T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ÖN ARITIM VE BİYOLOJİK ARITIM ÇIKIŞ PARAMETRELERİNİN YSA İLE TAHMİNİ

Recep Kaan SİNAN

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Esra YEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya, 2010

T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ÖN ARITIM VE BİYOLOJİK ARITIM ÇIKIŞ PARAMETRELERİNİN YSA İLE TAHMİNİ

Recep Kaan SİNAN

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Esra YEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 13.01.2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr.Esra YEL	**Doç.Dr.Yüksel ÖZBAY**	**Yrd.Doç.Dr.Dünyamin GÜÇLÜ**
(Danışman)	(Üye)	(Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ÖN ARITIM VE BİYOLOJİK ARITIM ÇIKIŞ PARAMETRELERİNİN YSA İLE TAHMİNİ

Recep Kaan SİNAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman : Yrd.Doç.Dr. Esra YEL

2010, 140 Sayfa

Jüri: Doç.Dr. Yüksel ÖZBAY

Yrd.Doç.Dr. Esra YEL

Yrd.Doç.Dr. Dünyamin GÜÇLÜ

Atıksu arıtma tesislerinde BOİ, KOİ gibi parametrelerin çıkış değerleri ve tesis verimi aktif çamur prosesi içerisinde yer alan mikroorganizma ve substrat konsantrasyonuna bağlı olarak geliştirilen denklemler yardımıyla tahmin edilmekte veya çıkış ölçümüyle belirlenmektedir. Yapay Sinir Ağları (YSA) ile yapılan ancak işletme sırasında karşılaşılabilecek özel durumların zamanında ve doğru görülebilmesi için çıkış suyu ölçümleri yeterli değildir. Ölçümü beklenmeden, su tesisteyken parametre değerlerini tespit edebilmek, herhangi bir probleme zamanında müdahale etmek için önem taşımaktadır. YSA kullanılarak bu tür modellerin geliştirilebileceği şimdiye kadarki çalışmalarda gösterilmiştir. Ancak tesisin ara ünitelerini de dikkate alan ve geçmiş verilere dayanarak aynı anda çoklu parametrelerin tahminini yapabilen YSA üzerinde çalışmaya çok fazla rastlanmamaktadır. Oysa ara ünitede parametrelerin değerini bilebilmek ve tek parametre yerine tesis performansını belirleyen tüm kritik parametreleri aynı anda görebilmek işletmeciye önemli destek sağlayacaktır. Bu çalışmada evsel nitelikli bir atıksu arıtma tesisinde bütün parametrelerin çıkış değerlerinin tahmini amacıyla YSA modeli kurgulanmıştır. Modelde atıksu arıtma tesisi ön arıtım (YSA-1) ve biyolojik arıtım (YSA-2) ünitesi olarak alt sistemlere bölünmüş ve her bir kısım için pH, debi, sıcaklık, AKM, KOİ, BOİ, toplam N ve toplam P kontrol parametreleri çalışılmıştır. Modelde en düşük test hata oranını veren öğrenme oranı (lr) 0,1, momentum sabiti (mc) 0,8, iterasyon sayısı 10000 olarak tespit edilmiştir. YSA-1 için purelin-purelin 8 düğüm sayılı YSA-2 modeli için ise purelin-purelin 13 düğüm sayılı ağ yapısı en uygun genellemeye ulaşmıştır. Model çalışmaları sonucunda bütün parametrelerin hata seviyeleri farklı olsa da aynı anda tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Model performansı açısından YSA-1 modelinin pH (%1,1-3,1), debi (%6,5-7,1), AKM (%8,3-14,3), KOİ (%8,1-9,4) ve BOİ (%12-13,8) parametrelerinin tahmininde başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. YSA-2 modelinde ise debi (%7,4-10,1), sıcaklık (%8-9,4) parametrelerinde başarılı sonuçlar elde edilirken, AKM (%21,3-62,8), KOİ (%10,6-27,2), BOİ (%9,5-41,5) tahmininde modelin performansının yetersiz kaldığı

görülmüştür. pH (%2,5-5,8), toplam fosfor (%61,7-62,4) ve toplam azotun (%16,4-44,1) ise kısmen başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Başarısız ve kısmen başarılı alınan parametrelerin model yapılandırılırken dikkate alınarak bazı noktalarla başarılı duruma getirilebileceği görülmüştür. En az son 2 yıllık tesis verisiyle çalışılmalı ve her son ayın verisi eklendiğinde en eskisi çıkarılmalıdır. Eğitme test setleri seçilirken mevsimsel değişimi de içerecek şekilde örneğin 4 eğitme 1 test şeklinde seçilmelidir. Farklı aktivasyon fonksiyonlarında yakın hata oranları elde edilmişti, buna dayanarak bunlarda da farklı *lr* ve *mc* ile denemeler yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yapay sinir ağları, Parametre tahmini, Atıksu arıtma tesisi

ABSTRACT

MS Thesis

ESTIMATION OF PRIMARY TREATMENT AND BIOLOGICAL TREATMENT EFFLUENT PARAMETERS BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Recep Kaan SİNAN

Selcuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering
Supervisor : Asst.Prof.Dr. Esra YEL

2010, 140 Pages

Jury: Assoc.Prof.Dr. Yüksel ÖZBAY

Asst.Prof.Dr. Esra YEL

Asst.Prof.Dr. Dünyamin GÜÇLÜ

Parameter values such as BOD, COD at wastewater treatment plants are either estimated via some kinetic equations considering biomass and substrate or measured in the effluent. In order to follow the treatment plant performance during the operation, effluent measurements are not sufficient. This is especially crucial to take precautions on time against some problems during the treatment. Some models have been developed by using Artificial Neural Networks (ANN) for effluents only, and for single parameter output. However models considering the main treatment units separately and estimating multiple parameters have not been sufficiently developed yet. Therefore in this study, wastewater treatment plant was divided into two main units as primary treatment (ANN-1) and biological treatment (ANN-2) and models were established for estimating pH, flow rate, temperature, suspended solids(SS), COD, BOD, total nitrogen and total phosphorus. Learning rate (lr), momentum constant (mc) and iteration number were selected as 0.1 , 0.8 and 10000 respectively, which resulted in minimum test error. The optimally generalized structure was purelin-purelin with 8 nodes for ANN-1 and 13 modes for ANN-2. ANN-1 showed good performance in pH (1,1-3,1%), flow rate (6,5-7,1%), SS (8,3-14,3%), COD (8,1-9,4%) ve BOD (12-13,8%) estimation. ANN-2 has more complex relationship between parameters. Therefore the model performance was best in flow rate (7,4-10,1%) and temperature (8-9,4%) estimation while it was fair SS (21,3-62,8%), COD (10,6-27,2%) and BOD (9,5-41,5%). On the other hand, pH (2,5-5,8%), total P (61,7-62,4%) and total N (16,4-44,1%) estimations were partially successful indicating that the model can be developed for full performance. These developments are categorized into two. The first one is about the data. At least two years data should be used with 4 to 1 training and test data selection so considering

the seasonal variations and data should be upgraded monthly. The second development should be in model configuration. Error quantities of different activation conditions with varying lr and mc values should be studied.

Keywords: Artifical Neural Networks, Estimation of parameter, Waste Water Treatment Plants

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesi sırasında bana her türlü desteği veren ve çalışmanın her aşamasında beni yönlendiren sevgili danışmanım Yrd.Doç.Dr. Esra YEL' e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bilgi ve tecrübesinden faydalandığım kıymetli Öğr. Görevlisi Dr. Gülay TEZEL hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bütün hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini, sevgilerini ve ilgilerini benden hiç esirgemeyen; özellikle yüksek lisans eğitimimde laboratuar çalışmam ve tez yazımım sırasında manevi desteklerini daima hissettiğim çok kıymetli ve sevgili iki aileme de çok teşekkür ederim.

Çalışmada verileri kullanılan KASKİ Genel Müdürlüğü Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi çalışanlarına teşekkür ederim.

Sevgisi, desteği ve her zaman yanımda olduğu için çok değerli eşim Serpil SİNAN' a sonsuz teşekkürler...

Çevre Mühendisi Recep Kaan SİNAN

Konya, 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ v
İÇİNDEKİLER vi
SİMGELER ix
ŞEKİL LİSTESİ x
ÇİZELGE LİSTESİ xiii
1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi 1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı 2
2. TEMEL BİLGİLER 4
2.1. Evsel Atıksuların Oluşumu 4
2.2. Evsel Atıksuların Bileşenleri ve Başlıca Atıksu Parametreleri 4
2.3. Evsel Atıksuların Sınıflandırılması 7
2.4. Evsel Atıksuların Arıtılması 8
2.4.1. Fiziksel arıtma 9
2.4.2. Biyolojik arıtma 9
2.4.2.1. Aktif çamur sistemi 10
2.4.2.1.1. Aktif çamur sistemi sürecinin işletilmesi ve kontrolü 11
3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) 16
3.1. Yapay Zeka Tanımı 16
3.1.1. Yapay Zeka Teknolojileri 16
3.2. Yapay Sinir Ağları (YSA) 17
3.2.1. YSA' nın tanımı 17
3.2.2. Biyolojik sinir hücreleri 18
3.2.3. Yapay sinir hücresi ve temel elemanları 19
3.2.4. YSA' nın yapısı 25
3.2.5. YSA' nın genel özellikleri 27
3.2.6. YSA' nın avantaj ve dezavantajları 28

