T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADYAL SANTRİFÜJ POMPALARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TASARIMI

Alper TANER

DOKTORA TEZİ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI
KONYA, 2007

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADYAL SANTRİFÜJ POMPALARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TASARIMI

Alper TANER

DOKTORA TEZİ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Bu tez 17.10.2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN (Danışman)	Prof. Dr. Recai GÜRHAN (Üye)	Prof. Dr. Fikret DEMİR (Üye)
Doç. Dr. Sedat Çalışır (Üye)	Doç. Dr. Hacı SAĞLAM (Üye)	Dr. S. Sinan GÜLTEKİN (Üye)

ÖZET
Doktora Tezi

RADYAL SANTRİFÜJ POMPALARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TASARIMI

Alper TANER

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman :Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
2007, 150 Sayfa
Jüri :Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Prof. Dr. Recai GÜRHAN
Prof. Dr. Fikret DEMİR
Doç. Dr. Sedat ÇALIŞIR
Doç. Dr. Hacı SAĞLAM
Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

Bu çalışmada santrifüj pompaların YSA teknikleri ile tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla pompanın devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik parametreleri giriş verisi, çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı parametreleri de çıkış verisi olarak kullanılmıştır. Araştırmada YSA modeli iki yönlü çalıştırılmıştır. Bu çalışmada 3 yöntem için 5 model geliştirilmiştir. Geliştirilen Model1'de, 3 giriş ve 5 çıkış parametresi kullanılarak pompa tasarımı yapılmıştır. Geliştirilen Model2'de, 5 giriş ve 3 çıkış parametresi ve Model3, Model4 ve Model5'de ise 5 giriş ve tek çıkış parametresi kullanılarak deneysel performans sonuçları hesaplanmıştır.

Ölçüm sonuçları ile YSA modelleri ve klasik metodlardan (regresyon denklemleri ve teorik hesaplamalar) elde edilmiş sonuçlar karşılaştırılmıştır. YSA ile pompa tasarımında, farklı algoritmalar kullanılmış ancak en iyi sonuçlar, LM algoritması ile elde edilmiştir.

Pompa tasarım parametrelerinden çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapına ait, ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde (Model1) sırasıyla %2.43, %3.37, %2.11, %3.29 ve %5.11 olarak bulunurken uyuşma derecesi sırasıyla 0.0009, 0.0008, 0.0007, 0.0012 ve 0.0019 elde edilmiştir. Performans değerlerinden devir sayısı, debi ve manometrik yüksekliğe ait ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, üç çıkışlı YSA modelinde (Model2), sırasıyla %1.24, %9.01 ve %6.33 olarak bulunurken uyuşma derecesi sırasıyla 0.0001, 0.0022 ve 0.0037 elde edilmiştir. Ayrıca performans değerlerinden devir sayısı, debi ve manometrik yüksekliğe ait ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, tek çıkışlı YSA modellerinde (Model3, Model4 ve Model5) sırasıyla %0.94, %2.39 ve %1.18 olarak bulunurken uyuşma derecesi sırasıyla 0.0001, 0.0002 ve 0.0001 elde edilmiştir.

Bu çalışmadaki nöral modeller ile gerek bir pompaya ait performans değerlerinin ve gerekse de performans değerleri verilen bir pompaya ait tasarım parametrelerinin saptanması hızlı ve güvenli bir şekilde yapılabilecektir.

Anahtar Kelimeler : Yapay Sinir Ağları, Santrifüj Pompa, Pompa Tasarımı.

ABSTRACT
PhD Thesis

Design of Radial Centrifugal Pumps Using Artificial Neural Network

Alper TANER

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery

Supervisor :Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
2007, 150 Pages
Jury :Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Prof. Dr. Recai GÜRHAN
Prof. Dr. Fikret DEMİR
Assoc. Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR
Assoc. Prof. Dr. Hacı SAĞLAM
Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

In this study, centrifugal pumps were designed through the ANN (Artificial Neural Network) techniques. For this purpose, the pump RPM, flow rate and manometric height parameters were used as input data, the impeller inlet diameter, the impeller outlet diameter, the number of impeller blades, the pump inlet pipe diameter and the pump outlet pipe diameter parameters as output data. In the research, the ANN model was made run in two directions. In this study, 5 models were developed for 3 methods. In the developed Model1, pump design was performed by using 3 input and 5 output parameters. Experimental performance results were calculated from the developed Model2 by using 5 input and 3 output parameters and from Model3, Model4 and Model5 by using 5 input and single output parameters.

The measurement results along with the ANN models were compared to the results obtained with the classical methods (regression equations and theoretical calculations). In the pump design through ANN, different algorithms were used, however, the best results were obtained by using the LM algorithm.

In the ANN model (Model1), whereas the average error in approaching measurement values, of the pump design parameters; the impeller inlet diameter, the impeller outlet diameter, the number of impeller blades, the pump inlet pipe diameter and pump outlet pipe diameter were found to be 2.43%, 3.37%, 2.11%, 3.29% and 5.11% respectively; the cohesion degrees were obtained to be 0.0009, 0.0008, 0.0007, 0.0012 and 0.0019 respectively. In the three output ANN model (Model2), whereas the average error in approaching measurement values, of the performance values, the RPM, flow rate and manometric height were found to be 1.24%, 9.01% and 6.33%, respectively; the cohesion degrees were obtained to be 0.0001, 0.0022 and 0.0037 respectively. Furthermore, in the single output ANN models (Model3, Model4 and Model5), whereas the average error in approaching measurement values, of the performance values, the RPM, flow rate and manometric height were found to be 0.94%, 2.39% and 1.18% respectively; the cohesion degrees were obtained to be 0.0001, 0.0002 and 0.0001 respectively.

By means of the neural models employed in this study, both determination of performance values related to any pump and determination of the design parameters of any pump whose performance values are given will be made in a quick and reliable way.

Key Words : Artificial Neural Network, Centrifugal Pump, Pump Design.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında yardım ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Kazım ÇARMAN'a ve tez izleme komitesinde yer alan hocalarım Doç. Dr. Sedat ÇALIŞIR, Doç. Dr. Hacı SAĞLAM ve Öğr. Gör. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın yürütülmesi esnasında yanımda yer alan ve bana destek olan arkadaşlarım Ziraat Yüksek Mühendisleri R. Zafer ARISOY, Yasin KAYA ve Fevzi PARTİGÖÇ'e teşekkür ederim. Ayrıca pompaların temin ve montajında yardımlarından dolayı Ali KİRAZLI, Levent AKTAŞ ve Bilal KOÇYİĞİT'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında yanımda olan, desteklerini ve sevgilerini esirgemeyen annem, babam ve eşime, özellikle ihmal ettiğim için sabırlarından dolayı çocuklarım Eda ve İsmet'e sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Alper TANER

Konya, Ekim 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ xi
ŞEKİLLER DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 1
1.1. Yapay Sinir Ağları 9
1.1.1. Biyolojik Sinir Hücresi 10
1.1.2. Yapay Sinir Hücresi 11
1.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri 15
1.1.4. Yapay Sinir Ağ Yapıları 16
1.1.5. Çok Katmanlı Perseptron Yapay Sinir Ağı Yapısı 17
1.1.6. ÇKP Ağının Öğrenme Kuralı 18
1.1.7. ÇKP Ağının Çalışma Prosedürü 19
1.1.8. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme ve Test Etme 20
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 22
3. MATERYAL VE METOT 33
3.1. Materyal 33
3.1.1. Santrifüj Pompa Denemeleri 33
3.1.1.1. Denemede Kullanılan Pompaların Bazı Teknik Özellikleri 33
3.1.1.2. Pompa Deney Ünitesinin Genel Özellikleri 34
3.1.2. Yapay Sinir Ağları 36
3.2. Metot 36
3.2.1. Santrifüj Pompa Denemeleri 37
3.2.1.1. Devir Sayısı Ölçümü 38
3.2.1.2. Pozitif ve Negatif Basınç Ölçümü 39
3.2.1.3. Güç Ölçümü 39

3.2.1.4. Debi Ölçümü 40
3.2.1.5. Sıcaklık ve Bağıl Nem Ölçümü 41
3.2.1.6. Manometrik Yükseklik Hesabı 41
3.2.1.7. Verim Hesabı 42
3.2.1.8. Pompa Tipinin Belirlenmesi 43
3.2.2. Santrifüj Pompalara Ait Bazı Parametrelerin Teorik Hesaplanması 44
3.2.2.1. Pompa Giriş (Emme) Borusu Çapı 44
3.2.2.2. Çark Giriş Çapı 45
3.2.2.3. Çark Çıkış Çapı 45
3.2.2.4. Çark Kanat Sayısı 47
3.2.3. Regresyon Tahmin Denklemleri 51
3.2.4. Yapay Sinir Ağları 52
3.2.4.1. Yapay Sinir Ağları ile Pompa Tasarımı 52
3.2.4.2. Verilerin YSA ile Eğitilmesi 57
3.2.5. Sonuçların Performanslarının Belirlenmesi 64
3.2.6. Sonuçların İstatistiksel Analizi 66
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA 67
4.1. Denemeleri Yapılan Pompalara Ait İşletme Karakteristikleri 67
4.2. Regresyon Tahmin Denklemlerine Ait Sonuçlar 71
4.3. Radyal Santrifüj Pompaların Yapay Sinir Ağları ile Tasarımı 74
4.3.1.Yöntem1 (Model1) 74
4.3.1.1. Çark Giriş Çapı 77
4.3.1.2. Çark Çıkış Çapı 81
4.3.1.3. Çark Kanat Sayısı 85
4.3.1.4. Pompa Giriş Borusu Çapı 89
4.3.1.5. Pompa Çıkış Borusu Çapı 93
4.4. Yapay Sinir Ağları ile Pompa İşletme Karakteristiklerinin Tespiti 97
4.4.1. Yöntem2 (Model2) 97
4.4.1.1. Devir Sayısı 99
4.4.1.2. Debi 103
4.4.1.3. Manometrik Yükseklik 106

4.4.2. Yöntem3 110
4.4.2.1. YSA ile Devir Sayısı Belirlenmesi (Model3) 110
4.4.2.2. YSA ile Debi Belirlenmesi (Model4) 116
4.4.2.3. YSA ile Manometrik Yüksekliğin
Belirlenmesi (Model5) 122
5. SONUÇ ve ÖNERİLER 128
6. KAYNAKLAR 133
7. EKLER 141

SİMGELER DİZİNİ

C_o	Çark ağzındaki hız (m/s),
C_1	Çarka girişteki mutlak hız (m/s),
C_{m1}	Giriş meridyen hızı (m/s),
C_{m2}	Çıkış meridyen hızı (m/s),
$C_{u2\infty}$	Teğetsel hız bileşeni (m/s)
C_{u2}	Teğetsel hız bileşeni (m/s),
D	Boru çapı (m),
D_o	Çark giriş ağzı çapı (mm),
D_1	Çark giriş çapı (mm),
D_2	Çark çıkış çapı (mm),
D_b	Pompa çıkış (basma) borusu çapı (mm),
D_e	Pompa giriş (emme) borusu çapı (mm),
d_g	Göbek çapı (mm),
d_m	Mil çapı (mm),
dW	Ağırlık değişimi,
dWprev	Önceki ağırlık değişimi,
E	Toplam hata,
g	Yer çekimi ivmesi (m/s^2),
gW	Ağırlık,
Hm	Manometrik yükseklik (m),
Hk	Boru hattı sürtünme kayıpları (m),
Hv	Basılan suyun hız enerjisi yüksekliği (m),
I	Tanımlama matrisi,
je	Jakobiyen'e ait hata,
jj	Jakobiyen matrisi,
jX	Performans değeri,
K	Sapma katsayısı,

k	Şekilli boru parçasına bağlı katsayı,
k_{m2}	Hız katsayısı,
k_{u2}	Hız katsayısı,
L	Düz boru uzunluğu (m),
lr	Öğrenme oranı,
m	Pompa (gözlem) sayısı,
mc	Momentum sabitesi,
mu	mu değeri,
N	Şebekeden çekilen güç (kw),
Nb	Pompasız (boşta) şebekeden çekilen güç (kw),
Ne	Pompa miline verilmesi gerekli güç (BG),
Np	Pompanın yuttuğu güç (kw),
Nt	Pompa bağlı iken şebekeden çekilen güç (kw),
n	Pompa devir sayısı (min^{-1}),
n_d	Sayaç diskinin devri (min^{-1}),
n_h	Sayaç sabitesi (55 devir / kwh),
n_s	Özgül hız (min^{-1}),
Pb	Çıkış borusundan ölçülen pozitif basınç (kp/cm^2),
Pe	Giriş borusundan ölçülen negatif basınç (mmHg),
Q	Debi (m^3/s),
Q_T	Toplam debi (m^3/s) ,
R^2	Determinasyon katsayısı,
Re	Reynold sayısı,
$RMSE$	Standart sapma (Root Mean Square Error),
t	Deponun dolma süresi (s),
t_d	Sayaç diskinin devrini tamamlama süresi (s),
U^2	Uyuşma derecesi,
U_1	Giriş teğetsel hızı (m/s),
U_2	Çıkış teğetsel hızı (m/s),
V_e	Emme borusundaki su hızı (m/s),

y	Gerçek değer,
$y_{\min}$	Minimum değer,
$y_{\max}$	Maksimum değer,
y_{nor}	Normalize edilmiş değer,
W	Suyun ağırlığı (kp),
x	Ölçülen değer,
x_1	Hesaplanan değer,
z	Çark kanat sayısı,
ε	Hata (%),
υ	Akışkanın kinematik vizkozitesi (m^2/s)
η	Verim (%),
η_h	Hidrolik verim,
η_t	Genel verim (%),
β_1	Suyun çarktan gerçek giriş açısı,
β_2	Suyun çarktan gerçek çıkış açısı,
β_{2k}	Kanat çıkış açısı,
γ	Suyun özgül ağırlığı (kp/m^3),
λ	Sürtünme kayıp katsayısı,
Δz	Monometre-vakummetre eksenleri arası düşey mesafe (m),
v	Ortalama su hızı (m/s),
ψ	Basınç katsayısı.

Kısaltmalar

ÇKP	Çok Katmanlı Perseptronlar,
LVQ	Learning Vector Quantization,
RTY	Radyal Tabanlı Yapı,
SOM	Self Organizing Map,
ART	Adaptive Resonance Theory,
DK	Değişim katsayısı,
LM	Levenberg-Marguardt,
LSD	En küçük önemli fark (Least Significant Difference),
YSA	Yapay Sinir Ağları,
YZ	Yapay Zeka.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No Sayfa No

Çizelge 1.1. Sulama Pompalarının Park Durumları 2
Çizelge 1.2. Toplama Fonksiyonu Örnekleri 13
Çizelge 1.3. Aktivasyon Fonksiyonları 14
Çizelge 3.1. Denemede Kullanılan Pompaların Bazı Teknik Özellikleri 33
Çizelge 3.2. Denemelerde Kullanılan Ölçme Cihazlarının Bazı Teknik Özellikleri 35
Çizelge 3.3. Pompa Denemelerinin Yapıldığı Kombinasyonlar 38
Çizelge 3.4. Radyal Santrifüj Pompaların Tasarımı ve Karakteristik Parametrelerin YSA ile Hesaplanması için Oluşturulan Modeller 53
Çizelge 3.5. Radyal Santrifüj Pompaların Tasarımı ve Karakteristik Parametrelerin YSA ile Hesaplanması için Kullanılan Eğitim Algoritmaları 53
Çizelge 3.6. YSA Modellerinde Kullanılan Test ve Eğitim Veri Sayıları 54
Çizelge 3.7. Trainlm Fonksiyonunun Eğitim Parametrelerine Ait Default Değerler 62
Çizelge 4.1. 5” lik Pompanın Farklı Devir Sayılarındaki Deneme Sonuçları 67
Çizelge 4.2. 4” lik Pompanın Farklı Devir Sayılarındaki Deneme Sonuçları 68
Çizelge 4.3. Pompaların Optimum Devir Sayısındaki İşletme Karakteristikleri 69
Çizelge 4.4. Model1’den Elde Edilen Test Sonuçları 77
Çizelge 4.5. Ölçüm Sonuçları ile YSA, Regresyon ve Teorik Sonuçlara Ait Çark Giriş Çapı Verileri ve Hata Değerleri 78
Çizelge 4.6. Çark Giriş Çapına Ait Varyans Analiz Tablosu 79
Çizelge 4.7. Çark Giriş Çapına ait Ortalama Değerler 80
Çizelge 4.8. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 81
Çizelge 4.9. Ölçüm Sonuçları ile YSA, Regresyon ve Teorik Sonuçlara Ait Çark Çıkış Çapı Verileri ve Hata Değerleri 82
Çizelge 4.10. Çark Çıkış Çapına Ait Varyans Analiz Tablosu 83
Çizelge 4.11 . Çark Çıkış Çapına ait Ortalama Değerler 83
Çizelge 4.12. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 84

Çizelge 4.13. Ölçüm Sonuçları ile YSA, Regresyon ve Teorik Sonuçlara Ait Çark Kanat Sayısı Verileri ve Hata Değerleri 85
Çizelge 4.14. Çark Kanat Sayısına Ait Varyans Analiz Tablosu 87
Çizelge 4.15. Çark Kanat Sayısına ait Ortalama Değerler 87
Çizelge 4.16. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 88
Çizelge 4.17. Ölçüm Sonuçları ile YSA, Regresyon ve Teorik Sonuçlara Ait Pompa Giriş Borusu Çapı Verileri ve Hata Değerleri 89
Çizelge 4.18. Pompa Giriş Borusu Çapına Ait Varyans Analiz Tablosu 91
Çizelge 4.19. Pompa Giriş Borusu Çapına ait Ortalama Değerler 91
Çizelge 4.20. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 92
Çizelge 4.21. Ölçüm Sonuçları ile YSA ve Regresyon Sonuçlarına Ait Pompa Çıkış Borusu Çapı Verileri ve Hata Değerleri 93
Çizelge 4.22. Pompa Çıkış Borusu Çapına Ait Varyans Analiz Tablosu 94
Çizelge 4.23. Pompa Çıkış Borusu Çapına ait Ortalama Değerler 95
Çizelge 4.24. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 96
Çizelge 4.25. YSA Modeliyle Elde Edilen Test Sonuçları 99
Çizelge 4.26. Ölçüm Sonuçları ile YSA ve Regresyon Sonuçlarına Ait Devir Sayısı Verileri ve Hata Değerleri 100
Çizelge 4.27. Devir Sayısına Ait Varyans Analiz Tablosu 101
Çizelge 4.28. Devir Sayısına ait Ortalama Değerler 101
Çizelge 4.29. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 102
Çizelge 4.30. Ölçüm Sonuçları ile YSA ve Regresyon Sonuçlarına Ait Debi Verileri ve Hata Değerleri 103
Çizelge 4.31. Debiye ait Varyans Analiz Tablosu 104
Çizelge 4.32. Debiye ait Ortalama Değerler 105
Çizelge 4.33. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 106
Çizelge 4.34. Ölçüm Sonuçları ile YSA ve Regresyon Sonuçlarına Ait Manometrik Yükseklik Verileri ve Hata Değerler 107
Çizelge 4.35. Manometrik Yüksekliğe ait Varyans Analiz Tablosu 108
Çizelge 4.36. Manometrik Yüksekliğe ait Ortalama Değerler 108
Çizelge 4.37. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 109
Çizelge 4.38. Devir Sayısına ait Test ve Eğitim RMSE ve R^2 Değerleri 112

Çizelge 4.39. Ölçüm Sonuçları ile YSA ve Regresyon Sonuçlarına Ait Devir Sayısı Verileri ve Hata Değerleri 113
Çizelge 4.40. Devir Sayısına Ait Varyans Analiz Tablosu 114
Çizelge 4.41. Devir Sayısına ait Ortalama Değerler 115
Çizelge 4.42. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 115
Çizelge 4.43. Debiye ait Test ve Eğitim RMSE ve R^2 Değerleri 118
Çizelge 4.44. Ölçüm Sonuçları ile YSA ve Regresyon Sonuçlarına Ait Debi Verileri ve Hata Değerleri 119
Çizelge 4.45. Debiye Ait Varyans Analiz Tablosu 120
Çizelge 4.46. Debiye ait Ortalama Değerler 120
Çizelge 4.47. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 121
Çizelge 4.48. Manometrik Yüksekliğe ait Test ve Eğitim RMSE ve R^2 Değerleri 124
Çizelge 4.49. Ölçüm Sonuçları ile YSA ve Regresyon Sonuçlarına Ait Manometrik Yükseklik Verileri ve Hata Değerleri 125
Çizelge 4.50. Manometrik Yüksekliğe Ait Varyans Analiz Tablosu 126
Çizelge 4.51. Manometrik Yüksekliğe ait Ortalama Değerler 126
Çizelge 4.52. Doğrusal Regresyon Parametre Testleri 127

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No — Sayfa No

Şekil 1.1. Biyolojik Sinir Hücresinin Yapısı 10
Şekil 1.2. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı 12
Şekil 1.3. İleri Beslemeli Ağ 17
Şekil 1.4. ÇKP'nın Genel Yapısı 18
Şekil 3.1. Pompa Denemelerinin Yapıldığı Deney Ünitesinin Genel Görünüşü 34
Şekil 3.2. Pompa Denemelerinin Yapıldığı Deney Ünitesinin Şematik Görünüşü 35
Şekil 3.3. Manometre ve Vakummetre Bağlantıları 39
Şekil 3.4. Tan-Sigmoid Transfer Fonksiyonu 55
Şekil 3.5. Log-Sigmoid Transfer Fonksiyonu 55
Şekil 3.6. Lineer Transfer Fonksiyonu 56
Şekil 3.7. MATLAB Programı 57
Şekil 3.8. YSA Kullanıcı Arayüzü 58
Şekil 3.9. Veri Giriş Arayüzü 58
Şekil 3.10. Ağ Oluşturma Arayüzü 59
Şekil 3.11. 3 Giriş ve 5 Çıkışlı Ağın Görünümü 60
Şekil 3.12. Training Info Arayüzü 60
Şekil 3.13. Validation and Testing Arayüzü 61
Şekil 3.14. Training Parameters Arayüzü 62
Şekil 3.15. Eğitim Hata Grafiği 63
Şekil 3.16. Simulate Arayüzü 63
Şekil 3.17. Sonuç Çıktı Arayüzü 64
Şekil 4.1. Pompaların Hm - Q Karakteristiği 70
Şekil 4.2. Pompaların Np - Q Karakteristiği 70
Şekil 4.3. Pompaların η - Q Karakteristiği 71
Şekil 4.4. Radyal Santrifüj Pompanın Nöral Tasarımı için Model1'in Gösterimi 75
Şekil 4.5. Model1'e ait Ağın Yapısı 75

Şekil 4.6. Eğitim Hata Grafiği 76
Şekil 4.7. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_1 Grafiği 79
Şekil 4.8. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_1 Sonuçları Arasındaki İlişki 80
Şekil 4.9. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_2 Grafiği 82
Şekil 4.10. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_2 Sonuçları Arasındaki İlişki 84
Şekil 4.11. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) z Grafiği 86
Şekil 4.12. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) z Sonuçları Arasındaki İlişki 88
Şekil 4.13. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_e Grafiği 90
Şekil 4.14. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_e Sonuçları Arasındaki İlişki 92
Şekil 4.15. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon) D_b Grafiği 94
Şekil 4.16. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon) D_b Sonuçları Arasındaki İlişki 95
Şekil 4.17. Radyal Santrifüj Pompanın Nöral Tasarımı için Model2'nin Gösterimi 97
Şekil 4.18. Model2'ye ait Ağın Yapısı 98
Şekil 4.19. Eğitim Hata Grafiği 98
Şekil 4.20. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA ve Regresyon) n Grafiği 100
Şekil 4.21. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA ve Regresyon) n Sonuçları Arasındaki İlişki 102
Şekil 4.22. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA ve Regresyon) Q Grafiği 104
Şekil 4.23. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA ve Regresyon) Q Sonuçları Arasındaki İlişki 105
Şekil 4.24. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA ve Regresyon) Hm Grafiği 107
Şekil 4.25. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA ve Regresyon) Hm Sonuçları Arasındaki İlişki 109
Şekil 4.26. Radyal Santrifüj Pompanın Nöral Tasarımı için Model3'ün Gösterimi 110
Şekil 4.27. Model3'e ait Ağın Yapısı 111

Şekil 4.28. Eğitim Hata Grafiği 111
Şekil 4.29. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA ve Regresyon) n Grafiği 114
Şekil 4.30. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon) n Sonuçları Arasındaki İlişki 115
Şekil 4.31. Radyal Santrifüj Pompanın Nöral Tasarımı için Model4'ün Gösterimi 116
Şekil 4.32. Model4'e ait Ağın Yapısı 117
Şekil 4.33. Eğitim Hata Grafiği 117
Şekil 4.34. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA ve Regresyon) Q Grafiği 119
Şekil 4.35. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA, Regresyon) Q Sonuçları Arasındaki İlişki 121
Şekil 4.36. Radyal Santrifüj Pompanın Nöral Tasarımı için Model5'in Gösterimi 122
Şekil 4.37. Model5'e ait Ağın Yapısı 123
Şekil 4.38. Eğitim Hata Grafiği 123
Şekil 4.39. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA ve Regresyon) Hm Grafiği 125
Şekil 4.40. Ölçülen ve Hesaplanan (YSA Regresyon) Hm Sonuçları Arasındaki İlişki 127

1. GİRİŞ

Türkiye'deki nüfus artışına paralel olarak tarımsal ürün ve ürün çeşidi talepleri de artmaktadır. Artan nüfusun gıda güvenliğini sağlamak için tarımsal üretimi ve tarımsal üretimde verimliliği sürdürülebilir şekilde artırmak zorundayız. Tarıma ayrılan alanların sınırına ulaşıldığı, hatta marjinal alanların bile tarımda kullanıldığı ülkemizde, üretimi ve verimliliği artırmanın en etkili yollarından birisi, birim alandan alınan verimin artırılmasıdır. Tarımda, birim alandaki verimliliği artırmak, tarımsal işlemlerin bilinçli bir şekilde yapılmasına bağlıdır. Tarımsal alanda teknolojik gelişmeyi sağlayacak ve verimliliği artıracak, iyi tohumluk, yem, gübre, ilaç gibi giderlerin kullanımını artırmanın yanında tarımsal mekanizasyon ve sulamaya da öncelik verilmelidir. Bitkisel üretimde verim artışında sulamanın payı %40 civarındadır (Uz 1981).

Bitkiler tarafından toprakta bulunan besin maddelerinin alımı ve taşınması için suyun dengede olması önemlidir. Yağışın az ya da düzensiz olduğu yerlerde yapılacak sulama ile bu denge kurulabilir. 170'den fazla ülkede 276 milyon hektar alanda sulama yapılmaktadır (Anonim 2004). Ülkemizde ise 28.85 milyon hektar olan tarım arazisinin topoğrafik yapı itibariyle ancak 25.85 milyon hektarı sulamaya uygundur. Ancak, ekonomik olarak sulanabilecek alan 8.5 milyon hektar olup, 2004 yılı itibarıyla 4.9 milyon hektarı sulanabilmektedir (Anonim 2005a).

Tarımda önemli bir girdi olan suyun gelişmiş teknolojilerin desteği ile rasyonel ve ekonomik olarak kullanılması gerekmektedir. Bir ülkenin su zengini sayılabilmesi için, kişi başına 10.000 m^3 su potansiyeli, 3.600 m^3 de su tüketimi olması gerekmektedir. Ülkemizde ise bu değerler sırasıyla 1.692 m^3 ve 575 m^3 'tür (Anonim 2003a).

Ekonomik bir sulama, çeşitli sulama metotları yanında bilgili bir pompaj yapmakla mümkündür. Sulama pompaj tesislerinin kurulmasında, tesisin şartlarına uygun ve bu şartlarda en yüksek verimle çalışabilen pompanın seçimi gerekir. Bu seçimi yapabilmek içinde sulama pompalarının çalışma karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekir (Ayıkoğlu 1995). Pompanın en yüksek verim noktası civarında çalıştırılması, işletme masrafları bakımından tesisin ekonomik sınırlarda iş

görebilmesini sağlar. Bu durumun kontrolü ancak kullanılacak pompanın karakteristiklerini bilmekle mümkündür (Doğuş 1963). Hesap ve proje aşamasında yapılan kabullerin isabetli olmaması ya da çalışma şartlarına tam uymaması, imalatın projeye tamamen uygun bir biçimde gerçekleştirilmemesi ve ölçme hataları gibi çeşitli nedenlerle pompadan beklenen performans ile ölçülen performans arasında farklar meydana gelir. Bu farklılıklar pompa konstrüksiyonu ve enerji sarfiyatı için çok önemlidir.

Tarım istatistikleri kayıtlarında bildirilen, ülkemizde sulamada kullanılan pompa ve tiplerinin 2005 yılına ait sayısal değerleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Sulama pompalarının park durumları (Anonim 2005b).

Pompa Tipi	**Pompa Sayısı (Adet)**
Santrifüj Pompa	96.572
Motopomp (Elektrik motorlu)	157.873
Motopomp (Termik motorlu)	196.687
Derin Kuyu Pompası	103.540

Pompa imalatı, gerek pompaların geniş bir alanda kullanılabilmesi ve gerekse de imalatının kolay olması nedeniyle, makina imalat sanayisinde önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizde özellikle tarımsal sulamada pompalara duyulan büyük ihtiyaç ve buna bağlı olarak oluşan pazar, bu imalat sektörünün kısa zamanda gelişmesine ve teşvik görmesine yol açmıştır. Önceleri küçük atölyelerde ve daha çok kopya şeklinde başlayan pompa imalatı, giderek gelişmiş ve seri üretime dönük mühendislik hizmetlerinin de girdiği büyük sanayi olma yolunda ilerleme göstermiştir.

Günümüzde mühendislik bilim dalının en çok üzerinde durduğu konulardan biri hiç şüphesiz enerjiyi doğru ve etkili kullanmaktır. Turbo makinalar, hem enerji üretiminde hem de kullanımında, mühendislikte önemli bir yer tutmaktadır. Bu bilim dalının bir kolu olan pompalarda ise doğru enerji iletimi hayati önem taşımaktadır. Pompa içerisindeki akış yapısı titreşim ve seslere, dolayısıyla da birçok yapı

hatalarına yol açmıştır. Bu problemlerin üstesinden gelmek, verimi artırmak ve çevresel etkilerden arınmak için karmaşık, kararlı ve kararsız akış yapılarını daha iyi anlamak gerekmektedir. Bu amaca uygun olarak geçmişte ve halen birçok araştırıcı tarafından santrifüj pompalar üzerinde deneysel ve sayısal çalışmalar yoğun bir şekilde yapılmaktadır (Pınarbaşı ve Johnson 1995, Sinha 1999, Güleren 2003).

Tarım, ülkemizde uzun yıllardır bilişim sektörünün ilgi alanı dışında kalmış olmasına karşın, gelişmiş ülkelerde özellikle bilişim teknolojilerinin gelişimiyle insana, bitkiye, hayvana, çevreye duyarlı, üretimde kalite ve verimlilik artışına olanak sağlayan ciddi bir gelişme süreci geçirmektedir.

Bitkisel ve hayvansal üretim, ormancılık, hayvan sağlığı, çevre bilimi ve gıda üretimi, araştırmaları ve uygulamalarından elde edilen bilginin derlenmesi, depolanması, sınıflandırılması, yönetimi ve kullanımını etkinleştirmek, kolaylaştırmak ve ilgili kitlelere aktarmak amacıyla bilgisayar ve iletişim teknolojilerine son derece büyük bir gereksinim duyulmaktadır. Kaldı ki, ülkemiz gibi nüfusunun %40'ından fazlasının tarımla uğraştığı ve ekonomisinin önemli bir kısmının tarım ve tarıma dayalı sanayiye yönelik olduğu ülkelerde bilginin yaygınlaştırılmasının ne denli önemli olduğu ortadadır.

Gelişmiş ülkelerde tarımda bilgisayar kullanımı ülkemizle kıyaslanamayacak kadar ileri düzeydedir. Tarım işletmelerinde %40-70'lere varan oranlarda bilgisayar bulunduğu tespit edilmiştir. Oysa ülkemizde bu oranın %1'in dahi altında olduğu tahmin edilmektedir. Tarımsal üretimdeki aktif nüfus sayısı ve bu nüfusun eğitim ve gelir düzeyleri yönünden yapılacak bir karşılaştırmada ülkemizin gelişmiş ülkelerin ne kadar gerisinde olduğu açıkça görülecektir. Bu ise yeni teknolojilerin tarım işletmelerimiz tarafından benimsenmesinin ne kadar zor ve uzak bir gelecek olduğunu göstermektedir. Alınması gereken önlemlerin başında, tarımsal yapının iyileştirilmesi (arazi toplulaştırması, toprak reformu, veraset kanununda değişiklikler gibi) sayesinde ortalama işletme büyüklüğünün ekonomik büyüklüğe kavuşturulması gelmektedir. Gelir düzeyi artan üreticilerin verim ve kalite artışına yönelik olarak yeni teknolojilere yatırım yapması kaçınılmaz olacaktır.

Bilgisayarlar, araştırmacı ve tasarımcıların en büyük temel yardımcılarıdır. Bir tasarım sürecinde en uygun çözüme ulaşabilme amacı, birçok seçeneğin denenmesini gerektirir. Önceleri bu seçeneklerin denenmesi genellikle sınama

yanılma yolu ile ve sonuçlar karşılaştırılarak yapılmakta idi. Ancak, istenen amaca daha çabuk ve doğru biçimde ulaşabilmek için birçok sistematik ve sayısal yöntemler mevcuttur. Tasarımda bilgisayarın kullanılması, mühendisin bilgisayarın yeteneklerinden faydalanarak daha hızlı ve daha iyi tasarım yapabilmesini sağlar. Öte yandan, yapılan tasarımın kontrolü ve yaratacağı sonuçlar kısa sürede öğrenilerek, gerekli değişiklikler hemen yapılabilir. Bu şekilde, anında yapılan düzenlemelerle amaca en yakın tasarım sağlanabilir. Bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ile birçok imalat ve işletme sorunları, daha tasarım aşamasındayken ve kısa sürede önlenebilmektedir. Hatta hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile yapılan tasarımda prototip üretiminden kaynaklanan maliyet ve zaman kaybı azaltılarak verimlilik artışı sağlanabilmektedir. Çünkü hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamalarıyla tasarımı yapılan bir pompanın prototip üretimi yapılmaksızın performans değerleri elde edilebilir ve iç akışın gözlenmesi ile tasarımda gerekli değişiklikler yapılabilir.

Günümüzde oldukça yoğun ilgi odağı haline gelen yapay zeka çalışmaları, bilgisayar bilimine ve programcılığa yeni bir boyut getirmiştir. Yapay zeka çalışmalarının temel amacı, insan gibi düşünüp yorum yapabilen, çıkarımlarda bulunup karar verebilen programları oluşturabilmektir. Yapay zeka tekniklerinin güç ve potansiyeli, imalat sistemlerinin tasarımı, planlanması, işletilmesi ve kontrolü gibi alanlarda pek çok proje ve uygulama ile kendini kanıtlamıştır. Klasik imalat sistemlerinin tüm işleri daha çok, yıllar boyu aynı konuda çalışan, bilgi toplayan, tecrübe kazanan ve yeteneklerini geliştiren bir uzman tarafından yürütülmektedir. Bu imalat sistemindeki faaliyetler ürün tasarımı, süreç planlama, sistem ve sistem alt birimlerinin yerleştirilmesi ve planlaması, iş ve takım çizelgeleme, kontrol ve bakım gibi çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Tüm bu faaliyetlerin yerine getirilebilmesi için çok geniş bir alanı kapsayan bilgi birikimi ve bu bilgilerin temini için geniş bir imalat bilgi kaynağı gerekmektedir. Her zaman bir sistemde uzun süreli uzman çalıştırmak, bu uzmanların istenilen standartta olması ve istenildiği zaman ulaşılabilecek konumda olması her zaman mümkün olmayabilir. Dolayısıyla, mevcut sistemin en azından belli bir kısmının otomasyona geçmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle geleceğin fabrikalarının bilgisayar kontrollü zeki sistemler olacağı, sistem tasarımı ve ürün tasarımına olduğu kadar bu sistemin işletilmesi ve çıktıların analizinde de etkin rol alacağı tahmin edilebilir.

İnsan beyni bilinen en gizemli ve karmaşık hesaplayıcıdır. Yapay Sinir Ağları (YSA), yapay zekâ biliminin altında araştırmacıların çok yoğun ilgi gösterdikleri bir araştırma alanıdır. YSA, insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturulmaya çalışılan yaklaşımlardır. Beynin işleyiş kuralları birçok YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Pek çok araştırmacı YSA modelleri üzerinde çalışmıştır. YSA mühendislik alanında, imalat sanayinde, endüstriyel ürün tasarımında, bilgi yönetiminde, tıp alanında, tıbbi görüntü işlemede, askeri proje uygulamalarında, tarımsal ve hayvancılık alanlarında kullanılmıştır (Sağıroğlu ve Ark. 2003).

YSA, bir sisteme ilişkin tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile sistemin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal formda olması zorunlu değildir. YSA, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine uygun çıkışlarda üretebilirler (Sağıroğlu ve Ark. 2003). YSA, olayların örneklerine bakmakta onlardan ilgili olay hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha sonra hiç görmediği örnekler ile karşılaşınca öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir (Öztemel 2003).

1990'lı yıllardan beri bilgisayarların öğrenmesini sağlayan YSA teknolojisinde oldukça hızlı bir gelişme görülmüştür. Bu teknoloji, kısa zamanda araştırmacıların dikkatlerini üzerine çeken bir bilim dalı olmayı başardı ve çalışmalar laboratuarlardan çıkarak günlük hayatın parçası haline gelmeye başladı. Çok sayıda YSA modeli geliştirilmiş ve sayısız uygulama ortaya çıkmıştır. Bu uygulamalarda elde edilen başarılar hem YSA'nın önemini artırmakta hem de bu sistemlere olan ilgiyi artırmaktır (Öztemel 2003).

YSA'nın karakteristik özellikleri uygulanan ağ modeline göre değişmekle beraber oldukça geniş alanı kapsar. Bunlar şöyle özetlenebilir (Öztemel 2003):

-YSA'nın temel işlevi bilgisayarların öğrenmesini sağlamaktır. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında benzer kararlar vermeye çalışırlar.

-Geleneksel programlama ve yapay zeka yöntemlerinin uygulandığı bilgi işleme yöntemlerinden tamamen farklı bir bilgi işleme yöntemi vardır. YSA'nda bilgi, ağın bağlantılarının değerleri ile ölçülmekte ve bağlantılarda saklanmaktadır.

Diğer programlarda olduğu gibi veriler bir veri tabanında veya programın içinde gömülü değildir. Bilgiler ağın üzerinde saklı olup ortaya çıkartılması ve yorumlanması zordur.

-YSA'nın olayları öğrenebilmesi için o olay ile ilgili örneklerin belirlenmesi gerekmektedir. Örnekleri kullanarak ilgili olay hakkında genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulurlar (adaptif öğrenme). Örnek bulunamıyorsa ve yok ise YSA'nın eğitilmesi mümkün değildir. Örnekler ise gerçekleşmiş olan olaylardır.

-YSA'nın güvenle çalıştırılabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekmektedir. YSA'nın eğitilmesi demek, mevcut örneklerin ağa gösterilmesi ve ağın kendi mekanizmalarını çalıştırarak örnekteki olaylar arasındaki ilişkileri belirlemesidir. Her ağı eğitmek için elde bulunan örnekler iki ayrı sete bölünürler. Birincisi ağı eğitmek için (eğitim seti) diğeri ise ağın performansını sınamak için (test seti) kullanılır. Her ağ önce eğitim seti ile eğitilir. Ağ bütün örneklere kabul edilebilir seviyede cevaplar vermeye başlayınca eğitim işi tamamlanmış kabul edilir. Daha sonra ağın hiç görmediği test setindeki örnekler ağa gösterilerek ağın verdiği cevaplara bakılır. Eğer ağ hiç görmediği örneklere kabul edilebilir bir doğrulukta cevap veriyor ise o zaman ağın performansı iyi kabul edilir ve ağ kullanıma alınır. Eğer ağın performansı yetersiz olursa o zaman yeniden eğitmek veya yeni örnekler ile eğitmek gibi bir çözüme gidilir. Bu işlem ağın performansı kabul edilebilir düzeye gelinceye kadar devam eder.

-Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak görmediği örnekler hakkında bilgiler üretebilirler.

-Ağlar daha çok algılamaya yönelik bilgileri işlemede kullanılırlar.

-Şekil (örüntü) ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler. Genel olarak ağ-ların çoğunun amacı kendisine örnekler halinde verilen örüntülerin kendisi veya diğerleri ile ilişkilendirilmesidir. Diğer bir amaç ise sınıflandırma yapmaktır. Verilen örneklerin kümelendirilmesi ve belirli sınıflara ayrıştırılarak daha sonra gelen bir örneğin hangi sınıfa gireceğine karar vermesi hedeflenmektedir.

-Bazı durumlarda ağa eksik bilgileri içeren bir örüntü veya bir şekil verilir. Ağın bu eksik bilgileri bulması istenir. Örneğin yırtık bir resmin kime ait olduğunu belirlemesi ve tam resmi vermesi gibi bir sorumluluk ağdan istenebilmektedir.

-YSA'nın örnekler ile kendisine gösterilen yeni durumlara adapte olması ve sürekli yeni olayları öğrenebilmesi mümkündür.

-YSA kendileri eğitildikten sonra eksik bilgiler ile çalışabilir ve gelen yeni örneklerde eksik bilgi olmasına rağmen sonuç üretebilirler. Halbuki geleneksel sistemler bilgi eksik olunca çalışmazlar. Burada bir noktaya dikkatleri çekmekte fayda vardır. YSA'nın eksik bilgiler ile çalışması performanslarının düşeceği anlamına gelmez. Performansın düşmesi eksik olan bilginin önemine bağlıdır. Hangi bilginin önemli olduğunu ağ kendisi eğitim sırasında öğrenmektedir. Kullanıcıların bu konuda bir fikri yoktur. Ağın performansı düşük olunca, kayıp olan bilginin önemli olduğu kararına varılır. Eğer ağın performansı düşmez ise eksik olan bilginin önemli olmadığı anlaşılır.

-YSA'nın eksik bilgilerle çalışabilme yetenekleri hatalara karşı toleranslı olmalarını sağlamaktadır. Ağın bazı hücrelerinin bozulması ve çalışamaz duruma düşmesi halinde ağ çalışmaya devam eder. Ağın bozuk olan hücrelerinin sorumluluklarının önemine göre ağın performansında düşmeler görülebilir. Hangi hücrelerin sorumluluklarının önemli olduğuna da yine ağ eğitim esnasında kendisi karar verir. Bunu kullanıcı bilmemektedir. Ağın bilgisinin yorumlanamamasının sebebi de budur.

-YSA'nın belirsiz bilgileri işleyebilme yetenekleri vardır. Olayları öğrendikten sonra belirsizlikler altında ağlar öğrendikleri olaylar ile ilgili ilişkileri kurarak kararlar verebilirler.

Bu tip çalışmalarda model kavramı oldukça önemlidir. Deneyimsel modeller, özel durumlara adapte olabilirken (örneğin, bir çiftçi tarlasına uygulanabilirliği), teorik modeller, daha fazla zaman ve insana ihtiyaç duyarlar. Tarım makinalarının kontrolü ve yönetimi, genel amaçlı deneyimsel modellerin uygulanması için birçok fırsat sağlamaktadır. YSA, bu özelliklere sahiptir ve tarımsal makinalaşmaya model olmada ve kontrollü kullanımda oldukça cazip gözükmektedir.

