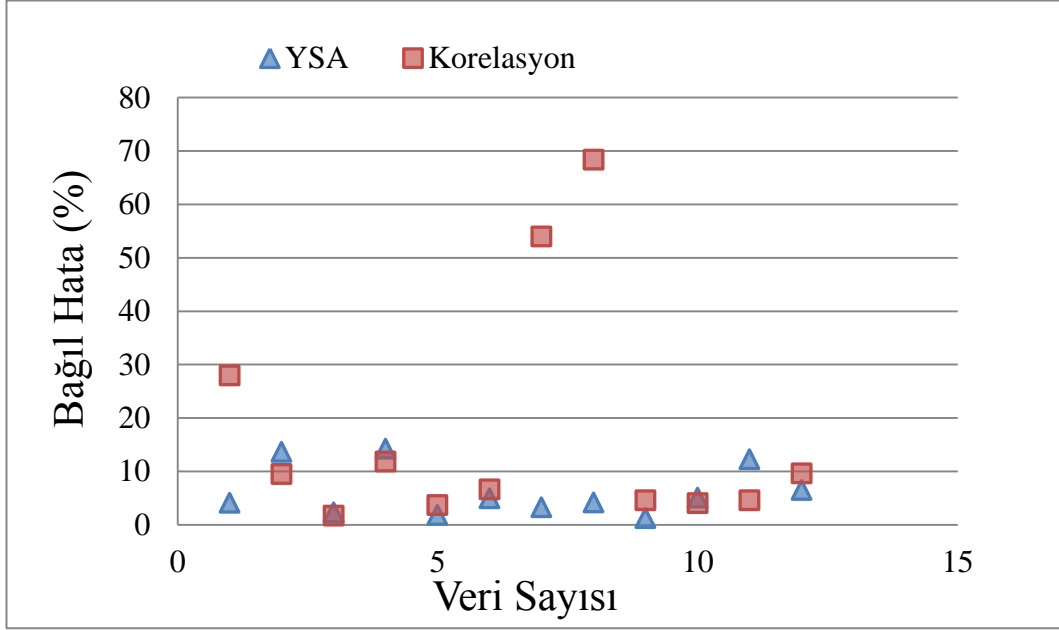
Çizelge D.2. Plaka 3 için oluşturulan sürtünme katsayısı YSA modelleri ve Korelasyon için hata değerleri

Ağ Yapıları	Sürtünme Katsayısı			
	Eğitim Hata		Test Hata	
	Mak. Bağıl Hata %	rms	R	σ
Korelasyon	85,0048	0,2540	1,2545	0,5616
7-3-1	152,1851	0,3360	0,8808	0,1854
7-5-1	27,7193	0,1044	1,0080	0,0803
7-6-1	32,2784	0,0611	1,0253	0,0630
7-7-1	118,4187	0,1997	0,9628	0,1696
7-5-3-1	182,4707	0,4900	0,8477	0,2461

Şekil D.5 ve D.6 sürtünme katsayısı tahminlerinin deneysel değerler ile aralarındaki bağıl hata oranlarını hem eğitim hem de test verileri için göstermektedir. 2 grup veri için de YSA yöntemi sonucunda elde edilen tahminler deneysel değerlere daha yakın olmaktadır. Özetle YSA yöntemi sürtünme katsayısını Plaka 3 için de korelasyona göre büyük bir üstünlükle tahmin etmektedir.



Şekil D.5. Plaka 3 için 7-6-1 YSA modelindeki eğitim verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları



Şekil D.6. Plaka 3 için 7-6-1 YSA modelindeki test verilerinin sürtünme katsayısı YSA ve Korelasyon bağıl hata dağılımları

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TÜRK, Caner
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 26.04.1987 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (507) 387 08 91
Faks : 0 (312) 292 40 91
e-mail : cturkmk@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üni./Makine Müh.	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
09.2010-07.2013	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Asistan
04.2010-08.2010	Coca-cola Ankara Fabrikası	Ortak Eğitim
01.2009-05.2009	Arçelik Bulaşık Makinası Fabrikası	Ortak Eğitim
01.2008-05.2008	KSG Makine İmalat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.	Ortak Eğitim

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Yayınlar

1. **Türk, C.**, Aradag, S., "Artificial Neural Net Estimations of Gasketed plate heat exchanger performance based on experimental analysis", 6th International Conference on Thermal Systems: Theory and Applications, Mayıs-Haziran 2012.
2. Ayli, E., **Türk, C.**, Aradag, S., "Computational Analysis of Cooling of Electronic Systems with Vortex Promoters", ASME 7th International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, Temmuz 2011.
3. **Türk, C.**, Aradag, S., "PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE YAPAY SİNİR AĞLARI YARDIMIYLA ISIL ÖZELLİK TAHMİNİ", ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül 2011.
4. Ayli, E., **Türk, C.**, Aradag, S., "Experimental Investigation of Cooling of Electronic Equipment," International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing vol. 1, no. 2, pp. 153-157, 2013.
5. **Türk, C.**, Gülenoğlu, Ç., Özkaya, E., Genç, Y., Aradağ, S., Kakaç, S., Özcan, A., "Deneysel Çalışmalar, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Yapay Sinir Ağları ile Plakalı Isı Değiştirgeci Tasarımı", 11. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ VE TESKON+SODEX FUARI, Nisan 2013.