3.2.7. YSA' nın uygulama alanları 29
3.2.8. YSA' nın sınıflandırılması 29
3.2.8.1. YSA' nın yapılarına göre sınıflandırılması 29
3.2.8.2. YSA' nın öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması 31
3.2.9. YSA tasarımı ve uygulaması 32
3.2.10. YSA yazılımları 35
4. KAYNAK ARAŞTIRMASI 37
5. MATERYAL VE METOD 41
5.1. Çalışmada Kullanılan Yazılım 41
5.2. Veri Seti 42
5.3. YSA Ağ Yapısı 45
5.4. YSA Öğrenme Algoritması 46
5.5. Normalizasyon İşlemi 46
5.6. Eğitme ve Test Hatasının Hesaplanması 46
5.7. Katman ve Nöron Sayısı 47
5.8. Toplama ve Aktivasyon Fonksiyonu 48
5.9. Öğrenme Oranı (lr) 49
5.10. Momentum Sabiti (mc) 51
5.11. İterasyon Sayısı 53
5.12. YSA' nın Oluşturulması 55
6. YSA MODELİ UYGULAMA ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 58
6.1. YSA Modelinin Eğitme ve Test Hataları 58
6.2. YSA-1 ve YSA-2 Modeli Tahmin Bulguları 61
6.2.1. YSA-1 modeli için tahmin sonuçları 61
6.2.1.1. YSA-1 modelinde pH tahmini 62
6.2.1.2. YSA-1 modelinde Debi tahmini 63
6.2.1.3. YSA-1 modelinde AKM tahmini 65
6.2.1.4. YSA-1 modelinde KOİ tahmini 67
6.2.1.5. YSA-1 modelinde BOİ tahmini 68
6.2.2. YSA-2 modeli için tahmin sonuçları 74
6.2.2.1. YSA-2 modelinde pH tahmini 75

6.2.2.2. YSA-2 modelinde Sıcaklık tahmini 77
6.2.2.3. YSA-2 modelinde Debi tahmini 78
6.2.2.4. YSA-2 modelinde AKM tahmini.....80
6.2.2.5. YSA-2 modelinde KOİ tahmini 82
6.2.2.6. YSA-2 modelinde BOİ tahmini 83
6.2.2.7. YSA-2 modelinde Toplam N tahmini.....85
6.2.2.8. YSA-2 modelinde Toplam P tahmini 87
6.3. Bulguların Literatür İle İlişkilendirilmesi.....95
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....97
8. KAYNAKLAR 102
EK -1 İki YSA modeli için 2 ila 23 arası işlem elemanı ait deneme sonuçları 108
EK -2 YSA denemelerine ait minimum, maksimum ve ortalama hata oranları.....133
EK -3 Seçilen ağ yapısı için YSA1 ve YSA 2 model tahmin sonuçları ve ölçülen değerler 136
EK -4 Aktivasyon fonksiyonlarına ait deneme sonuçları 140

SİMGELER VE KISALTMALAR

YSA	: Yapay Sinir Ağları
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)
TKN	: Toplam Kjeldhal azot
İE	: İşlem Elemanı
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
AKM	: Askıda Katı Madde (mg/L)
ANFIS	: Adaptif Ağ Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi
MLSS	: Havalandırma Havuzunda Askıda Katı Madde (mg/L)
MLVSS	: Havalandırma Havuzunda Uçuçu Askıda Katı Madde (mg/L)
SOUR	: Özgül Oksijen Alım Hızı
TOK	: Toplam Organik Karbon (mg/L)
CHP	: Birleştirilmiş Isı ve Güç
MLP	: Multi Layer Perceptron
N	: Azot
P	: Fosfor
mg	: miligram
L	: litre
kg	: kilogram
m^3	: metreküp
mL	: mililitre
$CaCO_3$	: Kalsiyum karbonat
cm	: santimetre
mm	: milimetre
m	: metre
Hz	: Hertz
^0C	: Santigrad derece
NO_x	: Azot Oksit Bileşikleri
SO_2	: Kükürt dioksit
CO_2	: Karbon dioksit
KM	: Katı Madde
NaOCl	: Sodyum hipoklorit
X_{norm}	: Verinin normalizasyonu
$X_{gerçek}$	: Verinin gerçek değeri
X_{max}	: Veri setinin maksimum değeri
X_{min}	: Veri setinin minimum değeri
mc	: Momentum sabiti
lr	: Öğrenme oranı
NH_4-N	: Amonyak azotu
PO_4-P	: Fosfat fosforu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Örnek bir evsel atıksu arıtımı ve arıtma kademeleri 8
Şekil 2.2. Biyolojik arıtma akış şeması 10
Şekil 2.3. Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi.....11
Şekil 3.1. Biyolojik sinir hücresinin yapısı.....19
Şekil 3.2. Yapay sinir hücresinin yapısı 20
Şekil 3.3. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu 22
Şekil 3.4. Sigmoid fonksiyonu 22
Şekil 3.5. Tanjant hiperbolik fonksiyonu 23
Şekil 3.6. Basamak fonksiyonlar 24
Şekil 3.7. Kutuplamalı basamak fonksiyon 24
Şekil 3.8. YSA katmanlarının birbirleri ile ilişkileri 26
Şekil 3.9. Bir YSA modelinin şematik gösterimi 27
Şekil 3.10. İleri beslemeli ağ 30
Şekil 3.11. Geri beslemeli ağ.....30
Şekil 3.12. Genelleme ve ezberleme 33
Şekil 3.13. Verileri ezberleyen ve iyi genellemeye ulaşan ağlardaki hata eğrileri....35
Şekil.5.1. MATLAB ekran görüntüsü 41
Şekil 5.2. Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi proses akım şeması.....44
Şekil 5.3. YSA-1 modeli (ön arıtım ünitesi) konfigürasyonu.....45
Şekil 5.4. YSA-2 modeli (biyolojik arıtım ünitesi) konfigürasyonu 45
Şekil 5.5. Öğrenme oranına karşılık hata oranı değişim.....50
Şekil 5.6. Momentum sabitine karşılık hata oranı değişimi 52
Şekil 5.7. İterasyon sayısına karşılık hata oranı değişimi.....54
Şekil 6.1. YSA-1 modelinde pH parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....62
Şekil 6.2. YSA-1 modelinde pH parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....63
Şekil 6.3. YSA-1 modelinde Debi parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....64

Şekil 6.4. YSA-1 modelinde Debi parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....64
Şekil 6.5. YSA-1 modelinde AKM parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....66
Şekil 6.6. YSA-1 modelinde AKM parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....66
Şekil 6.7. YSA-1 modelinde KOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....67
Şekil 6.8. YSA-1 modelinde KOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....68
Şekil 6.9. YSA-1 modelinde BOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....69
Şekil 6.10. YSA-1 modelinde BOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....70
Şekil 6.11. YSA-2 modelinde pH parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....76
Şekil 6.12. YSA-2 modelinde pH parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....76
Şekil 6.13. YSA-2 modelinde Sıcaklık parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....77
Şekil 6.14. YSA-2 modelinde Sıcaklık parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....78
Şekil 6.15. YSA-2 modelinde Debi parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....79
Şekil 6.16. YSA-2 modelinde Debi parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....79
Şekil 6.17. YSA-2 modelinde AKM parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....81
Şekil 6.18. YSA-2 modelinde AKM parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....81
Şekil 6.19. YSA-2 modelinde KOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....82

Şekil 6.20. YSA-2 modelinde KOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....83
Şekil 6.21. YSA-2 modelinde BOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....84
Şekil 6.22. YSA-2 modelinde BOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....85
Şekil 6.23. YSA-2 modelinde Toplam N parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....86
Şekil 6.24. YSA-2 modelinde Toplam N parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....87
Şekil 6.25. YSA-2 modelinde Toplam P parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.....88
Şekil 6.26. YSA-2 modelinde Toplam P parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.....89

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Evsel atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenleri 5
Çizelge 2.2. Evsel atıksuların karakterizasyonuna göre sınıflandırılması.....7
Çizelge 2.3. Aktif çamur prosesinde izlenmesi gereken parametreler 12
Çizelge 3.1. Biyolojik sinir hücresi ve yapay sinir hücresinin karşılaştırılması.....19
Çizelge 3.2. Öğrenme algoritmaları ve uygulandıkları alanlar.....32
Çizelge 3.3. YSA yazılımları.....35
Çizelge 5.1. Modelde kullanılan parametreleri ve bunların maksimum, ortalama ve minimum değerleri.....43
Çizelge 5.2. MATLAB aktivasyon fonksiyonları 49
Çizelge 5.3. Model çalışmalarında kullanılan parametreler 57
Çizelge 6.1. Minimum eğitme hata oranına göre en iyi fonksiyon ve düğüm sayısı 58
Çizelge 6.2. Minimum test hata oranına göre en iyi fonksiyon ve düğüm sayısı.....60
Çizelge 6.3. YSA-1 model tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerler belirleme katsayıları ve dağılım diyagramı denklemi y=ax için a değerlerinin karşılaştırılması.....70
Çizelge 6.4. YSA-1 modeli tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerlere ait ortalama değerleri, standart sapma değerleri ve yüzdeleri.....72
Çizelge 6.5. YSA-2 model tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerler belirleme katsayıları ve dağılım diyagramı denklemi y=ax için a değerlerinin karşılaştırılması.....89
Çizelge 6.6. YSA-2. modeli tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerlere ait ortalama değerleri, standart sapma değerleri ve yüzdeleri.....91

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi

Türkiye'deki şehirleşme sürecinin yanında, içinde bulunulan ekonomik koşullar, kentleşmenin zorunlu kıldığı birçok yatırımın yapılmasına imkan tanımamaktadır. Bunun en başta gelen örneklerinden biri, kentlerimizdeki atıksu arıtma tesisleridir. Şehirde yaşamanın gereklerinden biri de kullanılmış suların toplanması ve alıcı ortama zarar vermeyecek şekilde arıtıldıktan sonra deşarj edilmesidir. Özellikle faydalı kullanım alanları kaybolmuş alıcı ortamların mutlak korunması gereklidir. Bu sebeple Türkiye'de yürürlükteki mevzuata uygun olarak, atıksu arıtma tesisi ihtiyacı günümüz teknolojisine uygun çözümlerle giderilmelidir.