Modeller, sistemlerin belirli koşullar altındaki davranışını incelemeye ve tahmin etmeye yarayan araçlardır. Mühendislikte kullanılan modeller ise matematiksel yapıda olup, sayısal nitelik taşırlar. Mühendislikte en basit haliyle belirli sembollerle ifade edilen her eşitlik bir modeldir. Model geliştirme süreci genellikle veri tabanının oluşturulması, analiz ve sonuçların değerlendirilmesi

(modelin geçerliliğinin ortaya konulması) aşamalarından oluşmaktadır. Bazı durumlarda elde edilen sonuçlara göre geri dönülerek modelde düzeltmeler yapılabilmektedir. Planlamanın temeli olan tahmin, model kullanımıyla daha etkin ve bilimsel olarak yapılabilir. Bu nedenle model geliştirme, günümüzde fen ve hatta sosyal bilimlerde sıkça başvurulan bir uygulama haline gelmiştir. Mühendislikte geliştirilen tahmin modelleri, belirli fiziksel, matematiksel ve istatistiksel kurallarla oluşturulur ve test edilir. Diğer yandan, mühendislikte model geliştirmede kullanılan veri tabanı ölçme işlemleriyle belirlenir. Bu nedenle mühendislik ölçmeleri ve bunlara dayalı hesaplamalar, yeterli doğruluğa ve kesinliğe sahip olmalıdır. Ayrıca bu ölçümlerin ve hesaplamaların yansız olması, belirsizliğinin ve hatasının tanımlanmış olması da gereklidir (Fraser ve Milne 1990, Chapra ve Canale 1994, Holman 1994, Genceli 1995, Özdamar 1999).

Günümüzde yazılım teknolojilerinin gelişmesi ve bilgisayarların kapasitelerinin artmasıyla birlikte, pompa dizaynı ve analizi konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Kompleks diferansiyel denklemler ve bir çok iteratif hesap artık elektronik ortamda gerçekleşmekte, bu sayede deney sonuçlarına çok yakın performans değerleri elde edilebilmektedir (Değer 2005). Günümüzde artan rekabet ve maliyetlerdeki artış nedeniyle ürün tasarımı ve geliştirmesinde verimlilik artışı önemini artırmaktadır. Pompa tasarımı ve ürün iyileştirmesinde bilgisayar destekli mühendislik araçlarının kullanılmasıyla tasarım süreci önemli ölçüde kısaltılabilmektedir (Konuralp ve ark. 2005).

Santrifüj pompaların kullanımında klasik metotlarla karmaşık matematiksel fonksiyonların hesaplanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bunun neticesinde fazla hesaplama zamanı ve kullanılan metotların çok sağlıklı sonuç vermemesi, santrifüj pompaların tasarımında yüksek verim kayıplarına neden olmaktadır. Ayrıca alışılagelmiş tahmin modelleri tek yönlü çalışmaktadır. Yani, bağımlı değişkenlere bağlı olarak bağımsız değişkenlerin tahmin edilmesi mümkün olmaktadır. YSA'yla bağımlı değişkenlere bağlı olarak bağımsız değişkenlerin tahmin edilmesi ya da bağımsız değişkenlere bağlı olarak bağımlı değişkenlerin tahmin edilmesi mümkün olabilmektedir. Yani modeli iki yönlü çalıştırmak mümkündür. YSA'ların öğrenme, genelleme, hızlı işlem yapma, paralel işlem yapma ve hızlı sonuç verebilme özelliklerinden faydalanılarak yukarıda belirtilen tipteki problemler için iyi sonuç

verdiği bilinmektedir. YSA'ların bu cezbedici özelliklerinden faydalanarak santrifüj pompaların parametrelerinin hesaplanmasında ve tasarımında yeni bir yaklaşım olan YSA'ların uygulanması gerçekleştirilebilecektir.

1.1. Yapay Sinir Ağları

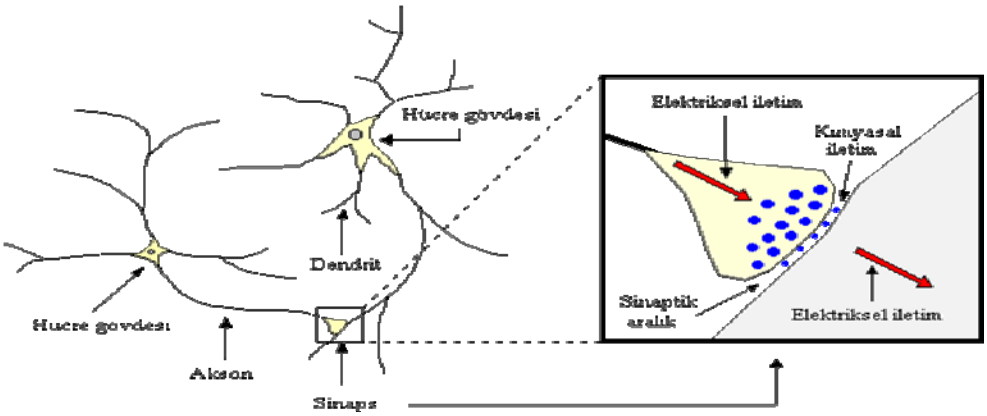
Zekayı anlamak, beynimizin çalışma prensibini, yaptığı işlevleri ve işlemleri anlamaktan geçer. Bugün bilim beynimiz ile ilgili birçok bilinmeyeni ortaya koymuş olsa da daha bilinmeyen birçok husus vardır. Bu amaçla, zeka ve düşünme gerektiren işlemlerin bilgisayarlar tarafından yapılmasını sağlayacak araştırmaların yapılması ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi hususunda çalışılan bilim dalı ortaya çıkmıştır. Bu bilim dalına Yapay Zeka (YZ) denmektedir. Bilgisayar ve YZ'nın üstünlüklerinden en iyi şekilde yararlanıp bunları mühendislik problemlerinin çözümünde kullanarak sonuçta insanlığa daha faydalı olma amaç edinilmektedir.

Genel olarak YZ teknikleri incelendiğinde insanın sadece zekası veya beynin çalışması yanında vücudundaki diğer sistemlerinin çalışmalarını taklit ederek veya farklı bir formata dönüştürerek problemlerin çözümüne uygulamaya çalışmıştır. YZ teknikleri, Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Genetik Algoritmalar, Uzman Sistemler, Tabu Arama gibi pek çok alt gruplara ayrılmaktadır.

İnsan beyni bilinen en gizemli ve karmaşık hesaplayıcıdır. Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturmaya çalışılan yaklaşımlardır. İstisnasız tüm YSA yapılarının esin kaynağı biyolojik sinir ağlarının işleyiş yöntemidir. Beynin işleyiş kuralları birçok YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır.

1.1.1. Biyolojik sinir hücresi

İnsan sinir sistemi, içerden veya dışardan algıladıkları uyarıları elektriksel sinyallere dönüştüren ve beyne bilgi ileten alıcı sinirler, iletilen elektriksel sinyalleri yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin merkezi (merkezi sinir ağı) ve üretilen bu elektriksel darbeleri uygun tepkilere dönüştüren tepki sinirlerinden oluşur. Merkezi sinir ağının temel işlem elemanı, sinir hücresidir (nöron). Şekil 1.1'de bir nöronun yapısı verilmiştir.



Şekil 1.1. Biyolojik sinir hücresinin yapısı (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Sinir hücresi, hücre çekirdeğini saran bir hücre gövdesinden oluşur. Hücre gövdesinden çıkan ve akson olarak adlandırılan uzantılar, diğer hücrelere bağlanan çok sayıda dallara ayrılır. Akson, hücre gövdesinden dışarı diğer nöronlara sinyalleri taşıyan uzun bir fiber yapıdır. Bu uzantılar dallar üzerinden diğer hücrelerle bağlanarak (eşleşerek) bir hücreden diğerine bilgi aktarır. Eşleşen bağ, diğer hücrenin bilgi alıcı uzantısı olan dendrit ile sonlanır. Dentritler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine bir ağaç yapısı şeklinde ince yollarla iletir. Aksonlar ise elektriksel darbeler şeklindeki bilgiyi hücreden dışarı taşıyan daha uzun bir yoldur. Aksonların bitimi, ince yollara ayrılabilir ve bu yollar, diğer hücreler için dendritleri oluşturan yollardır. Akson-dendrit bağlantı elemanı

sinaps olarak isimlendirilir. Sinaps'a gelen ve dendritler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki üretir. Hücrenin tepkisini artırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak isimlendirilir ve bu etkiyi sinaps belirler. İnsan beyninin 10^{11} sinir hücresinden ve 60 trilyon sinaps bağlantısından oluştuğu düşünülürse son derece karmaşık ve etkin bir yapıya sahip olduğu anlaşılır.

Bir sinir hücresinin tepki hızı, günümüz bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyusal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir (Haykin 1994, Zurada 1992). Bu nedenle insan beyni, öğrenme, birleştirme, uyarlama ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir (Karna ve Breen, 1989).

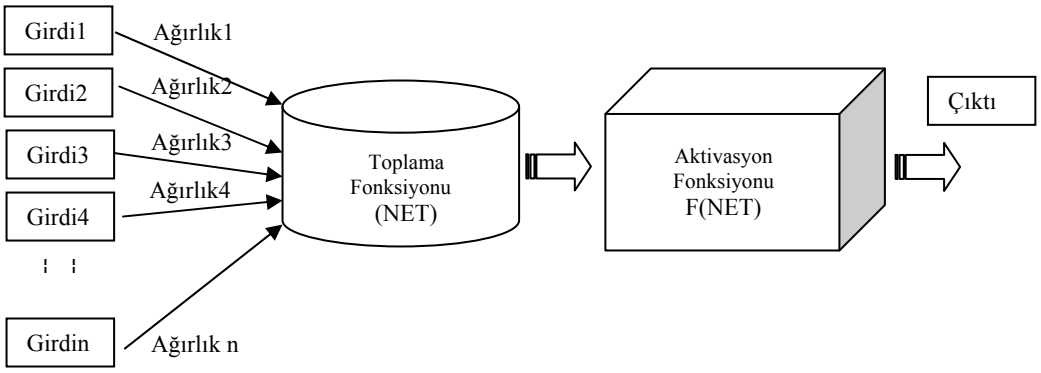
Beynin üstün özellikleri nedeniyle bilim adamları beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modelini çıkarmaya çalışmıştır. Beynin bütün davranışlarını tam olarak modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli modeller geliştirilmiştir. Böylece YSA denen yeni ve günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yönteminden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır.

Beynin fizyolojisi göz önüne alındığında bir bilgi işleme modeli olarak karşımıza çıkan YSA'nın literatürde 100'den fazla modeli mevcuttur (Simpson 1990). Bu modelleri geliştiren bilim adamları beynin düşünme, hatırlama ve problem çözme gibi özelliklerini bilgisayara aktarmaya çalışmışlardır. Bazı araştırmacılar ise beynin fonksiyonlarını, oluşturdukları modellerle yerine getirecek çalışmalar yapmışlardır (Haykin 1994).

1.1.2. Yapay sinir hücresi

YSA'nın çalışmasına esas teşkil eden en küçük bilgi işleme birimi yapay sinir hücresidir. Bir yapay sinir hücresi Şekil 1.2'de gösterildiği gibi girdiler,

ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış olmak üzere 5 bileşenden meydana gelir.



Şekil 1.2. Yapay sinir hücresinin yapısı (Öztemel 2003).

Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan bağlantılar üzerindeki ağırlıklar üzerinden hücreye giren verilerdir.

Ağırlıklar, ilgili girişin hücre üzerindeki etkisini belirler. Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Şekil 1.2'deki Ağırlıkl, Girdi1'in hücre üzerindeki etkisini göstermektedir. Ağırlıkların büyük ya da küçük olması önemli veya önemsiz olduğu anlamına gelmez. Bir ağırlığın değerinin sıfır olması o ağ için en önemli olay olabilir. Eksi değerler önemsiz demek değildir. O nedenle artı veya eksi olması etkisinin pozitif veya negatif olduğunu gösterir. Sıfır olması ise herhangi bir etkinin olmadığını gösterir. Ağırlıklar değişken veya sabit değerler olabilirler.

Toplama fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur ve genellikle net girdi, girişlerin ilgili ağırlıkla çarpımlarının toplamıdır. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur. Bu şu şekilde formülize edilmektedir.

$$NET = \sum_{i}^{n} G_i A_i$$

Burada G girdileri, A ise ağırlıkları, n ise bir hücreye gelen toplam girdi sayısını göstermektedir. Yalnız YSA'larında daima bu formülün kullanılması şart değildir. Literatürde yapılan araştırmalarda toplama fonksiyonu olarak değişik formüllerin kullanıldığı görülmektedir. Çizelge1.2'de değişik toplama fonksiyonlarına örnekler verilmektedir. Görüldüğü gibi, bazı durumlarda gelen girdilerin değeri dikkate alınırken bazı durumlarda ise gelen girdilerin sayısı önemli olabilmektedir. Bir problem için en uygun toplama fonksiyonunu belirlemek için bulunmuş bir formül yoktur. Genellikle deneme yanılma yolu ile toplama fonksiyonu belirlenmektedir.

Çizelge 1.2. Toplama fonksiyonu örnekleri (Öztemel 2003).

Net Giriş	**Açıklamalar**
Çarpım $NetGirdi = \prod G_i A_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleri ile çarpılarak net girdi hesaplanır.
Maksimum $NetGirdi = Max(G_i A_i), i = 1...N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en büyüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
Minimum $NetGirdi = Min(G_i A_i), i = 1...N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en küçüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
Çoğunluk $NetGirdi = \sum \text{sgn}(G_i A_i)$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir.
Kümilatif toplam $NetGirdi = Net(eski) + \sum (G_i A_i)$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır ve daha önce gelen bilgilere eklenerek hücrenin net girdisi bulunur.

Aktivasyon (transfer) fonksiyonu ise toplama fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek hücre çıkışını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur (Karna ve Bren 1989). Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak da çıktıyı hesaplamak içinde değişik formüller kullanılmaktadır. Yine bir problem için en uygun fonksiyon tasarımcının denemeleri sonucunda belirleyebileceği bir durumdur. Uygun fonksiyonu

gösteren bir formül bulunmuş değildir. Bir hücrenin girişine göre çıkışını tanımlayan ve YSA'larda en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları Çizelge 1.3'de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Aktivasyon fonksiyonları (Öztemel 2003).

Aktivasyon Fonksiyonları	**Matematiksel Yapı**	**Açıklama**
Sigmoid	$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$	
Lineer	$f(x) = x$	
Hiperbolik Tanjant	$f(x) = \frac{1-e^{-2x}}{1+e^{-2x}}$	
Çoklu-kuadratik	$f(x) = \frac{\sqrt{r^2+(x-e)^2}}{r}$	e merkez değeri, r yarıçap
Gauss Tipi	$f(x) = e^{\frac{(x-e)^2}{r^2}}$	e merkez değeri, r standart sapma

YSA, aktivasyon fonksiyonu kullanmaksızın kompleks problemlere (lineer olmayan) istenen yaklaşımı sağlayacak güçte bir algoritma olamamaktadır. Bu yaklaşımı sağlayacak lineer olmayan bir yapı oluşturmak için ara ve çıkış katmanlarında kullanılmak üzere matematiksel bir fonksiyon olan aktivasyon fonksiyonu uygulanır.

Çıktı, aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. YSA modeline verilen giriş değerlerine önce toplama fonksiyonları uygulanır ve toplama fonksiyonundan alınan her bir işleme ait çıkış değeri bulunur.

1.1.3. Yapay sinir ağlarının özellikleri

YSA, beyinin işlevini yerine getirme yöntemlerini modellemek için tasarlanmış sistemlerdir. Yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da yazılım olarak bilgisayarlarla gerçeklenebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yapabilme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir (Haykin 1994).

Bu özellikleri, YSA'nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. YSA'nın hesaplama özelliklerini, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yapma yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme süresince kullanılmayan girişler içinde YSA'nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Nesne tanıma, sinyal işleme, sistem kimliklendirme ve denetimi gibi birçok mühendislik alanında YSA, doğrusal olmama, öğrenme, genelleme yapma, hataya karşı tolerans, paralel işlem yapabilmeden dolayı hızlı hesaplama yapabilmeleri, donanım olarak yapılandırılabilmeleri, adaptasyon kabiliyetleri gibi özellikleri nedeniyle başarılı olmuşlardır (Haykin 1994, Zurada 1992, Karna ve Breen 1989, Simpson 1990, Minsky ve Papert 1969).

YSA'nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araçtır.

YSA'nın istenilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu ilgili problemdeki girdi-çıktı ilişkisini en iyi tanımlayacak optimum ağırlıkların bulunması demektir. YSA'nın karmaşık yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemden aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenir. Böylece probleme farklı bir çözüm sağlar (Simpson 1990).

YSA ile çözülmesi istenilen problemde, problemi öğrendikten sonra eğitim sırasında verilen test örneklerine göre istenilen tepkiyi üretir. Örneğin, karakter tanıma amacıyla eğitilmiş bir YSA, bozuk karakter girişlerinde de doğru karakterleri verebilir. Veri YSA'na, eksik, bozuk veya daha önce hiç karşılaşılmayan şekilde verilse dahi, ağ kabul edilebilir en uygun çıkışı üretecektir. Bu özellik ağın genelleştirme özelliğidir. Problemleri çözmek amacıyla eğitilen YSA, problemde olabilecek değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlılık gösteriyorsa işlem devamı sırasında da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, örüntü tanıma, sinyal işleme, sistem kimliklendirme ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılabilir (Simpson 1990).

Çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir. Ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmıştır. Böylece eğitilmiş bir YSA'nın bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin bozulması ve etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir (Simpson 1990).

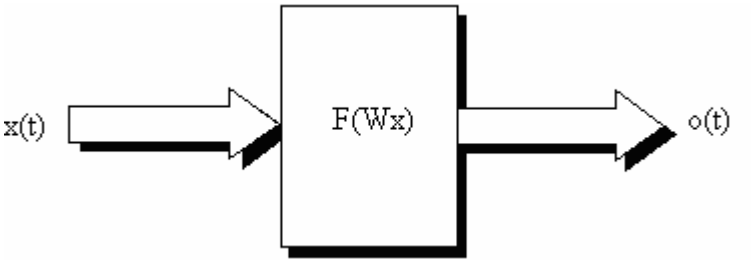
YSA mühendislik alanında; imalat sanayinde, askeri proje uygulamalarında, endüstriyel ürün tasarımında, bilgi yönetiminde, tıp alanında, uzay ve havacılık sanayinde, yüzey modellemede, tarımsal alanda; toplam ürün rekoltesinin tahmininde, hayvancılık alanında kullanılmıştır.

1.1.4. Yapay sinir ağ yapıları

YSA, yapılarına göre, ileri beslemeli (feedforward) (Şekil 1.3) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olarak iki sınıfa ayrılırlar.

İleri beslemeli bir ağda işlemci elemanlar katmanlar üzerinde bulunur. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta katmandaki işlemcilere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışına iletilir. Girişler, giriş katmanından çıkış katmanlarına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilirken bir katmandaki çıkışlar bir sonraki katmana giriş olarak

verilir (Rumelhart and McClelland 1986). Her hangi bir andaki çıkış, sadece o andaki girişin bir fonksiyonudur. Ağ, statik yapılı hafızaya sahiptir.



Şekil 1.3. İleri beslemeli ağ (Sağıroğlu ve ark. 2003).

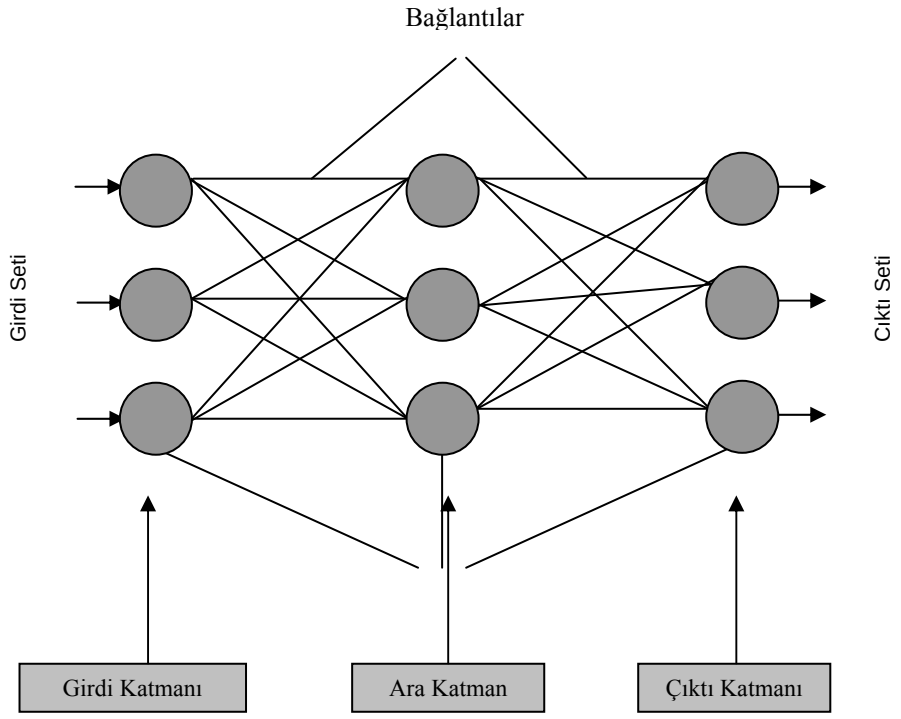
İleri beslemeli ağlar doğrusal olmayan bir yapıya sahip olup, çok katmanlı perseptron (ÇKP) ve LVQ ağları bunlara örnek olarak verilebilir.

Literatürde birçok YSA yapıları mevcuttur (Simpson 1990, Haykin 1994). ÇKP'Iar, RTY'ları, LVQ'Iar, SOM, ART, Hopfield Ağları, Elman ve Jordan Ağları ve Kohonen Ağları bunlara örnek olarak verilebilir. Bu ağ yapılarından tezde kullanılan ÇKP'Iar açıklanmıştır.

1.1.5. Çok katmanlı perseptron yapay sinir ağı yapısı

ÇKP ağlarının yapısı Şekil 1.4'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ÇKP ileri beslemeli ve 3 katmandan oluşan bir ağdır.

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağını oluştururlar. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rasgele olmaz. Genel olarak hücreler 3 katman (Girdi, Ara, Çıktı) halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar.



Şekil 1.4. ÇKP'nın genel yapısı (Öztemel 2003).

ÇKP ağında bilgiler girdi katmanından ağa sunulur ve ara katmanlardan geçerek çıktı katmanına gider ve ağa sunulan girdilere karşılık ağın cevabı dış dünyaya iletilir.

ÇKP ağı öğretmenli öğrenme stratejisini kullanır. Ağa, hem örnekler hem de örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar (beklenen çıktı) verilmektedir. Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretmektedir. Daha sonra gösterilen benzer örnekler için bu çözüm uzayı sonuçlar ve çözümler üretebilmektedir.

1.1.6. ÇKP ağının öğrenme kuralı

ÇKP ağları öğretmenli öğrenme stratejisine göre çalışırlar. Yani bu ağlara eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık üretilmesi gereken

(beklenen) çıktılar gösterilir. Ağın görevi her girdi için o girdiye karşılık gelen çıktıyı üretmektir Ağın öğrenebilmesi için eğitim seti adı verilen ve örneklerden oluşan bir sete ihtiyaç vardır. Bu set içinde her örnek için ağın hem girdiler hem de o girdiler için ağın üretmesi gereken çıktılar belirlenmiştir.

1.1.7. ÇKP ağının çalışma prosedürü

ÇKP ağlarının çalışması şu adımları içermektedir:

-Örneklerin toplanması: Ağın çözmesi istenilen olay için daha önce gerçekleşmiş örneklerin bulunması adımıdır. Ağın eğitilmesi için örnekler toplandığı gibi (eğitim seti) ağın test edilmesi için de örneklerin (test seti) toplanması gerekmektedir. Ağın eğitilmesi sırasında test seti ağa hiç gösterilmez. Eğitim setindeki örnekler tek tek gösterilerek ağın olayı öğrenmesi sağlanır. Ağ olayı öğrendikten sonra test setindeki örnekler gösterilerek ağın performansı ölçülür. Hiç görmediği örnekler karşısındaki başarısı ağın iyi öğrenip öğrenmediğini ortaya koymaktadır.

-Ağın topolojik yapısının belirlenmesi: Öğrenilmesi istenen olay için oluşturulacak olan ağın topolojik yapısı belirlenir. Kaç tane girdi ünitesi, kaç tane ara katman, her ara katmanda kaç tane proses elemanı ve kaç tane çıktı elemanı olması gerektiği bu adımda belirlenmektedir.

-Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi: Ağın öğrenme katsayısı, proses elemanlarının toplama ve aktivasyon fonksiyonları, momentum katsayısı gibi parametreler bu adımda belirlenmektedir.

-Ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması: Proses elemanlarını birbirlerine bağlayan ağırlık değerlerinin ve eşik değer ünitesinin ağırlıklarının başlangıç değerlerinin atanması yapılır. Başlangıçta genellikle rastgele değerler atanır. Daha sonra ağ uygun değerleri öğrenme sırasında kendisi belirler.

-Öğrenme setinden örneklerin seçilmesi ve ağa gösterilmesi: Ağın öğrenmeye başlaması ve yukarıda anlatılan öğrenme kuralına uygun olarak ağırlıkları değiştirmesi için ağa örnekler (Girdi/Çıktı değerleri) belirli bir düzene göre gösterilir.

-Öğrenme sırasında ileri hesaplamaların yapılması: Yukarıda anlatıldığı şekilde sunulan girdi için ağın çıktı değerleri hesaplanır

-Gerçekleşen çıktının beklenen çıktı ile karşılaştırılması: Ağın ürettiği hata değerleri bu adımda hesaplanır.

-Ağırlıkların değiştirilmesi: Yukarıda anlatıldığı gibi geri hesaplama yöntemi uygulanarak üretilen hatanın azalması için ağırlıkların değiştirilmesi yapılır.

Yukarıdaki adımlar ÇKP ağının öğrenmesi tamamlanıncaya yani gerçekleşen çıktılar ile beklenen çıktılar arasındaki hatalar kabul edilir düzeye ininceye kadar devam eder. Ağın öğrenmesi için bir durdurma kriterinin olması gerekmektedir. Bu ise genellikle üretilen hatanın belirli bir düzeyin altına düşmesi olarak alınmaktadır.

Bir YSA, herhangi bir girdi vektörünü çıktı vektörüne nasıl dönüştürdüğü konusunda bir bilgi vermez. Mühendislik açısından bakıldığında YSA, "kara kutu" gibi görülebilirler. Kara kutu, dışarıdan bilgileri alıp, dışarıya ürettiği çıktıları vermektedir. İçeride neler olduğu ise bilinmemektedir. Diğer bir deyişle, YSA'nın sonuçları nasıl oluşturduğunu açıklama yeteneği yoktur. Bu ağa olan güveni sarsmakla birlikte başarılı uygulamalar yapay sinir ağlarına olan ilgiyi sürekli artırmaktadır. Açıklama yeteneğinin kazandırılması bilim dünyasına çok önemli bir katkı oluşturabilecektir (Öztemel 2003).

1.1.8. Yapay sinir ağlarında öğrenme ve test etme

YSA'larında proses elemanlarının bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine "ağın eğitilmesi" denir. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rasgele olarak atanır. YSA kendilerine örnekler gösterildikçe bu ağırlık değerlerini değiştirirler. Amaç ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerlerini bulmaktır. Örnekler ağa defalarca gösterilerek en doğru ağırlık değerleri bulunmaya çalışılır. Ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine

ağın öğrenmesi denir. Ağırlıkların değerlerinin değişmesi belirli kurallara göre yürütülmektedir. Bu kurallara öğrenme kuralları denir. Kullanılan öğrenme stratejisine göre değişik öğrenme kuralları geliştirilmiştir.

YSA'larında öğrenme olayının iki aşaması vardır. Birinci aşamada ağa gösterilen örnek için ağın üreteceği çıktı belirlenir. Bu çıktı değerinin doğruluk derecesine göre ikinci aşamada ağın bağlantılarının sahip olduğu ağırlıklar değiştirilir. Ağın çıktısının belirlenmesi ve ağırlıkların değiştirilmesi öğrenme kuralına bağlı olarak farklı şekillerde olmaktadır.

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra öğrenip öğrenmediğini (performansını) ölçmek için yapılan denemelere ise ağın test edilmesi denmektedir. Test etmek için ağın öğrenme sırasında görmediği örnekler kullanılır. Test etme sırasında ağın ağırlık değerleri değiştirilmez. Test örnekleri ağa gösterilir. Ağ eğitim sırasında belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak görmediği bu örnekleri için çıktılar üretir. Elde edilen çıktıların doğruluk değerleri ağın öğrenmesi hakkında bilgiler verir. Sonuçlar ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir. Eğitimde kullanılan örnek setine eğitim seti, test için kullanılan sete ise test seti adı verilmektedir.

Bu çalışmada, radyal santrifüj pompaların YSA teknikleri ile tasarımı amaçlanmıştır. Bu amaçla pompanın devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik parametreleri giriş verisi, çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş (emme) borusu çapı ve pompa çıkış (basma) borusu çapı parametreleri de çıkış verisi olarak kullanılmıştır. YSA teknikleri bu değerlere uygulanarak elde edilen sonuçlar, önceden alınmış ölçüm sonuçları ve klasik metotlarla çözümleri oluşturulmuş sonuçlarla değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, sulamada yaygın olarak kullanılan 4" ve 5" anma çapında, yerli yapım, tek girişli, kademesiz, yatay milli santrifüj pompaların, belirli çalışma koşullarındaki işletme karakteristikleri belirlenerek çalışmada kullanılan veri tabanı artırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tezle ilgili bazı çalışmalar incelenerek elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

Geleneksel pompa test deneylerinde var olan ölçme ve sistematik hatalar, sonuçlar üzerinde önemli sapmalara neden olmakta, dolayısıyla üretim ve kullanım aşamasında kayıplara, üretici ve kullanıcı arasında problemlere yol açmaktadır. Bu tür problemlerin önüne geçmek için bilgisayar destekli bir pompa test deney ünitesi geliştirmiştir. Geliştirilen bu bilgisayar destekli pompa test deney ünitesinde büyüklükler, sensörler aracılığı ile alınmakta, ölçüm değerleri bilgisayara doğrudan aktarılmakta ve ünitenin kontrolü bilgisayar aracılığı ile yapılmaktadır. Bilgisayar ortamına alınan değerlerden gerekli hesaplamalar yapılmakta ve pompa performans eğrileri otomatik olarak çizdirilmektedir. Bu çalışmada, geleneksel yöntemle deney yapan test ünitesiyle, geliştirilen bilgisayar destekli pompa test ünitesinden elde edilen ölçme sonuçlarının karşılaştırılması yapılmış ve bilgisayar destekli deney ünitesinden elde edilen verilerin daha güvenilir ve hassas olduğu tespit edilmiştir (Sungur 2003).

Çalışır ve Konak (1998), tarımsal sulamada kullanılan yerli yapım yirmi adet düşey milli derin kuyu pompasını (4”, 5” ve 6”) deneyerek karakteristiklerini elde etmişlerdir. Elde ettikleri verileri pompa yeterliliğinin ortaya konmasında kullanılan iyilik derecesi (yöntem1) ve pompa çıkış borusu çapı ile pompa verimi (yöntem2) arasındaki ilişkileri dikkate alarak karşılaştırmışlardır. Her iki yönteme göre yapılan değerlendirmeler karşılaştırıldığında, yöntem1’e göre, pompaların %45’inin, yöntem2’ye göre ise %5’inin olumlu rapor alabilecek durumda olduğunu tespit etmişlerdir. Pompa değerlendirmelerinin iyilik derecesi esasına göre yapılmasının yüksek verimli pompa üretimi için daha uygun olabileceğini belirtmişlerdir.

Yazıcı (1996), santrifüj pompa denemelerinde kullanılan ölçme yöntemleri ve ölçme hatalarını incelemiş, ölçmelerin büyük hassasiyetle yapılması gerektiğini ortaya koyduğundan deney standartlarının yeniden düzenlenmesinin gerektiğini ifade etmiştir.

Uz ve Demir (1995), santrifüj pompalar ile pompa deney üniteleri ve ölçme

metodları hakkında açıklamalarda bulunmuşlardır. Santrifüj pompaların denenmesindeki amacın, pompaların çalışma koşullarının ortaya konması olduğunu ve pompaların, sabit bir işletme hızında pompa ölçülerine, çizim değerlerine, emme şartlarına bağlı olarak en yüksek debi değerinden, sıfır değerine kadar çeşitli debilerde su verdiklerini belirtmişlerdir.

Tezer (1978), yatay ve düşey milli pompaların çalışma prensipleri, pompaj tesislerinin özellikleri ve projelendirmesi, santrifüj pompalarda pompa verimi, pompaj tesisinin debisi, özgül hız, net pozitif emme yüksekliği, manometrik yüksekliğin tespit edilmesi sırasında kullanılan manometre ve vakum metrenin pompaj tesisine yerleştirilmesi konularında açıklamalar yapmıştır. Santrifüj pompalarda debi, basınç, hız ve güç gibi karakteristik değerlerin çok geniş sınırlar içinde değiştiğini ifade etmiştir. Bu geniş sınırlar içerisinde bir pompanın tanımlanabilmesi, imalat ve seçimi için bazı kıyaslama değerlerinin kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu değerlerin; debi, manometrik yükseklik, devir sayısı, çark çıkış çapı, çark çevre hızı ve çıkışta radyal hız gibi değişkenler yardımı ile elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Yazıcı (1998), santrifüj pompaların denenmesi, deney tesisatı ve ölçmeler, pompaların karakteristik eğrilerinin oluşturulması ve ölçme sonuçlarının irdelenmesi, sıvıların yoğunluğunun ölçülmesi, moment ve devir sayısının tespit edilmesinde kullanılabilecek yöntemleri irdelemiştir. Santrifüj pompalar hakkında detaylı bilgiler ile birlikte bir çok hesaplama örnekleri vermiştir.

Yalçın (1998), santrifüj pompalar hakkında detaylı bilgiler vermiştir. Pompa geometrisi, matematiksel ifadeleri, santrifüj pompa deneyleri, deney standları ve ölçme metotları hakkında açıklamalarda bulunmuştur.

Baysal (1975), tam santrifüj pompaların hesap, çizim ve konstrüksiyon özelliklerini incelemiştir. Bir santrifüj pompanın tasarımı için, manometrik yükseklik, debi ve devir sayısının yeterli olacağını belirtmiştir. Pompa temel büyüklüklerinin hesabını izah etmiştir. Pompaların hesap ve imalatında, hesapların tam bir teoriye dayandırılması mümkün olmadığından, proje hesapları bir ön proje hesabı şeklinde yapılarak pompa ana boyutlarının hesaplanmasını daha sonrada geriye dönerek esas proje çizimine geçilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Özgür (1983), santrifüj pompaların çeşitli elemanlarının mühendislik

hesaplamalarına ve çark çizimlerine ilişkin yöntemlerini açıklamıştır. Manometrik yüksekliği, debisi, devir sayısı bilindiğinde santrifüj pompanın ana karakteristik büyüklüklerinin ve boyutlarının nasıl hesaplanacağını belirtmiştir.

Özerengin (1972), santrifüj ve aksiyal akımlı pompaların tasarımı ve kostrüksiyonuna ilişkin temel prensipleri vermiştir. Pompa tasarımında akışkanın özelliği, debi ve manometrik yükseklik ile ilgili temel parametrelerin belirlenmesi halinde, pompaya ilişkin diğer parametrelerin belirlenebileceğini belirtmiştir.

Santrifüj pompa performansı üzerine kanat şekli, devir sayısı ve akış oranı etkili olmaktadır. Bu faktörlerin pompa tasarımında göz önünde bulundurulması gerekir. (Cichang ve ark. 1990).

Gökelim (1976), çalışmasında radyal ve aksiyal akışlı pompaların, mühendislik hesaplamalarını incelemiştir. Santrifüj pompaların döner çarklarının tasarımı ile ilgili bilgiler vermiştir.

Tsang (1989), çalışmasında kanat açılarını, santrifüj pompa çarklarının şekillerini ve kanat sayısını seçmek için amprik eşitlikler kullanmıştır.

Hancıoğlu (1984), çift emişli bir santrifüj pompa tararımı üzerinde çalışmıştır. Bu tasarımı, belirli bir işletme noktası için yapmış ve boyutsuz bir yaklaşımla 0.5...0.9'a kadar olan özgül hızları kaplayacak şekilde tüm pompa serileri için genelleştirmiştir.

Özgür ve Yazıcı (1971), santrifüj ve eksenel pompa, vantilatör, kompresör gibi makinaların mühendislik hesaplamaları, konstrüksiyon ve işletme parametrelerini incelemişlerdir. Santrifüj pompalara ilişkin mühendislik hesaplamalarını, genellikle deneysel sonuçlara dayandırmışlardır. Böylece, istenen çalışma koşullarına uygun santrifüj ve eksenel pompalar ile vantilatör ve kompresörlerin boyutlarının büyük bir duyarlılıkla saptanabileceğini vurgulamışlardır.

Kovats ve Desmur (1958), santrifüj pompa tasarımı ve mühendislik hesaplamaları üzerinde çalışmışlardır. Tasarım için boyutsuz değerlerden yararlanmanın avantajlarından söz ederek, hidrolik makinaların hesabı için bu yolun genel olarak kabul edilmiş bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

Toplam 95 pompaya ait ölçüm sonuçları değerlendirilmiş ve incelemeye alınan her pompa için boyutsuz büyüklükler hesaplanmıştır. Bu boyutsuz

büyüklükler arasındaki korelasyon belirlenmiş, belirlenen korelasyona en uygun eğriler "eğri uydurma" paket programı kullanılarak elde edilmiştir. Deneme sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesiyle pompa tasarımında yararlanılabilecek veriler elde edilebilir. Bazı oransal kıyaslama değerleri göz önüne alınarak pompa imalatı konusunda imalatçılara yardımcı olunabilir (Gürhan ve Ayık 1991).

Uz (1981), İzmir ve çevresinde imal edilmiş, 5 ayrı grupta (6", 5", 4", 3", 2,5") 26 adet pompayı deneysel olarak incelemiştir. Maksimum verim noktalarını belirlemek için pompaları uygun devir sayılarında çalıştırmıştır. Böylece pompanın maksimum verim noktasındaki debi, manometrik yükseklik, devir sayısı, yuttuğu güç ve diğer performans değerlerini tespit etmiştir. Denenen pompaların özgül hızları 80.592-179.945 arasında değişmiştir. Bu pompaların maksimum verimlerini % 49-72 arasında bulmuştur. İncelemeye aldığı pompalardan 16 adedinin %60'ın üzerinde verim sağladığını, pompa çıkış hızlarının 2.51-4.65 m/s, çıkış meridyenel hızların 1.12-3.04 m/s arasında değiştiğini belirlemiştir.

Yazıcı (1979), çalışmasında, ölçüm hatalarından ve kabullenmelerdeki standart farklılıklarından bahsetmiştir. KSB firmasına ait bir pompa ile farklı ölçüm metodları kullanılarak yapılan denemelerde, manometrik yükseklikte %5, efektif güç değerinde %9, genel verimde %6.2 gibi dalgalanmalar tespit etmiştir. Türk Standartları Enstitüsüne göre, basma borusundaki manometre, boru çapını 1-4 katı ilerde, İngiliz standartlarına göre 1-3 katı ilerde, basma borusundaki vana, TSE'e göre boru çapının en az 6 katı, İngiliz standartlarına göre en az 3 katı ilerde olması gerektiğini ve burada standartlar arasındaki farklılığı belirtmiştir.

Toklu ve ark. (1996), pompa tasarımında karakteristik büyüklüklerin, optimum değerlerinin tespit edilmesinin, enerji tasarrufu ve verimin maksimum olması açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çark boyutlandırılırken, giriş ve çıkış çaplarının, giriş ve çıkış genişliklerinin, pompa debisini, manometrik yüksekliği ve harcanan elektrik enerjisini doğrudan ilgilendirdiğini göz önünde bulundurarak en ideal değerlerin tespit edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Tang (1995), kanat sayısının pompa karakteristikleri üzerine etkilerini detaylı olarak incelemiş ve en iyi değerlerin kanat sayısı tek olan çarklardan elde edildiğini belirtmiştir.

Schmitz (1997), pompa tesisi için gerekli olan pompanın seçiminde dikkat

noktaları belirtmişlerdir. Seçim yapılabilmesi için pompa karakteristik eğrilerinin bilinmesinin gerekli olduğunu, karakteristik eğride akış ve güç durumunun incelenerek en verimli noktada seçim yapılmasının doğru olacağını belirtmiştir.

Kutman (2001), pompa kontrolünde hızı ayarlanabilen tahrik ünitelerinin kullanılmasının pompa performasındaki etkilerini araştırmış ve maliyet üzerindeki olumlu etkilerini belirtmiştir.

Keskin ve Güner (2002), bir pompanın boyutlandırılmasını, optimum çalışma aralığını, optimum devir sayısındaki en yüksek verim değerinin elde edildiği noktaya karşılık gelen debinin ±%5'lik aralık olarak tanımlamıştırlar.

Balaban (1963), yaptığı araştırmada, pompaj ünitelerinde kullanılan yakıt veya enerji çeşidine göre pompaj verimlerinin dağılışını incelemiş ve Nebraska Eyaletinde yaptığı çalışmalarda elektrik motoruyla çalışan pompalarda verimin daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

Tezer (1964), deneme materyali olarak seçilmiş olan yerli imal edilmiş pompalarda, çeşitli konstrüksiyon hataları tespit etmiştir. Genel olarak bu hataların fan ve gövde dökümünün temiz olmaması, yatay milli pompalarda flanş ölçülerinin standartlara uygun olmaması olarak belirlemiştir. Denemelerinde derin kuyu ve santrifüj pompaları kullanmıştır. Debi ölçümünü derin kuyu pompalarda, volümetrik ölçme metodu ile diğer pompalarda ise üçgen ve dikdörtgen savak metodu ile yapmıştır. Yatay milli santrifüj pompalarda, özgül hızın 21.2 ile 50.2 arasında olduğunu ve verimlerinin de düşük olduğunu tespit etmiştir.

Lakashevich (1981), radyal akışlı santrifüj pompaların akış elemanlarının bilgisayar destekli tasarımı için geliştirdiği yönteme ilişkin araştırma sonuçlarını vermiştir. Bu yöntemle, 5…10 arasında değişen etmenler ile tasarım süresinin önemli oranda azaltılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca bu yöntemlerin CNC tezgahlarına dayalı bilgisayar destekli imalat için temel oluşturacağını ifade etmiştir. Bu alanda, daha önce yapılan denemelerde görülen çeşitli tasarım sorunlarını, bu yöntemle çözümlemeye çalışmıştır.

Kılkış (1979), bilgisayar yardımı ile optimum pompa tasarımı ve seçimi üzerinde çalışmıştır. Bilgisayarların sadece birer hızlı hesaplayıcı olmadıklarını, araştırmacı ve tasarımcıların en büyük temel yardımcıları olduklarını ifade etmiştir. Çalışmasında tek kademeli bir eksenel pompanın tasarımında en uygun kanatçık

profilinin bulunması için bir program geliştirmiştir.

Hanagart (1982), santrifüj pompa tasarım yöntemleri üzerinde çalışmıştır. Stabilite ve pompayı oluşturan ana elemanların performansının, mil vb. elemanların optimize edilerek, aksiyal ve radyal kuvvetlerin belirlenmesi ve tasarımda bilgisayar kullanımını ile iyileştirilebileceğini belirtmiştir.