Ancak Türkiye'de yapılmış olan kentsel atıksu arıtma tesislerinin ülke genelindeki durumu incelendiğinde tesislerdeki işletme giderlerinin yüksek olması durumunda maliyet konusunda sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu tesisler için yapılması düşünülen masraflar, özellikle bizim gibi gelişmekte olan ülkelerde ciddi finansman problemlerine neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra işletme ve kontrol parametrelerinin verilerinin çok olması bunların derlenip değerlendirilmesi aşamasında da sıkıntılar yaşanmaktadır.

Tesis işletildikçe elde edilen verilerin gelecekte ulaşılacak değerlerin tahmininde kullanımının sağlanmasıyla atıksu arıtma tesislerinin ekonomik olarak ve kolay işletilmesi günümüzde önemli bir konudur. İşletim parametrelerinin sayısal olarak önceden tahmin edilerek kontrolünün yapılması günümüzde bilgisayar ortamında modelleme yapılarak mümkün hale gelmiştir. Yapay Sinir Ağları (YSA) çok sayıda işlem elemanı ve bağlantıdan oluşan paralel dağıtılmış bir bilgi işleme sistemidir. YSA'nın deneysel verilerin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiyi hiçbir önerme ve varsayıma gereksinim duymaksızın öğrenmesi ve genelleme yapma özelliği bu konudaki çalışmalara önemli katkı sağlamaktadır.

Böyle bir çalışma sonucunda elde edilecek yapılanma, atıksu arıtma tesislerinin işletiminde hem işletme kolaylığı hem de ekonomik açıdan uygun çözümler üretmekte faydalı olacaktır.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Atıksu arıtma tesisine gelen yükler ve bunun sonucunda oluşan verim, herhangi bir ünitede muhtemel aksaklığın zamanında belirlenerek müdahale edilebilmesi için izlenmelidir. Tesiste sorun yaratan bir ünite tüm süreci olumsuz yönde etkileyecektir.

Tesis yönetimi, planlama, organizasyon, idare ve kontrol bileşenlerinden oluşur. Tesisten beklenen, bu süreç boyunca, emniyetli ve deşarj standartlarını sağlayan bir işletimin yürütülmesidir. İşletimden sorumlu olacak kişi tesis içerisindeki tüm proseslere hakim olmalı, işletme parametrelerinin sayısal değerlerini iyi bilmeli ve kontrol/otomasyon açısından takibini çok iyi yapabilmelidir. Çünkü, değerlerdeki sapma ya da düzenli takip edilememe durumu söz konusu olduğunda hem işletme verimi hem de maliyet açısından maddi kayıplar ortaya çıkabilmektedir. Özellikle giriş debisi ve su kalitesindeki salınımlar dengeleme tanklarının bulunmadığı veya yeterince verimli çalışmadığı durumlarda tesis performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

Atıksu arıtma tesislerinin karmaşık yapısı, sistemin ve sistem içerisindeki süreçlerin verimli bir şekilde izlenmesini ve kontrol edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu durum özellikle kritik işletme koşullarında karar verme mekanizmasını sekteye uğratmaktadır. Ayrıca tesis içerisinde elektromekanik olarak gerçekleştirilen anlık ölçümler, algılayıcıların (sensörlerin) arıza yapması durumunda verilerin ölçülememesi de sistemlerin sağlıklı olarak işlemesini engellemektedir. Böyle bir durumda sensörlerin yerine tahmini verilerin dikkate alınmasıyla sistem devam ettirilecektir. Bu nedenle çalışmada, bir evsel atıksu arıtma tesisinin hedef çıktı parametrelerinin aynı tesise ait geçmiş verilerle tanımlanması ve bu verilerle eğitilmesi ile daha hızlı ve güvenilir olarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Sağlıklı

ve hızlı sonuç vermesi sebebiyle arıtma tesisi modelleme çalışmalarında yapay sinir ağları (YSA) kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. YSA ile yapılan çalışmaların bir kısmında tüm tesis verimi esas alınırken bazıları sadece tesisteki belli ana arıtım üniteleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Ara aşamalarda yani ünite çıkışlarında parametre takibi yapan çalışmaya çok az rastlanmaktadır ve çalışmaların çoğu tek parametre üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çevre Mühendisliği alanında atıksu arıtma tesisleri otomasyonunda, genelde kullanılan PLC sistemleri bu model çıktılarından yararlanabilmekte, ancak sadece ana giriş verisiyle sistem çıkış parametreleri tahmini yapılmaktadır.

Bu amaçla, bu tez çalışmasında, evsel nitelikli bir atıksu arıtma tesisindeki ön arıtma ve biyolojik arıtma ara aşamalarında, ilgili işletim parametrelerinin giriş değerleri dikkate alınarak, tahmini çıkış değerlerinin MATLAB programı kullanılarak, Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli ile belirlenebilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. TEMEL BİLGİLER

Bu bölümde atıksu oluşumundan arıtımına kadar geçen süreç ve bu süreçte dikkate alınması gereken hususlar ve atıksuların arıtımı genel olarak inceledikten sonra modelleme çalışmasında kullanılan aktif çamur prosesi üzerinde durulmuştur.

2.1. Evsel Atıksuların Oluşumu

Atıksular, suyun evlerde ve endüstri kuruluşlarında kullanılması sonucu kirlenmesiyle oluşur (Samsunlu, 2006). Atıksu miktarlarının oluşumu şehir ve kasabaların durumuna ve içme suyu kaynaklarına bağlı olarak değişmektedir. Kişi başı su ihtiyacı 100-300 L/N.gün arasındadır (Öztürk ve diğ., 2006). Temiz su kaynaklarından temin edilen su, insani ihtiyaçlar için kullanıldıktan sonra evsel atıksu olarak tahliye edilmektedir.

2.2. Evsel Atıksuların Bileşenleri ve Başlıca Atıksu Parametreleri

Evsel atıksular askıda, kolloidal ve çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler içerir. İklim şartları, insanların yaşam standartları ve kültürel alışkanlıklar atıksu özelliğini önemli ölçüde etkiler. Şehir kanalizasyon şebekesine endüstriyel atıksuların kabulü, mevcut evsel atıksu özelliklerini büyük oranda değiştirir. Konsantrasyonlar kişi başına günlük su kullanımı değerlerine bağlı olarak da değişir.

Evsel atıksuların özelliklerini belirleyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik birçok bileşenleri mevcuttur. Çizelge 2.1’ de evsel atıksu bileşenleri birlikte görülmektedir.

Çizelge 2.1. Evsel atıksuyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenleri (Metcalf, 2003).

Fiziksel Özellikler	Kimyasal Bileşenler			Biyolojik Bileşenler
	Organikler	İnorganikler	Gazlar	
Katı maddeler Sıcaklık Renk Koku	Karbonhidratlar Yağ ve Gres Pestisitler Fenoller Proteinler Yüzey aktif maddeler	pH Azot Fosfor Alkalinite Klorürler Ağır metaller Sülfür Toksik bileşenler	Metan Oksijen Hidrojen sülfür	Canlı hücreler Bitkiler Tek hücreliler Virüsler

Atıksuyun kirliliğinin ifadesinde ve arıtma tesisleri performansının takibinde genel olarak Çizelge 2.1' deki tüm parametrelerin takibi pratik olmamaktadır. Bu sebeple biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), pH, toplam azot ve toplam fosfor parametreleri tesis performansı takibi için seçilen en kritik parametrelerdir. İşletme parametrelerine yönelik temel bilgiler aşağıda verilmiştir.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ): Sudaki organik maddelerin 5 günde ($BOİ_5$) mikroorganizmaların ayrıştırma sürecinde harcadığı oksijen miktarını ifade eder. Ölçümü uzun zaman alan ve deneysel hata oranı yüksek olan BOİ çevreye etkilerin değerlendirilmesi ve arıtma sistemi dizaynında kullanılmaktadır (Topacık, 2000). Biyokimyasal oksidasyon yavaş bir işlemdir ve teorik tamamlanma süresi sonsuzdur. 20 günlük bir süre içerisinde, oksitlenme % 95-99 tamamlanır, BOİ testi için kullanılan 5 günlük sürede ise oksitlenme % 60-70 arasında gerçekleşir (Dağ, 2002).

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ): Kimyasal olarak oksitlenebilen organik maddelerin oksijen ihtiyacı KOİ ile ifade edilir. KOİ asit ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici (potasyum dikromat gibi) vasıtasıyla ölçülür. Kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşikler, biyokimyasal olarak oksitlenebileceklerden daha fazla olduğundan, KOİ, BOİ' den daha büyüktür. Arıtılmamış atıksular için $BOİ_5$/KOİ = 0,4-0,8 (ortalama 0,65) alınabilir.

Askıda katı madde (AKM): Su numunelerinin standart filtre kağıdından süzülmesi ve filtrenin kurutulması sonucu elde edilen kalıntılar askıda katı madde olarak tanımlanırlar. Askıda katı maddeler suların estetik, içme, endüstriyel kullanım gibi çeşitli amaçlar için kullanılmasını doğrudan etkilemektedir. Doğal sularda ışık geçirgenliğini azaltıp, dip birikintilerine yol açarak ya da doğrudan zarar vererek su canlılarını etkiler. Kanallarda ve arıtma sistemlerinde önlem alınması ihtiyacını ortaya koyar. Bu özellikleri ile AKM atık sularda önemli bir parametredir.

pH: Suyun asitlik veya bazlık durumunu gösteren logaritmik bir ölçüdür (İller Bankası, 2005). Atıksudaki hidrojen iyonu konsantrasyonunun parametresidir. Atıksuyun pH değeri biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinin belirlenmesinde önemlidir. İçme suyunun pH değeri 6-8 arasında, deniz suyunun 8, doğal suların 7 ve evsel atıksuyun ise 7-8 arasındadır. Avrupa Birliği deşarj standartlarında pH'a ilişkin bir değer olmamakla birlikte ülkemizde hem ham atıksu hem de arıtılmış atıksu da bu değer 6-9 aralığında kabul edilebilir değer olarak alınmaktadır. Organizmaların aktivitelerini maksimize edebilmek için ortamın pH' ı asit/baz ilavesi ile kontrol edilebilir.