Gürhan (1990), yatay milli santrifüj sulama pompalarının imalat karakteristiklerinin bilgisayar destekli tasarımı ile geliştirilmesi üzerinde çalışmıştır. Çalışmasında, sulama amaçlı yatay milli santrifüj pompaların ana organlarından olan çark, gövde ve mil materyal olarak alınmıştır. Pompanın temel işlevini yerine getiren bu organların konstrüktif ve fonksiyonel özellikleri incelenmiş ve bunlara ait tasarım ve işletme parametrelerini belirlemiştir. Sulama amaçlı yatay milli santrifüj pompaların imalat karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla bilgisayar programı geliştirmiştir.

Dahl ve Nelik (1985), santrifüj pompa çarklarının bilgisayar destekli tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Pompa çarkının tasarımına, modelleme tekniği ve analitik olarak iki temel yol ile yaklaşmışlardır. Tasarımcının önce çarka ilişkin, devir sayısı, debi, özgül hız ve toplam manometrik yükseklik gibi tasarım koşullarını belirlemesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Chen ve Birzer (1980), santrifüj pompalar için bilgisayar destekli tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu yöntemin hidrolik ve mekanik parametreleri seçme özelliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çok az bir veri girişinin yöntemin işlerliği açısından yeterli olacağını ifade etmişlerdir. Meydana getirdikleri sistem, birbiriyle kolayca uyum sağlayabilir bir seri program içermektedir.

Bykov ve Guzynin (1977), tek kademeli pompaların işletme özelliklerine ve istatiksel analizine ilişkin verileri saptamışlardır. Maksimum verim noktasında, bilinen manometrik yükseklik ve debi değerleri temel oluşturacak şekilde analitik çözümler için formüller geliştirmişlerdir. Mühendislik hesaplamalarında bu tip analitik yaklaşımların, klasik grafiksel gösterimi yerine bilgisayar kullanımının giderek yaygınlaşacağını ifade etmişlerdir.

Bohl (1980), çalışmasında radyal ve aksiyal akışlı santrifüj pompaların tasarım ve imalatını içeren bilgiler vermiştir. Radyal ve aksiyal pompaların çark,

gövde ve diğer yapısal organların teknik özelliklerinin belirlenmesinde temel verileri önermiştir. Pompa organlarının bilgisayar destekli tasarımına uygun yöntemler üzerinde çalışmıştır.

Ayder (1986), sayısal yöntemler kullanarak, turbo makinalardaki akış üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada, radyal, eksenel ve karışık akımlı turbo makinalarda kanatlar arasındaki akım yüzeyinde, hız dağılımını ve akış çizgilerini hesaplayan bir bilgisayar programını ele alarak kullanılır hale getirmiştir.

Sarıoğlu ve Şen (2000), pompa performans eğrisinin sayısal yöntemlerle belirlenmesi için çalışmalar yapmışlardır. Tasarımı yapılan pompada elemanların (çark, salyangoz, difüzör vb.) istenilen performansı sağlayıp sağlamadığının belirlenmesi için yapılan test işleminin bilgisayar ile yapılmasını önermiştir. Bilgisayar ile yapılan işlemlerde oldukça fazla zaman kazancının sağlanacağını belirtmişlerdir.

Konuralp ve ark. (2005), çalışmalarında düşey milli, iki kademeli, karışık akışlı bir pompanın iç akışı, yedi farklı çalışma noktası için hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımını kullanarak çözümlemişler ve sonuçlarını doğrulama deneyi sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Katı modelde ve sayısal ağda bir değişiklik yapmadan tek kademe için aynı ve farklı dönüş hızında çözümleme yapmışlar ve sonuçları, programın deneysel sonuçlarla kabul edilebilir uyumu görülmüş olan iki kademe çözümleriyle karşılaştırmışlar ve benzeşim kurallarına uyduğunu tespit etmişlerdir.

Yang ve ark. (2003), mısır bitkisinde ot ilacı uygulaması ile ilgili bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem ile dijital kamera kullanarak gerçek zamanlı görüntü alma ve işleme, yabancı ot teşhis etme, ot yoğunluğunu haritalama ve ilaçlamayı kontrol etme işlemlerini yapmışlardır. Görüntü işleme metodunda Yapay Sinir Ağlarını kullanmışlardır. Ayrıca bu çalışma ile yabancı ot ilaçlamasından kaynaklanan su kirlenmesinin azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Uno ve ark. (2005), mısır bitkisinde, sezonluk verim haritası ve hava raporu tahmini sistemlerinin gelişmesi için Yapay Sinir Ağlarının potansiyelini incelemişlerdir. Verim tahmini modellerini geliştirmek için farklı vegetasyon indisleri ile beraber istatiksel ve Yapay Sinir Ağları yaklaşımları kullanmışlardır. Yapay Sinir Ağları ile Stepwise Multiple Linear Regresyon modelleri arasında net

bir fark olmadığını tespit etmişlerdir. Yapay Sinir Ağlarının kullanışlığının belirlenmesine rağmen, özellikle tarla uygulamalarının genellenmesinden önce verim haritalarının oluşturulmasında daha fazla araştırma çalışmalarına ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir.

Moshou ve ark. (2004), bitki hastalıkları için aşırı ilaç kullanımının tarım ürünlerindeki kalıcı zehir tehlikesini ve maliyeti artırması, ayrıca yeryüzü sularının kirliliğine sebep olması nedeniyle ilaç kullanımının bilinçli olarak ve tarlanın hangi bölgesine kullanılması gerektiğinin tam olarak tespit edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada sarı pas hastalığının erken gelişme döneminde sağlıklı ve hastalıklı buğdaylar arasındaki ışık yansıması esasına göre farkları tespit etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla sinir ağları temeline dayanan hastalık tespiti algoritmaları geliştirmişlerdir.

Elizondo ve ark. (1994a), geliştirdikleri YSA modeli ile günlük güneş radyasyonunu, havanın en düşük ve en yüksek sıcaklığına, günlük yağışa, radyasyona ve günün uzunluğuna bağlı olarak tahmin etmişlerdir. Ağın eğitilmesi için 1978 yılından itibaren toplanmış verileri kullanmışlardır. Modelin test edilmesi sonucu gerçek radyasyonla kıyaslanabilecek veriler elde etmişlerdir.

Williams ve Zazueta (1996), güneş radyasyonunun YSA ile değerlendirilmesi için bir çalışma yapmışlardır (ABD, Florida). Çalışmada YSA üç giriş, altı gizli ve iki çıkış düğümlerinden oluşmuştur. Girişe, günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar farkı, karasal radyasyon ve yağış gibi üç veri değeri iletilmiştir. Ağı eğitmek için 1958 yılından 1980 yılına kadar olan veriler kullanılmış, sonuçlar 1981-1987 yılları verileri ile denenmiştir. YSA modelinin analitik yönteme göre daha hassas sonuçlar verdiğini belirtmişledir.

Elizondo ve ark. (1994b), çalışmalarında, YSA'nı soya fasulyesinin çiçeklenme ve fizyolojik olgunlaşma tarihlerinin tahmin edilmesi amacıyla kullanmışlardır. YSA modeli dört giriş, üç gizli ve bir çıkış düğümünden oluşmuştur. Ağla yapılan deneyler sonucunda, YSA'nın yaklaşık 2-4 gün hata ile tahmin yaptığını belirtmişlerdir.

Bezir ve ark. (2003), çalışmalarında, güneş enerjili sıcak su üretim sistemlerinden biri olan güneş havuzunu incelemişlerdir. Güneş havuzunun değişik derinliklerdeki sıcaklıkları ölçülmüş olmasına rağmen her noktadaki sıcaklık

değerlerini ölçememişlerdir. YSA metodu ile ölçülemeyen noktalardaki sıcaklık değerleri, mevcut ölçüm verilerini kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. YSA metodu ile hesaplanan değerler, gerçek (deneysel) değerlerle karşılaştırılmış ve güneş havuzunun ölçülemeyen derinliklerdeki sıcaklıklarının tahmin edilmesinde bu metodun başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Allahverdi (1998), Yapay Zeka dallarından olan Uzman Sistemler, Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık ve Genetik Algoritma yöntemlerini anlatmış ve bunların çeşitli tarım alanlarında uygulamalarını ifade etmiştir.

Govind ve Ramamoorthy (1991), çeşitli tarım makinaları uygulamalarında kullanılmak üzere YSA esaslı modeller geliştirmişlerdir. Uygulamada, doğrusal ve doğrusal olamayan yüzeyleri modellemek için çoklu giriş, tekli çıkış YSA modelleri geliştirdiklerini belirtmişlerdir. Volterra-Weiner doğrusal olmayan modeliyle, geliştirdikleri YSA modelini karşılaştırmışlardır. Geliştirdikleri YSA modelinin çok daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Hall (1992), bir biçerdöveri kontrol etmek amacıyla YSA uygulamalarını incelemiştir. Sinirsel ağların karakterlerini tamamen gözden geçirmiş ve bu sinirsel ağların arzu edilen karakterlerini ortaya koymak için test etmiştir. YSA modelinin, yüksek gürültü seviyelerinde daha fazla gürültü toleranslı olduğunu belirtmiştir. Ayrıca buğdayın biçerdöverle hasadında tane kaybını tahmin etmek ve kaliteli hasat için model geliştirmiştir.

Engin (2005), merkezcil karışım pompalarının performanslarının belirlenmesi için literatürdeki deneysel veriler kullanılarak bir korelasyon geliştirmiştir. Ardından problemin yapay sinir ağı modeli kurularak bu iki yöntemi karşılaştırmıştır. Son olarak da literatürdeki mevcut bulunan korelasyonlar ile önerilen yöntemleri birlikte değerlendirilerek mevcut veri tabanı ile test etmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda, önerilen korelasyonun literatürdeki mevcut korelasyonlara oranla daha hassas kestirimler yaptığını belirlemiştir. Önerilen korelasyonun mutlak hatasını 229 veri için %8.53 bulurken YSA modelinin hatasını %11 civarında bulmuştur.

Oğuz ve Ark. (2005), çalışmalarında 60 kW gücünde, 4 silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motora ait karakteristik özellikleri, önce motor denemesi yaparak esas verileri almış daha sonra bu verileri YSA kullanılarak eğitim verileri üzerinde uygulamış, test verileri ile de kontrol etmişlerdir. Farklı parametrelerde

değişik değerler ile YSA'da sonuçlar alınmış ve motor denemesinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Motor deneme sonuçları ile geliştirilen YSA'da alınan sonuçlar arasında yapılan homojenite ve iki yönlü yinelemeli varyans analizi sonucunda geliştirilen YSA modelinin güvenilirliğini tespit etmişlerdir.

Üç tip mikroşerit antenin karakteristik parametrelerinin hesabı ve bir tip mikroşerit antenin tasarımı YSA kullanılarak yapılmıştır. Daha farklı tipteki mikroşerit antenlerin karakteristik parametrelerinin hesabı ve tasarımı yapılabileceğini belirtmişlerdir. YSA'ların eğitilmesinde ÇKP ve RTY ağ yapısı üzerinde 18 farklı öğrenme algoritması kullanmış ve bu algoritmaların performanslarını karşılaştırmışlardır (Gültekin 2002).

Güney ve ark. (2002), üçgen mikro şerit antenlerin rezonans frekansını hesaplamak için YSA'larına dayanan bir yöntem geliştirmişlerdir. YSA ağ yapılarından ÇKP'lerin eğitilmesinde DBD, GDBD, HY, YRA, GA, LM, PR ve BA algoritmaları, RTY'nin eğitilmesinde ise GDBD algoritması kullanmışlardır. GY, BA, LM ve PR ile eğitilmiş ÇKP yapılarından elde edilen nöral sonuçların, literatürde mevcut olan diğer yöntemlerin sonuçlarından çok daha iyi deneysel sonuçlarla uyumluluk içinde olduğunu göstermişlerdir.

YSA ile derin kuyu pompalarına ait performans parametreleri modellenmiştir. 210 deney sonucu eğitim ve test verisi olarak kullanılmıştır. 42 adet veri tesadüf olarak seçilmiş ve test verisi olarak değerlendirilmiştir. z, $\overline{L}$ ve Q giriş verisi, Hm ve η çıkış verisi olarak kullanılmıştır. En iyi eğitim algoritması ve nöron sayısı belirlenmiştir. Elde edilen YSA modellerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Test için, Model1'de Hm ve η'e ait standart sapma değerleri sırasıyla 0.19 ve 0.02 iken Model2'de ise 0.40 ve 0.04 elde edilmiştir (Gölcü 2006a).

Farklı kanat sayılarındaki derin kuyu pompalarında açık kanat uzunluğunun etkisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. YSA kullanılarak derin kuyu pompalarının $Hm-Q$ eğrileri araştırılmıştır. Ağın eğitiminde GD, GDM ve LM algoritmaları kullanılmıştır. z, $\overline{L}$ ve Q giriş parametresi, Hm ise çıkış parametresi olarak değerlendirilmiştir. Test verilerinde standart sapma 0.12 ve R^2 ise 0.9999 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar YSA'larının derin kuyu pompalarının $Hm-Q$ eğrilerinin tahmininde kullanılabilecek güvenli bir metod olduğunu göstermiştir (Gölcü 2006b).

Çalışır ve ark. (2003), çalışmalarında santrifüj pompaların performans değerlerini, istatistiki tahmin denklemleri ve YSA yardımıyla hesaplamışlardır. YSA'ların eğitilmesinde çok katlı perseptron yapısına sahip genişletilmiş delta-bar-delta öğrenme algoritması, eğitme ve test işleminde 21 farklı pompaya ait deneysel sonuçları ve ölçülen yapısal parametreleri veri olarak kullanmışlardır. Nöral modelden elde edilen sonuçların, istatistiki tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara göre deneysel verilere daha yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada yer alan veriler, Uz (1981), Gürhan ve Ayık (1991), Eryılmaz (2004), Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997)'e ait olup tezde materyal olarak kullanılmıştır (Ek1, Ek2 ve Ek3). Ayrıca bu çalışma kapsamında, denemeleri yapılan 4" ve 5" lik santrifüj pompalara ait sonuçlar da mevcut veri tabanına ilave olarak kullanılmıştır.

3.1.1. Santrifüj pompa denemeleri

Veri tabanının artırılması amacıyla, bu çalışmada, 4" ve 5" lik çıkış borusu anma çaplarında yerli yapım, yatay milli, kademesiz santrifüj pompalar denemeye alınmıştır.

3.1.1.1. Denemede kullanılan pompaların bazı teknik özellikleri

Denemeleri yapılan pompaların bazı teknik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan pompaların bazı teknik özellikleri.

Pompa (")	D_1 (mm)	D_2 (mm)	b_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)
4	110	185	28.5	6	100	100
5	140	297	20	6	146.2	123.8

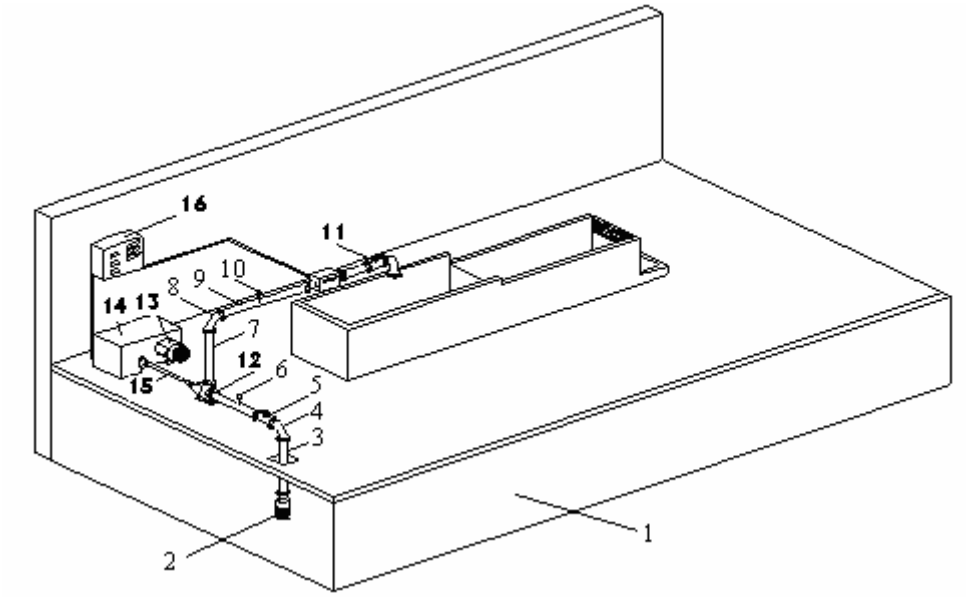
3.1.1.2. Pompa deney ünitesinin genel özellikleri

Pompalar, S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü Pompa Test Ünitesinde denenmiştir. Pompa test ünitesinin genel görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.

Yaklaşık 50 m^3 hacimli, katı madde içermeyen, soğuk ve temiz, su deposu (1), 4 m derinliğindedir. Emme hattı ise dip klapesi ve süzgeç (2), emme borusu (3), 90 mm'lik bir adet emme hattı dirseği (4), emme hattı ayar (kontrol) vanası (5) ve vakummetre (6) ile donatılmıştır. Basma hattı, düşey çıkış borusu (7), 90 mm'lik bir adet dirsek (8), yatay basma hattı borusu (9), manometre (10) ve basma hattı ayar (kontrol) vanası (11) ile donatılmıştır. Pompa (12)'ya hareket, elektrik motoruna (13) akuple edilmiş mekanik varyatör (14)'den, bir mafsallı mil (15) yardımıyla iletilmektedir. 16 nolu kısımda elektriksel göstergelerin bulunduğu kumanda panosu yer almaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Pompa denemelerinin yapıldığı deney ünitesinin genel görünüşü.



Şekil 3.2. Pompa denemelerinin yapıldığı deney ünitesinin şematik görünüşü.

Pompa denemelerinde kullanılan ölçme cihazlarının bazı teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Denemelerde kullanılan ölçme cihazlarının bazı teknik özellikleri.

Ekipman Cinsi	**Bazı Teknik Özellikleri**
Elektrik motoru	WAT, 12P-102/67, 380/660 V, 42/24.3 A, 50 Hz, 1450 min^{-1}, 22 kW.
Varyatör	IMAK, IM-400 kademesiz mekanik, 500-3000 min^{-1}, 22 kW'ye uygun.
Manometre	Gliserinli, bourdon tip, 0-4 kg/cm^2, % 5 hassasiyetli, ½" bağlantılı.
	Gliserinli, bourdon tip, 0-25 kg/cm^2, % 4 hassasiyetli, ½" bağlantılı.
Vakummetre	Gliserinli, bourdon tip, 0-(-760) mmHg, % 10 hassasiyetli, ½" bağlantılı.
Elektrik Sayacı	MG17T, Üçfaz 4 telli aktif sayaç, 55 devir/kWh, 3x220/380V, 30(75)A.
Kronometre	Hanhart 7 jewels shockproof,15 dakika kapasiteli, 1/10 saniye hassasiyetli.
Takometre	TECLOCK Type H Rpm, 0-10000 min^{-1}, % 0.02 hassasiyetli.
Çelik Şerit Metre	0-3 m ve 0-0.5 m kapasiteli, 1 mm hassasiyetli.
Kumpas	Mitutoyo Dijital, 150 mm kapasiteli, 0.01 mm hassasiyetli.
	Mitutoyo Mekanik, 320 mm kapasiteli, 0.05 mm hassasiyetli.
Termometre	-40/+50 °C kapasite civalı tip, 1 °C hassasiyetli.
Higrometre	Hygro-Haar-Synth, % 0 - 100 kapasite, % 1 hassasiyetli.

3.1.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları ile yapılan çalışmalarda, gelişmiş bir kişisel bilgisayar, Radyal Santrifüj Pompa Parametrelerinin matematiksel modellemeleri için MATLAB Paket Programı, 7.01 Neural Network Toolbox'ı kullanılmıştır.

3.2. Metot

Santrifüj pompa tasarım parametreleri olarak, çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş (emme) borusu çapı ve pompa çıkış (basma) borusu çapı dikkate alınmış ve bu parametrelerin teorik hesaplaması yapılmıştır (Baysal 1975, Gürhan 1990). Çark çıkış genişliği de önemli bir parametre olmasına karşın veri yetersizliğinden dolayı çalışmada kullanılmamıştır.

Tezde, YSA ile santrifüj pompa tasarımı ve karakteristik parametrelerin hesaplanması için 3 farklı çalışma yer almış ve bu çalışmalar Yöntem1, Yöntem2 ve Yöntem3 olarak isimlendirilmiştir. Yöntem1'e ait çalışmada Model1, Yöntem2'ye ait çalışmada Model2 ve Yöntem3'e ait çalışmada ise Model3, Model4 ve Model5 nöral modelleri geliştirilmiştir. Yöntem1'e ait veriler Ek1'de, Yöntem2'ye ait veriler Ek2'de ve Yöntem3'e ait veriler ise Ek3'de verilmiştir.

Regresyon tahmin denklemleri, pompa tasarım parametreleri (D_1, D_2, z, D_e, D_b) için Yöntem1'de, deneysel performans (n, Q, Hm) sonuçları için ise Yöntem2 ve Yöntem3'de kullanılan verilerden elde edilmiştir.

Çalışmada, YSA test sonuçları "YSA", santrifüj pompanın bazı parametrelerinin hesaplanması ile elde edilen sonuçlar "TEORİK", istatistiki tahmin denklemleriyle elde edilen sonuçlar "REGRESYON" ve ölçüm sonuçları ise "ÖLÇÜM" olarak tanımlanmıştır.

Veri tabanının genişletilmesi amacıyla, sulamada yaygın olarak kullanılan 4" ve 5" anma çapında, yerli yapım, tek girişli, kademesiz, yatay milli santrifüj pompaların, belirli çalışma koşullarındaki işletme karakteristikleri belirlenmiştir.

3.2.1. Santrifüj pompa denemeleri

Pompa, deney ünitesine civatalarla bağlanmıştır. Sızdırmazlık elemanları, mekanik bağlantı ve yağlamaya ait olması gereken ayar ve kontroller yapılmıştır.

Basma hattına önce 0-25 kg/cm^2 ölçme aralığındaki manometre bağlanmıştır. Daha sonra, emme hattı kontrol vanası tam açılarak, basma hattı kontrol vanası tam kapatılmıştır. Mekanik varyatörün çıkış devri ayarı en aza alınarak, motora ilk hareket verilmiştir. İlk hareketten sonra, motor üçgen bağlantıya geçince, varyatör devri öngörülen devir sayısına kadar yükseltilmiş ve en yüksek manometre basıncı okunmuştur. Bu aşamada salmastra sızıntısı ve diğer mekanik olaylar gözlenmiştir. Yeniden varyatör devri düşürülerek, motor durdurulmuştur. Ön çalışmada görülen olumsuzluklar giderilmiş ve okunan en yüksek çıkış basıncına uygun manometre takılmıştır.

Daha sonra başlangıç koşullarına uygun olarak sistem yeniden çalıştırılmıştır. Emme hattı kontrol vanasının tam açık konumda, ayarlanan devir sayısında, basma hattı kontrol vanasının tam kapalı konumundan başlanmak üzere basma hattı kontrol vanasının tam açık konumuna gelene kadar 3-6 vana açıklığında, debi, pozitif ve negatif basınçlar, sistemin şebekeden çektiği elektriksel güç ve deney ünitesine ait statik emme yüksekliği, dalma derinliği ve manometre-vakummetre arası düşey yükseklik değerleri ölçülerek tutanaklara kaydedilmiştir. Her basma hattı kontrol vanası açıklığında, ölçme cihazı göstergesi sabit kalıncaya kadar yaklaşık 10-15 dakika beklenilmiştir. Sadece kapalı vana konumunda en fazla 3 dakika beklenilmiştir.

Pompaların, tüm deneme kombinasyonlarında yukarıda açıklanan işlemler uygulanmıştır. Pompaların optimum devir sayısının belirlenebilmesi için, imalatçı firmanın önerdiği devir sayısı esas alınarak, 4” lik pompa 6 ve 5” lik pompa 3 değişik devir sayısında ve emme hattı vanasının tam açık konumunda denenmiştir. Pompaların deneme kombinasyonları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Pompa denemelerinin yapıldığı kombinasyonlar.

Pompa Anma Çapı (“)	Devir Sayısı (min^{-1})
4	1600
	1810
	2000
	2220
	2330
	2500
5	1250
	1350
	1450

Her pompanın farklı devirdeki deneme sonuçları değerlendirilerek, en yüksek verim değerinin elde edildiği devir sayısı, o pompanın optimum devir sayısı, bu verim değerine karşılık gelen debi değeri de optimum debi ya da tasarım debisi, optimum debinin ±%5 aralığı da optimum çalışma aralığı olarak tanımlanmıştır (Keskin ve Güner 2002). Pompa denemeleri, Anonim (1998) ve Anonim (2002) esas alınarak yürütülmüştür.

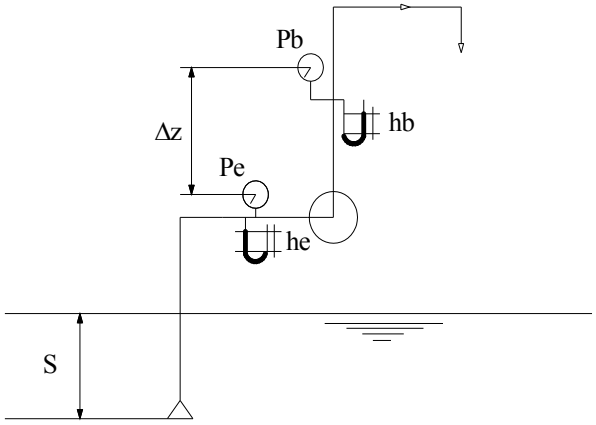
Karadoğan ve ark. (1998), seri olarak üretilen endüstriyel amaçlı standart pompaların denenmesinde C sınıfı ölçme toleranslarının kullanıldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, pompa performans değerlerinin ölçümünde kullanılan cihazların kalibrasyonu ve hesaplanmasında Yazıcı (1996)’da belirtilen hassasiyetler dikkate alınmıştır.

3.2.1.1. Devir sayısı ölçümü

Pompa devir sayısı, varyatör milinden mekanik takometre ile ölçülmüştür. Devir sayısı, her deneme kombinasyonunun, basma hattı kontrol vanasının tam kapalı, tam açık ve ara açıklık konumlarında olmak üzere üç kez ölçülmüş ve ayarlanan devir sayısı değerinin yüklenmelere bağlı olarak maksimum ±%1 min^{-1} sapmasına izin verilmiştir (Yazıcı 1996, Karadoğan ve ark. 1998).

3.2.1.2. Pozitif ve negatif basınç ölçümü

Pompa pozitif basıncı, basma hattına bağlanan uygun ölçme aralığındaki 0.6 sınıfı metal manometre, negatif basınç da emme hattındaki vakum metre ile ölçülmüştür (Tezer 1978, Yazıcı 1996, Karadoğan ve ark. 1998). Manometre ve vakummetre arasındaki düşey yükseklik (Δz) ve dalma derinliği (S) metre ile ölçülmüştür (Anonim 2003b). Manometre ve vakummetrenin kalibrasyonu, 4"lik pompa üzerinde civalı U-diferansiyel manometre ile yapılmıştır. Diferansiyel manometreler ile bourdon tipi manometre ve vakummetrenin bağlantıları Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Manometre ve vakummetre bağlantıları.

3.2.1.3. Güç ölçümü

Şebekeden çekilen elektriksel güç, hem pompa bağlı (Nt) hem de pompasız (boşta) iken (Nb) ayrı ayrı sayaç yöntemi ile ölçülmüştür. Güç ölçümünde, sayaç diskinin 10 devrini (n_d) tamamlama süresi (t_d) kronometre ile belirlenmiştir. n_h ,

sayaç sabitesi olup, sayaç etiketinden 55 devir/kWh olarak okunmuştur (Baysal 1975, Tezer 1978, Yazıcı 1996, Anonim 1998, Yalçın 1998).

$$N = \frac{3600.n_d}{n_h.t_d}$$

Pompanın yuttuğu net elektriksel güç,

$$Np = Nt - Nb$$

iki gücün farkı alınarak hesaplanmıştır.

N : Şebekeden çekilen güç (kw),
Nb : Pompasız (boşta) şebekeden çekilen güç (kw),
Np : Pompanın yuttuğu güç (kw),
Nt : Pompa bağlı iken şebekeden çekilen güç (kw),
n_d : Sayaç diskinin devri (min^{-1}),
n_h : Sayaç sabitesi (55 devir / kwh),
t_d : Sayaç diskinin devrini tamamlama süresi (s).

3.2.1.4. Debi ölçümü

Debi, yanal daralmasız dikdörtgen savak yöntemine göre ölçülmüştür (Keskin ve Güner 2002).

Su yüksekliği kanala birleştirilmiş bir plastik borudan ölçülmüştür. Kanaldaki su kararlı hale geldikten sonra ölçüm yapılmıştır.

Savaktan geçen suyun debisinin hesabı için çeşitli eşitlikler geliştirilmiştir. Yanal daralmasız dikdörtgen savakta debi aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$K = 1.816.\left(1 + \frac{1}{(1000.h + 1{,}6}\right).\left(1 + 0.5.\left(\frac{h + D}{h}\right)^2\right)$$

$$Q = K.B.h^{3/2}$$

Q : Debi (m^3/s),
h : Savaktaki su yüksekliği (m),
D : Savak sıfır noktasının kanal tabanından yüksekliği (m),
B : Kanal genişliği (m).

Eşitlikteki D değeri 0.9 m ve B değeri de 0.32 m olarak ölçülmüştür.

3.2.1.5. Sıcaklık ve bağıl nem ölçümü

Su ve ortam sıcaklığı, iki ayrı termometre, ortam bağıl nemi ise higrometre ile ölçülmüştür. Ortam değerleri laboratuvar içinden, su sıcaklığı ise suyun debi metreden sonra döküldüğü hazneden ölçülmüştür. Mekanik higrometrenin haftada iki kez kalibrasyonu kontrol edilmiştir. Higrometrenin kalibrasyonu, katoloğunda belirtildiği şekilde suya doygun ıslak bir bezle sarılarak, 1 saat bekletildikten sonra, doğruluk derecesi kontrol edilmiştir (Tezer 1978, Yazıcı 1996, Anonim 2001, Anonim 2002).

3.2.1.6. Manometrik yükseklik hesabı

Denemeleri yapılan pompaların, manometrik yüksekliği aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (Baysal 1975, Tezer 1978, Özgür 1983, Yazıcı 1996, Yalçın 1998).

$$Hm = 10.2.Pb + 0.0136.Pe + Hk + Hv + \Delta z$$

$$Hk = \lambda.\frac{L}{D}.\frac{v^2}{2g} + k.\frac{v^2}{2g}$$

$$Hv = \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \frac{4.Q}{\pi.D^2}$$

$$\mathrm{Re} = D.\frac{v}{\upsilon}$$

Hm : Manometrik yükseklik (m),
Hk : Boru hattı sürtünme kayıpları (m),
Hv : Basılan suyun hız enerjisi yüksekliği (m),
λ : Sürtünme kayıp katsayısı,
L : Düz boru uzunluğu (m),
D : Boru çapı (m),
υ : Akışkanın kinematik vizkozitesi (m^2/s),
v : Ortalama su hızı (m/s),
Pb : Çıkış borusundan ölçülen pozitif basınç (kp/cm^2),
Pe : Giriş borusundan ölçülen negatif basınç (mmHg),
Δz : Monometre-vakummetre eksenleri arası düşey mesafe (m),
Re : Reynold sayısı,
k : Şekilli boru parçasına bağlı katsayı,
g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2),
Q : Debi (m^3/s).

Hk, deney standında kullanılan düz boru, dirsek ve ayar vanasından kaynaklanan sürtünme kayıpları, Hv basılan suyun hız enerjisi yüksekliği, Δz, manometre ile vakum metre arasındaki düşey yükseklik, v, borudan akan suyun hızı, λ, boru cinsi ve reynolds sayısına bağlı sürtünme katsayısı ve υ, suyun sıcaklığına bağlı kinematik viskozite olup, hidrolik ile ilgili literatür ve imalatçı kataloglarından alınmıştır (Tezer 1978, Anonim 1994).

3.2.1.7. Verim hesabı

Denenen pompaların verimi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Tezer 1978, Yazıcı 1996, Çalışır ve Konak 1998, Anonim 1998, Anonim 2001).

$$\eta = \frac{Q.Hm.\gamma}{102.Np}.100$$

η : Verim (%),
Q : Debi (m^3/s),
Hm : Manometrik yükseklik (m),
γ : Suyun özgül ağırlığı (kp/m^3),
Np : Pompanın yuttuğu güç (kw).

3.2.1.8. Pompa tipinin belirlenmesi

Pompa tipi özgül hıza göre belirlenmiştir. Özgül hız, pompanın maksimum verim noktasındaki debi, manometrik yükseklik ve pompa devir sayısının bir fonksiyonu olup pompanın tipini belirleyen index sayısıdır. Özgül hız, şu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Tezer 1978, Özgür 1983).

$$n_s = 3.65.n.\frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{Hm^3}}$$

n_s : Özgül hız (min^{-1}),
n : Pompa devir sayısı (min^{-1}),
Q : Debi (m^3/s),
Hm : Manometrik yükseklik (m).

Santrifüj pompalarda en doğru sınıflandırma özgül hıza göre yapılabilmektedir. Buna göre santrifüj pompalar radyal, eksenel ve karışık akışlı olmak üzere üç tipte değerlendirilmektedir. Bu pompa tipleri arasında özgül hız bakımından kesin bir sınır bulunmamaktadır. Bununla beraber yapılabilirlilik ve verim açısından pompa tiplerinin özgül hız aralıkları, radyal çarklar için 10-58 min^{-1} arasında olduğu belirtilmektedir (Keskin ve Güner 2002).

3.2.2. Santrifüj pompalara ait bazı parametrelerin teorik hesaplanması

Bir santrifüj pompaya ait mühendislik hesapları ve tasarımı için pompanın çalışma koşulları ve buna bağlı olarak karakteristiklerinin bilinmesi gerekir. Tasarım için genellikle devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik olmak üzere üç karakteristik büyüklüğün bilinmesi yeterli olmaktadır. Pompa tasarımında, hesapların tam bir teoriye dayandırılması mümkün olmadığından, proje hesapları oldukça karmaşık durum arz etmektedir (Baysal 1975).

Çalışmada pompa tasarım parametresi olarak dikkate alınan değerlerden, pompa giriş (emme) borusu çapı, çark kanat sayısı, çark giriş çapı ve çark çıkış çapına ait teorik hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

3.2.2.1. Pompa giriş (emme) borusu çapı (D_e)

Pompa giriş (emme) borusundaki hızlar, deneysel sonuçlardan yararlanılarak çizilmiş eğrilerin aşağıdaki denklemlerinden elde edilmiştir (Baysal 1975, Gürhan 1990).

$$n = 3000 \text{ (d/d)} \quad \text{ise} \quad V_e = \left(-4.9648/e^{(16.5.Q)}\right) + 6.4543$$

$$n = 1500 \text{ (d/d)} \quad \text{ise} \quad V_e = \left(-5.2475/e^{(6.66.Q)}\right) + 6.4723$$

$$n = 1000 \text{ (d/d)} \quad \text{ise} \quad V_e = \left(-1.7857/e^{(19.5.Q)}\right) + 2.709$$

Bu denklemler ile devir sayısı ve debiye bağlı olarak pompa giriş (emme) borusundaki hızlar hesaplanmıştır. Hız ve debi değerlerinden pompa giriş (emme) borusu çapı bulunmuştur (Baysal 1975).

$$D_e = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V_e}}$$

D_e : Emme borusu çapı (m),
Q : Pompa debisi (m^3/s),
V_e : Emme borusundaki su hızı (m/s),
n : Devir sayısı (min^{-1}).

3.2.2.2. Çark giriş çapı (D_1)

İmalat kolaylığı bakımından çark giriş ağzı çapının, pompa giriş (emme) borusu çapına eşit alınması uygun olur.

$$D_o = D_e$$

Çark kanadının giriş kenarı ortalama çapı olan özellikle silindirik kanatlı çarklar için çark giriş ağzı çapından biraz büyük seçilmiştir (Baysal 1975).

$$D_1 = \sigma_s . D_0$$

D_1 : Çark giriş çapı (mm),
D_o : Çark giriş ağzı çapı (mm),
σ_s : Schulz katsayısı (0.90 – 0.95).

3.2.2.3. Çark çıkış çapı (D_2)

Basınç katsayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır (Baysal 1975, Gürhan 1990).

$$\psi = 8.10^{-6} . n_s^2 - 5.7.10^{-3} . n_s + 1.455$$

ψ : Basınç katsayısı,
n_s : Özgül hız (min^{-1}).

Önce teğetsel hız ve sonra çark çıkış çapı bulunmuştur (Baysal 1975, Gürhan 1990).

$$U_2 = \sqrt{\frac{2.g.H_m}{\psi}}$$

$$D_2 = \frac{60.U_2}{\pi.n}$$

U_2 : Çıkış teğetsel hızı (m/s),
D_2 : Çark çıkış çapı (m),
H_m : Pompanın manometrik yükseklik değeri (m),
g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2),
ψ : Basınç katsayısı,
n : Pompa devir sayısı (min^{-1}).

Bulunan çark çapının kontrolü için hız katsayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır (Baysal 1975, Gürhan 1990).

$$k_{u2} = 0.8005691 + 8.881358.10^{-3}.(n_s/3.65) + 4.217194.10^{-5}.(n_s/3.65)^2 + 1.805224.10^{-7}.(n_s/3.65)^3$$

$$U_2 = k_{u2}.\sqrt{2.g.H_m}$$

U_2 : Çıkış teğetsel hızı (m/s),
k_{u2} : Hız katsayısı,
H_m : Pompanın manometrik yükseklik değeri (m),
g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2).

Bu eşitlikten bulunan teğetsel hıza göre çark çıkış çapı tekrar bulunmuştur. Bulunan çark çapının (%10) fazlası alınarak olması gereken çark çıkış çapı ve bu çapa göre teğetsel hız bulunmuştur. Çünkü çark çıkış çapının bulunmasında, manometrik yükseklik değeri çok önemlidir. Bu nedenle hesaplanan (D_2) çapına

göre imal edilecek olan çarkın ve pompanın manometrik yüksekliği sağlayamaması olasılığı gözden uzak tutulmamalıdır (Baysal 1975).

3.2.2.4. Çark kanat sayısı (z)

Çıkış meridyen hızı (C_{m2});

$C_{m2} = k_{m2} \cdot \sqrt{2.g.H_m}$ eşitliğinden bulunmuştur.

Burada hız katsayısı (k_{m2}), özgül hız değerlerine göre deneysel verilerden oluşturulan eğrinin denkleminden hesaplanmıştır (Baysal 1975, Gürhan 1990):

$k_{m2} = (\text{-}0.69608/\text{e}^{(1.01710)^{-3}.n_s}) + 0.74857$

Teğetsel hız bileşeni (C_{u2});

$C_{u2} = \dfrac{g.H_m}{U_2.\eta_h}$ eşitliği ile bulunmuştur.

C_{u2} : Teğetsel hız bileşeni (m/s),
H_m : Pompanın manometrik yükseklik değeri (m),
g : Yer çekimi ivmesi (m/s^2),
U_2 : Çıkış teğetsel hızı (m/s),
η_h : Hidrolik verim.

Eşitlikte yer alan hidrolik verim, radyal akışlı pompalar için belirlenmiş özgül hız değerleri göz önüne alınarak,

$\eta_h = 1 - \dfrac{0.8}{(\dfrac{Q.10^5}{6.30902})^{1/4}}$ eşitliği ile bulunmuştur.

Pompanın bastığı sıvının özgül ağırlığı, basılan debi, manometrik yükseklik ve genel verim değeri ile pompanın miline verilmesi gereken güç (effektif güç) hesaplanmıştır (Baysal 1975, Gürhan 1990).

$$Ne = \frac{\gamma.Q.Hm}{75.\eta_t}$$

Q : Pompa tarafından basılan suyun debisi (l/s),
Hm : Manometrik yükseklik (m),
η_t : Genel verim(%),
γ : Suyun özgül ağırlığı (1 kg/l),
Ne : Pompa miline verilmesi gerekli güç (BG).

Radyal santrifüj pompaların özgül hızları göz önüne alınarak, 45…200 arasında özgül hızlar için toplam verim (η_t) eğrilerine ait aşağıdaki denklemler kullanılmıştır (Gürhan 1990).

$Q = 6.5$ l/s ise $\eta_t = \left(-0.5350/e^{(0.027913.n_S)}\right) + 0.68235$

$Q = 12$ l/s ise $\eta_t = \left(-0.5760/e^{(0.0322757.n_S)}\right) + 0.7169$

$Q = 32$ l/s ise $\eta_t = \left(-0.4519/e^{(0.027516.n_S)}\right) + 0.789$

$Q = 65$ l/s ise $\eta_t = \left(-0.3722/e^{(0.02897.n_S)}\right) + 0.8274$

$Q = 200$ l/s ise $\eta_t = \left(-0.3089/e^{(0.021885.n_S)}\right) + 0.8831$

$Q = 650$ l/s ise $\eta_t = \left(-0.36394/e^{(0.021865.n_S)}\right) + 0.91474$

Adi mil çeliği için kayma gerilmesi τ=120 kg/cm^2 alınarak mil çapı (d_m) aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Keskin ve Güner 2002).

$$d_m = 14.4.\sqrt[3]{\frac{Ne}{n}}$$

Göbek çapı, (d_g) mil çapının en az 1.5 katı olmalıdır (Baysal 1975). Buna göre,

$d_g = 1.5.d_m$ formülü ile hesaplanmıştır.

Kaçak verim değeri (%90) kabul edilerek toplam debi (Q_T);

$Q_T = 1.05 \approx 1.1.Q$ formülü ile bulunmuştur (Baysal 1975).

Çark giriş ağzındaki hız (C_0);

$$C_0 = \frac{4.Q_T}{\pi.\left(D_0^2 - d_g^2\right)}$$ formülü ile bulunmuştur (Baysal 1975).

C_o : Çark giriş ağzındaki hız (m/s),
d_g : Göbek çapı (m),
D_o : Çark giriş ağzı çapı (m),
Q_T : Toplam debi (m^3/s).

Çarka girişteki mutlak hız (C_1), meridyen hızına (C_{m1}) eşit alınması gerekir (Baysal 1975).

$$C_{m1} = C_1 = (1.05 \approx 1.1).C_0$$

C_{m1} : Giriş Meridyen hızı (m/s),
C_1 : Çarka girişteki mutlak hız (m/s),
C_o : Çark giriş ağzındaki hız (m/s).

Giriş teğetsel hızı (U_1) ve kanat giriş açısı (β_1);

$$U_1 = \frac{\pi . D_1 . n}{60}$$

U_1 : Giriş teğetsel hızı (m/s),
D_1 : Çark giriş çapı (mm),
n : Pompa devir sayısı (min^{-1}).

$tg\beta_1 = \frac{C_{m1}}{U_1}$ formülleri ile hesaplanmıştır (Baysal 1975).

β_1 : Suyun çarktan gerçek giriş açısı,
C_{m1} : Giriş Meridyen hızı (m/s),
U_1 : Giriş teğetsel hızı (m/s).

Suyun çarktan gerçek çıkış açısı (β_2);

$$tg\beta_2 = \frac{C_{m2}}{U_2 - C_{u2}}$$

β_2 : Suyun çarktan gerçek çıkış açısı,
U_2 : Çıkış teğetsel hızı (m/s),
C_{m2} : Çıkış Meridyen hızı (m/s),
C_{u2} : Teğetsel hız bileşeni (m/s).