Azot-Fosfor: Evsel atıksu arıtma sistemleri karbonlu organik maddenin giderilmesine yönelik olarak tasarlanmaktadır. Ancak alıcı su ortamında ötrifikasyonun ve kirliliğin artması sonucu atıksu deşarjında özellikle hassas bölgeler için daha sıkı deşarj limitleri getirilmiştir. Özellikle azot ve fosfor parametrelerinin öncelikle kontrol edilmesi gerekmektedir. Azot ve fosfor elementleri, mikroorganizmaların büyümesi için çok gereklidir. Bunlara besi elementleri (nütrient) denir. Azot, proteinlerin sentezi için temel yapı taşı olduğundan, atıksuların biyolojik yollarla tasfiyesinde azot konsantrasyonunu bilmeye ihtiyaç vardır (Öztürk ve diğ., 2006). Azot ve fosfor bileşenleri amonyak azotu (NH_4-N), nitrat azotu (NO_3-N), ve fosfat fosforu (PO_4-P) mikroorganizma faaliyetleri açısından izlenmesi gereken azot-fosfor türevi parametrelerdir.

Debi: Debi ölçülmesi gereken en önemli atıksu parametrelerinden biridir. Analizi yapılan kirlilik konsantrasyonuna göre tesisteki mevcut kirlilik yükünün bilinmesi ve tesis içinde önlem alınması için önemli bir parametredir.

Sıcaklık: Mikroorganizmaların metabolizma ile ilgili faaliyetlerinin tümü kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Kimyasal tepkimeler gibi, mikroorganizmaların

meydana getirdiği tepkimeler de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yalnız metabolik aktiviteleri etkilemekle kalmaz biyolojik çamurun çökme özelliği, gaz transfer hızı gibi faktörleri de etkiler.

2.3. Evsel Atıksuların Sınıflandırılması

Atıksudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlı olarak atıksuyu, zayıf, orta ve kuvvetli olarak sınıflandırmak mümkündür. Çizelge 2.2' de evsel atıksuların karakterizasyonuna göre sınıflandırılması görülmektedir. Bunlardan özellikle orta ve kuvvetli kirlilik seviyesindeki atıksularda giriş suyu kalitesindeki salınımlar daha belirgindir ve tesis performansı üzerinde etkilidir.

Çizelge 2.2. Evsel atıksuların karakterizasyonuna göre sınıflandırılması (Metcalf, 2003).

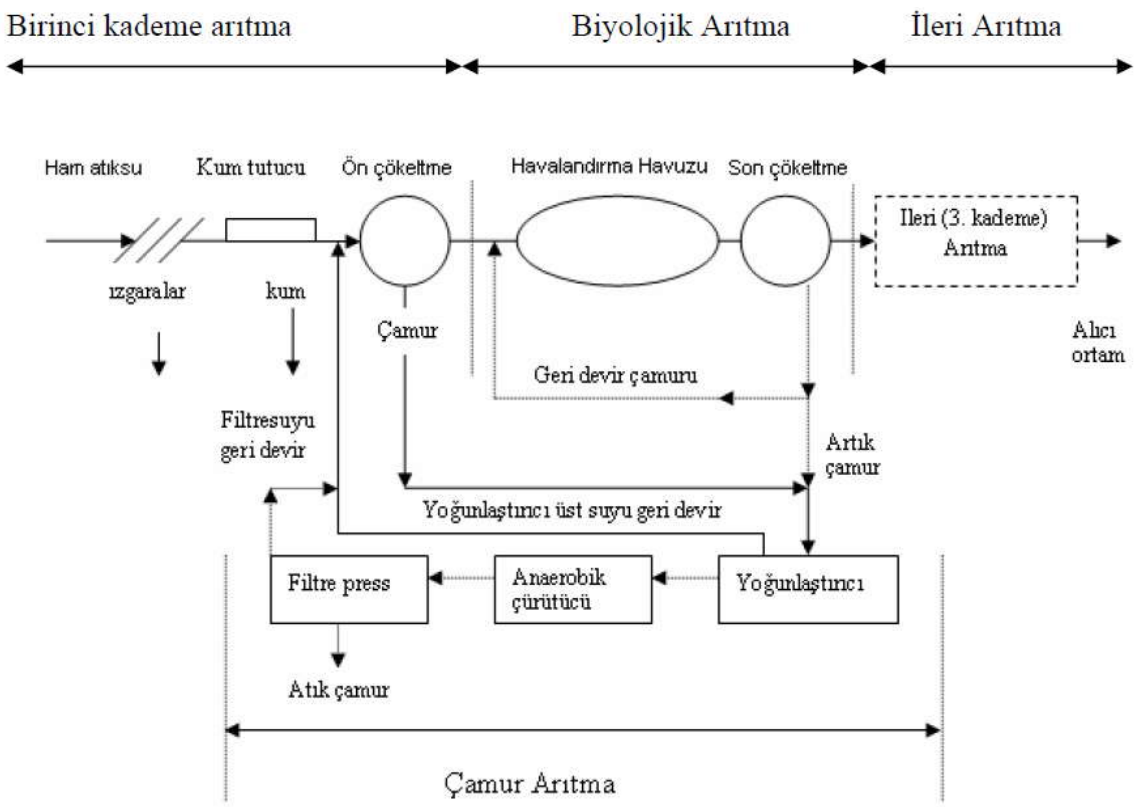
Parametre	Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam Katı Madde, mg/L	350	720	1200
Çözünmüş Katı Madde, mg/L	250	500	850
• Sabit	145	300	525
• Uçucu	105	200	325
Askıda Katı Madde, mg/L			
• Toplam	100	220	350
• Sabit	20	55	75
• Uçucu	80	165	275
Çökebilen Madde, mL/L	5	10	20
$BOİ_5$, 20 °C, mg/L	110	220	400
Toplam Org. Karbon, TOK, mg/L	80	160	290
• Toplam N, mg/L	20	40	85
• Organik N, mg/L	8	15	35
• Amonyak - N, mg/L	12	25	50
• Toplam P, mg/L	4	8	15
• Organik P, mg/L	1	3	5
• İnorganik P, mg/L	3	5	10

2.4. Evsel Atıksuların Arıtılması

Bir yerleşim bölgesinden ve endüstriden kaynaklanan atıksular bir kanal sistemi ve terfi merkezi vasıtasıyla arıtma tesislerine ulaşırlar. Bu durumda atıksuyun yukarıda anlatılan parametreler bazında karakterize edilmesi ve kirlilik konsantrasyonuna bağlı olarak doğru, yeterli arıtmaya tabi tutulması gerekmektedir.

Evsel atıksuların arıtımı mekanik, biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşan arıtma kademelerinde gerçekleştirilir. Birinci kademe arıtma mekanik ve fiziksel proseslerden, ikinci kademe arıtma biyolojik proseslerden, üçüncü kademe arıtma ise gerek duyulursa ileri arıtma proseslerinden oluşur.

Örnek bir evsel atıksu arıtma tesisindeki işleyiş Şekil 2.1' de görülmektedir.



Şekil 2.1. Örnek bir evsel atıksu arıtımı ve arıtma kademeleri (Samsunlu, 2006).

2.4.1. Fiziksel arıtma

Atıksu içerisindeki özellikle katı maddelerin fiziksel işlemlerle atık sudan alınması amacı ile kullanılan proseslerdir. Atıksu içerisinde bulunan ve daha sonraki arıtma kademelerindeki işlemleri yavaşlatacak, engelleyecek ve ekipmanları bozacak özellikte, farklı boyutlardaki katı maddeler giderilir. Fiziksel arıtma birimleri;

- Izgara / Elek / Öğütücü
- Kum tutucu / Yağ tutucu
- Ön çökeltme
- Flotasyon (yüzdürme)

2.4.2. Biyolojik arıtma

Biyolojik arıtma, atıksu içerisindeki çözünmüş organik maddelerin bakteriyolojik faaliyetlerle ayrıştırılarak giderilmesi işlemidir. Bakterilerin arıtma işlemini gerçekleştirebilmeleri için pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen, toksik maddeler gibi parametrelerin kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Çok sık kullanılan biyolojik prosesler;

• Aktif çamur prosesleri,

• Havalandırmalı lagünler,

• Damlatmalı filtreler,

• Döner biyodiskler ve

• Stabilizasyon havuzlarıdır.

Bu proseslerin temel uygulamaları;

• Atıksuda özellikle BOİ veya KOİ olarak ölçülen organiklerin gideriminde,

• Nitrifikasyon,

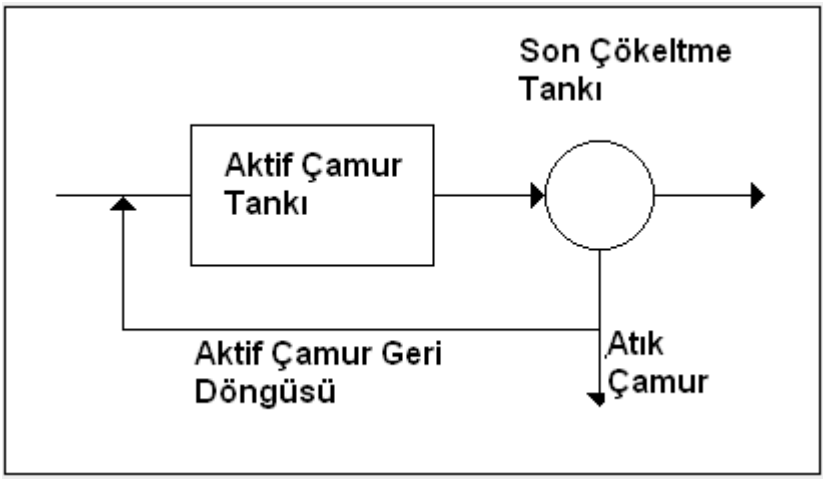
• Denitrifikasyon,

• Fosfor giderimi,

• Atık stabilizasyonudur (Öztürk ve diğ., 2006).

2.4.2.1. Aktif çamur sistemi

Aktif çamur sistemi, aerobik biyolojik arıtma sistemi olarak yaygın kullanılan sistemdir. Aktif çamur sisteminde havalandırma havuzu ve son çökeltme havuzu iki önemli birimdir. Oluşan fazla çamur genellikle ön çökeltme havuzundan gelen çamurla birlikte çamur arıtma proseslerine gönderilir. Buradan sonra çamur kurutma yataklarına veya filtre pres gibi mekanik su alma tesislerine verilir (Samsunlu, 2006). Şekil 2.2' de biyolojik arıtma akış şeması görülmektedir.



Şekil 2.2. Biyolojik arıtma akış şeması.

Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemiyle hava yardımı ile uzun bekleme süresinde stabilizasyon sağlanmaktadır. Diğer metotlarda, normal ve büyük tesislerde havalandırma süresinin kısaltılmasına çalışılırken bu metodda havalandırma süresi 0.5-3 gün arasında değişmekte olup tesiste çok az atık çamur meydana gelmektedir.

Mümkün olduğu kadar çok çamur miktarı ile mikroorganizmalar kendi bünyelerindeki hücre malzemelerini oksitlemeye zorlanmaktadır. Çamur miktarı genellikle 4-5 kg/m³'den fazladır. Çamur yükünün çok küçük olduğu bu tesislerde çamur yüksek derecede oksitlenir ve kolaylıkla suyundan ayrılabilir (Samsunlu, 2006). Şekil 2.3' de bir uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi ile arıtım yapan bir arıtma tesisi görülmektedir.



Şekil 2.3. Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi.

2.4.2.1.1. Aktif çamur sürecinin işletilmesi ve kontrolü

Atıksu arıtma tesisinin iyi bir şekilde işletimi için tüm ünite ve aksam ile ilgili sayısal verilerin toplanması gerekir. Tesisin tipine, büyüklüğüne ve ünitelerin özelliklerine göre uygun noktalarda yeterli sayıda ve sıklıkta alınacak numuneler üzerinde gerekli tüm analizler yürütülmelidir. Aktif çamur prosesinde süreç içerisinde izlenmesi gereken parametreler Çizelge 2.3' de görülmektedir.

Çizelge 2.3. Aktif çamur prosesinde izlenmesi gereken parametreler (Toprak, 2000).

Parametre	İzlenmesi Gereken Yer
Debi (kontrol test kıyaslamaları için anlık değerler ve günlük ortalama verilerin eldesi için eklenik değerler, m^3/gün olarak)	- Biyolojik arıtma girişi - Geri devir çamuru hattı - Fazla çamur hattı
Çökelmiş çamur hacmi Çökelmiş çamur konsantrasyonu Çamur hacim indeksi Çökelme hızı	- Çökeltme tankı
Çamur örtüsü kalınlığı	- Son çökeltme havuzu
Katı konsantrasyonu MLSS ve MLVSS	- Geri devir çamuru hattı - Fazla çamur hattı
Çamur alıkonma süreci	- Havalandırma havuzu - Son çökeltme havuzu
Çözünmüş oksijen	- Havalandırma havuzu (girişte, orta noktada ve çıkışta değişik derinliklerde)
BOİ ve KOİ	- Havalandırma havuzu girişi - Havalandırma havuzu çıkışı - Nitrifikasyon süreci çıkışı
Toplam askıda katı madde	- Havalandırma havuzu girişi - Havalandırma havuzu çıkışı - Nitrifikasyon süreci çıkışı
Bulanıklık	- Havalandırma havuzu çıkışı - Nitrifikasyon süreci çıkışı
Ağır metaller	- Havalandırma havuzu girişi - Havalandırma havuzu çıkışı
pH	- Tesis girişi - Havalandırma havuzu girişi - Nitrifikasyon süreci girişi
Mikroorganizmaların karakterizasyonu ve mikroskopik sayım	- Havalandırma havuzu çıkışı (karışık sıvı) - Geri dönüş çamuru
Özgül oksijen alım hızı (SOUR)	- Havalandırma havuzu girişi ve geri dönüş çamuru - Havalandırma havuzu çıkışı (karışık sıvı) - Havalandırma havuzu çıkışı ve geri dönüş çamuru
Sıcaklık	- Havalandırma havuzu
Nitrifikasyon hızı	- Nitrifikasyonun gerçekleştirildiği havalandırma havuzu

Azot (amonyak ve TKN)	- Havalandırma havuzu girişi - Havalandırma havuzu (1.Kademe) çıkışı (amonyak) - Nitrifikasyonun gerçekleştirildiği havalandırma havuzu (her kompartmanda amonyak) - Nitrifikasyonun gerçekleştirildiği havalandırma havuzunun çıkışı (amonyak)
BOİ : TKN	- Nitrifikasyonun gerçekleştirildiği havalandırma havuzunun girişi
Alkalinite	- Havalandırma havuzu girişi - Havalandırma havuzu çıkışı - Nitrifikasyon gerçekleştirildiği havalandırma havuzunun çıkışı (30 mg $CaCO_3$/L'den daha fazla bir alkalinite düşüşü nitrifikasyonu gösterir)
Nutrient Azot ve Fosfor	- Havalandırma havuzu çıkışı (azot ve fosfor) eğer ölçülebilir miktarlarda ise yeterli nutrientin varlığını gösterir.
Yüzeysel Hidrolik Yük Katı Yükleme Hızı	- Son çökeltme havuzu
Hidrolik Alıkonma Süresi	- Havalandırma Havuzu

Toprak (2000) tarafından da öngörüldüğü gibi, yapılan analizler sonucu elde edilen ham veriler sadece kayıt üzerinde bırakılmamalı tesisin mevcut ve gelecekteki veriminin belirlenmesi amacı ile işlenmeli ve kontrol altında tutulmalıdır. Çünkü verimin hızlı bir şekilde kıyaslanması için toplanan veriler organize edildiğinde ve otomasyon sistemi ile kontrol edildiğinde kullanışlı hale gelir.

Günümüzde birçok tesis, özellikle akış ölçerler gibi temel sensör elementleri ve basit kontrol döngüleri ile donatılmıştır. Optimum proses kontrol için gerek şart; düzgün çalışan sensörler ve aktüatörlerle birlikte bu iki elemanı birbiriyle bütünleştiren ve iyi bir şekilde dizayn edilmesi gereken kontrolcülerdir (Günerhan ve diğ., 2007).

Biyolojik atıksu arıtma tesislerinin optimum koşullarda işletilebilmesi ve istenilen dönüşüm veriminin elde edilmesi amacıyla tesislere entegre edilen proses

kontrol uygulamalarının temel elemanları; algılayıcılar (sensörler) ile analizörler, kontrolcüler ve kontrolcüden alınan eylem bilgisini gerçekleştiren aktüatörlerdir (eyleyiciler). Atıksu arıtma tesislerinde kontrol, prosesin kararlı halde çalışmasını sağlayan yapı ve enstrüman ise bu kontrolü sağlamak için gerekli olan araçtır. Proses kontrolde kullanılan ve kontrol yapısının enstrümentasyon ayağının bir parçasını oluşturan algılayıcılar ve analizörler; proses değişkenlerini ölçen, ölçüm değerlerini sinyaller halinde kontrol cihazlarına, monitörlere ya da kayıt sistemlerine gönderen ve dolayısıyla ilerleyen bir prosesten ölçülebilen değişkenleri veriler halinde alma yeteneğine sahip olan cihazlardır. Bu tanımlamadan da anlaşılacağı gibi algılayıcılar ve analizörler kontrol sisteminin gözleri ve kulaklarıdır. İşletmeciler gerçekte proseste neler olduğunu ya da prosesin işleyişini sadece algılayıcılardan elde edilen bilgileri değerlendirerek izleyebilmektedirler (Schutze ve diğ., 2004).

Günümüzde birçok tesiste geleneksel olarak kullanılan verim değerlendirmesine esas olacak tahmin yöntemleri aktif çamur prosesinde mikroorganizma ve substrat konsantrasyonuna bağlı denklemlerle ifade edilen yöntemlerdir. Bu denklemler formül 2.1 ve 2.2' de ifade edildiği gibidir. Buna bağlı olarak verim hesabı yapılır.

$$X = \frac{\theta_c Y(S_0 - S)}{\theta(1 + k_d\theta_c)} = \frac{\mu_m(S_0 - S)}{k(1 + k_d\theta_c)} \qquad \text{Formül 2.1.}$$

$$S = \frac{K_s(1 + \theta_c k_d)}{\theta_c(Yk - k_d) - 1} \qquad \text{Formül 2.2.}$$

Burada;

S_0 = Giriş substrat (BOİ) konsansantrasyonu, mg/L

S = Çıkış substrat (BOİ) konsansantrasyonu, mg/L

K_s= Substrata karşılık gelen BOİ konsantrasyonu, mg/L

k = Mikroorganizma besi tüketim hızı

X = Karışık Sıvıda Uçucu Askıda Katı Madde (MLVSS), mg/L

Y = Dönüşüm katsayısı

k_d = İç solunum ayrışma katsayısı, zaman $^{-1}$

θ_c = Çamur yaşı, gün

Verim Hesabı:

$$Verim(\%) = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$$

3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

Bu bölümde, YSA' nın yapay zeka teknolojisinin bir alt dalı olması sebebiyle, yapay zeka hakkında tanımlar yapılmakta ve yapay zeka teknolojileri sınıflandırılıp YSA hakkında bilgiler verilmektedir.