Sapma katsayısı (K);

$$K = 1 + \frac{1.2.(1 + \sin \beta_{2k})}{z} . \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}$$

Teğetsel hız bileşeni ($C_{u2\infty}$);

$$C_{u2\infty} = K . C_{u2}$$

Kanat çıkış açısı (β_{2k});

$tg\beta_{2k} = \frac{C_{m2}}{U_2 - C_{u2\infty}}$ formülleri ile hesaplanmıştır (Baysal 1975).

Kanat sayısı;

$z = 6.5.\frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1}.Sin\frac{\beta_1 + \beta_{2k}}{2}$ formülü ile bulunmuştur (Baysal 1975).

K : Sapma katsayısı,
β_{2k} : Kanat çıkış açısı,
z : Çark kanat sayısı,
D_1 : Çark giriş çapı (mm),
D_2 : Çark çıkış çapı (mm),
$C_{u2\infty}$: Teğetsel hız bileşeni (m/s),
C_{u2} : Teğetsel hız bileşeni (m/s),
C_{m2} : Çıkış Meridyen hızı (m/s),
U_2 : Çıkış teğetsel hızı (m/s),
β_1 : Suyun çarktan gerçek giriş açısı.

3.2.3. Regresyon tahmin denklemleri

Santrifüj pompaların ölçülen bazı yapısal boyutları (D_1, D_2, z, D_e, D_b) için Model1'de kullanılan verilerden (Ek1) regresyon analizi yapılarak, regresyon tahmin denklemleri elde edilmiştir.

Santrifüj pompaların deneysel performans sonuçları (n, Q, Hm) için Model2'de kullanılan verilerden (Ek2) regresyon analizi yapılarak, regresyon tahmin denklemleri elde edilmiştir. Ayrıca santrifüj pompaların deneysel performans sonuçları (n, Q, Hm) için Model3, Model4 ve Model5'de kullanılan verilerden (Ek3) regresyon analizi yapılarak regresyon tahmin denklemleri elde edilmiştir.

3.2.4. Yapay Sinir Ağları

3.2.4.1. Yapay Sinir Ağları ile Pompa Tasarımı

Gelişmiş bir bilgisayar ile yapılan çalışmada, radyal santrifüj pompa tasarımı için YSA teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler, santrifüj pompaların bazı parametrelerini veri kabul edip, YSA tekniklerini bu parametrelere uygulayarak elde edilen sonuçları, önceden alınmış nümerik veya klasik metodlarla çözümleri oluşturulmuş sonuçlarla karşılaştırarak, sonuca gitmeyi ve bu metodla dizayn kolaylığını teknolojiye sunmayı amaçlamıştır.

Tezde, YSA ile santrifüj pompa tasarımı ve karakteristik parametrelerin hesaplanması için 3 farklı çalışma yer almış ve bu çalışmalar Yöntem1, Yöntem2 ve Yöntem3 olarak isimlendirilmiştir. Yöntem1'e ait çalışmada Model1, Yöntem2'ye ait çalışmada Model2 ve Yöntem3'e ait çalışmada ise Model3, Model4 ve Model5 nöral modelleri geliştirilmiştir. Yöntem1'e ait veriler Ek1'de, Yöntem2'ye ait veriler Ek2'de ve Yöntem3'e ait veriler ise Ek3'de verilmiştir. Yöntem1'de oluşturulan giriş ve çıkış parametreleri, Yöntem2 ve Yöntem3'de yer değiştirmiştir. Bir başka ifade ile Yöntem1'de pompa tasarımı yapılırken, Yöntem2 ve Yöntem3'de pompa işletme karakteristikleri tespit edilmiştir.

Santrifüj pompaların tasarımı ve karakteristik pompa parametrelerinin hesaplanması için geliştirilen YSA modelleri, bu modellerin giriş ve çıkış parametreleri Çizelge 3.4'de, kullanılan algoritmalar Çizelge 3.5'de ve YSA modellerinde kullanılan eğitim ve test veri sayıları Çizelge 3.6'da verilmiştir. Kullanılan giriş ve çıkış verilerini modele uydurmak için 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir (Purushothaman ve Srinivasa 1994).

Normalize için;

$$y_{nor} = \frac{y - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}}$$

formülü kullanılmıştır. Normalize değerlerden gerçek değerleri elde etmek için, aynı formülden "y" değeri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4. Radyal santrifüj pompaların tasarımı ve karakteristik parametrelerin YSA ile hesaplanması için oluşturulan modeller.

Çalışma	**YSA Modeli**	**Girişler**					**Çıkışlar**				
Yöntem1	Model1	n (min^{-1})		Q (m^3/s)		Hm (m)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)
Yöntem2	Model2	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)	n (min^{-1})		Q (m^3/s)		Hm (m)
Yöntem3	Model3	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)			n (min^{-1})		
	Model4	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)			Q (m^3/s)		
	Model5	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)			Hm (m)		

Çizelge 3.5. Radyal santrifüj pompaların tasarımı ve karakteristik parametrelerin YSA ile hesaplanması için kullanılan eğitim algoritmaları.

Çalışma	**YSA Modelleri**	**Eğitim Fonksiyonu**	**Öğrenme Fonksiyonu**	**Girişler**	**Çıkışlar**
Yöntem1	Model1	Trainlm	Learngdm	Logsig	Purelin
Yöntem2	Model2	Trainlm	Learngd	Tansig	Purelin
Yöntem3	Model3	Trainlm	Learngdm	Tansig	Purelin
	Model4	Trainlm	Learngdm	Tansig	Purelin
	Model5	Trainlm	Learngdm	Tansig	Purelin

Çizelge 3.6. YSA modellerinde kullanılan test ve eğitim veri sayıları.

Çalışma	YSA Modelleri	Eğitim	Test	Toplam
Yöntem1	Model1	174	16	190
Yöntem2	Model2	125	10	135
Yöntem3	Model3	107	12	119
	Model4	107	12	119
	Model5	107	12	119

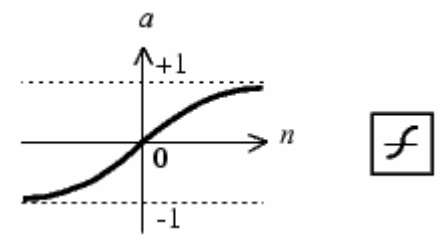
YSA modellerinde, İleri Beslemeli (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) ağ yapısı kullanılmıştır (Jacobs 1988, Minai ve Williams 1990). ÇKP, girdi katmanı, ara katmanlar ve çıktı katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşan bir ağdır. ÇKP ağa, hem örnekler hem de örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar (beklenen çıktı) verilmiştir. Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretmiştir. Daha sonra gösterilen benzer örnekler için bu çözüm uzayı, sonuçlar üretmiştir.

Kullanılan eğitim algoritması, Levenberg-Marquardt (LM) algoritmasıdır. Oldukça başarılı bir optimizasyon metodu olan LM eğitim algoritması, farklı öğrenme tekniklerinden biridir (Levenberg 1944, Marquardt 1963). LM algoritmasına bağlı ağırlık ve bias değerleri olan trainlm ağ eğitim fonksiyonu tezde kullanılmıştır. Çalışmalarda eğitim için traingdm, traingd, traingda, traingdx, trainoss, trainr, trainrp, trainscg, trainbfg, trainbr, traincgb, traincgf ve traincgp fonksiyonları da kullanılmış olup en iyi sonuçlar trainlm eğitim foksiyonundan elde edilmiştir. Trainlm pek çok ağı eğitebilmektedir. Diğer eğitim fonksiyonlarından farklı olarak, trainlm ağın MSE performans fonksiyonuna sahip olduğunu varsayar. Kullanılan trainlm fonksiyonunun algoritması şöyledir:

```
jj = jX.jX
je = jX.E
dX = -(jj+I.mu) \ je
```

Geliştirilen YSA modelleri için giriş katlarında sigmoid (tansig ve logsig) ve çıkış katlarında ise lineer (purelin) transfer fonksiyonu kulanılırken, gizli katlarda sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır (Vogl ve Ark. 1988).

Tansig, hiperbolik tanjant sigmoid transfer fonksiyonudur (Şekil 3.4).

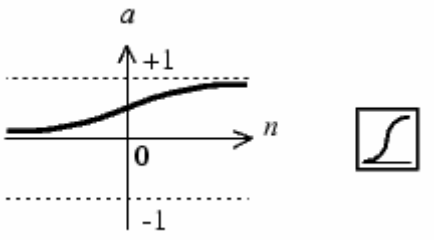


Şekil 3.4. Tan-sigmoid transfer fonksiyonu (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Kullanılan tan-sigmoid transfer fonksiyonunun algoritması ve matematiksel ifadesi şöyledir:

$$a = \tan sig(n) = 2/(1+\exp(-2.n)) - 1$$

Logsig, log-sigmoid transfer fonksiyonudur (Şekil 3.5).

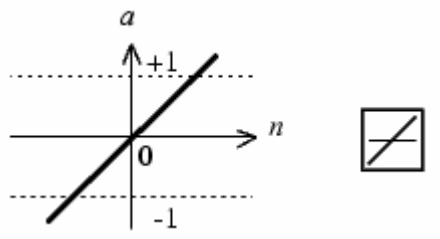


Şekil 3.5. Log-sigmoid transfer fonksiyonu (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Kullanılan log-sigmoid transfer fonksiyonunun algoritması ve matematiksel ifadesi şöyledir:

$$a = \log sig(n) = 1/(1+\exp(-n))$$

Purelin, lineer transfer fonksiyonudur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Lineer transfer fonksiyonu (Sağıroğlu ve ark. 2003).

Kullanılan lineer transfer fonksiyonunun algoritması ve matematiksel ifadesi şöyledir:

$$a = purelin(n) = n$$

Öğrenme fonksiyonu (Adaption Learning Function) olarak ise Learngd (Gradient Descent Weight And Bias Learning Function) ve Learngdm (Gradient Descent With Momentum Weight And Bias Learning Function) fonksiyonları kullanılmıştır.

Learngd, bir öğrenme fonksiyonudur. Kullanılan Learngd fonksiyonunun algoritması şöyledir:

dW = lr.gW

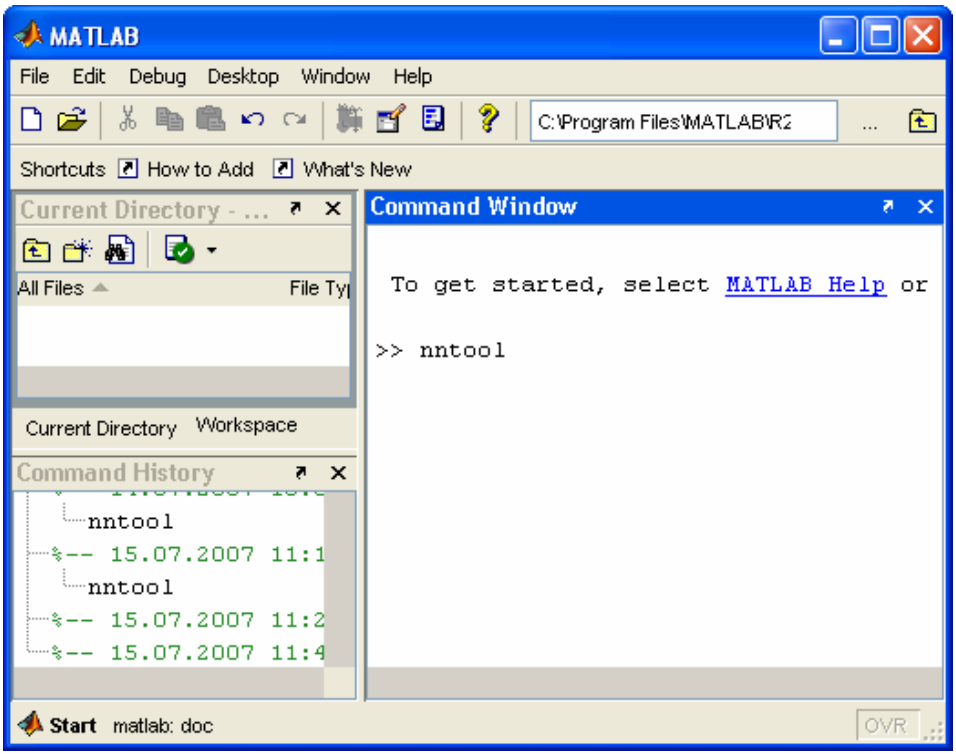
Learngdm, bir öğrenme fonksiyonudur. Kullanılan Learngdm fonksiyonunun algoritması şöyledir:

dW = mc.dWprev + (1-mc).lr.gW

3.2.4.2. Verilerin YSA ile eğitilmesi

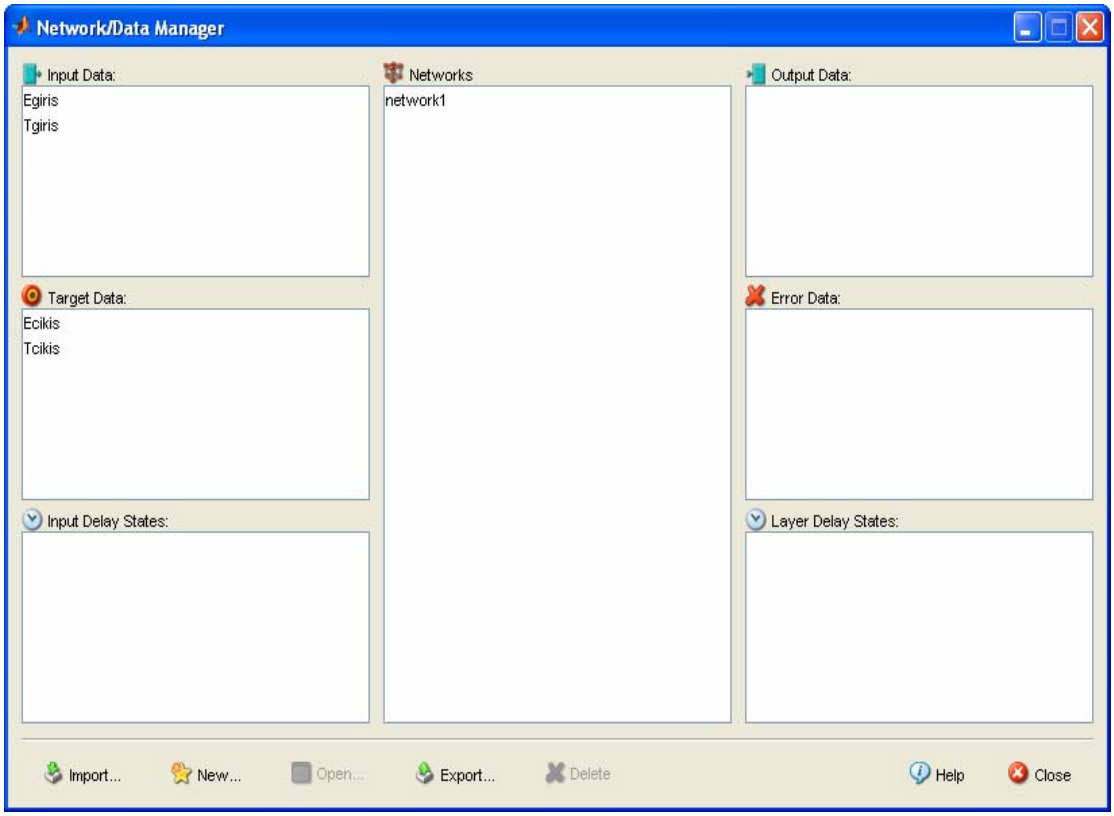
Yapılan her çalışma için normalize edilen veriler, eğitim ve test verileri olarak ayrılmıştır. Her çalışmaya ait test ve eğitim için kullanılan verilerin sayıları farklıdır.

Çalışmalar, MATLAB programında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7).

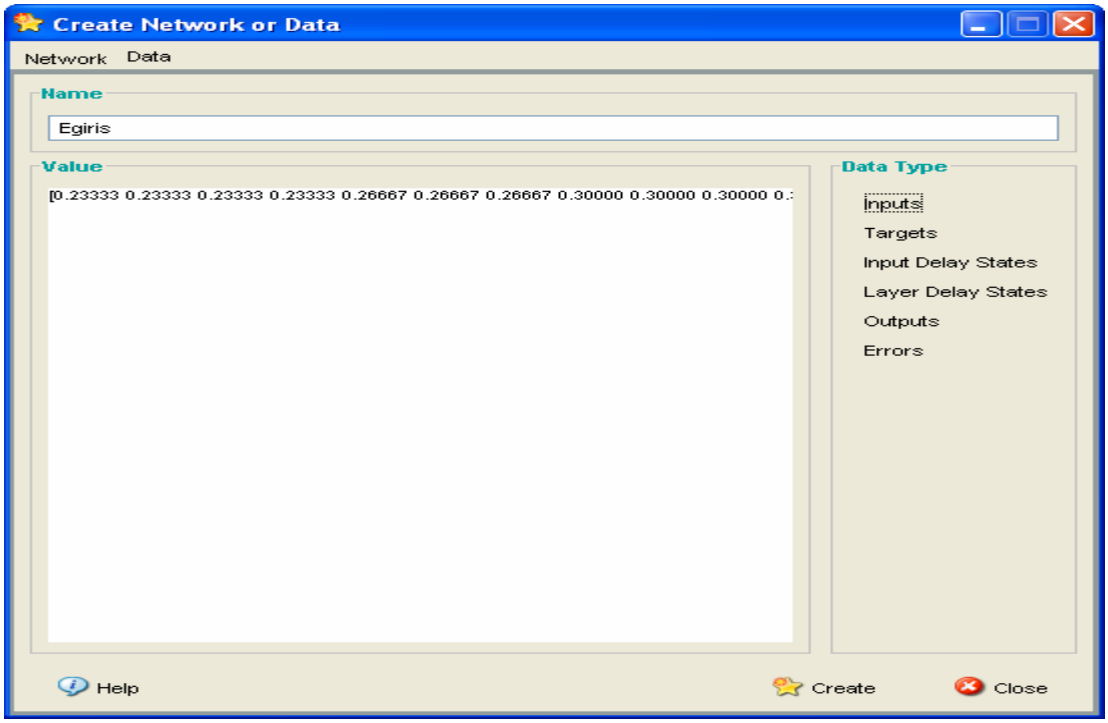


Şekil 3.7. MATLAB programı.

Program açıldıktan sonra "nntool" kodu ile YSA kullanıcı ara yüzü çağrılmıştır (Şekil 3.8). Bu arayüzden New komutu seçilerek veri girişinin yapılacağı pencere açılmıştır (Şekil 3.9).

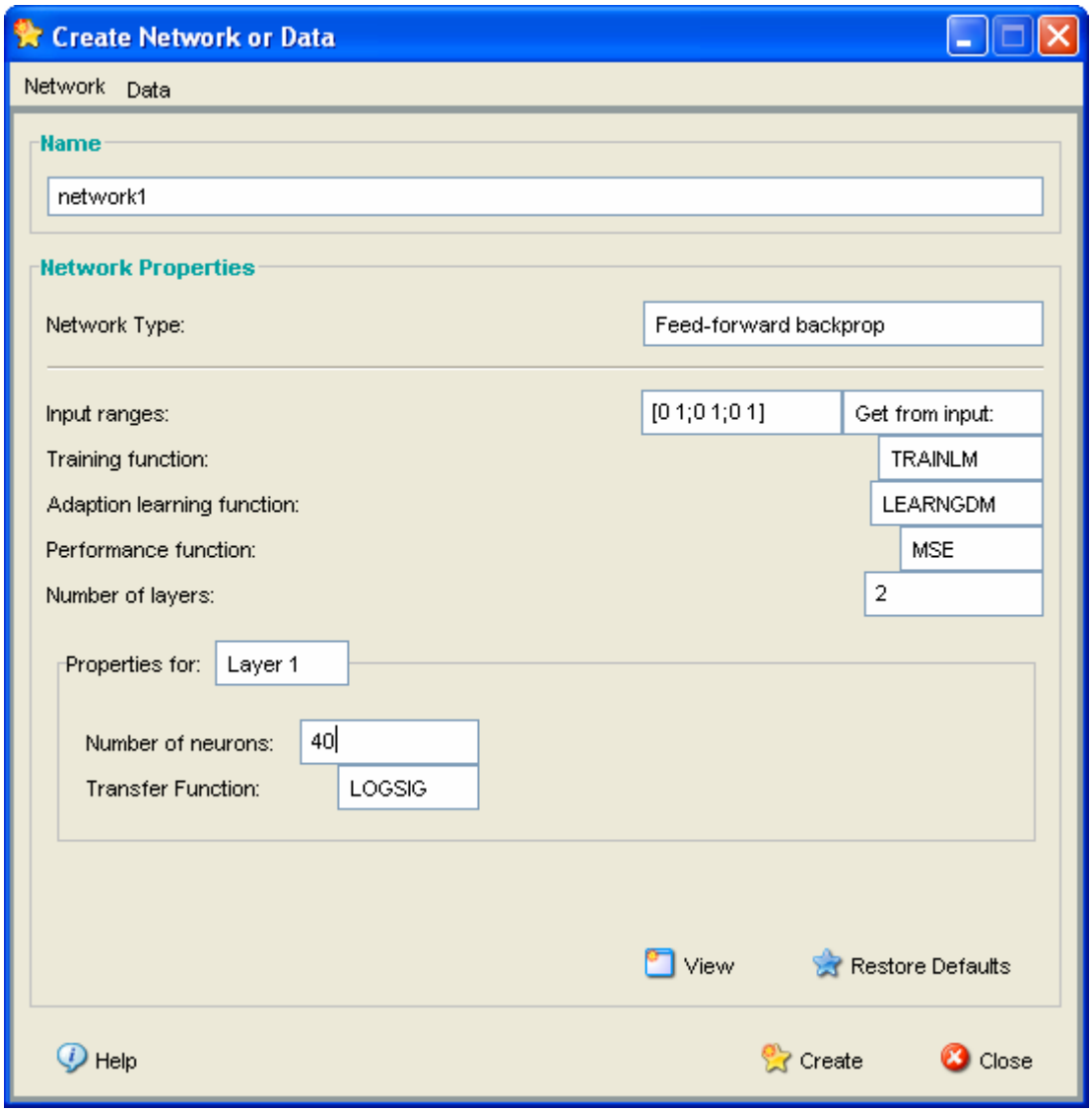


Şekil 3.8. YSA kullanıcı arayüzü.



Şekil 3.9. Veri giriş arayüzü.

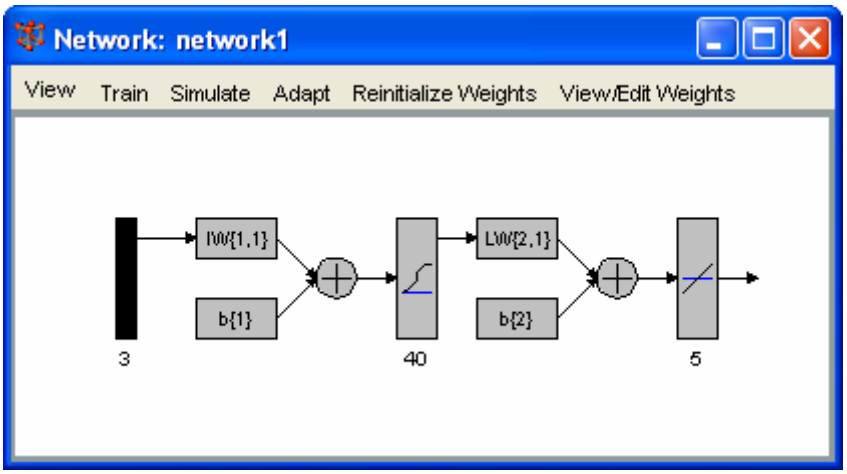
Bu pencerede önce veriler, test ve eğitim verileri ayrıca giriş ve çıkış verileri olarak düzenlenir. Test verileri, giriş için "Tgiris" ve çıkış için "Tcikis", eğitim verileri ise giriş için "Egiris" ve çıkış için "Ecikis" isimleri ile kodlanmıştır. Daha sonra ağ oluşturulmak üzere ağ penceresi seçilir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Ağ oluşturma arayüzü.

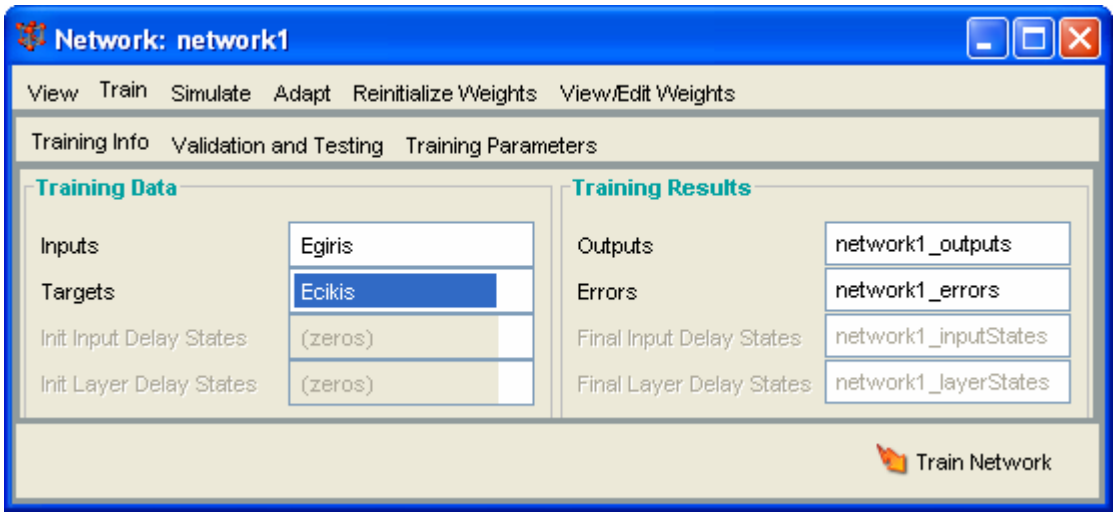
Bu pencerede ağ ismi, ağ tipi (Network Type), eğitim fonksiyonu (Training Function), öğrenme fonksiyonu (Adaption Learning Function), transfer fonksiyonu (Transfer Function) ve ara katman nöron sayısı seçilerek ağ oluşturulur. Çalışmada

ağ tipi olarak İleri Beslemeli ÇKP (Feed Forward Backprop), eğitim fonksiyonu trainlm, öğrenme fonksiyonları learngdm ile learngd ve transfer fonksiyonu tansig, logsig ve purelin fonksiyonları kullanılmıştır. Devam edildiğinde oluşturulan ağın görüntüsü (3 giriş, 5 çıkışlı) alınır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. 3 giriş ve 5 çıkışlı ağın görünümü.

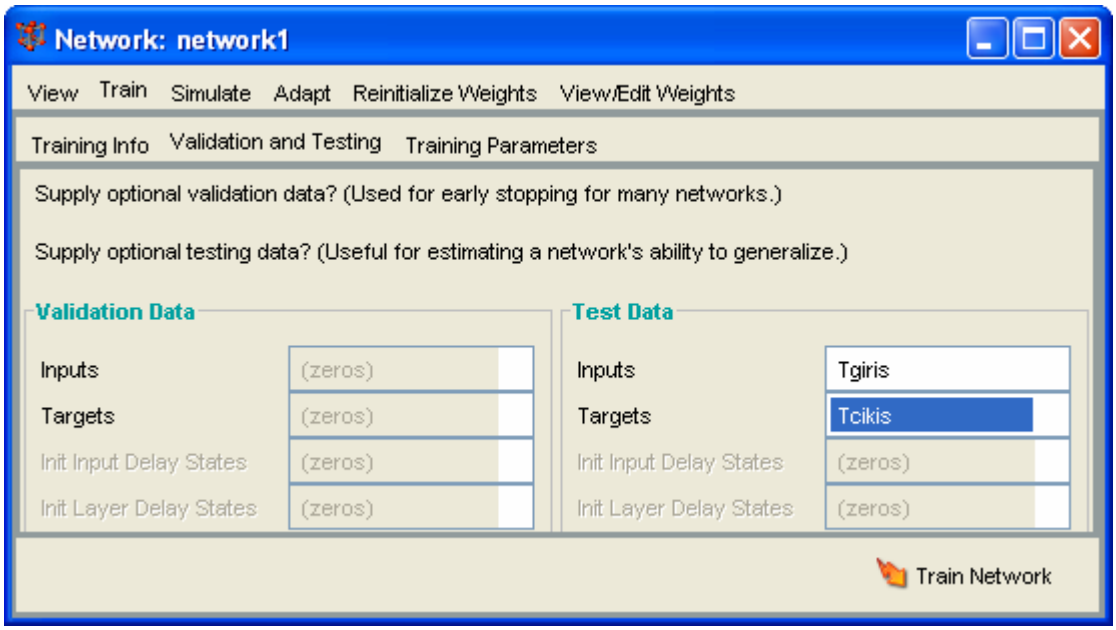
Açılan bu yeni pencerede ağın eğitimi gerçekleştirilir. Önce Train penceresi seçilir (Şekil 3.12). Train penceresi, Training Info, Validation and Testing ve Training Parameters olmak üzere 3 bölümden oluşur.



Şekil 3.12. Training info arayüzü.

Training Info bölümünde, Training Data alt bölümünden giriş (Inputs) ve çıkış (Targets) verileri seçilir. Yani Egiris ve Ecikis kodları seçilir (Şekil 3.12).

Sonra Validation and Testing bölümüne geçilir (Şeki1 3.13). Önce Supply Optional Testing Data seçeneği işaretlenir. Sonra Test Data alt bölümünden giriş (Inputs) ve çıkış (Targets) verileri seçilir. Yani Tgiris ve Tcikis kodları seçilir.

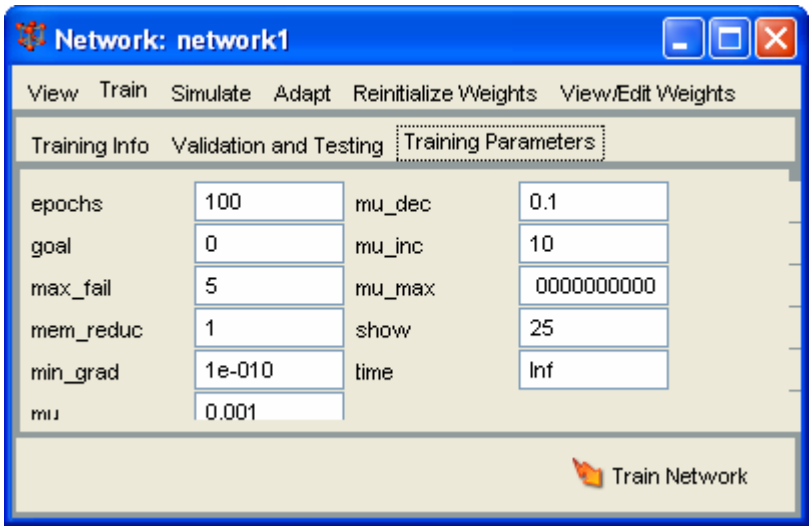


Şekil 3.13. Validation and testing arayüzü.

Daha sonrada Training Parameters bölümüne geçilir (Şeki1 3.14). Seçilen ağa ait parametreler görülmektedir. Eğitimde başarıya ulaşmak için bu parametreler değiştirilebilir. Çalışmada sadece epok sayısını değiştirmek yeterli olmuş, diğerleri için ise default değerleri kullanılmıştır (Çizelge 3.7).

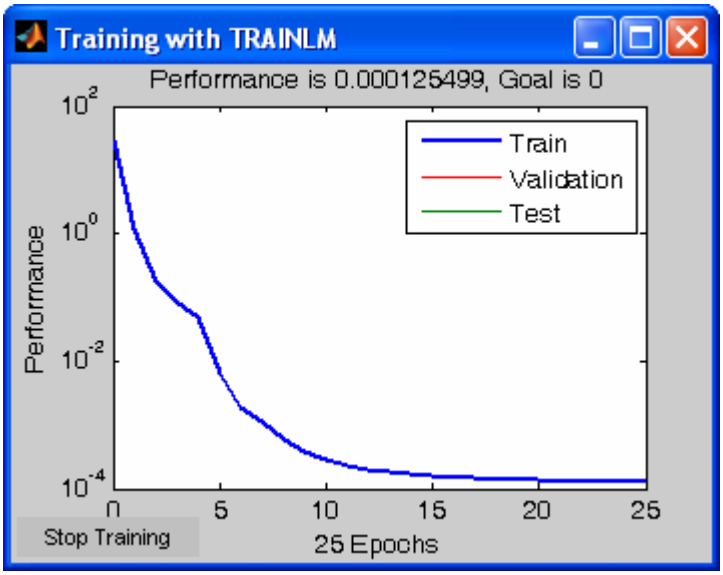
Çizelge 3.7. Trainlm fonksiyonunun eğitim parametrelerine ait default değerler.

Özellik	Default Değer	Açıklama
net.trainParam.epochs	100	Eğitim için Maksimum epok sayısı
net.trainParam.goal	0	Performans hedefi
net.trainParam.max_fail	5	Maksimum onaylama başarısızlıkları
net.trainParam.mem_reduc	1	Hafıza/Hız dengeleme faktörü
net.trainParam.min_grad	1e-10	Minimum performans değişimi
net.trainParam.mu	0.001	Başlangıç "mu" değeri
net.trainParam.mu_dec	0.1	"mu" düşüş faktörü
net.trainParam.mu_inc	10	"mu" artış faktörü
net.trainParam.mu_max	1e10	Maksimum "mu" değeri
net.trainParam.show	25	Grafik gösterimi için epok sayısı
net.trainParam.time	inf	Saniyede maksimum eğitim süresi



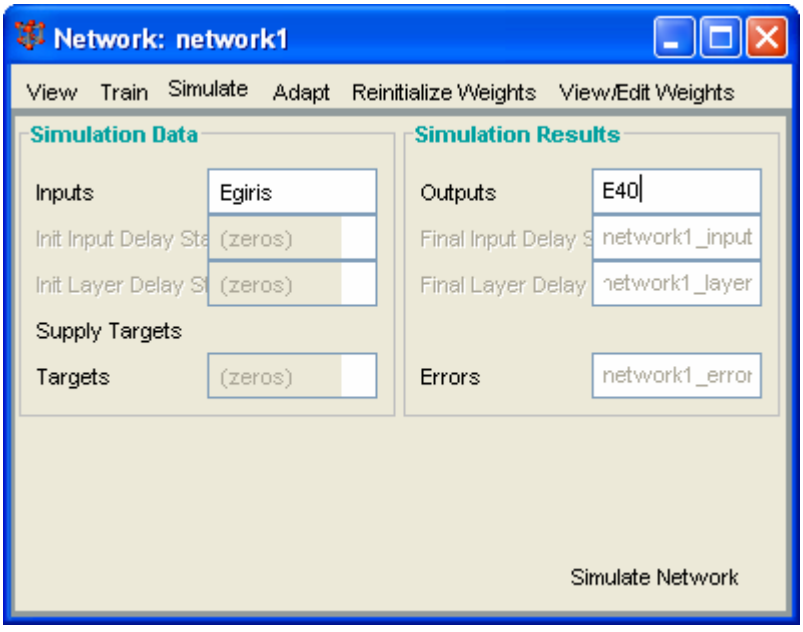
Şekil 3.14. Training parameters arayüzü.

Train Network ifadesi seçilerek eğitim başlatılır. Eğitim sonuçlanınca grafik olarak görüntü alınır (Şekil 3.15). Bu grafik eğitim hata grafiğidir.

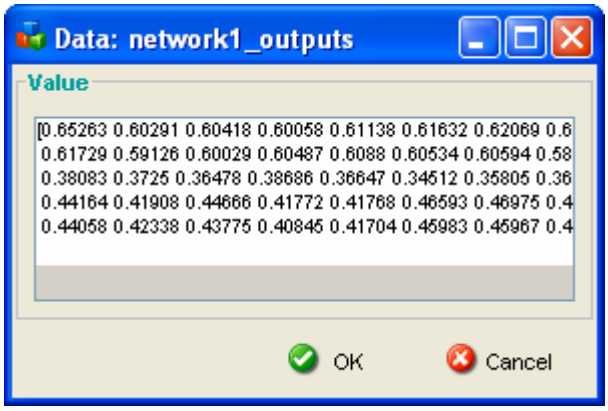


Şekil 3.15. Eğitim hata grafiği.

Daha sonra eğitim ve test verilerinin kıyaslanması amacı ile dolayısıyla ağın performansını belirlemek için simülasyon işlemi yapılır. Şekil 3.11' deki pencereden Simulate seçeneği seçilir (Şekil 3.16). Bu pencerede Simulation Data alt bölümünden Eğitim için "Egiris", Test için ise "Tgiris" kodları seçilir. Hem eğitim hem de test için simülasyon işlemi ayrı ayrı yapılır. Simülasyon yapıldıktan sonra eğitilmiş ve test edilmiş verilere ait sonuçlar elde edilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.16. Simulate arayüzü.



Şekil 3.17. Sonuç çıktı arayüzü.

Bu şekilde eğitime hatanın en düşük olduğu sonuca ulaşılıncaya kadar devam edilir. Eğitim işlemi tezde yer alan 3 yöntem içinde yapılmıştır. İstenen sonuçlar elde edildikten sonra bu sonuçlar YSA verileri olarak tezde kullanılmıştır.

3.2.5. Sonuçların performanslarının belirlenmesi

Hesaplama yöntemleri ile elde edilen değerlerin, ölçülen değerlerle arasındaki hata (ε) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Bağırkan 1993).

$$\varepsilon = \frac{100}{m} \sum_{1}^{m} \left| \frac{x - x_1}{x} \right|$$

ε : Hata (%),
m : Pompa (gözlem) sayısı,
x : Ölçülen değer,
x_1 : Hesaplanan değer.

Uyuşma derecesi sıfıra ne kadar yakın ise modeller arasında o kadar fazla uyum olduğunu söylemek mümkündür. Hesaplama yöntemleri ile elde edilen

değerlerin, ölçülen değerlerle uyuşma derecesi (U^2) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Bağırkan 1993).

$$U^2 = \frac{\sum_{1}^{m}(x_1 - x)^2}{\sum_{1}^{m}(x_1)^2}$$

U^2 : Uyuşma derecesi,
m : Pompa (gözlem) sayısı,
x : Ölçülen değer,
x_1 : Hesaplanan değer.

Ortalama hata kavramını temel alan ve yaygın şekilde kullanılan başlıca doğruluk ölçüleri arasında yer alan RMSE ve R^2 aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır (Bechtler ve ark. 2001).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{m}(x_1 - x)^2}{m}}$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sqrt{(1/m).\sum_{1}^{m}(x_1 - x)^2}}{\sum_{1}^{m}(x_1)^2} \right)$$

$RMSE$: Standart sapma (Root Mean Square Error),
R^2 : Determinasyon katsayısı,
m : Pompa (gözlem) sayısı,
x : Ölçülen değer,
x_1 : Hesaplanan değer.

3.2.6. Sonuçların istatistiksel analizi

Verilerin değerlendirilmesi için varyans analizi yapılmıştır. Pompa deneme sonuçlarının grafiksel gösterimindeki eğilim çizgileri ve verilere ait parametreler arasındaki ilişkiler Excel ve Minitab paket programlarından yararlanılarak yapılmıştır (Anonim 1991b).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1. Denemeleri Yapılan Pompalara Ait İşletme Karakteristikleri

Denemeler süresince ortam sıcaklığı 15-29°C, bağıl nem %51-72 ve pompalanan su sıcaklığı da 15-17°C arasında değişmiştir. Pompaların farklı devir sayısındaki deneme sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de toplu halde verilmiştir.

Her iki pompada da devir sayısı arttıkça, debi, manometrik yükseklik ve güç değerlerinin arttığı görülmektedir. Devir sayısı ile verim arasındaki ilişki ise belli bir devir sayısına kadar verim artarken daha sonra tekrar düşmektedir. Bunun nedeni, tasarım debisi dışındaki çalışma sonucu türbülans kayıplarının artmasına ve Reynolds benzerliğinin sağlanamamasına bağlanabilir (Baysal 1975, Tezer 1978, Karassik ve ark. 1986, Stepanoff 1993).

Çizelge 4.1. 5" lik pompanın farklı devir sayılarındaki deneme sonuçları.

n (min^{-1})	Q (l/s)	Hm (m)	Np (kW)	η (%)
1250	0	19.57	0.00	0.00
	20.68	18.55	7.47	50.27
	31.88	**16.51**	**9.06**	**56.89**
	42.68	11.95	10.71	46.66
	49.41	7.13	11.54	29.89
	52.53	2.30	11.82	10.00
1350	23.51	21.61	9.46	52.60
	39.82	**16.92**	**12.52**	**52.68**
	47.88	12.23	13.73	41.74
	53.32	7.40	14.48	26.68
1450	21.8	24.67	12.44	42.34
	33.85	**21.88**	**14.67**	**49.46**
	45.63	17.19	16.44	46.72
	51.75	12.50	17.42	36.36
	54.12	7.53	17.42	22.92

Çizelge 4.2. 4” lik pompanın farklı devir sayılarındaki deneme sonuçları.

n (min^{-1})	Q (l/s)	Hm (m)	Np (kW)	η (%)
1600	6	8.33	1.94	25.22
	17.49	**7.47**	**2.50**	**51.14**
	21.24	6.24	2.55	50.95
	23.51	4.93	2.54	44.66
	26.28	4.98	2.54	50.43
1810	4.81	11.37	2.29	23.35
	14.05	10.33	3.39	41.92
	21.24	**9.43**	**3.53**	**55.52**
	26.28	7.63	3.55	55.32
	29.97	5.50	3.46	46.60
2000	0	14.39	2.79	0.00
	15.48	12.72	4.44	43.40
	22.94	11.14	4.63	54.00
	28.1	**9.24**	**4.62**	**55.02**
	31.24	7.82	4.80	49.80
	33.19	6.41	4.60	45.32
2220	5.69	17.50	4.28	22.78
	18.53	16.38	6.07	48.99
	25.1	14.25	6.42	54.60
	28.1	**13.18**	**6.47**	**56.08**
	31.88	11.22	6.40	54.69
	33.85	9.83	6.67	48.84
	37.05	7.73	6.47	43.34
2330	0	20.51	4.38	0.00
	14.05	19.03	6.63	39.49
	21.8	16.75	7.29	49.05
	27.49	15.03	7.40	54.62
	31.88	**13.26**	**7.43**	**55.74**
	35.69	11.49	7.36	54.57
	37.73	8.09	7.78	38.42
2500	6.32	22.28	6.76	20.39
	20.14	21.45	8.41	50.31
	27.49	18.36	9.00	54.92
	33.19	**15.59**	**9.11**	**55.62**
	35.02	13.31	9.17	49.77
	37.05	11.95	9.27	46.76
	38.42	8.46	8.79	36.20

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'den, 4" ve 5" pompaların optimum devir sayılarının sırasıyla, 2220 min^{-1} ve 1250 min^{-1} olarak gerçekleştiği görülmektedir. Pompaların optimum devir sayısındaki işletme karakteristikleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

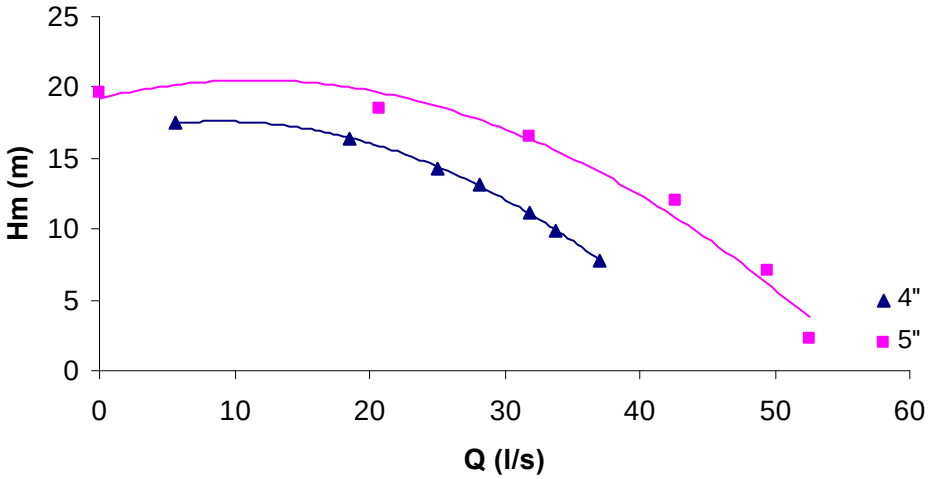
Çizelge 4.3. Pompaların optimum devir sayısındaki işletme karakteristikleri.