3.1. Yapay Zeka Tanımı

Yapay zeka kavramı çoğunlukla insana özgü uslamlama, akıl yürütme süreçleriyle ilişkilendirilir. Us, insanın çevresini algılaması, soyutlayarak kavramsallaştırması yoluyla ya da daha önce öğrenme süreçleri sonucunda edindiği deneyimler çerçevesinde yorumlayarak tepki vermesini sağlayacak zihinsel mekanizmadır. Yapay zeka ise, us olarak adlandırdığımız insan beyni fonksiyonunun yapay simülasyonunun bilgisayarlarla gerçekleştirilmesidir.

3.1.1. Yapay zeka teknolojileri

Yapay zeka çalışmaları değişik teknolojilerin doğmasına neden olmuştur. Çünkü günlük olaylar ve problemler sürekli değişmektedir. Bir olay, değişik insanlar tarafından değişik şekillerde yorumlanmaktadır. Karşılaştıkları sorunlar farklı bölge ve kişilerce farklı şekillerde çözülebilmektedir. Bilgisayarların insanların karar verme ve problem çözme mekanizmalarını taklit etmesinin sağlanması da dolayısıyla farklı teknolojilerin doğmasına neden olmaktadır. Günümüzde 60' tan fazla yapay zeka teknolojisinden bahsedilmektedir. Bu teknolojilerin çoğu henüz laboratuvar çalışmaları düzeyindedir. Bu teknolojilerin günümüzde günlük hayatta en yaygın olarak kullanılanları şunlardır (Öztemel, 2003):

Uzman sistemler: Bir uzmanın problemleri çözdüğü gibi problemlere çözümler üreten sistemlerdir. Uzmanlık bilgisi ile donatılırlar. Çıkarım mekanizmaları bilgiler arasındaki ilişkileri kurarak kararlar verirler.

YSA: YSA ile ilgili tanımlamalar Kısım 3.2.1' de yapılmaktadır.

Genetik algoritmalar: Geleneksel optimizasyon teknolojisi ile çözülemeyen problemleri çözmek üzere geliştirilmişlerdir. Problemlerin çözümlerini birleştirerek daha iyi çözümler üretmek felsefesine dayanmaktadır.

Bulanık önermeler mantığı: Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanan matematiksel bir disiplindir. Bulanık mantık; bilgisayarın, sadece bir durumun ya da karşıtının olabileceğini kabul eden mantığının yerine, insan mantığındaki gibi ara değerleri de hesaba katarak karar vermesini sağlar.

Zeki etmenler: Değişik yapay zeka tekniklerini kullanabilen ve bağımsız olarak çalışabilen sistemlerdir. Esnek bir şekilde programlanmaktadırlar.

3.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

3.2.1. YSA' nın tanımı

YSA, beynin fizyolojisinden yararlanılarak oluşturulan yapay bilgi işleme modelleridir (Haykin, 1994).

Bir diğer YSA tanımı, ilk ticari yapay sinir ağının geliştiricisi olan Dr. Robert Hecht- Nielsen'e aittir: "Yapay sinir ağı, dışarıdan gelen girdilere dinamik olarak yanıt oluşturma yoluyla bilgi işleyen, birbiriyle bağlantılı basit elemanlardan oluşan bilgi işlem sistemidir" (Caudill, 1987).

Bu tanıma yakın bir tanım da YSA yazınında çok tanınan Teuvo Kohonen'e ait bir tanımdır: "Yapay sinir ağları, paralel bağlı çok sayıdaki basit elemanın, gerçek dünyanın nesneleriyle biyolojik sinir sisteminin benzeri yolla etkileşim kuran hiyerarşik bir organizasyondur" (Kohonen, 1987).

3.2.2. Biyolojik sinir hücreleri

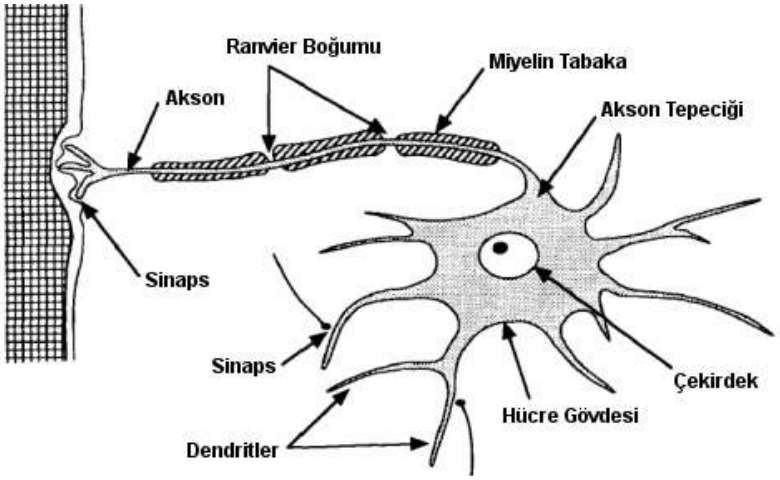
Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanmaktadır. Beyin nöron adı verilen birçok sinir hücresinin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. İnsan bünyesinde yer alan tüm diğer hücreler belli bir süre sonunda ölürler ve yerlerine yenisi üretilirken nöronlar kendiliklerinden ölmezler. Bu durum belki de bilgilerin nasıl kalıcı olduğunu da açıklamaktadır. İnsan vücudunda yaklaşık olarak 10^{11} nöron bulunmaktadır (Kohonen, 1988).

Beyinde yer alan sinir hücreleri işlevlerine göre; çevreden gelen girdilerin sinir sistemine girişini sağlayan duyusal sinir hücreleri, sinyalleri kaslara ve diğer organlara ileten motor sinir hücreleri ile sinir sisteminin çok büyük bir bölümünü oluşturan ara sinir hücrelerinden oluşur. Ara sinir hücrelerinin görevi bilgilerin işlenmesini ve sinyallerin bir yerden bir yere yayılmasını sağlamaktır (Schalkof, 1997).

Sinir hücreleri bir grup halinde işlev gördüklerinde ağ (network) olarak adlandırılırlar ve böyle bir grupta binlerce nöron (neuron) bulunur. Beyin aslında, bu sinir ağlarının (neural network) toplamı olarak görülmektedir (Trippi ve diğ., 1996).

Bir sinir hücresi (Şekil 3.1); hücre gövdesi (soma), bu gövdeyi çevreleyen ve saç teline benzeyen dendritler (dendrite) ile gövdeye bağlı bir kuyruk şeklindeki aksondan (axon) meydana gelmektedir. Temel olarak sinir hücrelerinde dendritler üzerinden girişler (sinaptik uçlara gelen sinirsel akımlar) alınmakta, soma tarafından girişler genelde doğrusal olmayan bir şekilde işlenmektedir.

Sinir hücresindeki sinyalleri taşıyan uzun bir sinirsel bağlantı halindeki akson ise, işlenen girişleri çıkışa aktarmaktadır. Aksonlar, girişlerin iletilme hızını artıran bir çeşit yalıtım maddesi olan miyelin tabaka (myelin sheath) ile kaplıdır (Şekil 3.1). Miyelin tabakanın üzerinde birkaç milimetrede bir yer alan ve girişleri periyodik olarak yeniden üretmeye yarayan ranvier boğumu (ranvier node) yer almaktadır. Akson dendrit bağlantısı ise sinaps (synapse) olarak adlandırılmaktadır. Sinaps sinir hücreleri arasındaki elektrokimyasal bağlantıyı sağlamaktadır.



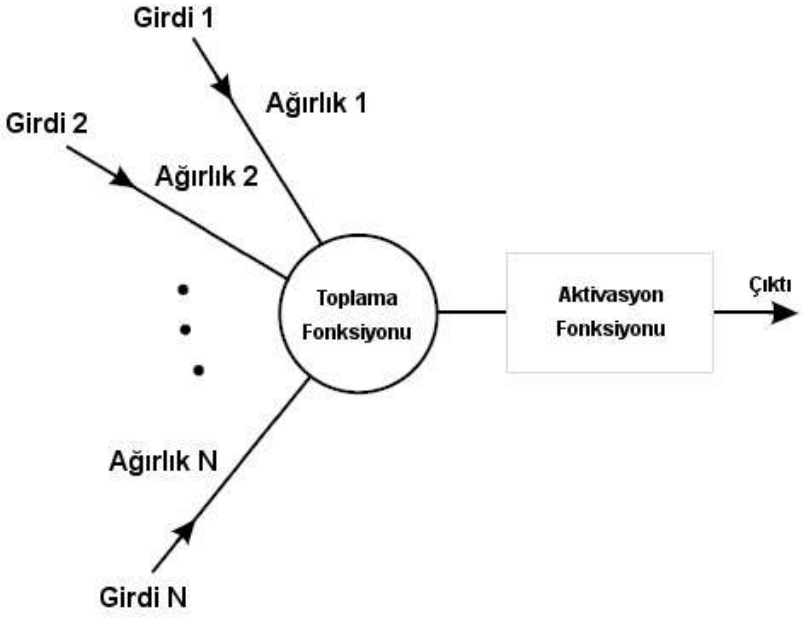
Şekil 3.1. Biyolojik sinir hücresinin yapısı (Freeman ve diğ., 1991).

3.2.3. Yapay sinir hücresi ve temel elemanları

Yapay sinir hücreleri biyolojik sinir hücrelerinin basit bir modelidir. Biyolojik sinir hücresi ve yapay sinir hücresinin karşılaştırılması Çizelge 3.1' de görülmektedir. Yapay sinir hücreleri mühendislik biliminde proses elemanları olarak da adlandırılmaktadır. Her proses elemanının 5 temel elemanı vardır. Bu temel elemanları gösteren yapay sinir hücresinin yapısı Şekil 3.2' de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Biyolojik sinir hücresi ve yapay sinir hücresinin karşılaştırılması (Sağıroğlu ve diğ.,2003).