Pompa Anma Çapı	n (min^{-1})	Q (l/s)	Hm (m)	Np (kW)	η (%)	n_s (min^{-1})
4 (")	2220	28.10	13.18	6.47	56.08	53.78
5 (")	1250	31.88	16.51	9.06	56.89	27.25

Pompalar özgül hız bakımından değerlendirildiğinde, 4" (n_s = 53.78) ve 5" (n_s = 27.25)'lik pompaların her ikisinin de tam radyal tip oldukları söylenebilir. Özgül hıza göre sınıflandırmada, radyal çarklar için özgül hız, 10-58 arasındadır. Ayrıca özgül hız küçüldükçe çark çapı büyümüştür. Sonuçlar yapılan çalışmalarla uyum göstermektedir (Keskin ve Güner 2002). Ayrıca pompaların anma çapı büyüdükçe, pompa debisi ve pompa verimi de yükselmiştir. Bu sonuçlarda, literatür verilerini desteklemektedir (Baysal 1975, Gökelim 1976, Tezer 1978, Sönmez 1980, Karassik ve ark. 1986, Stepanoff 1993, Polat ve Canbazoğlu 1996, Yalçın 1998).

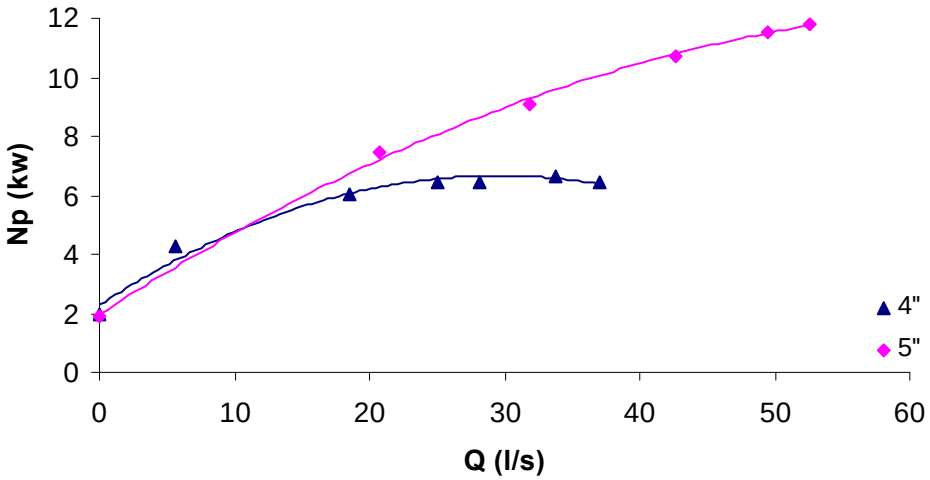
Pompaların optimum işletme karakteristikleri esas alındığında, 4" ve 5" pompaların optimum çalışma aralıkları sırasıyla, 26.69–29.50 l/s ve 30.28–33.47 l/s olduğu söylenebilir. Pompaların optimum devir sayılarındaki karakteristik eğrileri de Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Pompa işletme karakteristik eğrileri bakımından incelendiğinde; 4" ve 5" pompaların $Hm-Q$ eğrileri yatık karakterli olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.1). Bir başka ifadeyle küçük Hm değişimleri sonucunda daha büyük debi değişimleri oluşabilmektedir. Bu durum, pompa seçimi ve işletme sırasındaki olası değişiklerin doğuracağı sonuçlar açısından önemli olmaktadır (Tezer 1978, Karassik ve ark. 1986).



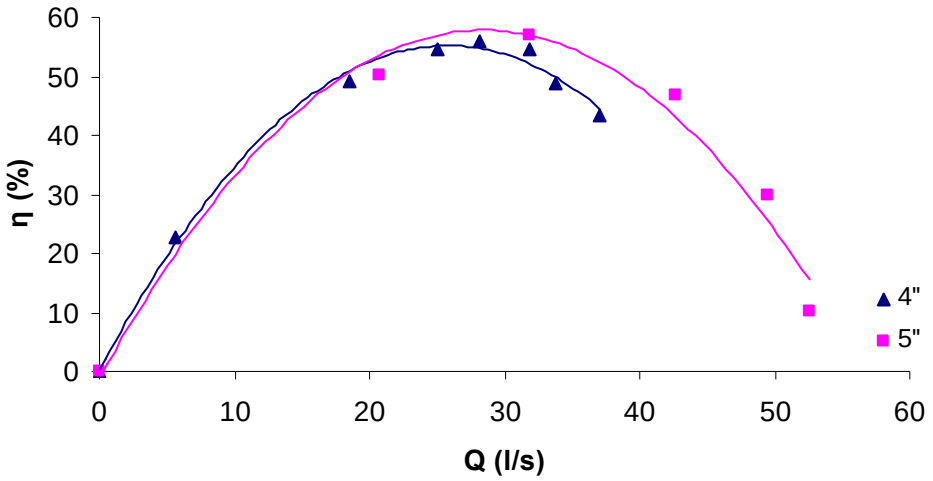
Şekil 4.1. Pompaların *Hm - Q* karakteristiği.

Pompaların *Np - Q* eğrileri incelendiğinde, güç değerleri debinin artışı ile artmıştır (Şekil 4.2). Bu eğriler, aşırı yüklü güç eğrisi karakterine uymaktadır. Bir başka ifadeyle tipik bir radyal pompa *Np - Q* karakteristiği göstermektedir (Tezer 1978).



Şekil 4.2. Pompaların *Np - Q* karakteristiği.

Her iki pompaya ait $\eta - Q$ eğrisi daha dar bir alanda gerçekleşirken (Şekil 4.3), debinin artması ile verim artmış ve bir maksimumdan geçtikten sonra düşmüştür (Keskin ve Güner 2002).



Şekil 4.3. Pompaların $\eta - Q$ karakteristiği.

4.2. Regresyon Tahmin Denklemlerine Ait Sonuçlar

Santrifüj pompaların ölçülen bazı yapısal boyutları (D_1, D_2, z, D_e, D_b) için Yöntem1'de kullanılan verilerden (Ek1) regresyon analizi yapılarak tahmin denklemleri elde edilmiştir. Elde edilen regresyon tahmin denklemleri aşağıda verilmiştir.

Çark Giriş Çapı;

$$D_1 = 434.25 + 0.1473.n + 447.02Q - 0.1279.Hm - 16.13\sqrt{n} - 422.59\sqrt{Q} + 44.75\sqrt{Hm} + 18.55\sqrt{n.Q} - 0.5745\sqrt{n.Hm} - 85.84\sqrt{Q.Hm}$$

Çark Çıkış Çapı;

$$D_2 = 461.64 + 0.0537.\mathrm{n} + 1012.41.Q - 5.\mathrm{Hm} - 11.40.\sqrt{\mathrm{n}} - 479.39.\sqrt{Q} + 58.35.\sqrt{\mathrm{Hm}} + 9.9.\sqrt{\mathrm{n}.Q} - 0.0982.\sqrt{\mathrm{n}.\mathrm{Hm}} - 15.03.\sqrt{Q.\mathrm{Hm}}$$

Çark Kanat Sayısı;

$$z = 1.03 - 0.0026.\mathrm{n} - 6.46.Q - 0.0777.\mathrm{Hm} + 0.2459.\sqrt{\mathrm{n}} + 10.68.\sqrt{Q} - 0.0933.\sqrt{\mathrm{Hm}} - 0.4023.\sqrt{\mathrm{n}.Q} + 0.0126.\sqrt{\mathrm{n}.\mathrm{Hm}} + 0.9332.\sqrt{Q.\mathrm{Hm}}$$

Pompa Giriş (Emme) Borusu Çapı;

$$D_e = 593.69 + 0.1810.\mathrm{n} + 1107.42.Q + 0.0144.\mathrm{Hm} - 20.56.\sqrt{\mathrm{n}} - 700.81.\sqrt{Q} + 14.46.\sqrt{\mathrm{Hm}} + 17.44.\sqrt{\mathrm{n}.Q} - 0.1161.\sqrt{\mathrm{n}.\mathrm{Hm}} - 39.05.\sqrt{Q.\mathrm{Hm}}$$

Pompa Çıkış (Basma) Borusu Çapı;

$$D_b = 579.71 + 0.1935.\mathrm{n} + 1119.62.Q + 0.9254.\mathrm{Hm} - 20.54.\sqrt{\mathrm{n}} - 731.87.\sqrt{Q} + 21.09.\sqrt{\mathrm{Hm}} + 18,.2.\sqrt{\mathrm{n}.Q} - 0.4497.\sqrt{\mathrm{n}.\mathrm{Hm}} - 37.93.\sqrt{Q.\mathrm{Hm}}$$

Elde edilen bu denklemlerin çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş (emme) borusu çapı ve pompa çıkış (basma) borusu çapı için determinasyon katsayıları (R^2) sırasıyla %92.3, %87, %16.4, %90.6 ve %91.5 olarak bulunmuştur.

Santrifüj pompaların deneysel performans sonuçları (n, Q, Hm) için Yöntem2'de kullanılan verilerden (Ek2) regresyon analizi yapılarak, tahmin denklemleri elde edilmiştir. Elde edilen regresyon tahmin denklemleri aşağıda verilmiştir:

Devir Sayısı;

$$n = 1872.16 - 30.58.\mathrm{D_1} + 12.32.\mathrm{D_2} + 512.53.\mathrm{z} + 166.58.\mathrm{D_e} - 158.64.\mathrm{D_b} + 0.1847.\mathrm{D_1^2} - 0.0665.\mathrm{D_2^2} - 17.87.z^2 + 1.10.\mathrm{D_e^2} + 0.2032.\mathrm{D_b^2} + 0.2327.\mathrm{D_1}.\mathrm{D_2} + 3.48.\mathrm{D_1}.\mathrm{z} - 1.14.\mathrm{D_1}.\mathrm{D_e} + 0.4941.\mathrm{D_1}.\mathrm{D_b} - 2.66.\mathrm{D_2}.\mathrm{z} - 0.1122.\mathrm{D_2}.\mathrm{D_e} + 0.0939.\mathrm{D_2}.\mathrm{D_b} - 24.32.\mathrm{z}.\mathrm{D_e} + 22.22.\mathrm{z}.\mathrm{D_b} - 1.007.\mathrm{D_e}.\mathrm{D_b}$$

Debi;

$$Q = -0.02457 + 0.0002.D_1 + 0.0001.D_2 - 0.0035.z + 0.0026.D_e - 0.0024.D_b + 9.82.D_1^2 - 2.04.D_2^2 + 0.0001.z^2 - 0.00001.D_e^2 - 0.000003.D_b^2 - 0.000001.D_1.D_2 + 0.000006.D_1.z + 5.7.D_1.D_e - 0.000001.D_1.D_b + 0.00001.D_2.z - 8.36.D_2.D_e + 5.36.D_2.D_b - 0.0003.z.D_e + 0.0002.z.D_b + 0.00001.D_e.D_b$$

Manometrik Yükseklik;

$$Hm = 20.27 + 0.1325.D_1 - 0.4456.D_2 - 0.6052.z + 6.D_e - 5.36.D_b + 0.0077.D_1^2 + 0.0017.D_2^2 - 0.4143.z^2 + 0.0417.D_e^2 + 0.0064.D_b^2 - 0.0056.D_1.D_2 + 0.0153.D_1.z - 0.031.D_1.D_e + 0.0259.D_1.D_b + 0.0768.D_2.z - 0.0099.D_2.D_e + 0.0088.D_2.D_b - 0.7059.z.D_e + 0.6107.z.D_b - 0.0461.D_e.D_b$$

Elde edilen bu denklemlerin devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik değerleri için determinasyon katsayıları (R^2) sırasıyla %83.5, %95 ve %70.5 olarak bulunmuştur.

Santrifüj pompaların deneysel performans sonuçları (n, Q, Hm) için Yöntem3'de kullanılan verilerden (Ek3) regresyon analizi yapılarak, tahmin denklemleri elde edilmiştir. Elde edilen regresyon tahmin denklemleri aşağıda verilmiştir:

Devir Sayısı;

$$n = 2835.78 - 52.88.D_1 - 5.62.D_2 + 517.74.z + 68.36.D_e - 28.41.D_b - 0.0752.D_1^2 - 0.0094.D_2^2 - 28.88.z^2 + 1.52.D_e^2 + 0.1996.D_b^2 + 0.1726.D_1.D_2 + 8.79.D_1.z - 0.9406.D_1.D_e + 0.7505.D_1.D_b - 1.44.D_2.z - 0.1293.D_2.D_e + 0.0573.D_2.D_b - 16.18.z.D_e + 8.83.z.D_b - 1.57.D_e.D_b$$

Debi;

$$Q = -0.0072 + 0.0004.D_1 - 0.00004.D_2 - 0.0068.z + 0.0021.D_e - 0.0018.D_b + 0.000001.D_1^2 - 0.0000002.D_2^2 + 0.0003.z^2 - 0.000009.D_e^2 - 0.000002.D_b^2 - 0.0000005.D_1.D_2 - 0.00005.D_1.z - 0.000007.D_1.D_e + 0.000005.D_1.D_b + 0.00002.D_2.z + 0.000006.D_2.D_e - 0.000005.D_2.D_b - 0.0002.z.D_e + 0.0002.z.D_b + 0.00001.D_e.D_b$$

Manometrik Yükseklik;

$$Hm = 17.58 - 0.2518.D_1 - 0.3810.D_2 + 0.4483.z - 0.4336.D_e + 1.34.D_b + 0.0012.D_1^2 + 0.0019.D_2^2 - 0.3533.z^2 + 0.0222.D_e^2 + 0.0051.D_b^2 - 0.0043.D_1.D_2 + 0.0935.D_1.z + 0.0047.D_1.D_e - 0.0019.D_1.D_b + 0.0480.D_2.z - 0.0088.D_2.D_e + 0.0069.D_2.D_b + 0.0255.z.D_e - 0.1629.z.D_b - 00278.D_e.D_b$$

Elde edilen bu denklemlerin devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik değerleri için determinasyon katsayıları (R^2) sırasıyla %82, %77 ve %52 olarak bulunmuştur.

4.3. Radyal Santrifüj Pompaların Yapay Sinir Ağları ile Tasarımı

Bir santrifüj pompaya ait mühendislik hesapları ve tasarımı için pompanın çalışma koşulları ve buna bağlı olarak karakteristiklerinin bilinmesi gerekir. Tasarım için genellikle üç karakteristik büyüklüğün bilinmesi yeterli olmaktadır (Baysal 1975). Bunlar;

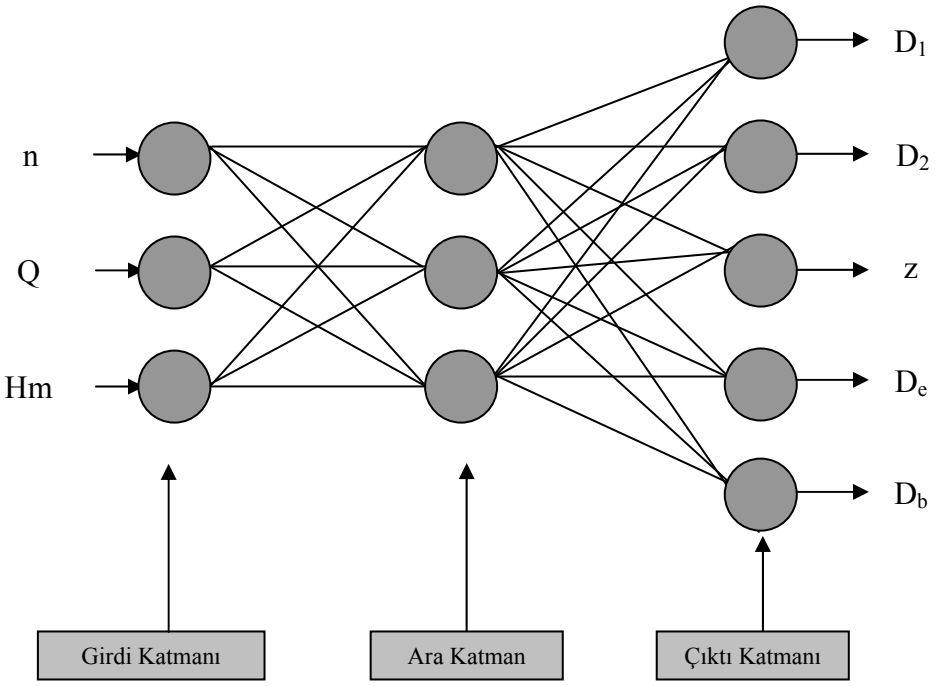
- Manometrik yükseklik (H_m),
- Debi (Q),
- Devir sayısı (n) ‘dır.

Pompa tasarımında, çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı boyutları Yapay Sinir Ağları teknikleri kullanılarak elde edilmiştir.

4.3.1.Yöntem1 (Model1)

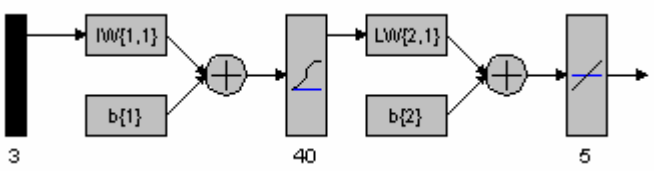
Yöntem1 için YSA modeli olarak Model1 oluşturulmuştur. Model1’de, devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik olmak üzere 3 giriş parametresi ve çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı olmak üzere 5 çıkış parametresi kullanılmıştır (Şekil 4.4).

Bu çalışmada ayrıca, 5 çıkış parametresi ayrı ayrı tek çıkış olarak kullanılarak da değerlendirilmiştir. Ancak 5 çıkışlı ve tek çıkışlı çalışmalara ait hatalar arasında istatistiki açıdan herhangi bir farklılık bulunamadığı için sadece 5 çıkışlı çalışma tezde yer almıştır.



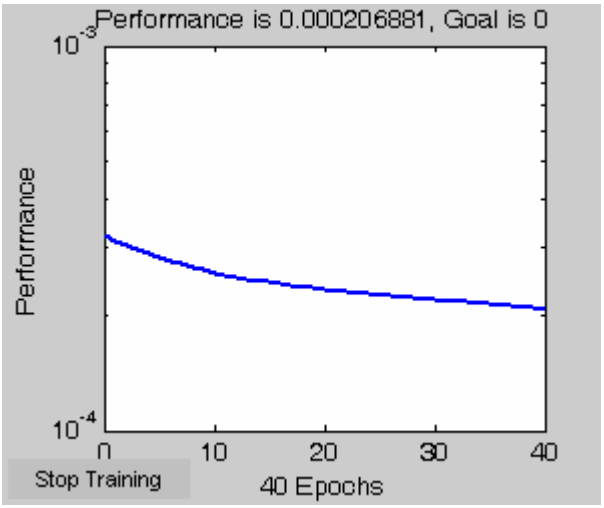
Şekil 4.4. Radyal santrifüj pompanın nöral tasarımı için Model1'in gösterimi.

Şekil 4.5'de YSA modeli olarak oluşturulan Model1'e ait ağın yapısı verilmiştir.



Şekil 4.5. Model1'e ait ağın yapısı.

Gizli katmandaki nöron sayıları için 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 değerleri kullanılmış ve en uygun sonucu veren 40 nöronlu gizli katmana sahip ağ seçilmiştir. YSA için girişte 3 nöron, gizli katmanda 40 nöron ve çıkışta da 5 nöron olmak üzere üç katman oluşturulmuştur. Buna göre oluşturulan ağ için 40 epok sonucunda en düşük eğitim hatası değeri elde edilmiştir (Şekil 4.6). Geliştirilen ağda kullanılan veriler, Ek1'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Eğitim hata grafiği.

YSA modelinde (Model1), Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve İleri Beslemeli (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) ağ yapısı kullanılmıştır (Jacobs 1988, Minai ve Williams 1990). Geliştirilen YSA modeli (Model1) için giriş katları logsig ve çıkış katları purelin transfer fonksiyonuna sahipken, gizli katlar sigmoid transfer fonksiyonuna sahiptir. Ağ öğrenme fonksiyonu olarak ise Learngdm (Gradient Descent With Momentum Weight And Bias Learning Function) fonksiyonu kullanılmıştır. YSA modeliyle (Model1) elde edilen test sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Model1'den elde edilen test sonuçları.

Kod	GİRİŞLER			ÇIKIŞLAR				
	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)
* TE4	1300	0.03194	13.17	124.9	255.3	6.9	102.8	98.4
* TE14	1400	0.04112	9.70	127.4	254.4	7.1	101.3	99.3
* TE23	1600	0.02101	24.22	121.3	247.9	6.9	107.7	103.7
* TE31	1700	0.03333	25.14	115.8	246.5	6.8	96.4	91.7
* TE54	1000	0.06011	7.74	145.7	272.5	6.0	153.6	147.9
* TE71	1200	0.08632	7.64	146.8	265.8	6.0	156.5	153.6
* TE91	700	0.04839	6.24	185.8	305.5	6.1	196.5	190.7
+ RG25	2900	0.0145	29.00	72.9	162.4	5.6	69.2	61.0
- 11*26	2650	0.00871	61.95	103.5	88.9	6.1	80.3	74.7
- 10*12	3000	0.01036	28.35	78.0	150.9	6.9	63.7	56.7
- 10*17	3000	0.01193	25.03	79.6	151.8	6.8	64.6	58.2
- 10*22	3000	0.0123	23.00	79.3	150.1	6.8	63.6	56.6
- 10*45	3009	0.0114	20.20	76.5	145.7	6.8	59.2	50.2
^ AT4	1600	0.02351	4.93	107.9	187.5	6.0	97.8	101.2
^ AT22	2220	0.0251	14.25	114.3	180.4	5.8	107.4	106.0
^ AT36	1810	0.02628	7.63	106.5	184.5	6.0	97.0	96.2

*:Eryılmaz 2004, +:Gürhan ve Ayık 1991, - :Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997) ,^ :Tezde Yapılan Deneyler.

Her bir tasarım parametresi için YSA modellerinden elde edilen sonuçlar, teorik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.3.1.1. Çark giriş çapı

Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları, teorik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir.

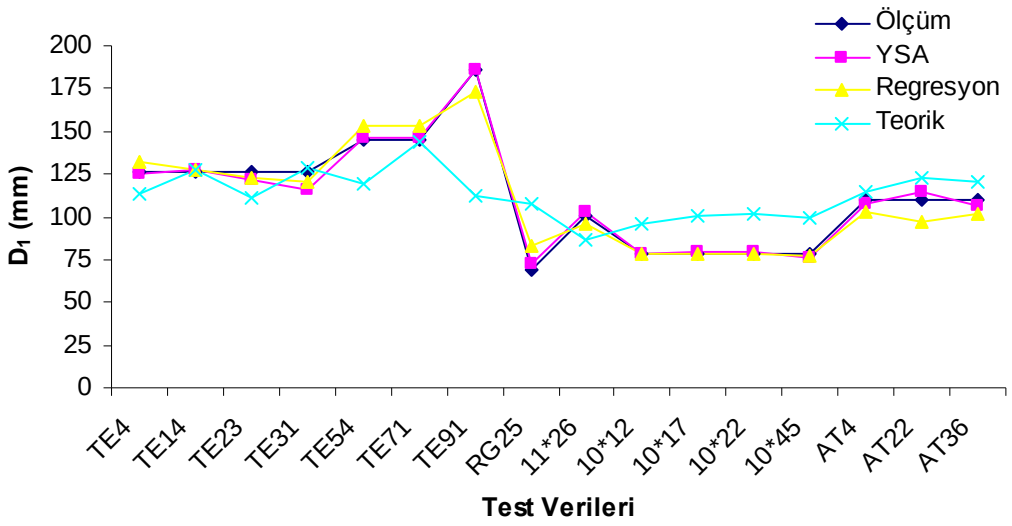
Çizelge 4.5. Ölçüm sonuçları ile YSA, regresyon ve teorik sonuçlara ait çark giriş çapı verileri ve hata değerleri.

Kod	Ölçüm	YSA		Regresyon		Teorik	
	D_1	D_1	Hata ε	D_1	Hata ε	D_1	Hata ε
* TE4	126.00	124.90	0.85	132.13	4.87	113.17	10,18
* TE14	126.00	127.40	1.12	127.15	0.91	127.83	1,45
* TE23	126.00	121.30	3.72	123.02	2.36	110.84	12,03
* TE31	126.00	115.80	8.12	120.60	4.29	129.10	2,46
* TE54	145.00	145.70	0.48	152.80	5.38	119.82	17,36
* TE71	145.00	146.80	1.23	153.29	5.72	144.37	0,44
* TE91	186.00	185.80	0.11	172.94	7.02	112.40	39,57
+ RG25	69.00	72.90	5.60	83.42	20.90	107.47	55,75
- 11*26	100.50	103.50	2.98	96.05	4.43	86.78	13,65
- 10*12	78.15	78.00	0.18	78.02	0.17	95.68	22,43
- 10*17	78.15	79.60	1.80	78.90	0.97	100.91	29,12
- 10*22	78.15	79.30	1.51	78.83	0.86	102.06	30,59
- 10*45	78.15	76.50	2.14	76.74	1.81	99.21	26,94
^ AT4	110.00	107.90	1.93	102.48	6.83	115.02	4,56
^ AT22	110.00	114.30	3.95	97.35	11.50	122.92	11,74
^ AT36	110.00	106.50	3.22	102.27	7.03	120.98	9,98
	Ortalama Hata :		**2.43**		**5.32**		**18.02**

*:Eryılmaz 2004, +:Gürhan ve Ayık 1991, - :Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997) ,^ :Tezde Yapılan Deneyler.

Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %2.43, regresyon tahmin denklemlerinde %5.32 ve teorik sonuçlarda ise %18.02 bulunmuştur. Regresyon tahmin denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %119 daha fazla bulunurken, teorik sonuçların ortalama hatası %641 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yöntemlere göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Teorik sonuçlar ise ölçüm sonuçlarına en uzak olan sonuçları vermiştir.

Şekil 4.7'de ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) çark giriş çapı verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.



Şekil 4.7. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_1 grafiği.

Çizelge 4.6'da çark giriş çapına ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA, Regresyon ve Teorik sonuçlara ait çark giriş çapı verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.6. Çark giriş çapına ait varyans analiz tablosu.

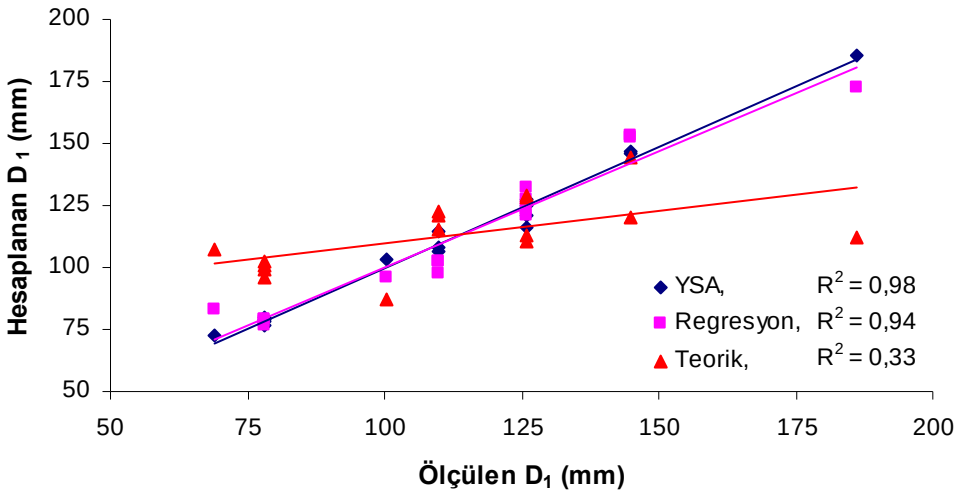
Varyasyon Kaynakları	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F Değeri**	**Prob > F**
Konu	2	93669	46835	0.0905	0.9138
Hata	27	13974126	517560		
Genel	29	14067795			
DK : % 24					

Çizelge 4.7'de çark giriş çapına ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7. Çark giriş çapına ait ortalama değerler.

Konu	Ortalama D_1
Regresyon	111.00
YSA	111.63
Ölçüm	112.01
Teorik	113.03

Ölçülen D_1 ile hesaplanan D_1 (YSA, Regresyon ve Teorik) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %98, Regresyon için %94 ve Teorik için %33 bulunmuştur (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_1 sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen D_1 ile hesaplanan D_1 (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.8'de doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.8. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Tahmin	Std. Hata	t Değeri	Prob>|t|
Orijin	-0.892267	3.588936	-0.25	0.8073
b	1.011359	0.031042	32.58	<.0001

Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.0113 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA, regresyon ve teorik modeller için sırasıyla 0.0009, 0.0042 ve 0.0495 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modellere kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

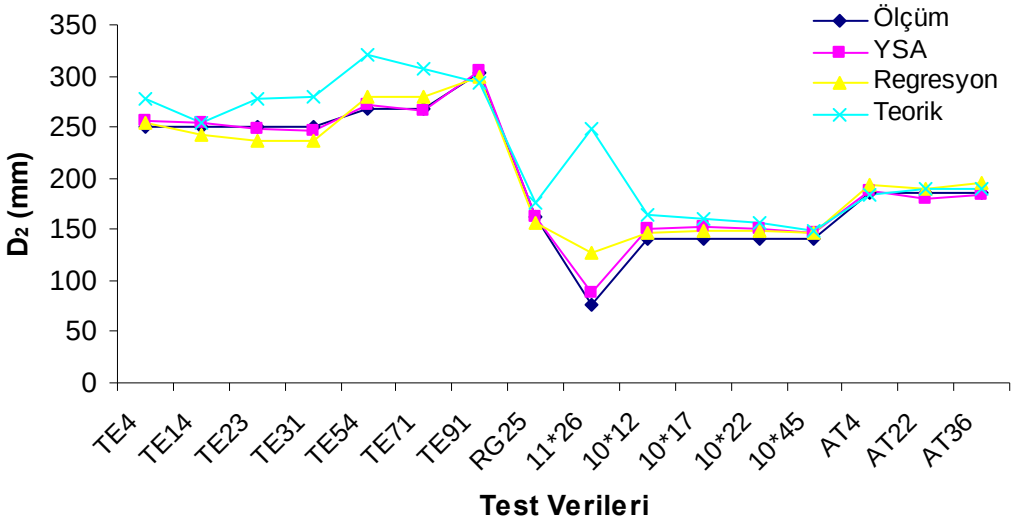
4.3.1.2. Çark çıkış çapı

Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları, teorik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %3.37, regresyon tahmin denklemlerinde %8.06 ve teorik sonuçlarda ise %22.57 bulunmuştur. Regresyon tahmin denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %139 daha fazla bulunurken teorik sonuçların ortalama hatası %569 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yöntemlere göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Teorik sonuçlar ise ölçüm sonuçlarına en uzak olan sonuçları vermiştir.

Çizelge 4.9. Ölçüm sonuçları ile YSA, regresyon ve teorik sonuçlara ait çark çıkış çapı verileri ve hata değerleri.

Kod	Ölçüm	YSA		Regresyon		Teorik	
	D_2	D_2	Hata ε	D_2	Hata ε	D_2	Hata ε
* TE4	250.00	255.27	2.11	254.11	1.64	277.66	11.06
* TE14	250.00	254.36	1.74	242.04	3.19	254.04	1.61
* TE23	250.00	247.86	0.86	236.66	5.34	278.00	11.20
* TE31	250.00	246.51	1.40	236.36	5.46	280.07	12.03
* TE54	267.00	272.54	2.08	279.60	4.72	320.46	20.02
* TE71	267.00	265.81	0.45	279.89	4.83	307.57	15.19
* TE91	304.00	305.51	0.50	298.52	1.80	293.79	3.36
+ RG25	162.00	162.41	0.25	155.54	3.99	176.74	9.10
- 11*26	76.80	88.86	15.71	127.28	65.73	248.80	223.95
- 10*12	140.90	150.89	7.09	147.30	4.54	164.93	17.06
- 10*17	140.90	151.77	7.71	148.87	5.66	160.38	13.83
- 10*22	140.90	150.14	6.56	148.75	5.57	156.64	11.17
- 10*45	140.90	145.71	3.42	146.00	3.62	149.02	5.77
^ AT4	185.00	187.50	1.35	193.58	4.64	183.02	1.07
^ AT22	185.00	180.43	2.47	189.59	2.48	188.90	2.11
^ AT36	185.00	184.52	0.26	195.71	5.79	189.76	2.57
	Ortalama Hata :		**3.37**		**8.06**		**22.57**

*:Eryılmaz 2004, +:Gürhan ve Ayık 1991, - :Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997) ,^ :Tezde Yapılan Deneyler.



Şekil 4.9. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_2 grafiği.

Şekil 4.9'da ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) çark çıkış çapı verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.

Çizelge 4.10'da çark çıkış çapına ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA, Regresyon ve Teorik sonuçlara ait çark çıkış çapı verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Çark çıkış çapına ait varyans analiz tablosu.

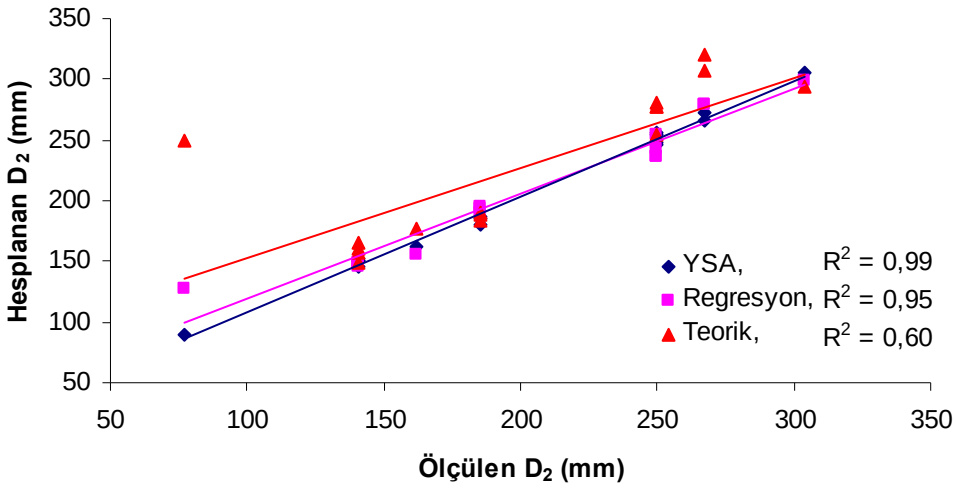
Varyasyon Kaynakları	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F Değeri**	**Prob > F**
Konu	3	7286.62	2428.87	0.6623	0.5785
Hata	60	220056.32	3667.61		
Genel	63	227342.94			
DK : % 29					

Çizelge 4.11'de çark çıkış çapına ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.11 . Çark çıkış çapına ait ortalama değerler.

Konu	**Ortalama D_2**
Ölçüm	199.71
YSA	203.13
Regresyon	204.99
Teorik	226.86

Ölçülen D_2 ile hesaplanan D_2 (YSA, Regresyon ve Teorik) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için % 99, Regresyon için %95 ve Teorik için %60 bulunmuştur (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_2 sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen D_2 ile hesaplanan D_2 (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analiz yapılmış ve Çizelge 4.12'de doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.12. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	t Değeri	Prob>|t|
Orijin	-12.35522	4.165209	-2.97	0.0102
b	1.0439933	0.019691	53.02	<.0001

Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.043 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçüm değerleriyle, hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA, regresyon ve teorik modeller için sırasıyla 0.0008, 0.0053 ve 0.0434 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer

modellere kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.3.1.3. Çark kanat sayısı

Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları, teorik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Ölçüm sonuçları ile YSA, regresyon ve teorik sonuçlara ait çark kanat sayısı verileri ve hata değerleri.

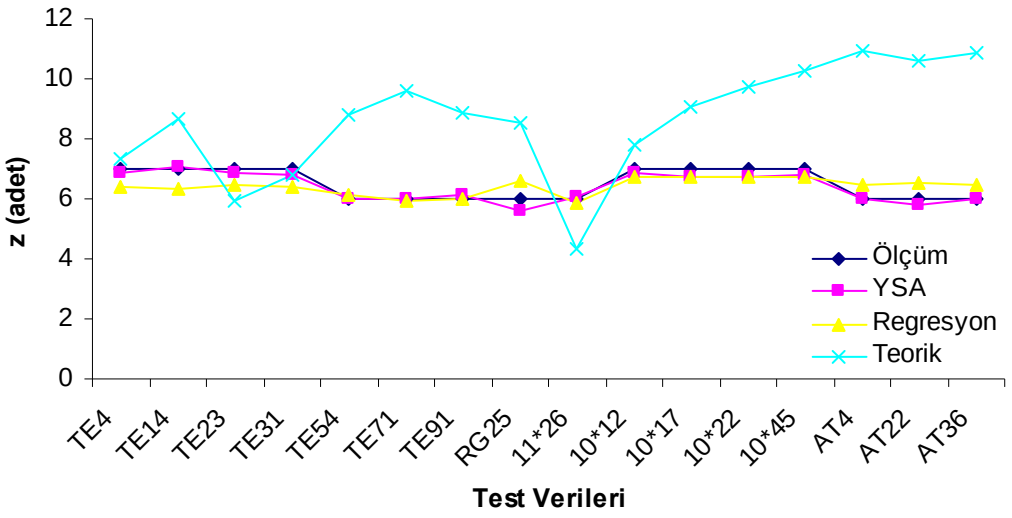
Kod	Ölçüm	YSA		Regresyon		Teorik	
	z	z	Hata ε	z	Hata ε	z	Hata ε
* TE4	7.00	6.88	1.68	6.43	8.16	7.31	4.44
* TE14	7.00	7.06	0.88	6.35	9.23	8.65	23.51
* TE23	7.00	6.87	1.80	6.48	7.39	5.94	15.17
* TE31	7.00	6.79	3.01	6.38	8.89	6.82	2.59
* TE54	6.00	6.03	0.47	6.13	2.21	8.82	47.00
* TE71	6.00	5.98	0.40	5.94	0.95	9.62	60.35
* TE91	6.00	6.11	1.91	5.99	0.13	8.85	47.42
+ RG25	6.00	5.62	6.34	6.62	10.26	8.52	42.05
- 11*26	6.00	6.10	1.63	5.87	2.12	4.35	27.53
- 10*12	7.00	6.87	1.86	6.75	3.64	7.81	11.64
- 10*17	7.00	6.75	3.53	6.72	4.01	9.08	29.75
- 10*22	7.00	6.76	3.45	6.72	4.03	9.74	39.13
- 10*45	7.00	6.79	2.98	6.76	3.49	10.26	46.52
^ AT4	6.00	5.99	0.09	6.45	7.58	10.96	82.74
^ AT22	6.00	5.79	3.47	6.55	9.21	10.58	76.29
^ AT36	6.00	6.02	0.30	6.49	8.17	10.87	81.13
	Ortalama Hata:		**2.11**		**5.59**		**39.83**

*:Eryılmaz 2004, +:Gürhan ve Ayık 1991, - :Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997) ,^ :Tezde Yapılan Deneyler.

Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %2.11,

regresyon tahmin denklemlerinde %5.59 ve teorik sonuçlarda ise %39.83 bulunmuştur. Regresyon tahmin denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %165 daha fazla bulunurken teorik sonuçların ortalama hatası %1787 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yöntemlere göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Teorik sonuçlar ise ölçüm sonuçlarına en uzak olan sonuçları vermiştir.

Şekil 4.11'de ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) çark kanat sayısı verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.



Şekil 4.11. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) z grafiği.

Çizelge 4.14'de çark kanat sayısına ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA, Regresyon ve Teorik sonuçlara ait çark kanat sayısı verileri arasındaki farkın istatistiki olarak önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.14. Çark kanat sayısına ait varyans analiz tablosu.

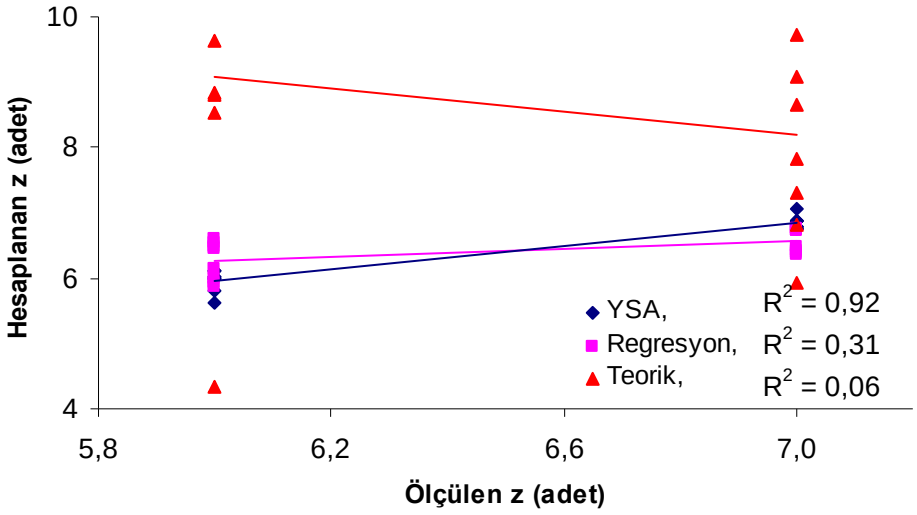
Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob > F
Konu	3	58.02438	19.3415	19.542	<.0001
Hata	60	59.38264	0.9897		
Genel	63	117.40702			
DK : % 14					

Çizelge 4.15'de çark kanat sayısına ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olup, ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon aynı grupta yer alırken teorik farklı grupta yer almıştır. YSA ve regresyon aynı grupta olmasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.15. Çark kanat sayısına ait ortalama değerler.

Konu	Ortalama z
Teorik	8.6 a
Ölçüm	6.5 b
Regresyon	6.4 b
YSA	6.4 b
LSD : 0.7	

Ölçülen z ile hesaplanan z (YSA, Regresyon ve Teorik) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %92, Regresyon için %31 ve Teorik için %6 bulunmuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) z sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen z ile hesaplanan z (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.16'da doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.16. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	t Değeri	Prob>|t|
Orijin	-0.116597	0.514251	-0.23	0.8239
b	1.033643	0.080125	12.90	<.0001

Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.033 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçüm değerleriyle, hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA, regresyon ve teorik modeller için sırasıyla 0.0007,

0.0043 ve 0.1082 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modellere kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.3.1.4. Pompa giriş borusu çapı

Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları, teorik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.17'de verilmiştir.

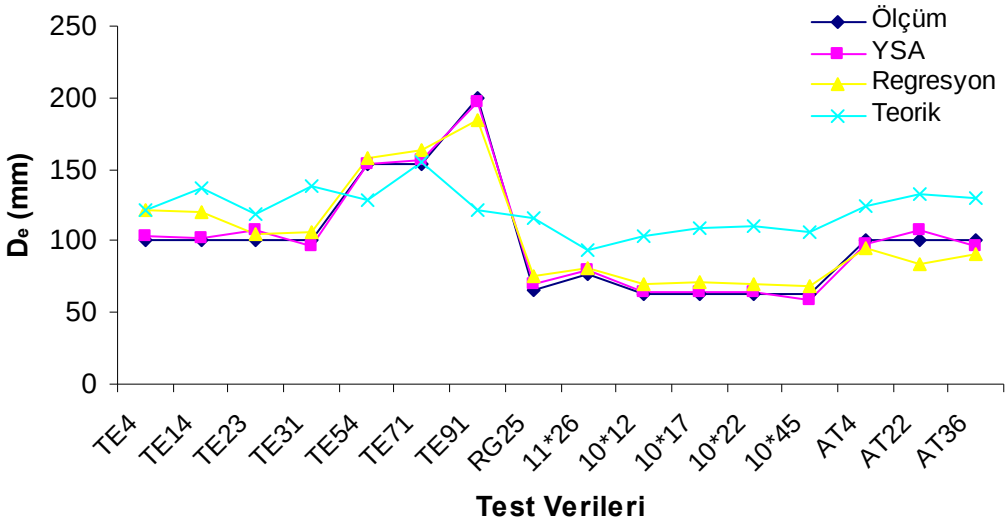
Çizelge 4.17. Ölçüm sonuçları ile YSA, regresyon ve teorik sonuçlara ait pompa giriş borusu çapı verileri ve hata değerleri.

Kod	Ölçüm	YSA		Regresyon		Teorik	
	D_e	D_e	Hata ε	D_e	Hata ε	D_e	Hata ε
* TE4	100.00	102.79	2.79	122.12	22.12	121.69	21.69
* TE14	100.00	101.35	1.35	120.32	20.32	137.45	37.45
* TE23	100.00	107.72	7.72	104.24	4.24	119.19	19.19
* TE31	100.00	96.37	3.63	106.79	6.79	138.82	38.82
* TE54	154.00	153.62	0.25	157.80	2.46	128.84	16.34
* TE71	154.00	156.46	1.60	162.93	5.80	155.23	0.80
* TE91	200.00	196.48	1.76	184.27	7.86	120.86	39.57
+ RG25	65.00	69.23	6.51	75.13	15.59	115.56	77.78
- 11*26	76.20	80.25	5.32	81.63	7.13	93.32	22.46
- 10*12	63.50	63.73	0.36	69.99	10.22	102.88	62.01
- 10*17	63.50	64.64	1.80	70.79	11.49	108.50	70.87
- 10*22	63.50	63.64	0.22	70.49	11.01	109.74	72.82
- 10*45	63.50	59.19	6.79	68.04	7.16	106.67	67.99
^ AT4	100.00	97.78	2.22	94.76	5.24	123.67	23.67
^ AT22	100.00	107.35	7.35	84.25	15.75	132.17	32.17
^ AT36	100.00	96.95	3.05	91.04	8.96	130.09	30.09
	Ortalama Hata :		**3.29**		**10.13**		**39.61**

*:Eryılmaz 2004, +:Gürhan ve Ayık 1991, - :Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997) ,^ :Tezde Yapılan Deneyler.

Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %3.29, regresyon tahmin denklemlerinde %10.13 ve teorik sonuçlarda ise %39.61 bulunmuştur. Regresyon tahmin denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %208 daha fazla bulunurken teorik sonuçların ortalama hatası %1103 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yöntemlere göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Teorik sonuçlar ise ölçüm sonuçlarına en uzak olan sonuçları vermiştir.

Şekil 4.13'de ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) pompa giriş borusu çapı verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.



Şekil 4.13. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_e grafiği.

Çizelge 4.18'de pompa giriş borusu çapına ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA, Regresyon ve Teorik sonuçlara ait pompa giriş borusu çapı verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.18. Pompa giriş borusu çapına ait varyans analiz tablosu.

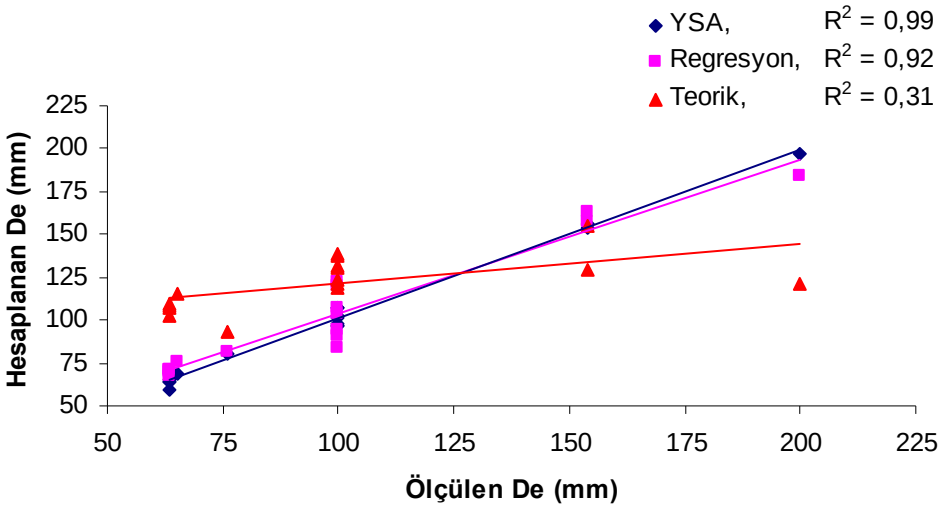
Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob > F
Konu	3	4816.243	1605.41	1.3949	0.2531
Hata	60	69056.211	1150.94		
Genel	63	73872.454			
DK : % 31					

Çizelge 4.19'da pompa giriş borusu çapına ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.19. Pompa giriş borusu çapına ait ortalama değerler.

Konu	Ortalama D_e
Ölçüm	100.2
YSA	101.1
Regresyon	104.0
Teorik	121.5

Ölçülen D_e ile hesaplanan D_e (YSA, Regresyon ve Teorik) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %99, Regresyon için %92 ve Teorik için %31 bulunmuştur (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) D_e sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen D_e ile hesaplanan D_e (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.20'de doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.20. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	t Değeri	Prob>|t|
Orijin	-1.684504	2.785671	-0.60	0.5551
b	1.0077867	0.025842	39.00	<.0001

Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.0077 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçüm değerleriyle, hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA, regresyon ve teorik modeller için sırasıyla 0.0012,

0.0101 ve 0.0982 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modellere kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.3.1.5. Pompa çıkış borusu çapı

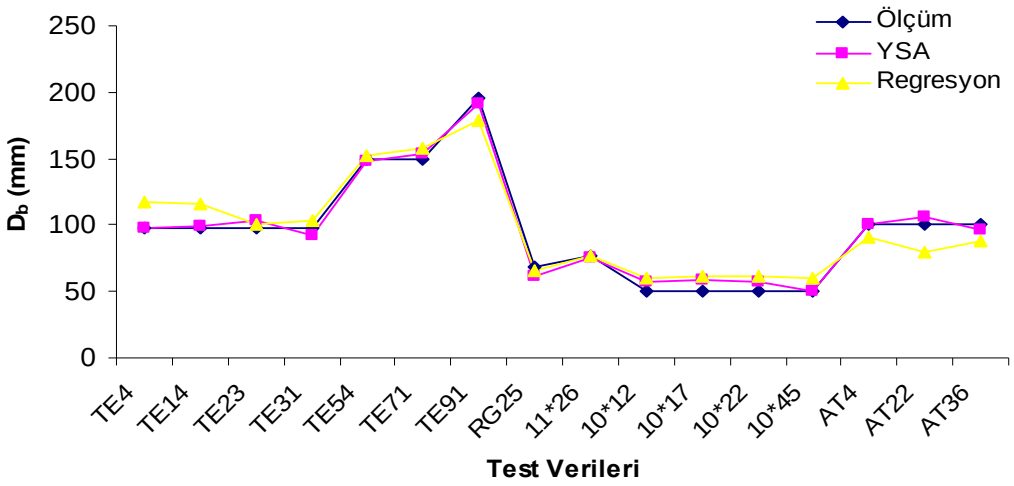
Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları, teorik hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait pompa çıkış borusu çapı verileri ve hata değerleri.

Kod	Ölçüm	YSA		Regresyon	
	D_b	D_b	Hata ε	D_b	Hata ε
* TE4	98.00	98.38	0.38	117.69	20.09
* TE14	98.00	99.26	1.28	115.49	17.85
* TE23	98.00	103.73	5.85	100.83	2.89
* TE31	98.00	91.74	6.39	103.20	5.31
* TE54	150.00	147.87	1.42	152.44	1.63
* TE71	150.00	153.63	2.42	157.95	5.30
* TE91	195.00	190.69	2.21	178.27	8.58
+ RG25	68.00	60.98	10.32	65.74	3.32
- 11*26	76.20	74.75	1.90	76.88	0.89
- 10*12	50.80	56.66	11.54	60.12	18.35
- 10*17	50.80	58.22	14.61	61.71	21.48
- 10*22	50.80	56.57	11.36	61.97	22.00
- 10*45	50.80	50.24	1.09	60.38	18.86
^ AT4	100.00	101.24	1.24	91.48	8.52
^ AT22	100.00	105.97	5.97	79.04	20.96
^ AT36	100.00	96.23	3.77	87.32	12.68
	Ortalama Hata :		**5.11**		**11.79**

*:Eryılmaz 2004, +:Gürhan ve Ayık 1991, - :Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997) ,^ :Tezde Yapılan Deneyler.

Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %5.11, regresyon tahmin denklemlerinde %11.79 bulunmuştur. Regresyon tahmin denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %130 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, regresyon sonuçlarından, ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.15. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon) D_b grafiği.

Şekil 4.15'de ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon) pompa çıkış borusu çapı verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.

Çizelge 4.22. Pompa çıkış borusu çapına ait varyans analiz tablosu.

Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob > F
Konu	2	42.437	21.22	0.0137	0.9864
Hata	45	69735.287	1549.67		
Genel	47	69777.725			
DK : % 40					

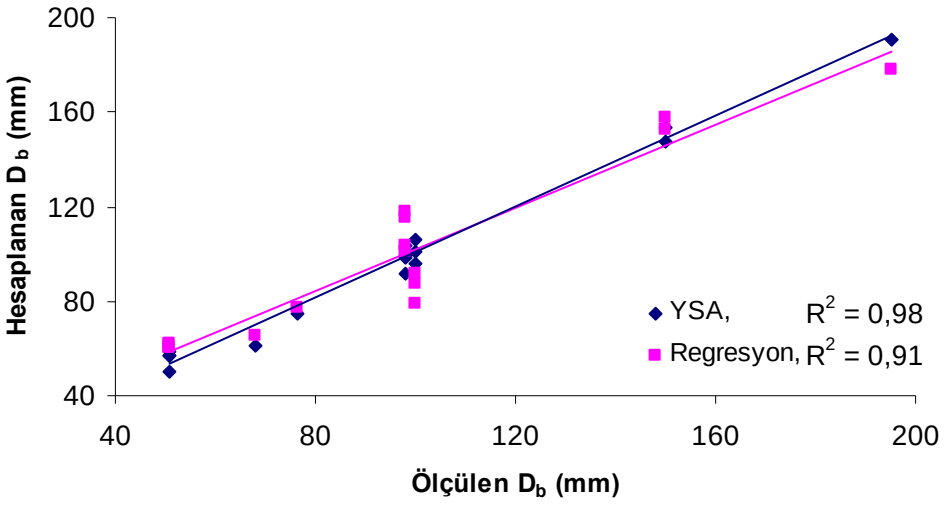
Çizelge 4.22 ‘de pompa çıkış borusu çapına ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA ve Regresyon sonuçlarına ait pompa çıkış borusu çapı verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.23‘de pompa çıkış borusu çapına ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.23. Pompa çıkış borusu çapına ait ortalama değerler.

Konu	**Ortalama D_b**
Ölçüm	95.9
YSA	96.6
Regresyon	98.2

Ölçülen D_b ile hesaplanan D_b (YSA, Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %98 ve Regresyon için %91 bulunmuştur (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon) D_b sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen D_b ile hesaplanan D_b (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.24'de doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.24. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	t Değeri	Prob>|t|
Orijin	-3.253224	3.197533	-1.02	0.3262
b	1.0260448	0.030758	33.36	<.0001

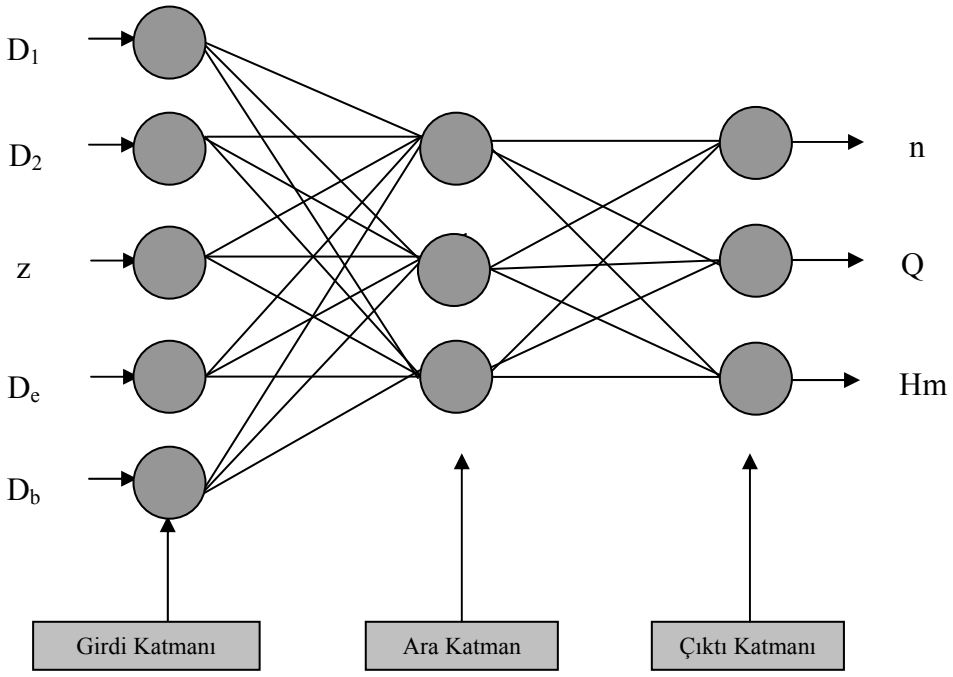
Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.026 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA, Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modeller için sırasıyla 0.0019 ve 0.0124 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modellere kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.4. Yapay Sinir Ağları ile Pompa İşletme Karakteristiklerinin Tespiti

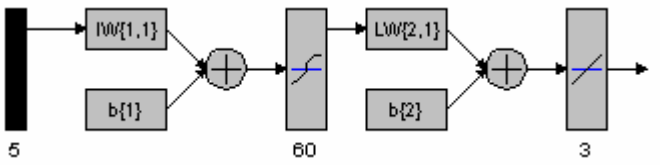
4.4.1. Yöntem2 (Model2)

Yöntem2 için YSA modeli olarak Model2 oluşturulmuştur. Model2'de çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı olmak üzere 5 Giriş parametresi ve devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik olmak üzere 3 çıkış parametresi kullanılmıştır (Şekil4.17).



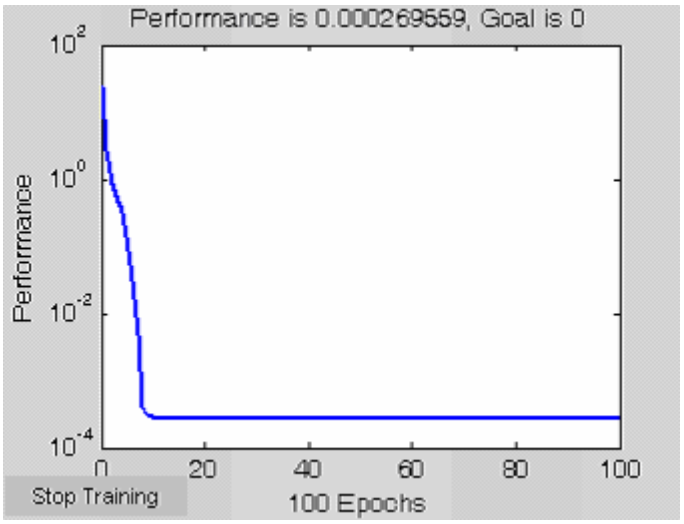
Şekil 4.17. Radyal santrifüj pompanın nöral tasarımı için Model2'nin gösterimi.

Şekil 4.18'de YSA modeli olarak oluşturulan Model2'ye ait ağın yapısı verilmiştir.



Şekil 4.18. Model2'ye ait ağın yapısı.

Gizli katmandaki nöron sayıları için 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 değerleri seçilmiş ve en uygun sonucu veren 60 nöronlu gizli katmana sahip ağ seçilmiştir. YSA için girişte 5 nöron, gizli katmanda 60 nöron ve çıkışta da 3 nöron olmak üzere üç katman oluşturulmuştur. Buna göre oluşturulan ağ için 100 epok sonucunda en düşük eğitim hatası değeri elde edilmiştir (Şekil 4.19). Geliştirilen ağda kullanılan veriler, Ek2'de verilmiştir.



Şekil 4.19. Eğitim hata grafiği.

YSA modelinde, Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve İleri Besleme (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) ağ yapısı kullanılmıştır (Jacobs 1988, Minai ve Williams 1990). Geliştirilen yapay sinir ağı modeli (Model2) için giriş katları tansig ve çıkış katları purelin transfer fonksiyonuna sahipken, gizli

katlar sigmoid transfer fonksiyonuna sahiptir. Ağ öğrenme fonksiyonu olarak ise Learngd (Gradient Descent Weight And Bias Learning Function) fonksiyonu kullanılmıştır. YSA modeliyle (Model2) elde edilen test sonuçları Çizelge 4.25'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. YSA modeliyle elde edilen test sonuçları.

Kod	GİRİŞLER					ÇIKIŞLAR		
	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)
- 10*21	145	267	6	154	150	3012	0.0110	21.61
- 12*41	120	204	6	106	98	2893	0.0035	9.53
- 12*49	58	156	6	68	68	2893	0.0035	9.53
- 12*56	62	193	6	63	68	2901	0.0058	9.35
" EU13	61	195	6	76	77	1700	0.0310	15.80
" EU24	126	244	6	127	124	2900	0.0145	22.60
+ RG14	67.5	105	7	76.2	76.2	2100	0.0117	22.50
+ RG31	67.5	105	7	76.2	76.2	1500	0.0140	10.50
+ RG46	79.5	105	8	76.2	76.2	1600	0.0438	19.50
* TE46	78.15	140.9	7	63.5	50.8	1000	0.0497	9.17

" : Uz 1981, * : Eryılmaz 2004, + : Gürhan ve Ayık 1991, - : Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997).

Her bir parametre için YSA modellerinden elde edilen sonuçlar ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.4.1.1. Devir sayısı

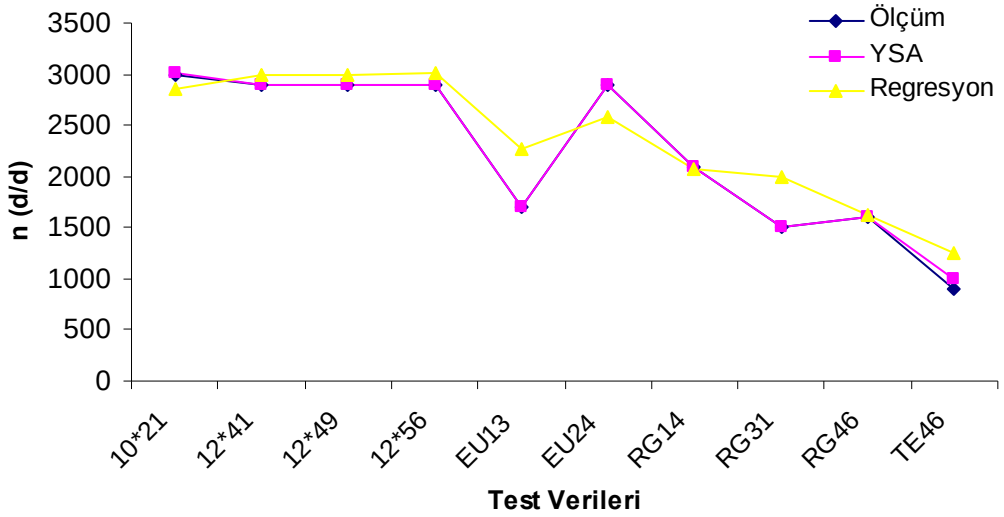
Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.26'da verilmiştir. Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %1.24 ve regresyon tahmin denklemlerinde %13.40 bulunmuştur. Regresyon tahmin denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %980 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yönteme göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.26. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait devir sayısı verileri ve hata değerleri.

Kod	Ölçüm	YSA		Regresyon	
	n	n	Hata ε	n	Hata ε
- 10*21	3000	3012	0.39	2853	4.89
- 12*41	2885	2893	0.27	2985	3.46
- 12*49	2885	2893	0.27	2985	3.46
- 12*56	2890	2901	0.37	3013	4.27
“ EU13	1700	1700	0.00	2266	33.31
“ EU24	2900	2900	0.01	2582	10.96
+ RG14	2100	2100	0.01	2071	1.37
+ RG31	1500	1500	0.01	1986	32.40
+ RG46	1600	1600	0.01	1615	0.95
* TE46	900	1000	11.11	1251	38.97
	Ortalama Hata :		**1.24**		**13.40**

“ : Uz 1981, * : Eryılmaz 2004, + : Gürhan ve Ayık 1991, - : Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997).

Şekil 4.20’de ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) devir sayısı verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.



Şekil 4.20. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) n grafiği.

Çizelge 4.27'de devir sayısına ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA ve Regresyon sonuçlarına ait devir sayısı verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.27. Devir sayısına ait varyans analiz tablosu.

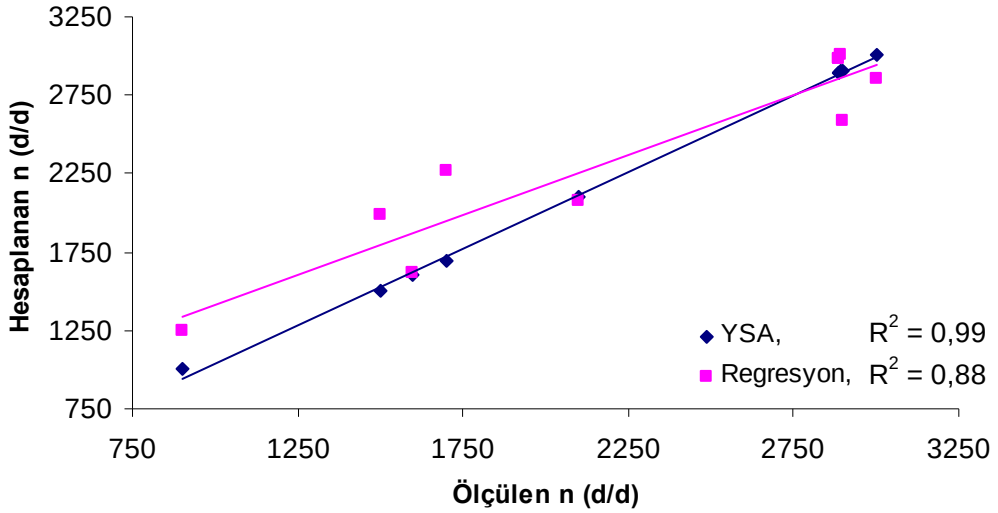
Varyasyon Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Prob > F
Konu	3	34.867	11.622	0.0150	0.9975
Hata	60	46620.399	777.007		
Genel	63	46655.266			
DK : % 31					

Çizelge 4.28'de devir sayısına ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.28. Devir sayısına ait ortalama değerler.

Konu	Ortalama n
Ölçüm	2236
YSA	2250
Regresyon	2361

Ölçülen n ile hesaplanan n (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %99 ve Regresyon için %88 bulunmuştur (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) n sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen n ile hesaplanan n (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.29'da doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.29. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	T Değeri	Prob>|t|
Orijin	-57.36632	29.81734	-1.92	0.0906
b	1.0193609	0.012629	80.71	<.0001

Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.0193 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.0141

hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.4.1.2. Debi

Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait debi verileri ve hata değerleri.

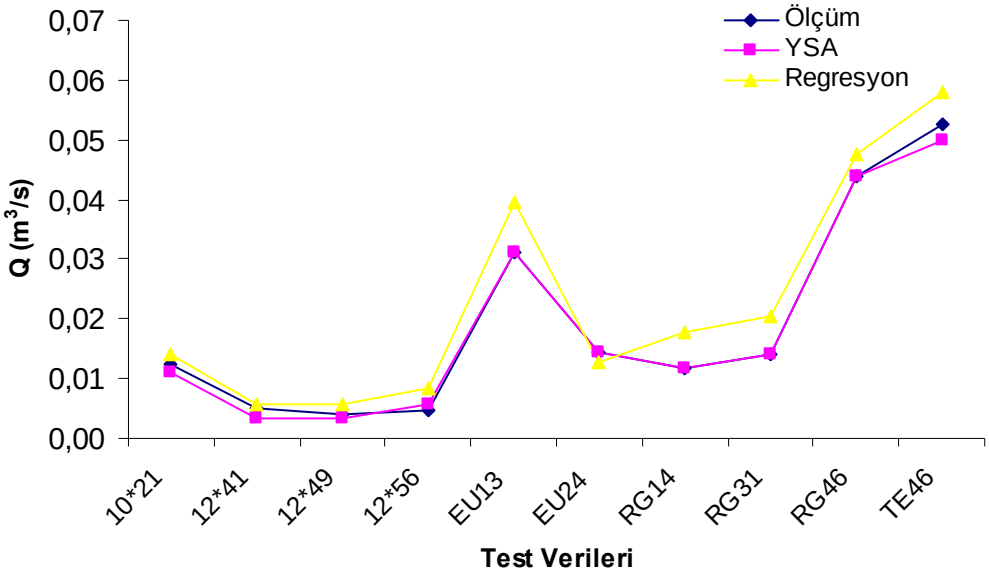
Kod	Ölçüm Q	YSA		Regresyon	
		Q	Hata ε	Q	Hata ε
- 10*21	0.0124	0.0110	11.34	0.0140	13.05
- 12*41	0.0051	0.0035	30.91	0.0056	10.69
- 12*49	0.0041	0.0035	15.23	0.0056	35.80
- 12*56	0.0046	0.0058	27.22	0.0085	84.67
" EU13	0.0310	0.0310	0.01	0.0394	27.03
" EU24	0.0145	0.0145	0.05	0.0127	12.66
+ RG14	0.0117	0.0117	0.05	0.0178	51.76
+ RG31	0.0140	0.0140	0.07	0.0203	44.76
+ RG46	0.0438	0.0438	0.03	0.0477	8.96
* TE46	0.0525	0.0497	5.21	0.0580	10.63
	Ortalama Hata :		**9.01**		**30.00**

* " : Uz 1981, * : Eryılmaz 2004, + : Gürhan ve Ayık 1991, - : Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997).

Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %9.01 ve regresyon tahmin denklemlerinde %30 bulunmuştur. Regresyon tahmin denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %233 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yönteme göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Şekil 4.22'de ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) debi verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte

görülmektedir.



Şekil 4.22. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) Q grafiği.

Çizelge 4.31'de debiye ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA ve Regresyon sonuçlarına ait debi verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.31. Debiye ait varyans analiz tablosu.

Varyasyon Kaynakları	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F Değeri**	**Prob > F**
Konu	2	0.0000998	0.000050	0.1623	0.8510
Hata	27	0.0083067	0.000308		
Genel	29	0.0084065			
DK : % 86					

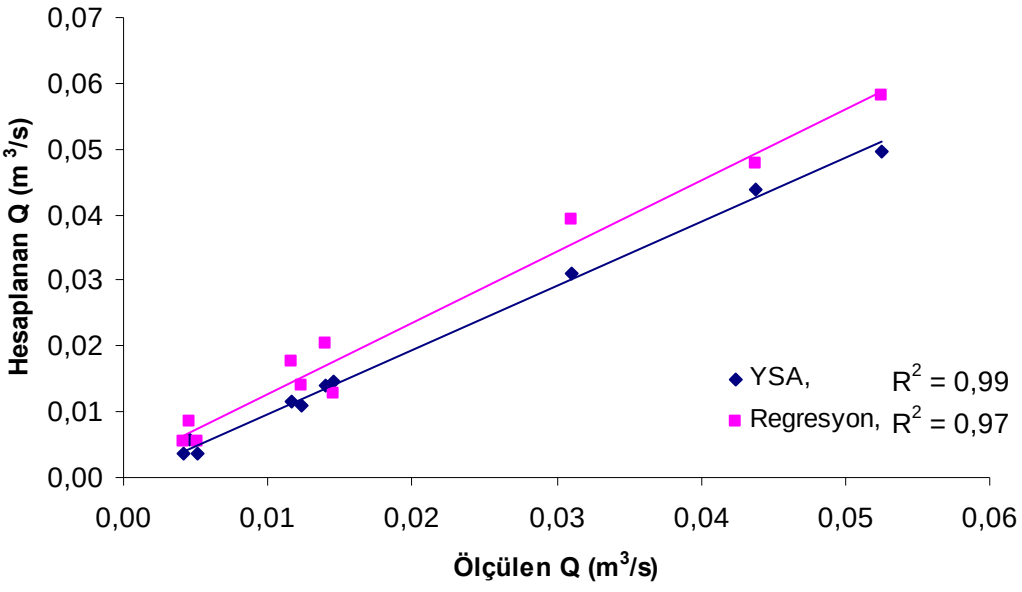
Çizelge 4.32'de debiye ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında

istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.32. Debiye ait ortalama değerler.

Konu	Ortalama Q
YSA	0.0189
Ölçüm	0.0194
Regresyon	0.0230

Ölçülen Q ile hesaplanan Q (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %99 ve Regresyon için %97 bulunmuştur (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) Q sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen Q ile hesaplanan Q (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal

regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.33'de doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.33. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	T Değeri	Prob>|t|
Orijin	0.0000885	0.000549	0.16	0.8760
b	1.0223052	0.022294	45.86	<.0001

Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.0223 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0022 ve 0.0256 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.4.1.3. Manometrik yükseklik

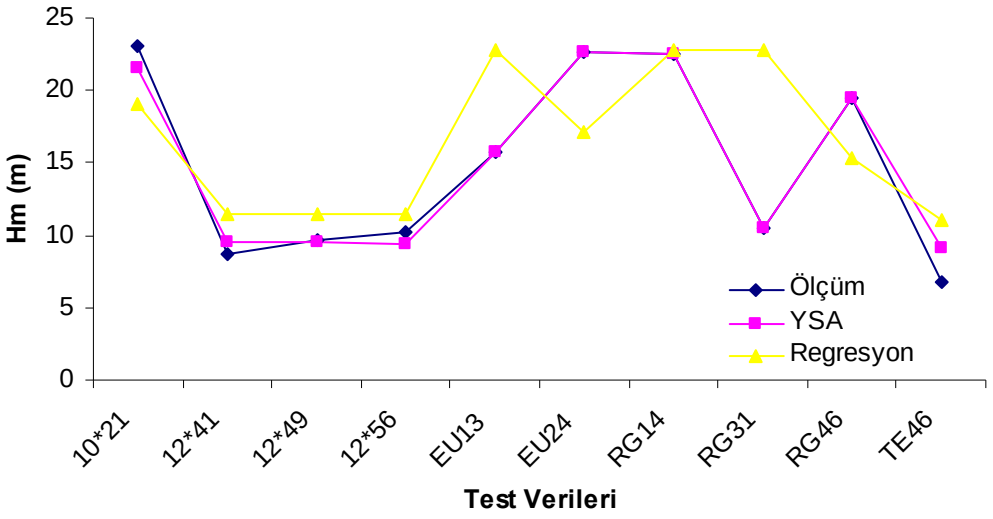
Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.34'de verilmiştir. Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %6.33 ve regresyon tahmin denklemlerinde %16.51 bulunmuştur. Regresyon tahmin denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %113 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yönteme göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.34. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait manometrik yükseklik verileri ve hata değerleri.

Kod	Ölçüm Hm	YSA		Regresyon	
		Hm	Hata ε	Hm	Hata ε
- 10*21	23.10	21.61	6.44	0.0140	19.03
- 12*41	8.65	9.53	10.18	0.0056	11.40
- 12*49	9.68	9.53	1.53	0.0056	11.40
- 12*56	10.23	9.35	8.58	0.0085	11.40
“ EU13	15.80	15.80	0.00	0.0394	22.83
“ EU24	22.60	22.60	0.02	0.0127	17.13
+ RG14	22.50	22.50	0.01	0.0178	22.81
+ RG31	10.50	10.50	0.02	0.0203	22.72
+ RG46	19.50	19.50	0.01	0.0477	15.36
* TE46	6.72	9.17	36.50	0.0580	11.06
	Ortalama Hata :		**6.33**		**16.51**

* “ : Uz 1981, * : Eryılmaz 2004, + : Gürhan ve Ayık 1991, - : Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997).

Şekil 4.24’de ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) manometrik yükseklik verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.



Şekil 4.24. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) Hm grafiği.

Çizelge 4.35'de manometrik yüksekliğe ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA ve Regresyon sonuçlarına ait manometrik yükseklik verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.35. Manometrik yüksekliğe ait varyans analiz tablosu.

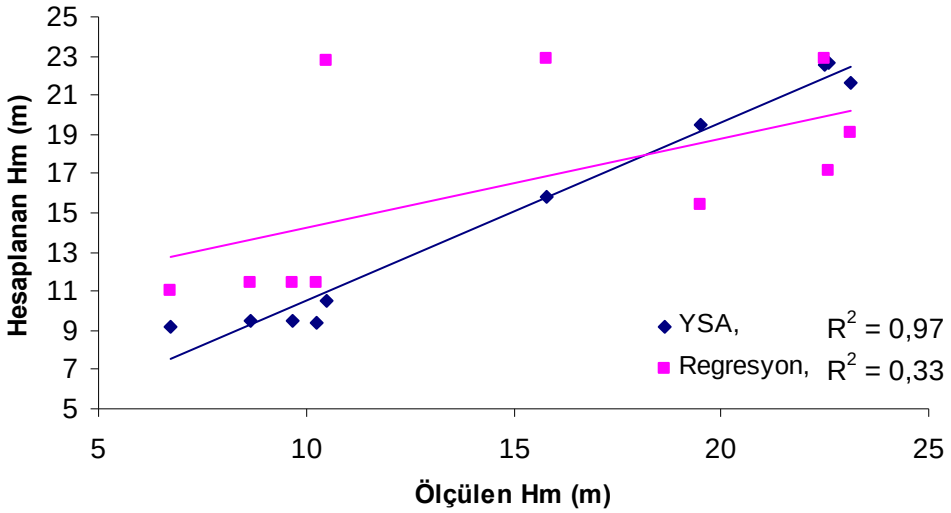
Varyasyon Kaynakları	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F Değeri**	**Prob > F**
Konu	2	15.96247	7.9812	0.2293	0.7966
Hata	27	939.76897	34.8063		
Genel	29	955.73144			
DK : % 38					

Çizelge 4.36'da manometrik yüksekliğe ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.36. Manometrik yüksekliğe ait ortalama değerler.

Konu	**Ortalama Hm**
Ölçüm	14.93
YSA	15.01
Regresyon	16.51

Ölçülen Hm ile hesaplanan Hm (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %97 ve Regresyon için %33 bulunmuştur (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) Hm sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen Hm ile hesaplanan Hm (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.37'de doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.37. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	T Değeri	Prob>|t|
Orijin	-1.153544	0.895162	-1.29	0.2335
b	1.0713429	0.055755	19.22	<.0001

Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.0713 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

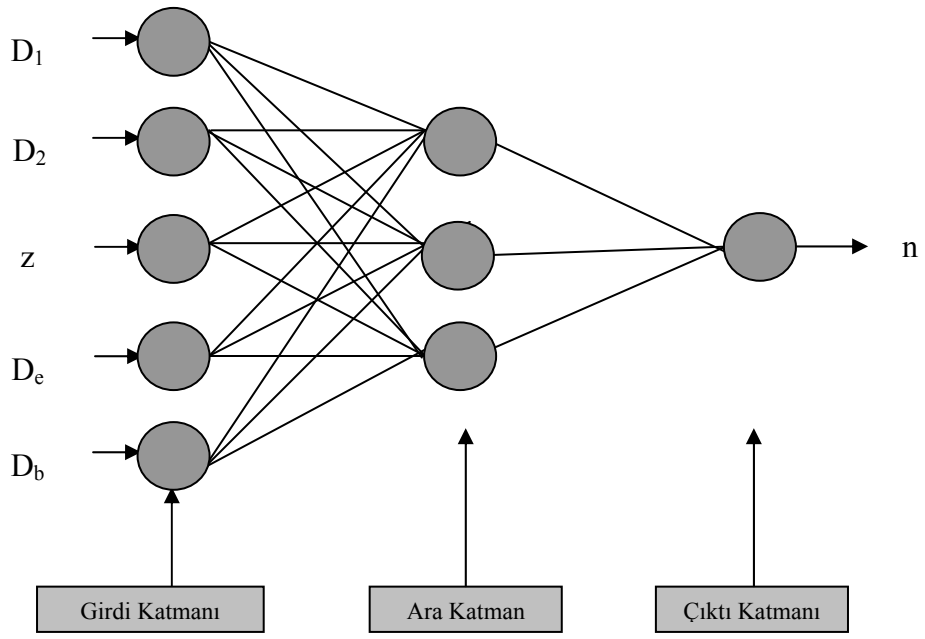
Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0037 ve 0.0990 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.4.2. Yöntem3

Yöntem3'de çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı, giriş parametresi olarak kullanılırken, devir sayısı, debi ve manometrik yükseklik ayrı ayrı olmak üzere tek çıkış parametresi olarak kullanılmıştır. Yöntem3 için, Model3, Model4 ve Model5 olmak üzere toplam 3 adet YSA modeli geliştirilmiştir.

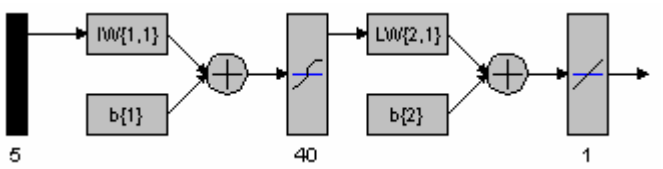
4.4.2.1. YSA ile devir sayısı belirlenmesi (Model3)

Yöntem3 için devir sayısının belirlenmesi amacıyla YSA modeli olarak Model3 oluşturulmuştur Model3'de, çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı olmak üzere 5 giriş parametresi ve devir sayısı olmak üzere 1 çıkış parametresi kullanılmıştır (Şekil4.26).



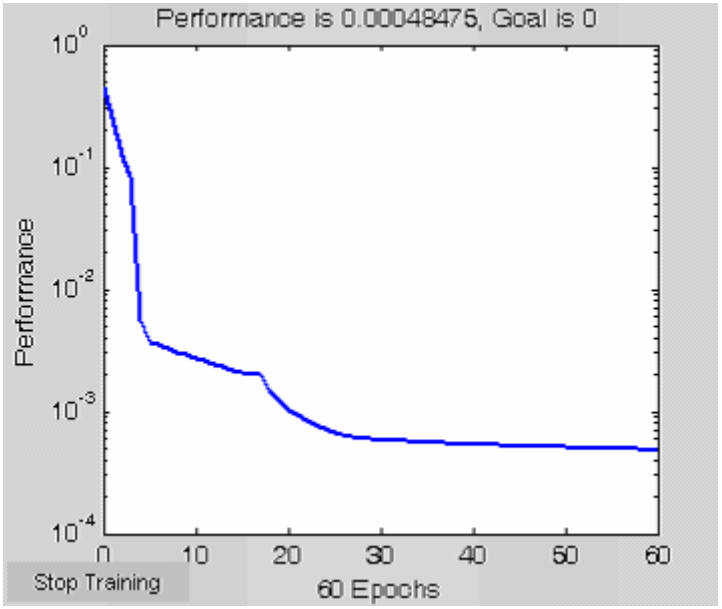
Şekil 4.26. Radyal santrifüj pompanın nöral tasarımı için Model3'ün gösterimi.

Şekil 4.27'de YSA modeli olarak oluşturulan Model3'e ait ağın yapısı verilmiştir.



Şekil 4.27. Model3'e ait ağın yapısı.

Gizli katmandaki nöron sayıları için 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 değerleri seçilmiş ve en uygun sonucu veren 40 nöronlu gizli katmana sahip ağ seçilmiştir. YSA için girişte 5 nöron, gizli katmanda 40 nöron ve çıkışta da 1 nöron olmak üzere üç katman oluşturulmuştur. Buna göre oluşturulan ağ için 60 epok sonucunda en düşük eğitim hatası değeri elde edilmiştir (Şekil 4.28). Geliştirilen ağda kullanılan veriler, Ek3'de verilmiştir.



Şekil 4.28. Eğitim hata grafiği.

YSA modelinde, Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve İleri Besleme (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) ağ yapısı kullanılmıştır (Jacobs 1988, Minai ve Williams 1990). Geliştirilen yapay sinir ağı modeli (Model3) için giriş katları tansig ve çıkış katları purelin transfer fonksiyonuna sahipken, gizli katlar sigmoid transfer fonksiyonuna sahiptir. Ağ öğrenme fonksiyonu olarak ise Learngdm (Gradient Descent With Momentum Weight And Bias Learning Function) fonksiyonu kullanılmıştır.

Çizelge 4.38'de ara katman nöron sayısına bağlı olarak elde edilen test ve eğitim RMSE ile R^2 değerleri verilmiştir. Ara katman nöron sayısı 40 olan LM algoritmasına ait YSA test sonuçları, en iyi sonuç olarak bulunmuştur. Eğitimdeki tüm ara katman nöron sayılarında R^2, 1'e çok yakın çıkarken RMSE değeri 0.0220 elde edilmiştir. Testte ise R^2 değeri 0.9996 ve RMSE değeri de 0.0097 olarak bulunmuştur. Eğitimde ara katman nöron sayısına bağlı olarak RMSE değerinin değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.38. Devir sayısına ait test ve eğitim RMSE ve R^2 değerleri.