Biyolojik Sinir Hücresi	**Yapay Sinir Hücresi**
Sinir Hücresi (Nöron)	İşlemci Eleman (Düğüm)
Sinaps	Ağırlıklar
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Aktivasyon Fonksiyonu
Akson	İşlemci Eleman çıktısı



Şekil 3.2. Yapay sinir hücresinin yapısı (Öztemel, 2003).

Girdiler: Girdiler, bir yapay sinir hücresine gelen bilgilerdir. Bu bilgiler dış ortamlardan ya da diğer sinir hücrelerinden gelebilir. Dış ortamlardan gelen bilgiler, ağın öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenmektedir.

Ağırlıklar: Ağırlıklar bir nöronda girdi olarak kullanılacak değerlerin göreceli kuvvetini (matematiksel katsayısını) göstermektedir. Yapay sinir ağı içinde girdilerin nöronlar arasında iletimini sağlayan tüm bağlantıların farklı ağırlık değerleri bulunmaktadır. Böylelikle ağırlıklar her işlem elemanının her girdisi üzerinde etki yapmaktadır (Trippi ve diğ., 1996).

Toplama fonksiyonu: Toplama fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi hesaplayan fonksiyondur ve genellikle girişlerin kendi ağırlıklarıyla çarpımının toplamı formül 3.1 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$s = \Sigma x_i w_i \qquad (3.1)$$

YSA' nın yapısına göre toplama fonksiyonu, maksimum, minimum, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olarak da ifade edilebilir. Bir problem

için en uygun toplama fonksiyonu çeşidini bulmak için herhangi bir formül yoktur. Toplama fonksiyonu genellikle deneme yanılma yoluyla bulunmaktadır. Ayrıca bir YSA' daki bütün işlemci elemanların aynı toplama fonksiyonuna sahip olması gibi bir zorunluluk da yoktur. Bazen aynı YSA içindeki işlemci elemanların bazıları aynı toplama fonksiyonunu, diğerleri ise başka fonksiyonları kullanabilirler.

Aktivasyon fonksiyonu: Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen girdiyi işleyerek yapay sinir hücresinin çıkışını belirler. Transfer fonksiyonu olarak da adlandırılan aktivasyon fonksiyonu çeşitli tiplerde ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Doğrusal fonksiyonların tercih edilmemesinin nedeni, doğrusal fonksiyonlarda girdi ile çıktının doğru orantılı olmasıdır. Bu durum ilk YSA denemelerinin başarısızlıkla sonuçlanmasının temel nedenidir (Minsky ve diğ., 1969).

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan Çok Katmanlı Algılayıcı modelinde genel olarak aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu formül 3.2 görülmektedir.

$$F(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \tag{3.2}$$

Burada NET proses elamanına gelen NET girdi değerini göstermektedir. Bu değer toplama fonksiyonu kullanılarak belirlenmektedir.

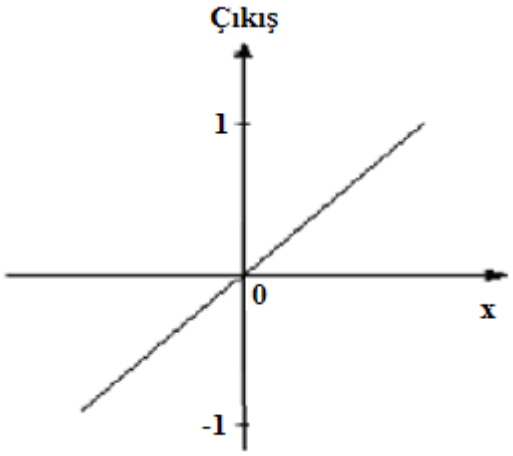
Aşağıda aktivasyon fonksiyonunun tipleri tanıtılmıştır.

- **Doğrusal aktivasyon fonksiyon**

Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan doğrusal hücre ve YSA' da yada genellikle katmanlı YSA' nın çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu formül 3.3' de görülmektedir.

$$f(x) = x \tag{3.3}$$

Doğrusal aktivasyon fonksiyon grafiği Şekil 3.3' de görülmektedir.

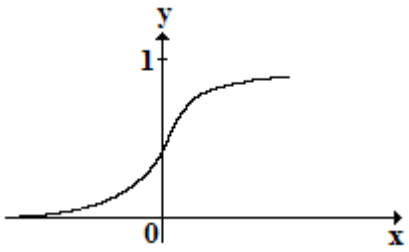


Şekil 3.3. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.

- **Sigmoid aktivasyon fonksiyonu**

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle uygulamada en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonudur. Bu fonksiyon, net girdinin her değeri için 0 ile 1 arasında bir değer üretmektedir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu formül 3.4' de grafiği ise Şekil 3.4' de görülmektedir.

$$y = F(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{3.4}$$



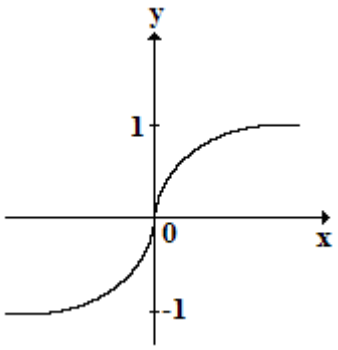
Şekil 3.4. Sigmoid fonksiyonu.

- **Hiperbolik tanjant fonksiyonu**

Hiperbolik tanjant fonksiyonu, gelen net girdinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanmaktadır ve sigmoid aktivasyon fonksiyonunun farklı bir

çeşididir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunda çıktı 0 ile 1 arasında bir değer alırken, hiperbolik tanjant fonksiyonunda çıktı -1 ile 1 arasındadır. Hiperbolik tanjant fonksiyonu formül 3.5' de grafiği Şekil 3.5' de görülmektedir.

$$y = F(x) = \frac{e^{x} + e^{-x}}{e^{x} - e^{-x}} \tag{3.5}$$



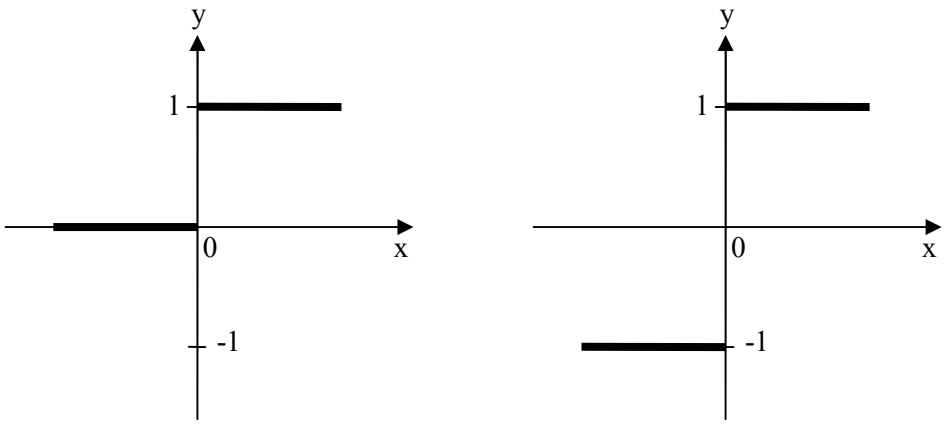
Şekil 3.5. Tanjant hiperbolik fonksiyonu.

- **Basamak Fonksiyonu**

Basamak fonksiyonu tek veya çift kutuplu fonksiyon olabilir. Bu fonksiyonlar formül 3.6 veya 3.7 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu fonksiyonların grafiği Şekil 3.6' da görülmektedir.

$$y = F(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \tag{3.6}$$

$$y = F(x) = \begin{cases} +1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \tag{3.7}$$



(a) tek kutuplu (b) çift kutuplu

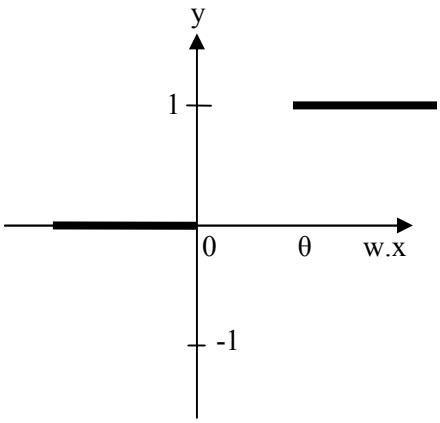
Şekil 3.6. Basamak fonksiyonlar.

- **Kutuplamalı Basamak Fonksiyonu**

Kutuplama değeri tek kutuplu ve çift kutuplu basamak fonksiyonunun her ikisine de eklenmiş olabilir. Aktivasyon fonksiyonu eşik seviyesi θ' yı aştığı zaman, nöron aktifdir denir. Tek kutuplu durum için fonksiyon 3.8 yazılır.

$$y = F(x) = \begin{cases} 1 & w.x \geq \theta \\ 1 & w.x < \theta \end{cases} \tag{3.8}$$

Bu fonksiyonun grafiği Şekil 3.7' de görülmektedir.



Şekil 3.7. Kutuplamalı basamak fonksiyon.