Nöron	**Test**		**Eğitim**	
Sayısı	**RMSE**	**R^2**	**RMSE**	**R^2**
35	0.0341	0.9953	0.0222	0.9986
36	0.0616	0.9818	0.0253	0.9982
37	0.0120	0.9994	0.0230	0.9985
38	0.0301	0.9959	0.0244	0.9983
39	0.0169	0.9988	0.0209	0.9988
40	**0.0097**	**0.9996**	**0.0220**	**0.9987**
41	0.0247	0.9974	0.0208	0.9988
42	0.0495	0.9882	0.0213	0.9987
43	0.0612	0.9828	0.0226	0.9986
44	0.0593	0.9832	0.0222	0.9986
45	0.0465	0.9915	0.0332	0.9969

Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.39'da verilmiştir. Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %0.94 ve regresyon tahmin denklemlerinde %17.56 bulunmuştur. Regresyon tahmin

denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %1768 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yönteme göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

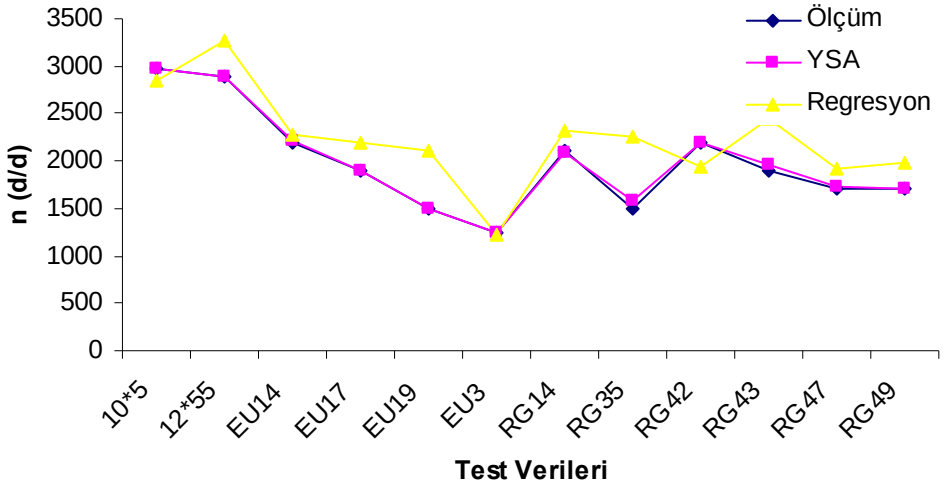
Çizelge 4.39. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait devir sayısı verileri ve hata değerleri.

Kod	Ölçüm n	YSA		Regresyon	
		n	Hata ε	n	Hata ε
- 10*5	2964	2979	0.50	2841	4.16
- 12*55	2895	2895	0.01	3278	13.23
“ EU14	2200	2206	0.27	2282	3.73
“ EU17	1900	1891	0.50	2199	15.76
“ EU19	1500	1500	0.02	2115	40.99
“ EU3	1250	1247	0.24	1215	2.83
+ RG14	2100	2090	0.45	2321	10.53
+ RG35	1500	1572	4.77	2247	49.78
+ RG42	2200	2201	0.06	1947	11.48
+ RG43	1900	1958	3.03	2437	28.24
+ RG47	1700	1723	1.37	1925	13.24
+ RG49	1700	1701	0.06	1985	16.77
	Ortalama Hata :		**0.94**		**17.56**

“ : Uz 1981, + : Gürhan ve Ayık 1991, - : Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997).

.

Şekil 4.29’da ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) devir sayısı verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.



Şekil 4.29. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) n grafiği.

Çizelge 4.40'da devir sayısına ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA ve Regresyon sonuçlarına ait devir sayısı verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.40. Devir sayısına ait varyans analiz tablosu.

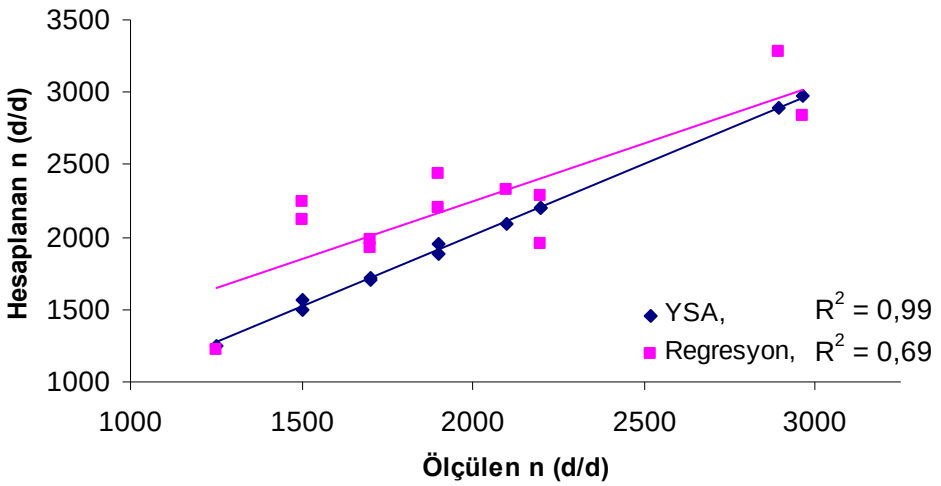
Varyasyon Kaynakları	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F Değeri**	**Prob > F**
Konu	2	470048.9	235024	0.8701	0.4283
Hata	33	8913767.1	270114		
Genel	35	9383816.0			
DK : % 25					

Çizelge 4.41'de devir sayısına ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.41. Devir sayısına ait ortalama değerler.

Konu	Ortalama n
Ölçüm	1984
YSA	1997
Regresyon	2233

Ölçülen n ile hesaplanan n (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %99 ve Regresyon için %69 bulunmuştur (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon) n sonuçları arasındaki ilişki.

Çizelge 4.42. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	T Değeri	Prob>|t|
Orijin	-26.49175	31.97129	-0.83	0.4267
b	1.006829	0.015526	64.85	<.0001

Ölçülen n ile hesaplanan n (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.42'de doğrusal regresyon parametre test

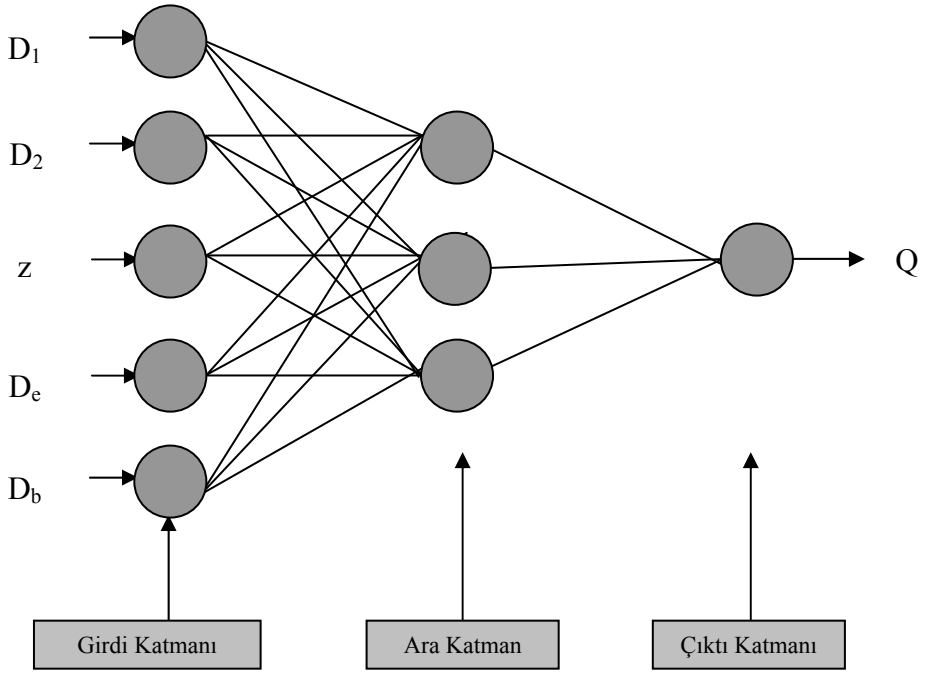
sonuçları verilmiştir.

Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.0068 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.0275 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.4.2.2. YSA ile debi belirlenmesi (Model4)

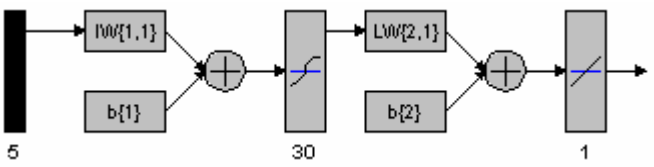
Yöntem3 için debinin belirlenmesi amacıyla YSA modeli olarak Model4 oluşturulmuştur (Şekil4.31).



Şekil 4.31. Radyal santrifüj pompanın nöral tasarımı için Model4'ün gösterimi.

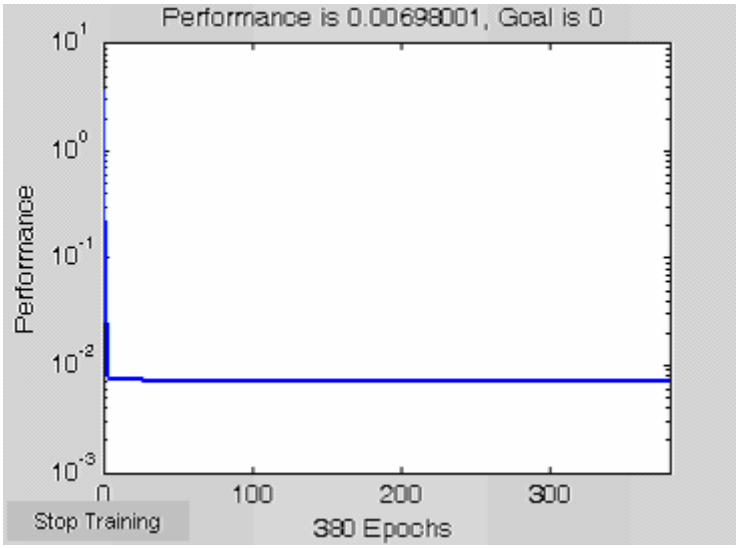
Model4'de, çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı olmak üzere 5 giriş parametresi ve debi olmak üzere 1 çıkış parametresi kullanılmıştır.

Şekil 4.32'de YSA modeli olarak oluşturulan Model4'e ait ağın yapısı verilmiştir.



Şekil 4.32. Model4'e ait ağın yapısı.

Gizli katmandaki nöron sayıları için 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 değerleri seçilmiş ve en uygun sonucu veren 30 nöronlu gizli katmana sahip ağ seçilmiştir. YSA için girişte 5 nöron, gizli katmanda 30 nöron ve çıkışta da 1 nöron olmak üzere üç katman oluşturulmuştur. Buna göre oluşturulan ağ için 380 epok sonucunda en düşük eğitim hatası değeri elde edilmiştir (Şekil 4.33). Geliştirilen ağda kullanılan veriler, Ek3'de verilmiştir.



Şekil 4.33. Eğitim hata grafiği.

YSA modelinde, Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve İleri Besleme (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) ağ yapısı kullanılmıştır (Jacobs 1988, Minai ve Williams 1990). Geliştirilen yapay sinir ağı modeli (Model4) için giriş katları tansig ve çıkış katları purelin transfer fonksiyonuna sahipken, gizli katlar sigmoid transfer fonksiyonuna sahiptir. Ağ öğrenme fonksiyonu olarak ise Learngdm (Gradient Descent With Momentum Weight And Bias Learning Function) fonksiyonu kullanılmıştır.

Çizelge 4.43'de ara katman nöron sayısına bağlı olarak elde edilen test ve eğitim RMSE ile R^2 değerleri verilmiştir. Ara katman nöron sayısı 30 olan LM algoritmasına ait YSA test sonuçları, en iyi sonuç olarak bulunmuştur. Eğitimdeki tüm ara katman nöron sayılarında R^2, 1'e çok yakın çıkarken RMSE değeri 0.0088 elde edilmiştir. Testte ise R^2 değeri 0.9998 ve RMSE değeri de 0.0033 olarak bulunmuştur. Eğitimde ara katman nöron sayısına bağlı olarak RMSE değerinin değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.43. Debiye ait test ve eğitim RMSE ve R^2 değerleri.

Nöron	**Test**		**Eğitim**	
Sayısı	**RMSE**	**R^2**	**RMSE**	**R^2**
25	0.0162	0.9940	0.0043	0.9998
26	0.0201	0.9908	0.0080	0.9994
27	0.0281	0.9829	0.0041	0.9998
28	0.0216	0.9894	0.0045	0.9998
29	0.0450	0.9539	0.0040	0.9998
30	**0.0033**	**0.9998**	**0.0088**	**0.9993**
31	0.0157	0.9945	0.0107	0.9989
32	0.0133	0.9960	0.0042	0.9998
33	0.0076	0.9987	0.0040	0.9998
34	0.0633	0.9113	0.0071	0.9995
35	0.0091	0.9981	0.0040	0.9998

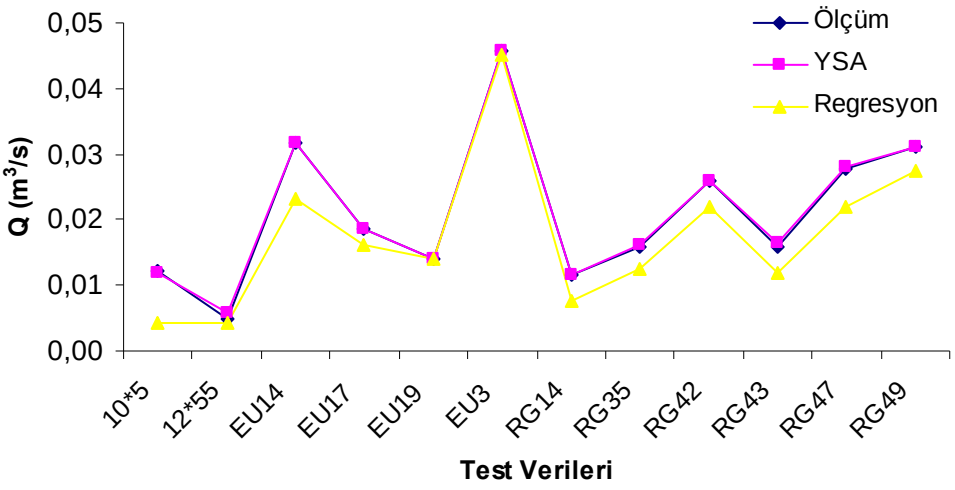
Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.44'de verilmiştir. Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %2.39 ve regresyon tahmin denklemlerinde %20.60 bulunmuştur. Regresyon tahmin

denkleminin ortalama hatası YSA modeline göre %761 daha fazla bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yönteme göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.44. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait debi verileri ve hata değerleri.

Kod	Ölçüm Q	YSA		Regresyon	
		Q	Hata ε	Q	Hata ε
- 10*5	0.0122	0.0120	1.90	0.0043	64.86
- 12*55	0.0049	0.0058	18.67	0.0043	12.44
“ EU14	0.0317	0.0317	0.00	0.0231	27.09
“ EU17	0.0185	0.0185	0.00	0.0161	12.90
“ EU19	0.0140	0.0140	0.00	0.0140	0.08
“ EU3	0.0457	0.0457	0.01	0.0452	1.07
+ RG14	0.0117	0.0117	0.01	0.0076	35.05
+ RG35	0.0158	0.0162	2.49	0.0124	21.71
+ RG42	0.0260	0.0260	0.01	0.0219	15.91
+ RG43	0.0158	0.0164	3.75	0.0120	24.17
+ RG47	0.0276	0.0281	1.84	0.0218	20.83
+ RG49	0.0310	0.0310	0.00	0.0276	11.03
	Ortalama Hata :		**2.39**		**20.60**

“ : Uz 1981, + : Gürhan ve Ayık 1991, - : Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997).



Şekil 4.34. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) Q grafiği.

Şekil 4.34'de ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) debi verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.

Çizelge 4.45'de debiye ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA ve Regresyon sonuçlarına ait debi verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.45. Debiye ait varyans analiz tablosu.

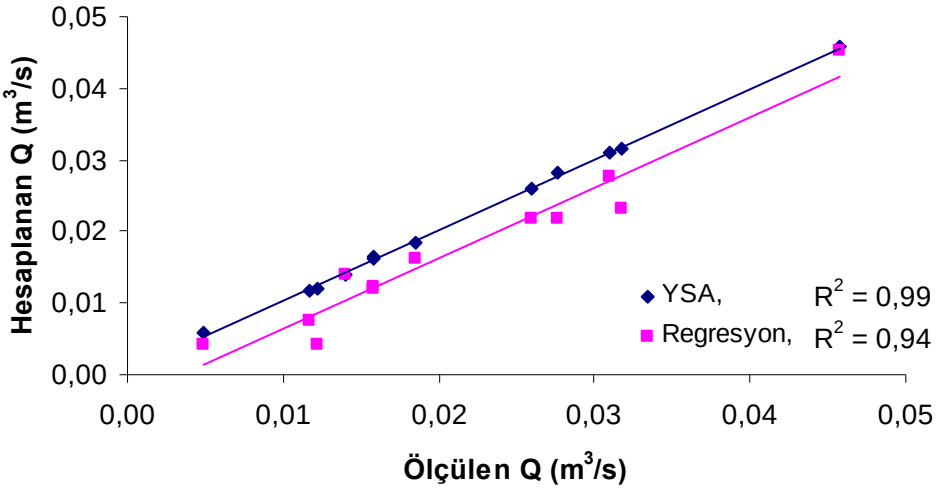
Varyasyon Kaynakları	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F Değeri**	**Prob > F**
Konu	2	0.0001164	0.000058	0.4492	0.6420
Hata	33	0.0042769	0.000130		
Genel	35	0.0043934			
DK : % 56					

Çizelge 4.46'da debiye ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.46. Debiye ait ortalama değerler.

Konu	**Ortalama Q**
Regresyon	0.0175
Ölçüm	0.0212
YSA	0.0214

Ölçülen Q ile hesaplanan Q (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %99 ve Regresyon için %94 bulunmuştur (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Ölçülen ve hesaplanan (YSA, Regresyon) Q sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen Q ile hesaplanan Q (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.47'de doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.47. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	T Değeri	Prob>|t|
Orijin	-0.000394	0.000216	-1.83	0.0976
b	1.0099227	0.008987	112.38	<.0001

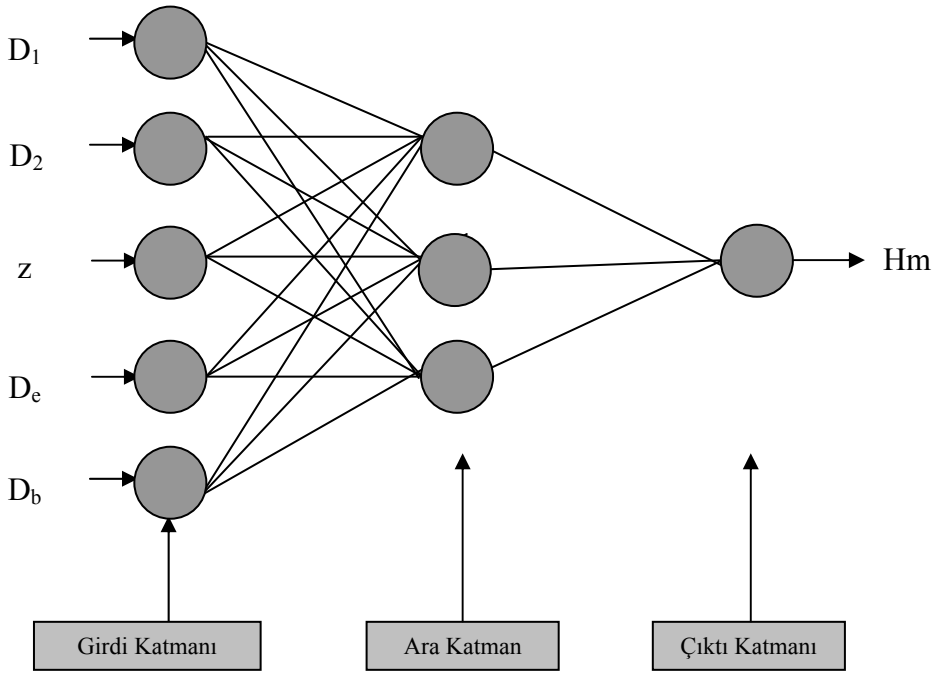
Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 1.0099 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0002 ve 0.0481 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm

değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

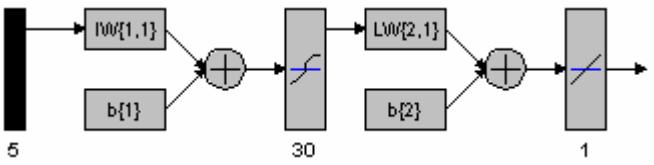
4.4.2.3. YSA ile manometrik yüksekliğin belirlenmesi (Model5)

Yöntem3 için manometrik yüksekliğin belirlenmesi amacıyla YSA modeli olarak Model5 oluşturulmuştur. Model5'de, çark giriş çapı, çark çıkış çapı, çark kanat sayısı, pompa giriş borusu çapı ve pompa çıkış borusu çapı olmak üzere 5 giriş parametresi ve manometrik yükseklik olmak üzere 1 çıkış parametresi kullanılmıştır (Şekil4.36).



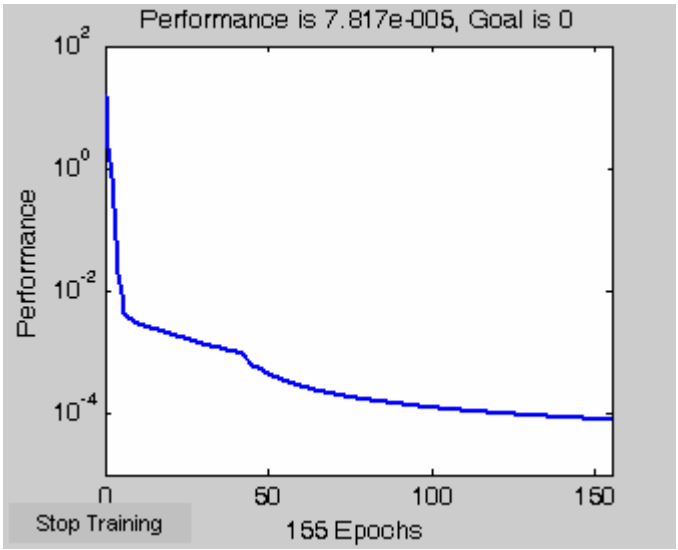
Şekil 4.36. Radyal santrifüj pompanın nöral tasarımı için Model5'in gösterimi.

Şekil 4.37'de YSA modeli olarak oluşturulan Model5'e ait ağın yapısı verilmiştir.



Şekil 4.37. Model5' ait ağın yapısı.

Gizli katmandaki nöron sayıları için 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 değerleri seçilmiş ve en uygun sonucu veren 30 nöronlu gizli katmana sahip ağ seçilmiştir. YSA için girişte 5 nöron, gizli katmanda 30 nöron ve çıkışta da 1 nöron olmak üzere üç katman oluşturulmuştur. Buna göre oluşturulan ağ için 155 epok sonucunda en düşük eğitim hatası değeri elde edilmiştir (Şekil 4.38). Geliştirilen ağda kullanılan veriler, Ek3'de verilmiştir.



Şekil 4.38. Eğitim hata grafiği.

YSA modelinde, Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ve İleri Besleme (Feed Forward Backprop), Çok Katmanlı Perseptron (ÇKP) ağ yapısı kullanılmıştır (Jacobs 1988, Minai ve Williams 1990). Geliştirilen yapay sinir ağı modeli (Model5)

için giriş katları tansig ve çıkış katları purelin transfer fonksiyonuna sahipken, gizli katlar sigmoid transfer fonksiyonuna sahiptir. Ağ öğrenme fonksiyonu olarak ise Learngdm (Gradient Descent With Momentum Weight And Bias Learning Function) fonksiyonu kullanılmıştır.

Çizelge 4.48'de ara katman nöron sayısına bağlı olarak elde edilen test ve eğitim RMSE ile R^2 değerleri verilmiştir. Ara katman nöron sayısı 30 olan LM algoritmasına ait YSA test sonuçları, en iyi sonuç olarak bulunmuştur. Eğitimdeki tüm ara katman nöron sayılarında R^2, 1'e çok yakın çıkarken RMSE değeri 0.0088 elde edilmiştir. Testte ise R^2 değeri 0.9996 ve RMSE değeri de 0.0048 olarak bulunmuştur. Eğitimde ara katman nöron sayısına bağlı olarak RMSE değerinin değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.48. Manometrik yüksekliğe ait test ve eğitim RMSE ve R^2 değerleri.

Nöron	**Test**		**Eğitim**	
Sayısı	**RMSE**	**R^2**	**RMSE**	**R^2**
25	0.0192	0.9944	0.0063	0.9996
26	0.0225	0.9924	0.0052	0.9997
27	0.0428	0.9662	0.0083	0.9994
28	0.0735	0.9337	0.0065	0.9996
29	0.1345	0.8339	0.0094	0.9992
30	**0.0048**	**0.9996**	**0.0088**	**0.9993**
31	0.0924	0.8291	0.0040	0.9998
32	0.0228	0.9912	0.0041	0.9998
33	0.0658	0.9452	0.0055	0.9997
34	0.0864	0.8539	0.0058	0.9997
35	0.0489	0.9670	0.0040	0.9998

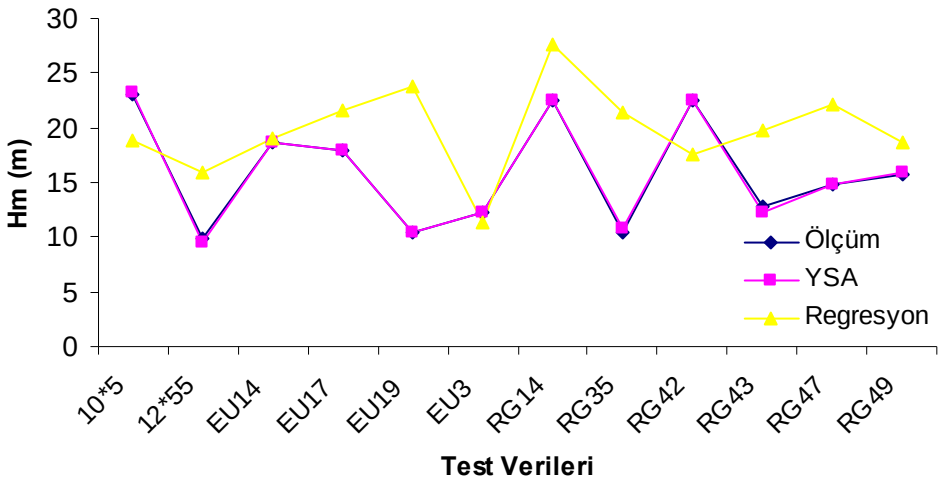
Ölçüm sonuçları ile YSA test sonuçları ve regresyon tahmin denklemlerinden elde edilen sonuçlara ait veriler ve hata değerleri Çizelge 4.49'da verilmiştir. Ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %1.18 ve regresyon tahmin denklemlerinde %41.97 bulunmuştur. YSA modelinden elde edilen sonuçların, diğer yönteme göre ölçüm sonuçları ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.49. Ölçüm sonuçları ile YSA ve regresyon sonuçlarına ait manometrik yükseklik verileri ve hata değerleri.

Kod	Ölçüm Hm	YSA		Regresyon	
		Hm	Hata ε	Hm	Hata ε
10*5	23.00	23.16	0.69	18.87	17.95
12*55	9.96	9.53	4.25	15.83	59.02
EU14	18.60	18.65	0.26	19.06	2.46
EU17	17.95	17.90	0.28	21.66	20.67
EU19	10.50	10.42	0.75	23.80	126.64
EU3	12.30	12.28	0.15	11.30	8.13
RG14	22.50	22.52	0.08	27.56	22.47
RG35	10.50	10.84	3.23	21.37	103.51
RG42	22.50	22.50	0.01	17.65	21.55
RG43	12.80	12.33	3.69	19.72	54.04
RG47	14.80	14.86	0.42	22.06	49.09
RG49	15.80	15.85	0.30	18.67	18.18
	Ortalama Hata :		**1.18**		**41.97**

“ : Uz 1981, + : Gürhan ve Ayık 1991, - : Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997).

Şekil 4.39’de ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) manometrik yükseklik verilerine ait grafik verilmiştir. Ölçüm ile YSA test verilerinin oldukça paralel olduğu grafikte görülmektedir.



Şekil 4.39. Ölçülen ve hesaplanan (YSA ve Regresyon) Hm grafiği.

Çizelge 4.50'de manometrik yüksekliğe ait varyans analiz tablosu verilmiştir. Ölçüm sonuçları ile YSA ve Regresyon sonuçlarına ait manometrik yükseklik verileri arasında istatistiki olarak fark olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.50. Manometrik yüksekliğe ait varyans analiz tablosu.

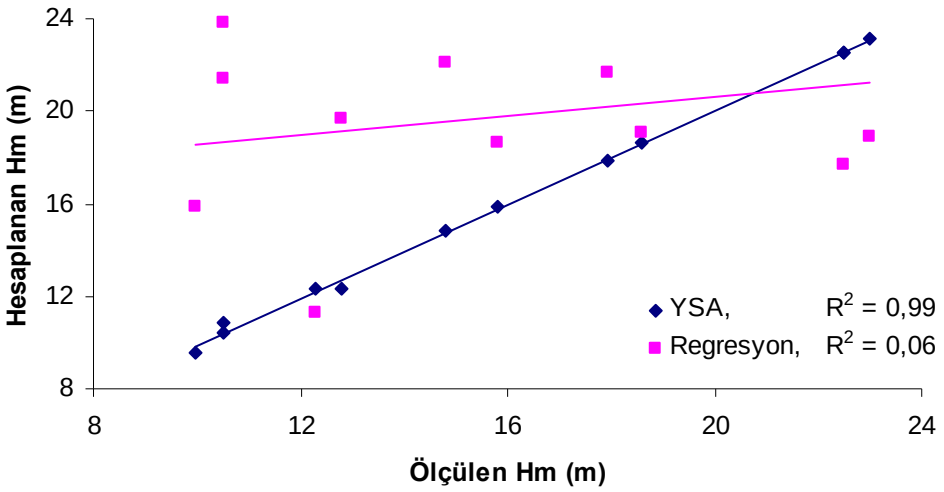
Varyasyon Kaynakları	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Toplamı**	**Kareler Ortalaması**	**F Değeri**	**Prob > F**
Konu	2	120.25653	60.1283	2.7421	0.0791
Hata	33	723.62392	21.9280		
Genel	35	843.88045			
DK : % 27					

Çizelge 4.51'de manometrik yüksekliğe ait ortalama değerler verilmiştir. Ortalamalar arasında istatistiki anlamda fark olmamasına rağmen, ölçüm sonuçları ile YSA modelinden elde edilen sonuçların birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.51. Manometrik yüksekliğe ait ortalama değerler.

Konu	**Ortalama Hm**
YSA	15.90
Ölçüm	15.93
Regresyon	19.80

Ölçülen Hm ile hesaplanan Hm (YSA ve Regresyon) değerleri arasındaki ilişkinin determinasyon katsayısı (R^2), YSA için %99 ve Regresyon için %6 bulunmuştur (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Ölçülen ve hesaplanan (YSA Regresyon) Hm sonuçları arasındaki ilişki.

Ölçülen Hm ile hesaplanan Hm (YSA) değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.52'de ise doğrusal regresyon parametre test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.52. Doğrusal regresyon parametre testleri.

Model	Estimate	Std. Hata	T Değeri	Prob>|t|
Orijin	0.2855003	0.219174	1.30	0.2219
b	0.9839788	0.013197	74.56	<.0001

Regresyon analiz sonucu, ölçüm sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermektedir. Parametre testlerinde "b" olarak ifade edilen doğrusal regresyon parametresi için yapılan t testi anlamlılık göstermektedir. 0.9839 olan b değerinin, 1'e olan yakınlığı, ölçüm ve YSA verilerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.1063 hesaplanmıştır. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, mevcut veri tabanını artırabilmek amacıyla sulamada yaygın olarak kullanılan 4" ve 5" anma çapındaki yerli yapım, kademesiz, yatay milli santrifüj pompaların, imalatçı firmanın önerdiği devir sayıları esas alınarak değişik devirlerdeki işletme karakteristikleri belirlenmiştir. Elde edilen bu performanslar verim yönüyle değerlendirilmiş ve en yüksek verimin sağlandığı optimum devir sayıları 4" ve 5" lik pompalar için sırasıyla 2220 min^{-1} ve 1250 min^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Optimum devir sayılarındaki karakteristikler bakımından 4" ve 5" anma çapındaki pompaların sırasıyla özgül hızı, 53.78 min^{-1} ve 27.25 min^{-1}, maksimum verimleri %56.08 ve %56.89 ve optimum debi aralıkları, 26.69–29.50 l/s ve 30.28–33.47 l/s olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar literatürlerle uyumluluk içindedir. Bu nedenle pompaların, optimum çalışma koşullarında işletmeye alınması önerilebilir.

Günümüzde santrifüj pompaların tasarımı klasik metodlarla yapılmaktadır. Bu ise daha fazla hesaplama zamanının yanı sıra kullanılan metodlarında çok sağlıklı sonuç vermemesi sebebiyle pompalarda yüksek verim kayıplarına neden olmaktadır. Baysal (1975), pompa tasarımında hesapların tam bir teoriye dayandırılmasının mümkün olmadığından, proje hesaplarının oldukça karmaşık olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, bu metodlarla elde edilen sonuçların, ölçüm sonuçları ile tam bir uyumluluk içerisinde olmadığını saptamıştır. Bu çalışma pompa tasarımında YSA tekniklerini ön plana çıkarmıştır.

Alışılagelmiş tahmin modelleri tek yönlü çalışmaktadır. Bir başka ifadeyle, bağımlı değişkenlere bağlı olarak bağımsız değişkenler tahmin edilebilmektedir. YSA'yla bağımlı değişkenlere bağlı olarak bağımsız değişkenlerin tahmin edilmesi ya da bağımsız değişkenlere bağlı olarak bağımlı değişkenlerin tahmin edilmesi mümkün olabilmektedir. Diğer bir deyişle, modeli iki yönlü çalıştırmak mümkündür. Genelde literatürde çoklu giriş ve tek çıkışlı nöral modeller kullanılarak mühendislik problemlerinin çözümü yapılırken çalışmada çoklu giriş ve çok çıkışlı nöral modeller geliştirilmiştir.

Bu çalışmada 3 model geliştirilmiştir. Geliştirilen Model1'de, 3 giriş ve 5 çıkış parametresi kullanılarak pompa tasarımı yapılmıştır. Geliştirilen Model2'de, 5 giriş ve 3 çıkış parametresi ve Model3'de ise, 5 giriş ve tek çıkış parametresi kullanılarak deneysel performans sonuçları hesaplanmıştır. Pompa tasarımında, farklı algoritmalar kullanılmış ancak en iyi sonuçlar, ÇKP ağ yapısının LM algoritması kullanılarak eğitilmesi ile elde edilmiştir.

Çalışmada, YSA teknikleri, literatürdeki hesaplamalar ve istatistiki tahmin denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. YSA ile elde edilen tüm sonuçların ölçüm sonuçları ile çok daha iyi uyumluluk içinde olduğu görülmüştür. Bu çalışmada sunulan YSA modellerinin avantajları basitlikleri, doğrulukları ve esneklikleridir.

Pompa tasarım parametrelerinden çark giriş çapına ait ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %2.43, regresyon tahmin denklemlerinde %5.32 ve teorik sonuçlarda ise %18.02 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA, regresyon ve teorik modeller için sırasıyla 0.0009, 0.0042 ve 0.0495 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modellere kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Çark çıkış çapı ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %3.37, regresyon tahmin denklemlerinde %8.06 ve teorik sonuçlarda ise %22.57 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA, regresyon ve teorik modeller için sırasıyla 0.0008, 0.0053 ve 0.0434 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modellere kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Çark kanat sayısı ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %2.11, regresyon tahmin denklemlerinde %5.59 ve teorik sonuçlarda ise %39.83 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA, regresyon ve teorik modeller için sırasıyla 0.0007, 0.0043 ve 0.1082 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modellere kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu saptanmıştır.

Pompa giriş borusu çapı ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %3.29, regresyon tahmin denklemlerinde %10.13 ve teorik sonuçlarda ise %39.61 bulunmuştur. Ölçülen değerlere, hesaplanan (YSA, Regresyon ve Teorik) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA, regresyon ve teorik modeller için sırasıyla 0.0012, 0.0101 ve 0.0982 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modellere kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Pompa çıkış borusu çapı ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %5.11, regresyon tahmin denklemlerinde %11.79 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0019 ve 0.0124 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Geliştirilen Model2 dikkate alındığında, devir sayısına ait ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %1.24 ve regresyon tahmin denklemlerinde %13.40 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.0141 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Debi ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %9.01 ve regresyon tahmin denklemlerinde %30 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0022 ve 0.0256 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Manometrik yükseklik ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %6.33 ve regresyon tahmin denklemlerinde %16.51 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0037 ve 0.0990 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu saptanmıştır.

Geliştirilen Model3 dikkate alındığında, devir sayısı ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %0.94 ve regresyon tahmin denklemlerinde %17.56 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.0275 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Geliştirilen Model4 dikkate alındığında, debi ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %2.39 ve regresyon tahmin denklemlerinde %20.60 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0002 ve 0.0481 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu görülmüştür.

Geliştirilen Model5 dikkate alındığında ise manometrik yükseklik ölçüm değerlerine yaklaşımda ortalama hata, YSA modelinde %1.18 ve regresyon tahmin denklemlerinde %41.97 bulunmuştur. Ölçülen değerlerle, hesaplanan (YSA ve Regresyon) değerlerin uyuşma derecesi (U^2), YSA ve regresyon modelleri için sırasıyla 0.0001 ve 0.1063 olarak elde edilmiştir. YSA modeliyle elde edilen sonuçların, diğer modele kıyasla ölçüm değerleri ile daha uyumlu olduğu saptanmıştır.

YSA teknikleri ile elde edilen giriş-çıkış değerlerinin ortalama hatası %0.94 ile %9.01 arasında değişmiştir. Ortalama hatanın %9'lara kadar çıkmasının nedeni kullanılan veri tabanının farklı kaynaklardan alınmasına bağlı olarak, veriler arasında önemli bir varyasyonun bulunmasıdır. Bu değişimin nedeni ise çalışmalarda kullanılan deney standlarına ait ölçme ve sistematik hatalardır. Sungur (2003) çalışmasında, geleneksel yöntemle yapılan pompa deney sonuçları ile geliştirilen bilgisayar destekli pompa deneylerinden elde edilen sonuçların karşılaştırmasını yapmış ve bilgisayar destekli deney ünitesinden elde edilen verilerin daha güvenilir ve hassas olduğunu tespit etmiştir.

Bu çalışmalarda kullanılacak veri tabanının modern ölçme sistemlerinden daha hassas olarak elde edilmesi ve veri sayısının artırılmasıyla çok daha düşük ortalama hataya sahip YSA modellerin elde edilmesi mümkündür.

Bu çalışmadaki nöral modeller ile gerek bir pompaya ait performans değerlerinin ve gerekse performans değerleri verilen bir pompaya ait tasarım parametrelerinin belirlenmesi, hızlı ve güvenli bir şekilde yapılabilecektir. Geliştirilen Model1 pompa imalat sanayisinde, Model2, Model3, Model4 ve Model5 ise deney merkezlerinde kullanılabilecektir.

Gelecekte yapılacak bu tip çalışmalarda sadece YSA değil, Yapay Zeka bileşenlerinin birlikte kullanılması diğer bir deyişle hibrit sistemler başarıyı çok daha fazla artıracaktır.

6. KAYNAKLAR

Allahverdi, N. 1998. Yapay Zeka Yöntemleri ve Tarımda Uygulamaları. 2. Ulusal Tarımda Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, sayfa:123-131, Konya.

Anonim, 1984. Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuarı, İstanbul.

Anonim, 1985. Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuarı, İstanbul.

Anonim, 1990. Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuarı, İstanbul.

Anonim, 1991a. Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuarı, İstanbul.

Anonim, 1991b. Minitab Reference Manuel (release 10.1). Minitab Inc. State University Michigan.

Anonim, 1992. Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuarı, İstanbul.

Anonim, 1993. Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuarı, İstanbul.

Anonim, 1994. Santrifüj Pompa Teknik El Kitabı. KSB. Ankara.

Anonim, 1997. Deney ve Muayene Raporları. İTÜ Makine Fakültesi, Hidromekanik Laboratuarı, İstanbul.

Anonim, 1998. ISO 2548 Radyal Santrifüj Pompalarda Kabul Deneyleri C-Sınıf. POMSAD. Yayınları No:4. İstanbul.

Anonim, 2001. Rotodinamik Pompalar İçin ENPY (Emmedeki Net Pozitif Yük). POMSAD. Yayınları No:9. İstanbul.

Anonim, 2002. TS EN ISO 9906 Rotodinamik pompalar-Hidrolik performans Kabul deneyleri- Sınıf 1 ve 2.Ankara.

Anonim, 2003a. www.tarim.gov.tr.

Anonim, 2003b. Pumping From Shallow Streams. www.nrm.gld.gov.au/factsheets/

pdf /water/w26.pdf.

Anonim, 2004. www. faostat.fao.org/faostat.

Anonim, 2005a. www. dsi.gov.tr/topraksu.htm.

Anonim, 2005b. Tarımsal Yapı ve Üretim. DİE. Ankara.

Ayder, E. 1986. Turbo Makinalarındaki Akışın Nümerik Yöntem ile Çözümü. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ayıkoğlu, A. 1995. Türkiye'de İmal Edilen Bazı Derinkuyu Pompaların Karakteristik Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. G.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Tokat, 53 s.

Bağırkan, Ş. 1993. İstatistiksel Analiz. Bilim Teknik Yayınevi. s. 301. İstanbul.

Balaban, A. 1963. Sulamada Yer Altı Sularından Faydalanma ve Pompaj Problemleri Üzerinde Bir Araştırma. Güneş Matbaacılık, Ankara, Yayın No: 538, 90 s.

Baysal, B.K. 1975. Tam Santrifüj Pompalar Hesap Çizim ve Konstrüksiyon Özellikleri, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Yayını, no: 1038, İstanbul.

Bechtler, H., Browne, MW., Bansal, PK., Kecman, V. 2001. New approach to dynamic modelling of vapour-compression liquid chillers: artificial neural networks. Appl Therm Eng, 21:941–53.

Bezir, N. Ç., Şencan, A., Özek, N. ve Yakut, A.K. 2003. Güneş Enerjili Sistemlerde Yapay Sinir Ağları Metodunun Kullanılabilirliği Ve Bir Uygulama. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7.1, 47-51, Isparta.

Bohl, W. 1980. Strömungsmaschinen (Berechnung und Konstruktion). Vogel-Verlag, Würzburg.

Bykov, G.A. ve Guzynin, A.I. 1977. The General Laws Governing the Service Properties of Geometrically-Dissimilar Centrifugal Pumps. San. Technika Resp. Mezved. Nauc. Tech. Sb. No: 17, 5-10.

Chapra, S.C. And Canale, R. P. 1994. Introduction to Computing for Engineers. McGraw-Hill, Inc., 818 s., New York.

Chen, A.Y.W. ve Birzer, R. 1980. Computer-Aided Design of Low specific Speed Industrial Centrifugal Pumps. ITT Bell. and Gossett, San Francisco.

Cichang, C. Lang, X., Darong, X., Liangrun, G. 1990. On Secondary Flow Inside Centrifugal Pump Performance. ASME, v. 96, p. 15-21, New York.

Çalışır, S., Gültekin, S.S. ve Çarman, Ç. 2003. Santrifüj Pompaların Performans Değerlerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Hesaplanması. Tarımsal Mekanizasyon 21. Ulusal Kongresi, 3-5 Eylül 2003, Konya

Çalışır, S., Konak, M. 1998. Sulama Pompalarında Deneme Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi, Tekirdağ.

Dahl, T. ve Nelik, L. 1985. Computer-Aided Design of a Centrifugal Pump Impeller. ASME Paper No: 85-WA/FE-10, New York.

Değer, T. 2005. Bilgisayar Destekli Pompa Tasarımı. 5. Pompa Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, İstanbul.

Doğuş, R. 1963. Santrifüj Pompa Deneme Laboratuvarı Projesi ve Projenin Tatbiki. A.Ü. Basımevi, Ankara, Yayın No: 220, 35 s.

Doğuş, R., Tezer, E. 1963. Pompalarda Debinin Boru Dışında Depo ve Savaklarda Ölçülmesine Ait Metodlar. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayını: 223. Ankara.

Elizondo, D., G.Hoogenboom and McClendon R.W. 1994a. Development of a Neural Network Model to Predict Daily Solar Radiation, Agricultural and Forest Meteorology, 71, pp.115 – 132.

Elizondo, D.A., McClendon R.W. and Hoogenboom G. 1994b. Neural Network Models for Predicting Flowering and Physiological Maturity of Soybean, Transactions of the ASAE, Vol.37(3), pp.981-988.

Engin, T. 2005. Merkezkaç Pompaların Katı-Sıvı Karışımlarının İletimindeki Performans Kaybının Belirlenmesi. 5. Pompa Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, İstanbul.

Eryılmaz, T. 2004. Sulamada Kullanılan Santrifüj Pompaların Kavitasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Fraser, C. J. And Milne, J. S. 1990. Microcomputer Applications in Measurement Systems. MacMilan Edu., 453 s., London.

Genceli, O. F. 1995. Ölçme Tekniği. Birsen Yayınevi, 387 s., İstanbul.

Govind, G. ve Ramamoorthy, P.A. 1991. Multi-Layer Neural Networks for Arbitrary Approximation: an Explaination and Simulations, Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks. Pp 589-594, ASME Pres, New York.

Gökelim, A.T. 1976. Pompalar. Birsen Kitabevi Yayınları, İstanbul.

Gölcü, M. 2006a. Artificial Neural Network Based Modeling of Performance Characteristics of Deep Well Pumps with Splitter Blade. Energy Conversion and Management 47 3333-3343.

Gölcü, M. 2006b. Neural Network Analysis of Head-Flow Curves in Deep Well Pumps. Energy Conversion and Management 47 992-1003.

Güleren, M. 2003. Santrifüj Pompadaki Durgunluğun Nümerik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.

Gültekin, S.S. 2002. Çeşitli Tipteki Mikroşerit Antenlerin Karakteristik Parametrelerinin Farklı Algoritmalarla Eğitilen Yapay Sinir Ağları İle Hesaplanması, Selçuk Ün. Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Konya.

Güney, K., Gültekin, S.S., Sağıoğlu, Ş. 2002. Yapay Sinir Ağları ile Üçgen Mikroşerit Antenlerin Rezonans Frekansının Hesaplanması, 10. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları, Denizli.

Gürhan, R. 1990. Sulama Amaçlı Yatay Milli Santrifüj Pompaların İmalat Karakteristiklerinin Bilgisayar Destekli Tasarımla Geliştirilmesi. Doktora Tezi, A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Gürhan, R., Ayık, M. 1991. Sulama Pompaları Deney Sonuçlarının Tasarım Parametreleri Olarak Değerlendirilmesi. A.Ü.Ziraat Fakültesi Baskı Ofset Ünitesi, Ankara, Yayın No: 1203, 34 s.

Hall, J.W. 1992. Emulating Human Proces Control Functions with Neural Networks. Unpublished Ph.D. Dissertation. Department of Mechanical Engineering. University of Illinois, Urbana Illinois.

Hanagart, W. 1982. Development Trends in Centrifugal Pump Design. Ind. Anz. 104 (77): 22-24, ISSN 0019-9036.

Hancıoğlu, E. 1984. Design, Construction and Performance Evaluation of a Double Suction Centrifugal Pump. Master's Thesis, M. E. T. U. Ankara.

Haykin, S. 1994. Neural Networks, A Comprehensive Foundation, Macmillan College Publishing Comp. Inc.

Holman, J.P. 1994. Experimantal Methods for Engineers. MacGraw-Hill, Inc., 509 s., New York.

Jacobs, R.A. 1988. "Increased Rate of Convergence Through Learning Rate Adaptation" Neural Networks, l, s. 295-307.

Karadoğan, H., Kavurmacıoğlu, L., Güreken, G., Tekelioğlu, M. 1998. ISO 2548'e Göre C Sınıfı Pompa Kabul Deneyleri. 3 . Pompa Kongresi: 36-44. İstanbul.

Karassik, I.J., Krutzsch, W.C., Fraser, W.H., Messina, J.P. 1986. Pump Handbook (Second Edition). ISBN 0-07-033302-5. McGraw-Hill Book Company. New York.

Karna, K.N. and Breen D.M. 1989. An Artificial Neural Networks Tutorial: Basics. Neural Networks, l, no:l, s.4-23.

Keskin, R. ve Güner, M. 2002. Sulama Makinaları. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları No:1524. Ankara.

Kılkış, B. 1979. Pompa Tasarımında ve Seçiminde Optimum Çözüm İçin Bilgisayar Yardımı ile Tasarım. I. Ulusal Pompa Kongresi Bildiri Kitabı: 67-79, Ankara.

Konuralp, O., Özkelemci H., Albayrak K. ve Açıkgöz A. 2005. Düşey Milli Çok Kademeli Bir Pompanın Performans Değerlerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yardımı ile Belirlenmesi ve Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması. 5. Pompa Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, İstanbul.

Kovats, A., and Desmur, G. 1958. Pumps, Fans and Compressors. Blackie and Son. London.

Kutman, T. 2001. Pompa Kontrolünde Değişken Hızlı Motor Sürücüler, 4. Pompa Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 11-18, İstanbul.

Lakashevich, V.P. 1981. System For Automated Design of the Flow Zones of Pump. Scientific-Technical Progress in Pump Construction: 95-100, Moscow.

Levenberg, K. 1944. "A Method For the Solution of Certain Nonlinear Problems in Least Squares" Quart. Appl. Math., 2, s. 164-168.

Marquardt, D.W. 1963. "An Algorithm For Least-Squares Estimation Of Nonlinear Parameters" J. Soc. Ind. Appl. Math., 11, s. 431-441.

Minai, A.A. and Williams, R.D. 1990 "Accelaration of Backpropagation Through Learning Rate and Momentum Adaptation," International Joint Conference on Neural Networks, l, s. 676-679.

Minsky, M.L. and Papert, S.A. 1969. Perseptron, Expended Edition, Cambridge, MA: MIT Press., London, UK.

Moshou, D., Bravo, C., West, J., Wahlen, S., McCartney, A., Ramon, H. 2004. Automatic Detection of "Yellow Rust" in Wheat Using Reflectance Measurements and Neural Networks. Computers and Electronics in Agriculture 44, 173-188.

Oğuz, H., Sarıtaş, İ., Herdem, S., Öğüt, H. 2005. Farklı Yakıtların Dizel Motorlarda Kullanımının Motor Performansına Etkisinin YSA Kullanılarak Belirlenmesi, 4rd International Advanced Technologies Symposium, Konya.

Özdamar, K. 1999. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi.

Özerengin, F. 1972. Santrifüj ve Eksenel Akımlı Pompalar. Kurtuluş Matbaası, İstanbul.

Özgür, C. 1983. Su makinaları Dersleri. İ.T.Ü. Makine Fakültesi Kütüphanesi, Sayı: 1260, İstanbul.

Özgür, C. ve Yazıcı, H.F. 1971. Santrifüj ve Eksenel Pompalar, Vantilatörler, Kompresörler (Çeviri). İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı: 856, İstanbul.

Öztemel, E. 2003. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul

Pınarbaşı, A. and Johnson, M. W. 1995. A study of Reynolds Stress Dissipation and Loss Generation in a Centrifugal Compressor Vaneless Diffuser", ASME International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition, 95-GT-150, Houston, Amerika.

Polat, M. ve Canbazoğlu, S. 1996. Optimum Pompa Seçimi ve Yeni Çalışma Şartlarına Uydurulması. 2 . Pompa Kongresi: 34-43. İstanbul.

Purushothaman, S., Srinivasa, Y.G. 1994. A back-propagation algorithm applied to tool wear monitoring. Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 34, No:5, pp: 625-631.

Rumelhart, D.E. and McClelland, J.L., 1986. "Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition". vol. l, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1, Yapay Sinir Ağları. Ufuk Kitap Kırtasiye, Kayseri

Sarıoğlu, K. ve Şen, M., 2000. Pompa Performans Eğrisinin Sayısal Yöntemlerle Belirlenmesi, Tesisat Dergisi (55), 170-172.

Schmitz, 1997. Selecting the Right Centrifugal Pump, Plant Engineering. 69-70.

Simpson, P.S. 1990. Artificial Neural Netvvorks, A Foundation, Paradigm, Aplications and Implamantation, Pergamon Press.

Sinha, M. 1999. Rotor-Stator Interactions, Turbulence Modelling and Rotating Stall in a Centrifugal Pump with Diffuser Vanes, Doktora Tezi, Johns Hopkins University, Baltimore, Amerika.

Sönmez, F. 1980. Santrifüj Pompalar. Kipaş Yayınları. İstanbul.

Stepanoff, A.J. 1993. Centrifugal and Axial Flow Pump (Theory, Design and Application). Krieger Publishing Company. Florida.

Sungur, C. 2003. Bilgisayar Kontrollü Yüksek Hassasiyetli Santrifüj Pompa Deney Ünitesinin Gerçekleştirilmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Konya.

Tang, G.L. 1995. Optimum Design of Centrifugal Impeller. II. International Conference on Pumps and Fans. V.1, P.319, October 17-20, Chine.

Tezer, E. 1964. Anadolu Sulu Ziraat Bölgelerinde Kullanılan Su Çıkartma Vasıtaları Üzerinde Teknik, Zirai ve Ekonomik Bakımdan Bir Araştırma. Köyişleri Bakanlığı Yayınları, Ankara, Yayın No: 37, 175 s.

Tezer, E. 1978. Sulamada Pompaj Tesisleri (Proje, Seçim ve İşletme yöntemleri). Cilt I-II-III. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları. Adana.

Toklu, E., Yiğit, K. S., Kılıçaslan, İ. ve Çallı, İ. 1996. Açık Kanatlı Pompa Tasarımında Optimum Karakteristiklerin Seçimi. 2. Pompa Kongresi

ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, sayfa: 153-159, İstanbul.

Tsang, L. 1989. On the Design of Impeller Vanes of Centrifugal Pumps. Transaction of the Canadian Society for Mechanical Engineers, v. 113, no. 3, p. 69-73, Canada.

Uno, Y., Prasher, S.O., Lacroix, R., Goel, P.K., Karimi, Y., Viau, A., Patel, R.M. 2005. Artificial Neural Networks to Predict Corn Yield From Compact Airborne Spectrographic Imager Data. Computers and Electronics in Agriculture 47, 149-161.

Uz, E. 1981. İzmir ve Çevresinde İmal Edilen Yatay Eksenli Tek Kademeli Santrifüj Zirai Sulama Pompaları Üzerinde Araştırmalar. E. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 391, İzmir.

Uz, E. ve Demir, V. 1995. Santrifüj Pompalar Derin Kuyu Pompaları, Dalgıç Pompalar ve Pompa Deneyleri, E.Ü. Ziraat Fakültesi, İzmir.

Vogl, T.P., J.K. Mangis, A.K. Rigler, W.T. Zink, and D.L. Alkon. 1988. "Accelerating the convergence of the backpropagation method," Biological Cybernetics, Vol. 59, pp. 257-263.

Williams, D.B. and Zazueta F.S.1996. Solar Radiation Estimation via Neural Network, Proceedings of 6th Intern.Conf. on Computers in Agriculture, Mexico, pp.1143-1149.

Yalçın, K. 1998. Hacimsel ve Santrifüj Pompalar. Santrifüj Pompaların Hesabı ve Çizimi. Çağlayan Kitabevi. İstanbul.

Yang, C.C, Prasher, S.O., Landry, J.A., Ramaswamy, H. S. 2003. Development of a Herbicide Application Map Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic. Agricultural Systems 76, 561-574.

Yazıcı, H.F. 1979. Santrifüj Pompaların Denenmesi. 1. Ulusal Pompa Kongresi. İstanbul, s 247-284.

Yazıcı, H.F. 1996. Santrifüj Pompaların Denenmesi. 2 . Pompa Kongresi: 1-15. İstanbul.

Yazıcı, H.F. 1998. Pompa Normları Hakkında. 3. Pompa Kongresi, İstanbul.

Zurada, J.M. 1992. Introduction to Artificial Neural Networks, West Publishing Company.

7. EKLER

Ek1. Yöntem1 için geliştirilen YSA modelinde (Model1) kullanılan veriler.

Kod	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)
- 10*10	3000	0.01439	15.8	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*13	3000	0.00771	32.13	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*14	3000	0.00546	34.52	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*15	3000	0.00000	33.63	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*16	3000	0.01325	20.92	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*18	3000	0.01347	20	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*19	3000	0.01359	18	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*2	3024	0.01640	16.5	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*20	3000	0.01330	17.4	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*29	3000	0.00680	33.7	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*3	3027	0.01470	17.9	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*30	3000	0.00670	33.7	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*31	3000	0.00690	33	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*32	3000	0.00680	32.9	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*33	3000	0.00700	32.9	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*35	3000	0.00380	35.1	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*36	3000	0.00400	34.5	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*39	2933	0.01750	12.5	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*4	3013	0.01290	19.4	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*40	2990	0.01600	15.7	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*41	3014	0.01350	18.5	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*43	3044	0.00780	22.7	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*44	3089	0.00000	23.4	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*46	2992	0.01470	17.1	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*5	3009	0.01040	20.7	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*5	2964	0.01220	23	69.5	160	6	50.8	50.8
- 10*6	3009	0.00813	21.8	78.15	140.9	7	63.5	50.8
- 10*6	2969	0.01030	27	69.5	160	6	50.8	50.8
- 10*7	2970	0.00850	29.9	69.5	160	6	50.8	50.8
- 11*10	2785	0.01898	41.8	79.15	174.9	6	101.6	76.2
- 11*12	2455	0.01326	44.5	100.5	76.8	6	76.2	76.2
- 11*13	2612	0.00962	56.6	100.5	76.8	6	76.2	76.2
- 11*14	2745	0.00573	69.5	100.5	76.8	6	76.2	76.2
- 11*15	2830	0.00000	75.4	100.5	76.8	6	76.2	76.2
- 11*16	2698	0.00877	65	100.5	76.8	6	76.2	76.2
- 11*24	2508	0.01292	47.4	100.5	76.8	6	76.2	76.2
- 11*25	2563	0.01053	54.2	100.5	76.8	6	76.2	76.2
- 11*27	2744	0.00666	69.4	100.5	76.8	6	76.2	76.2
- 11*28	2794	0.00262	73.72	100.5	76.8	6	76.2	76.2
- 11*4	2637	0.02470	26.6	79.15	174.9	6	101.6	76.2
- 11*6	2851	0.01560	47.9	79.15	174.9	6	101.6	76.2
- 11*8	2973	0.00203	60.4	79.15	174.9	6	101.6	76.2
- 11*9	2994	0.00000	60.5	79.15	174.9	6	101.6	76.2

Kod	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)
- 12*1	2810	0.00244	5.54	30	115	12	25.4	25.4
- 12*10	2910	0.00493	4.56	40	129	4	31.75	31.75
- 12*11	2915	0.00446	5.56	40	129	4	31.75	31.75
- 12*20	2906	0.00431	5.22	40	129	4	38.55	38.55
- 12*34	2920	0.00226	16.22	50	125	4	50.8	50.8
- 12*39	2875	0.00637	7.02	67.5	105	7	76.2	76.2
- 12*5	2815	0.00175	9.92	30	115	12	25.4	25.4
- 12*50	2895	0.00801	7.62	79.5	105	8	76.2	76.2
- 12*51	2905	0.00755	8.15	79.5	105	8	76.2	76.2
- 12*52	2895	0.00703	8.65	79.5	105	8	76.2	76.2
^ AT10	2500	0.03502	13.31	110	185	6	100	100
^ AT11	2500	0.03705	11.95	110	185	6	100	100
^ AT12	2500	0.03842	8.46	110	185	6	100	100
^ AT16	2330	0.02749	15.03	110	185	6	100	100
^ AT17	2330	0.03188	13.26	110	185	6	100	100
^ AT18	2330	0.03569	11.49	110	185	6	100	100
^ AT19	2330	0.03773	8.09	110	185	6	100	100
^ AT20	2220	0.00569	17.5	110	185	6	100	100
^ AT23	2220	0.02810	13.18	110	185	6	100	100
^ AT24	2220	0.03188	11.22	110	185	6	100	100
^ AT25	2220	0.03385	9.83	110	185	6	100	100
^ AT27	2000	0.00000	14.39	110	185	6	100	100
^ AT29	2000	0.02294	11.14	110	185	6	100	100
^ AT3	1600	0.02124	6.24	110	185	6	100	100
^ AT30	2000	0.02810	9.24	110	185	6	100	100
^ AT31	2000	0.03124	7.82	110	185	6	100	100
^ AT32	2000	0.03319	6.41	110	185	6	100	100
^ AT35	1810	0.02124	9.43	110	185	6	100	100
^ AT37	1810	0.02997	5.5	110	185	6	100	100
^ AT39	1250	0.02068	18.55	140	297	6	146.2	123.8
^ AT40	1250	0.03188	16.51	140	297	6	146.2	123.8
^ AT42	1250	0.04941	7.13	140	297	6	146.2	123.8
^ AT43	1250	0.05253	2.3	140	297	6	146.2	123.8
^ AT47	1350	0.05332	7.4	140	297	6	146.2	123.8
^ AT5	1600	0.02628	4.98	110	185	6	100	100
^ AT52	1450	0.05412	7.53	140	297	6	146.2	123.8
^ AT9	2500	0.03319	15.59	110	185	6	100	100
" EU14	2200	0.03170	18.6	103	181	6	102	95
" EU15	1900	0.03280	23.5	103	206	6	101	98
" EU17	1900	0.01850	17.95	84	189	7	86	74
" EU20	1500	0.01220	11.5	74	198	6	77	76
" EU26	2900	0.01450	29	69	162	6	65	68
" EU5	1100	0.06800	12.8	153	298	6	152	145
" EU6	1600	0.04380	19.5	126	244	6	127	124
+ RG21	1500	0.01220	11.5	74	198	6	77	76
+ RG24	3600	0.00676	23.69	75	135	6	63	72
+ RG27	2900	0.02930	44.13	101	210	6	115	98
+ RG29	1900	0.01850	17.95	84	189	7	86	74
+ RG30	3000	0.01744	31.45	88	175	7	93	79
+ RG33	1900	0.03280	23.5	103	206	6	101	98

	Kod	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)
+	RG4	2815	0.00218	17.98	33	140	8	39	39
+	RG46	1600	0.04380	19.5	126	244	6	127	124
+	RG53	1100	0.06800	12.8	153	298	6	152	145
+	RG55	3000	0.01960	20.7	95	140	7	102	102
+	RG57	2200	0.03170	18.6	103	181	6	102	95
+	RG6	1480	0.03600	40	140	368	5	100	100
+	RG62	3600	0.01900	17	77	115	6	76	76
+	RG66	3600	0.01280	16.7	77	110	6	76	76
+	RG67	3000	0.02040	17.5	95	135	7	100	100
+	RG69	3600	0.01510	15	77	114	6	76	76
+	RG7	3000	0.01250	49	78	208	6	76	76
+	RG9	3000	0.01280	49	78	208	6	75	75
*	TE101	800	0.08040	6.58	186	304	6	200	195
*	TE102	800	0.09036	5.97	186	304	6	200	195
*	TE105	900	0.00000	11.13	186	304	6	200	195
*	TE106	900	0.05075	11.28	186	304	6	200	195
*	TE11	1400	0.03333	15.38	126	250	7	100	98
*	TE12	1400	0.03763	14.36	126	250	7	100	98
*	TE13	1400	0.04061	11.98	126	250	7	100	98
*	TE15	1500	0.00000	22.14	126	250	7	100	98
*	TE17	1500	0.02724	19.09	126	250	7	100	98
*	TE19	1500	0.03763	16.29	126	250	7	100	98
*	TE20	1500	0.03911	13.4	126	250	7	100	98
*	TE21	1500	0.04261	9.97	126	250	7	100	98
*	TE22	1600	0.00000	25.71	126	250	7	100	98
*	TE24	1600	0.03125	22.31	126	250	7	100	98
*	TE26	1600	0.03985	16.46	126	250	7	100	98
*	TE27	1600	0.03985	13.03	126	250	7	100	98
*	TE28	1600	0.04318	9.83	126	250	7	100	98
*	TE29	1700	0.00000	29.66	126	250	7	100	98
*	TE3	1300	0.02660	14.49	126	250	7	100	98
*	TE30	1700	0.02406	27.92	126	250	7	100	98
*	TE32	1700	0.03911	22.69	126	250	7	100	98
*	TE33	1700	0.04061	18.37	126	250	7	100	98
*	TE34	1700	0.04281	13.78	126	250	7	100	98
*	TE35	1700	0.04401	9.7	126	250	7	100	98
*	TE37	1800	0.02343	30.1	126	250	7	100	98
*	TE44	900	0.03763	7.95	145	267	6	154	150
*	TE45	900	0.04839	7.34	145	267	6	154	150
*	TE46	900	0.05247	6.72	145	267	6	154	150
*	TE47	900	0.05838	5.98	145	267	6	154	150
*	TE48	900	0.06364	5.36	145	267	6	154	150
*	TE49	900	0.06723	4.62	145	267	6	154	150
*	TE5	1300	0.03546	11.7	126	250	7	100	98
*	TE50	1000	0.00000	9.72	145	267	6	154	150
*	TE51	1000	0.03289	9.7	145	267	6	154	150
*	TE52	1000	0.03911	9.51	145	267	6	154	150
*	TE53	1000	0.05082	8.76	145	267	6	154	150
*	TE55	1000	0.06543	6.86	145	267	6	154	150
*	TE56	1000	0.07090	6.04	145	267	6	154	150

	Kod	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)
*	TE57	1000	0.07560	5.3	145	267	6	154	150
*	TE58	1100	0.00000	12.84	145	267	6	154	150
*	TE59	1100	0.04356	12.06	145	267	6	154	150
*	TE6	1300	0.03911	9.97	126	250	7	100	98
*	TE60	1100	0.05001	11.42	145	267	6	154	150
*	TE61	1100	0.05697	10.66	145	267	6	154	150
*	TE62	1100	0.06814	8.83	145	267	6	154	150
*	TE63	1100	0.07655	7.34	145	267	6	154	150
*	TE64	1100	0.08236	5.7	145	267	6	154	150
*	TE66	1200	0.03891	15.12	145	267	6	154	150
*	TE67	1200	0.05001	14.48	145	267	6	154	150
*	TE68	1200	0.06187	12.88	145	267	6	154	150
*	TE69	1200	0.07277	11.14	145	267	6	154	150
*	TE7	1300	0.03985	8.2	126	250	7	100	98
*	TE70	1200	0.08040	9.27	145	267	6	154	150
*	TE72	1200	0.08732	6.38	145	267	6	154	150
*	TE75	1300	0.04839	20.73	145	267	6	154	150
*	TE76	1300	0.06364	18.25	145	267	6	154	150
*	TE77	1300	0.07465	15.5	145	267	6	154	150
*	TE78	1300	0.08138	12.61	145	267	6	154	150
*	TE79	1300	0.08833	9.72	145	267	6	154	150
*	TE80	1300	0.08934	6.93	145	267	6	154	150
*	TE81	600	0.00000	4.61	186	304	6	200	195
*	TE85	600	0.05497	4.13	186	304	6	200	195
*	TE86	600	0.06011	3.86	186	304	6	200	195
*	TE89	700	0.00000	6.24	186	304	6	200	195
*	TE90	700	0.03462	6.15	186	304	6	200	195
*	TE93	700	0.07183	5.25	186	304	6	200	195
*	TE94	700	0.07943	4.47	186	304	6	200	195
*	TE97	800	0.00000	8.01	186	304	6	200	195
*	TE98	800	0.04963	8.18	186	304	6	200	195
-	10*12	3000	0.01036	28.35	78.15	140.9	7	63.5	50.8
-	10*17	3000	0.01193	25.03	78.15	140.9	7	63.5	50.8
-	10*22	3000	0.01230	23	78.15	140.9	7	63.5	50.8
-	10*45	3009	0.01140	20.2	78.15	140.9	7	63.5	50.8
-	11*26	2650	0.00871	61.95	100.5	76.8	6	76.2	76.2
^	AT22	2220	0.02510	14.25	110	185	6	100	100
^	AT36	1810	0.02628	7.63	110	185	6	100	100
^	AT4	1600	0.02351	4.93	110	185	6	100	100
+	RG25	2900	0.01450	29	69	162	6	65	68
*	TE14	1400	0.04112	9.7	126	250	7	100	98
*	TE23	1600	0.02101	24.22	126	250	7	100	98
*	TE31	1700	0.03333	25.14	126	250	7	100	98
*	TE4	1300	0.03194	13.17	126	250	7	100	98
*	TE54	1000	0.06011	7.74	145	267	6	154	150
*	TE71	1200	0.08632	7.64	145	267	6	154	150
*	TE91	700	0.04839	6.24	186	304	6	200	195

“ :Uz 1981, + :Gürhan ve Ayık 1991, * :Eryılmaz 2004, -:Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997),
^ : Tezde Yapılan Deneyler, Koyu Renkler : Test Verileri, Açık Renkler : Eğitim Verileri.

Ek2. Yöntem2 için geliştirilen YSA modelinde (Model2) kullanılan veriler.

	Kod	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)
-	10*16	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3000	0.01325	20.92
-	10*18	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3000	0.01347	20.00
-	10*22	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3000	0.01230	23.00
-	10*23	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3000	0.01230	23.70
-	10*42	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3034	0.00990	21.50
-	10*43	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3044	0.00780	22.70
-	10*45	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3009	0.01140	20.20
-	10*5	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3009	0.01040	20.70
-	10*5	69.5	160	6	50.8	50.8	2964	0.01220	23.00
-	10*6	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3009	0.00813	21.80
-	11*12	100.5	76.8	6	76.2	76.2	2455	0.01326	44.50
-	11*23	100.5	76.8	6	76.2	76.2	2461	0.01445	41.95
-	11*24	100.5	76.8	6	76.2	76.2	2508	0.01292	47.40
-	12*13	40	129	4	31.75	31.75	2911	0.00355	8.19
-	12*14	40	129	4	31.75	31.75	2916	0.00296	10.02
-	12*15	40	129	4	31.75	31.75	2910	0.00217	12.14
-	12*22	40	129	4	38.55	38.55	2900	0.00330	9.09
-	12*23	40	129	4	38.55	38.55	2910	0.00248	11.91
-	12*24	40	129	4	38.55	38.55	2915	0.00177	14.25
-	12*3	30	115	12	25.4	25.4	2802	0.00218	7.32
-	12*31	50	125	4	50.8	50.8	2885	0.00446	10.98
-	12*32	50	125	4	50.8	50.8	2885	0.00413	12.62
-	12*33	50	125	4	50.8	50.8	2895	0.00294	14.94
-	12*34	50	125	4	50.8	50.8	2920	0.00226	16.22
-	12*37	50	125	4	50.8	50.8	2900	0.00339	14.26
-	12*39	67.5	105	7	76.2	76.2	2875	0.00637	7.02
-	12*4	30	115	12	25.4	25.4	2806	0.00196	8.69
-	12*40	67.5	105	7	76.2	76.2	2875	0.00577	7.74
-	12*42	67.5	105	7	76.2	76.2	2885	0.00468	8.98
-	12*43	67.5	105	7	76.2	76.2	2890	0.00433	9.45
-	12*44	67.5	105	7	76.2	76.2	2880	0.00382	9.86
-	12*45	67.5	105	7	76.2	76.2	2890	0.00315	10.43
-	12*46	67.5	105	7	76.2	76.2	2905	0.00248	10.79
-	12*47	67.5	105	7	76.2	76.2	2915	0.00095	10.84
-	12*48	67.5	105	7	76.2	76.2	2920	0.00000	10.64
-	12*5	30	115	12	25.4	25.4	2815	0.00175	9.92
-	12*50	79.5	105	8	76.2	76.2	2895	0.00801	7.62
-	12*51	79.5	105	8	76.2	76.2	2905	0.00755	8.15
-	12*52	79.5	105	8	76.2	76.2	2895	0.00703	8.65
-	12*53	79.5	105	8	76.2	76.2	2890	0.00645	8.99
-	12*54	79.5	105	8	76.2	76.2	2900	0.00581	9.56
-	12*55	79.5	105	8	76.2	76.2	2895	0.00491	9.96
-	12*57	79.5	105	8	76.2	76.2	2910	0.00383	10.81
-	12*58	79.5	105	8	76.2	76.2	2915	0.00259	11.09
-	12*6	30	115	12	25.4	25.4	2832	0.00149	11.61
-	12*60	79.5	105	8	76.2	76.2	2900	0.00645	9.37
^	AT16	110	185	6	100	100	2330	0.02749	15.03

	Kod	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)
^	AT22	110	185	6	100	100	2220	0.02510	14.25
^	AT23	110	185	6	100	100	2220	0.02810	13.18
^	AT45	140	297	6	146.2	123.8	1350	0.03982	16.92
"	EU1	153	250	6	153.5	154	1500	0.05820	14.75
"	EU10	125	244	6	127	127	1600	0.03560	18.45
"	EU11	60	193	6	102	105	2200	0.02600	22.50
"	EU12	109.5	204	8	107	100	1700	0.02760	14.80
"	EU14	103	181	6	102	95	2200	0.03170	18.60
"	EU15	103	206	6	101	98	1900	0.03280	23.50
"	EU16	75.5	172	6	75	74	2100	0.02000	12.90
"	EU18	87	179	8	87	78	1500	0.01580	10.50
"	EU19	61	195	6	76	77	1500	0.01400	10.50
"	EU2	100	247.5	6	154	153	1500	0.05150	13.15
"	EU21	70	177	6	72.5	76	1900	0.01580	12.80
"	EU22	62	193	6	63	68	2100	0.01170	22.50
"	EU23	70	176	6	63	66	2500	0.01350	27.00
"	EU25	73	190	6	70	63	2000	0.01440	20.40
"	EU3	153	270	6	155	152	1250	0.04570	12.30
"	EU4	154	248	6	150	140	1500	0.05100	16.55
"	EU6	126	244	6	127	124	1600	0.04380	19.50
"	EU7	126	277	6	125	127	1800	0.04100	20.70
"	EU8	78	224	6	123	125	1600	0.03100	11.25
"	EU9	127	222	6	127	124	1600	0.05200	16.30
+	RG1	31	130	6	30	30	2870	0.00072	16.85
+	RG11	35	150	4	45	45	2820	0.00387	19.00
+	RG12	29	143	4	61	61	3000	0.00490	23.00
+	RG13	28	130	4	46	46	3000	0.00390	19.00
+	RG15	70	176	6	63	66	2500	0.01350	27.00
+	RG16	104	210	6	110	85	2600	0.02396	41.00
+	RG17	73	190	6	70	63	2000	0.01440	20.40
+	RG18	88	200	7	93	79	3000	0.01563	36.11
+	RG19	119	170	6	154	154	2000	0.04150	16.00
+	RG2	40	123	6	57	57	2850	0.00107	17.57
+	RG20	68	175	7	73	85	3000	0.01220	29.50
+	RG21	74	198	6	77	76	1500	0.01220	11.50
+	RG22	36	180	4	94	94	3000	0.01360	31.00
+	RG23	45	129	6	45	44	3600	0.00546	21.45
+	RG26	66	135	6	85	85	2835	0.00810	19.00
+	RG27	101	210	6	115	98	2900	0.02930	44.13
+	RG28	31	141	4	66	66	3200	0.00810	21.00
+	RG3	50	125	7	65	45	2900	0.00282	27.00
+	RG32	65	125	3	57	57	1880	0.00426	10.63
+	RG33	103	206	6	101	98	1900	0.03280	23.50
+	RG35	87	175	8	87	78	1500	0.01580	10.50
+	RG37	97	156	4	75	75	3000	0.01600	26.10
+	RG39	58	156	6	68	68	2900	0.01450	22.60
+	RG40	125	244	6	127	217	1600	0.03560	18.45
+	RG41	65	126	6	85	85	2860	0.00650	12.80
+	RG42	60	193	6	102	105	2200	0.02600	22.50
+	RG43	70	177	6	73	76	1900	0.01580	12.80

	Kod	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)
+	RG45	97	156	4	75	75	3000	0.01350	20.90
+	RG47	109	204	8	107	100	1700	0.02760	14.80
+	RG48	126	277	6	125	127	1800	0.04100	20.70
+	RG49	120	204	6	106	98	1700	0.03100	15.80
+	RG5	42	130	6	57	57	2860	0.00300	19.65
+	RG50	103	160	9	100	100	3000	0.02300	26.00
+	RG51	153	270	6	155	152	1250	0.04570	12.30
+	RG52	154	248	6	150	140	1500	0.05100	16.55
+	RG53	153	298	6	152	145	1100	0.06800	12.80
+	RG56	76	172	6	75	74	2100	0.02000	12.90
+	RG57	103	181	6	102	95	2200	0.03170	18.60
+	RG58	81	135	6	65	72	3520	0.01475	20.29
+	RG59	127	222	6	127	124	1600	0.05200	16.30
+	RG6	140	368	5	100	100	1480	0.03600	40.00
+	RG60	88	145	7	88	103	3000	0.01869	18.93
+	RG61	78	244	6	123	125	1600	0.03100	11.25
+	RG63	153	250	6	154	154	1500	0.05820	14.75
+	RG65	100	247	6	154	153	1500	0.05150	13.15
+	RG66	77	110	6	76	76	3600	0.01280	16.70
+	RG68	124	175	6	126	124	2540	0.04000	19.34
*	TE11	126	250	7	100	98	1400	0.03333	15.38
*	TE18	126	250	7	100	98	1500	0.03264	18.46
*	TE45	145	267	6	154	150	900	0.04839	7.34
*	TE53	145	267	6	154	150	1000	0.05082	8.76
*	TE60	145	267	6	154	150	1100	0.05001	11.42
*	TE86	186	304	6	200	195	600	0.06011	3.86
*	TE87	186	304	6	200	195	600	0.06364	3.65
*	TE92	186	304	6	200	195	700	0.06099	5.69
-	10*21	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3000	0.01240	23.10
-	12*41	67.5	105	7	76.2	76.2	2885	0.00507	8.65
-	12*49	67.5	105	7	76.2	76.2	2885	0.00413	9.68
-	12*56	79.5	105	8	76.2	76.2	2890	0.00460	10.23
"	EU13	120	204	6	106	98	1700	0.03100	15.80
"	EU24	58	156	6	68	68	2900	0.01450	22.60
+	RG14	62	193	6	63	68	2100	0.01170	22.50
+	RG31	61	195	6	76	77	1500	0.01400	10.50
+	RG46	126	244	6	127	124	1600	0.04380	19.50
*	TE46	145	267	6	154	150	900	0.05247	6.72

“ :Uz 1981, + :Gürhan ve Ayık 1991, * :Eryılmaz 2004, -:Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997),
^ : Tezde Yapılan Deneyler, Koyu Renkler : Test Verileri, Açık Renkler : Eğitim Verileri.

Ek3. Yöntem3 için geliştirilen YSA modellerinde (Model3, Model4, Model5) kullanılan veriler.

	Kod	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)
-	10*23	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3000	0.01230	23.70
-	10*38	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3000	0.00370	24.60
-	10*44	78.15	140.9	7	63.5	50.8	3089	0.00000	23.40
-	11*24	100.5	76.8	6	76.2	76.2	2508	0.01292	47.40
-	12*14	40	129	4	31.75	31.75	2916	0.00296	10.02
-	12*23	40	129	4	38.55	38.55	2910	0.00248	11.91
-	12*32	50	125	4	50.8	50.8	2885	0.00413	12.62
-	12*41	67.5	105	7	76.2	76.2	2885	0.00507	8.65
-	12*42	67.5	105	7	76.2	76.2	2885	0.00468	8.98
-	12*43	67.5	105	7	76.2	76.2	2890	0.00433	9.45
-	12*49	67.5	105	7	76.2	76.2	2885	0.00413	9.68
-	12*5	30	115	12	25.4	25.4	2815	0.00175	9.92
-	12*53	79.5	105	8	76.2	76.2	2890	0.00645	8.99
-	12*54	79.5	105	8	76.2	76.2	2900	0.00581	9.56
-	12*56	79.5	105	8	76.2	76.2	2890	0.00460	10.23
-	12*60	79.5	105	8	76.2	76.2	2900	0.00645	9.37
^	AT11	110	185	6	100	100	2500	0.03705	11.95
^	AT18	110	185	6	100	100	2330	0.03569	11.49
^	AT24	110	185	6	100	100	2220	0.03188	11.22
^	AT29	110	185	6	100	100	2000	0.02294	11.14
^	AT33	110	185	6	100	100	1810	0.00481	11.37
"	EU1	153	250	6	153.5	154	1500	0.05820	14.75
"	EU11	60	193	6	102	105	2200	0.02600	22.50
"	EU12	109.5	204	8	107	100	1700	0.02760	14.80
"	EU13	120	204	6	106	98	1700	0.03100	15.80
"	EU15	103	206	6	101	98	1900	0.03280	23.50
"	EU18	87	179	8	87	78	1500	0.01580	10.50
"	EU2	100	247.5	6	154	153	1500	0.05150	13.15
"	EU20	74	198	6	77	76	1500	0.01220	11.50
"	EU21	70	177	6	72.5	76	1900	0.01580	12.80
"	EU22	62	193	6	63	68	2100	0.01170	22.50
"	EU25	73	190	6	70	63	2000	0.01440	20.40
"	EU26	69	162	6	65	68	2900	0.01450	29.00
"	EU4	154	248	6	150	140	1500	0.05100	16.55
"	EU5	153	298	6	152	145	1100	0.06800	12.80
"	EU6	126	244	6	127	124	1600	0.04380	19.50
"	EU7	126	277	6	125	127	1800	0.04100	20.70
"	EU9	127	222	6	127	124	1600	0.05200	16.30
+	RG1	31	130	6	30	30	2870	0.00072	16.85
+	RG10	165	410	6	125	125	1460	0.05980	51.00
+	RG11	35	150	4	45	45	2820	0.00387	19.00
+	RG12	29	143	4	61	61	3000	0.00490	23.00
+	RG13	28	130	4	46	46	3000	0.00390	19.00
+	RG15	70	176	6	63	66	2500	0.01350	27.00
+	RG16	104	210	6	110	85	2600	0.02396	41.00
+	RG17	73	190	6	70	63	2000	0.01440	20.40

	Kod	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)
+	RG18	88	200	7	93	79	3000	0.01563	36.11
+	RG19	119	170	6	154	154	2000	0.04150	16.00
+	RG2	40	123	6	57	57	2850	0.00107	17.57
+	RG20	68	175	7	73	85	3000	0.01220	29.50
+	RG22	36	180	4	94	94	3000	0.01360	31.00
+	RG23	45	129	6	45	44	3600	0.00546	21.45
+	RG24	75	135	6	63	72	3600	0.00676	23.69
+	RG26	66	135	6	85	85	2835	0.00810	19.00
+	RG27	101	210	6	115	98	2900	0.02930	44.13
+	RG28	31	141	4	66	66	3200	0.00810	21.00
+	RG29	84	189	7	86	74	1900	0.01850	17.95
+	RG3	50	125	7	65	45	2900	0.00282	27.00
+	RG30	88	175	7	93	79	3000	0.01744	31.45
+	RG31	61	195	6	76	77	1500	0.01400	10.50
+	RG32	65	125	3	57	57	1880	0.00426	10.63
+	RG33	103	206	6	101	98	1900	0.03280	23.50
+	RG34	67	125	5	57	57	2818	0.00485	11.11
+	RG36	81	135	6	65	73	3400	0.01011	23.18
+	RG38	96	206	6	100	100	1485	0.02150	12.20
+	RG39	58	156	6	68	68	2900	0.01450	22.60
+	RG4	33	140	8	39	39	2815	0.00218	17.98
+	RG40	125	244	6	127	217	1600	0.03560	18.45
+	RG41	65	126	6	85	85	2860	0.00650	12.80
+	RG44	105	230	6	125	125	1480	0.02940	13.90
+	RG46	126	244	6	127	124	1600	0.04380	19.50
+	RG48	126	277	6	125	127	1800	0.04100	20.70
+	RG5	42	130	6	57	57	2860	0.00300	19.65
+	RG50	103	160	9	100	100	3000	0.02300	26.00
+	RG51	153	270	6	155	152	1250	0.04570	12.30
+	RG52	154	248	6	150	140	1500	0.05100	16.55
+	RG53	153	298	6	152	145	1100	0.06800	12.80
+	RG54	103	160	9	102	102	2800	0.02260	21.24
+	RG55	95	140	7	102	102	3000	0.01960	20.70
+	RG56	76	172	6	75	74	2100	0.02000	12.90
+	RG57	103	181	6	102	95	2200	0.03170	18.60
+	RG58	81	135	6	65	72	3520	0.01475	20.29
+	RG59	127	222	6	127	124	1600	0.05200	16.30
+	RG6	140	368	5	100	100	1480	0.03600	40.00
+	RG60	88	145	7	88	103	3000	0.01869	18.93
+	RG61	78	244	6	123	125	1600	0.03100	11.25
+	RG63	153	250	6	154	154	1500	0.05820	14.75
+	RG64	85	104	6	76	76	3600	0.01140	15.80
+	RG65	100	247	6	154	153	1500	0.05150	13.15
+	RG66	77	110	6	76	76	3600	0.01280	16.70
+	RG67	95	135	7	100	100	3000	0.02040	17.50
+	RG68	124	175	6	126	124	2540	0.04000	19.34
+	RG70	81	184	6	76	64	3000	0.01775	12.53
+	RG71	82	194	6	102	64	3000	0.02677	16.22
+	RG8	57	150	6	51	51	3000	0.00465	25.09
*	TE10	126	250	7	100	98	1400	0.02790	17.76

	Kod	D_1 (mm)	D_2 (mm)	z (adet)	D_e (mm)	D_b (mm)	n (min^{-1})	Q (m^3/s)	Hm (m)
*	TE101	186	304	6	200	195	800	0.08040	6.58
*	TE102	186	304	6	200	195	800	0.09036	5.97
*	TE112	186	304	6	200	195	900	0.11268	5.90
*	TE18	126	250	7	100	98	1500	0.03264	18.46
*	TE33	126	250	7	100	98	1700	0.04061	18.37
*	TE61	145	267	6	154	150	1100	0.05697	10.66
*	TE69	145	267	6	154	150	1200	0.07277	11.14
*	TE89	186	304	6	200	195	700	0.00000	6.24
*	TE90	186	304	6	200	195	700	0.03462	6.15
*	TE91	186	304	6	200	195	700	0.04839	6.24
*	TE92	186	304	6	200	195	700	0.06099	5.69
-	10*5	69.5	160	6	50.8	50.8	2964	0.01220	23.00
-	12*55	79.5	105	8	76.2	76.2	2895	0.00491	9.96
"	EU14	103	181	6	102	95	2200	0.03170	18.60
"	EU17	84	189	7	86	74	1900	0.01850	17.95
"	EU19	61	195	6	76	77	1500	0.01400	10.50
"	EU3	153	270	6	155	152	1250	0.04570	12.30
+	RG14	62	193	6	63	68	2100	0.01170	22.50
+	RG35	87	175	8	87	78	1500	0.01580	10.50
+	RG42	60	193	6	102	105	2200	0.02600	22.50
+	RG43	70	177	6	73	76	1900	0.01580	12.80
+	RG47	109	204	8	107	100	1700	0.02760	14.80
+	RG49	120	204	6	106	98	1700	0.03100	15.80

“ :Uz 1981, + :Gürhan ve Ayık 1991, * :Eryılmaz 2004, -:Anonim (1984, 1985, 1990, 1991a, 1992, 1993, 1997),
^ : Tezde Yapılan Deneyler, Koyu Renkler : Test Verileri, Açık Renkler : Eğitim Verileri.