- **Parçalı Doğrusal Fonksiyon**

Bu fonksiyon küçük aktivasyon potansiyeli için, α kazancı olan bir doğrusal toplayıcı (Adaline) olarak çalışır. Büyük aktivasyon potansiyeli için, nöron doyuma ulaşır. Büyük kazançlar için, $\alpha \rightarrow \infty$ iken, parçalı fonksiyon bir basamak fonksiyonuna dönüşür. Bu fonksiyon formül 3.9' daki eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir. (Sağıroğlu ve diğ., 2003).

$$y = F(x) = \begin{cases} 0 & x \le -1/2\alpha \\ \alpha x + \dfrac{1}{2} & |x| \le 1/2\alpha \\ 1 & x \ge 1/2\alpha \end{cases} \qquad (3.9)$$

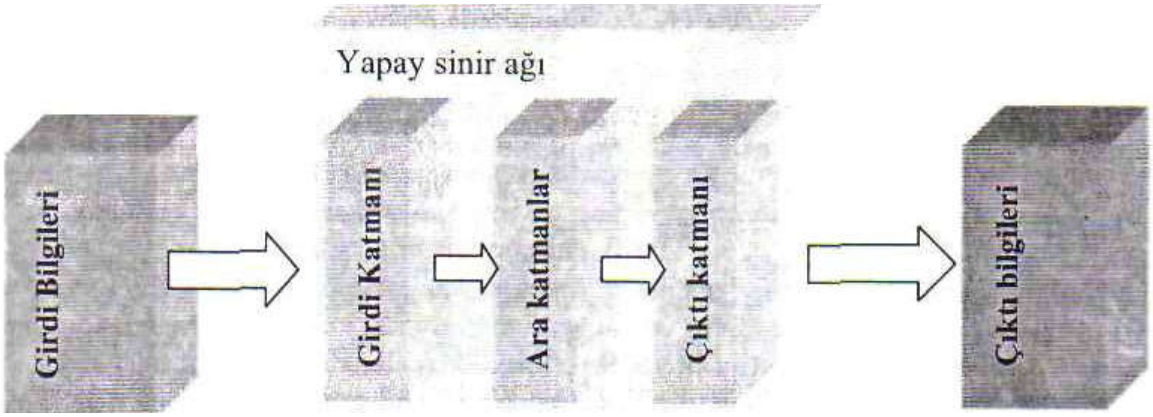
Hücrenin çıktısı: Aktivasyon fonksiyonunun ardından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Ağ şeklinde gösterildiğinde bir proses elemanının birden fazla çıktısı varmış gibi görülmektedir. Bu sadece gösterim amacıyladır. Bir proses elemanından çıkan tek bir çıktı değeri vardır. Aynı değer birden fazla proses elemanına girdi olarak gitmektedir.

3.2.4. YSA' nın yapısı

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek YSA' yı oluştururlar. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rastgele olmaz. Genel olarak hücreler 3 katman halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar. Bu katmanlar:

- **Girdi katmanı:** Bu katmandaki proses elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara transfer etmekle sorumludurlar. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz.
- **Ara katmanlar:** Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda gerçekleştirilir. Bir ağ için birden fazla ara katmanı olabilir. Gizli katmanlar olarak da adlandırılmaktadırlar.

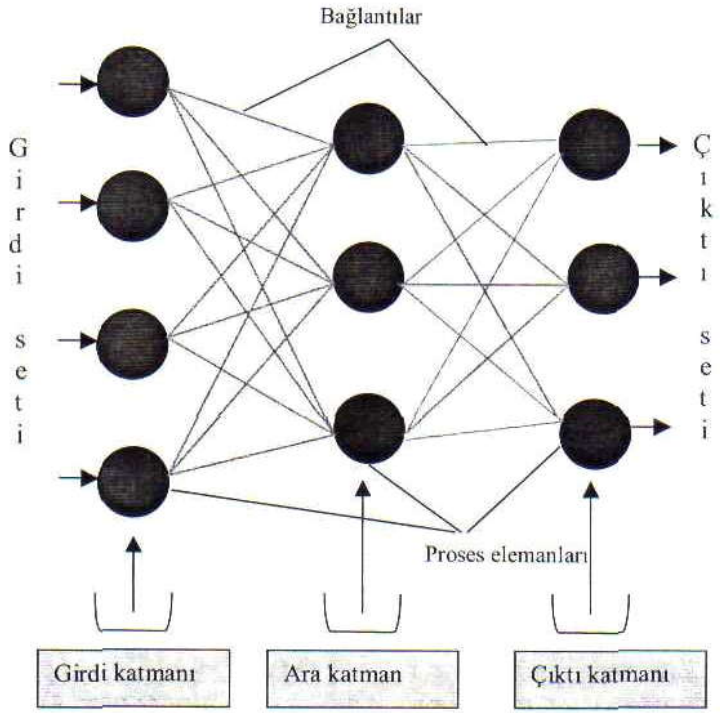
- **Çıktı katmanı**: Bu katmandaki proses elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanından sunulan girdi seti (örnek) için üretmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir.
  Şekil 3.8' de YSA katmanlarının birbirleri ile ilişkileri görülmektedir.



Şekil 3.8. YSA katmanlarının birbirleri ile ilişkileri (Öztemel, 2003).

Tek katmanlı ilk YSA modeli Frank Rosenblatt (1962) tarafından geliştirilmiştir. Bu ağ, verilerin ağa sunulduğu giriş katmanı ile çıkışların elde edildiği çıkış katmanından oluşmuştur. Daha sonraları geliştirilen çok katmanlı bir ağda ise giriş ve çıkış katmanlarının arasında gizli yada ara katman olarak nitelendirilen katmanlar mevcuttur (Rumelhart ve diğ., 1986).

Bu üç katmanın her birinde bulunan proses elemanları ve katmanlar arası ilişkileri şematik olarak Şekil 3.9' da görülmektedir. Şekildeki yuvarlaklar proses elemanlarını göstermektedir. Her katmanda birbirine paralel elemanlar söz konusudur. Proses elemanlarını birbirlerine bağlayan çizgiler ise ağın bağlantılarını göstermektedir.



Şekil 3.9. Bir YSA modelinin şematik gösterimi (Öztemel, 2003).

3.2.5. YSA' nın genel özellikleri

YSA'nın karakteristik özellikleri uygulanan ağ modeline göre değişmektedir. Bütün modeller için geçerli olan karakteristik özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- YSA makine öğrenmesi gerçekleştirebilmektedirler.
- YSA' nın programları, çalışma şekli bilinen programlama yöntemlerine benzememektedir.
- Bilginin saklanmasını sağlarlar.
- YSA örnekleri kullanarak öğrenirler.
- YSA' nın güvenle çalıştırılabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekmektedir.
- Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler.
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler.

- Şekil (örüntü) ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler.
- Örüntü tamamlama gerçekleştirebilirler.
- Kendi kendini organize etme ve öğrenebilme yetenekleri vardır.
- Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler.
- Hata toleransına sahiptirler.
- Belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilmektedirler.
- Dereceli bozulma (Graceful degradatian) gösterirler.
- Dağıtık belleğe sahiptirler.
- Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler (Öztemel, 2003).

3.2.6. YSA' nın avantaj ve dezavantajları

YSA'nın en önemli avantajları, öğrenme kabiliyeti olması ve farklı öğrenme algoritmaları kullanabilmesidir. Diğer avantajları ise matematiksel modele ihtiyaç duymamaları, kural tabanı kullanımı gerektirmemeleri, öğrenme kabiliyetine ve farklı öğrenme algoritmaları ile öğrenebilme yetenekleri şeklinde sıralanabilir.

En sık belirtilen dezavantajları ise sistemin çalışmasının analiz edilememesi ve öğrenme işleminde başarılı olunamama riskidir. Diğer sakıncaları, sistem içerisinde ne olduğunun bilinememesi, bazı ağlar hariç kararlılık analizlerinin yapılamaması, farklı sistemlere uyarlanmasının zorluğu şeklindedir (Elmas, 2003). Bunların yanı sıra, doğru modelleme için genellikle deneme yanılma kullanılması da önemli bir dezavantaj sayılabilir. Bu bir noktada dezavantaj gibi görülse de, bir çok problemde, tam sonucun bulunamadığı veya optimum çözümün çok fazla zaman alacağı durumlarda en hızlı ve en uygun çözümü ürettiklerinden avantaj olarak değerlendirilebilir. Çünkü geçek dünyada çözümü karmaşık ve uzun zaman alacak problemlerle sık karşılaşılır ve rekabet şartları düşünüldüğünde hızlı ve iyi çözümler üretmek önemlidir. Birçok ağ günümüzde istatistiksel olarak yüksek doğruluklarla (%85-%90 doğrulukla) çalışsa da birçok kullanıcı problemlerinin tam çözümünü beklemektedir (Anderson ve diğ., 1992). Oysa çözümleri hata toleransları içerisinde değerlendirmek ve hata değerinin parametre aralığına uyumlu olup olmadığını dikkate almak gereklidir.

3.2.7. YSA' nın uygulama alanları

Son yıllarda YSA' lar, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan ya da ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmakta ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Yapay sinir ağları aşağıdaki özellikleri gösteren alanlarda kullanıma uygun bir araçtır.

- Çok değişkenli problem uzayı,
- Probleme ilişkin değişkenler arasında karmaşık etkileşim,
- Çözüm uzayının bulunmaması, tek bir çözümün olması veya çok sayıda çözüm bulunması.

YSA çok farklı alanlara uygulanabildiğinden bütün uygulama alanlarını burada sıralamak zor olmakla birlikte genel bir sınıflandırma ile YSA'nın uygulama alanları arıza analizi ve tespiti, tıp alanı, savunma sanayi, haberleşme, üretim, otomasyon ve kontrol olarak sınıflandırılabilir.

3.2.8. YSA' nın sınıflandırılması

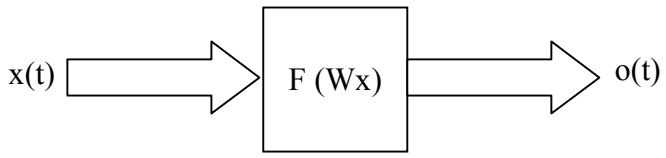
YSA' nın yapısı, işlemci elemanların birbirleriyle bağlantı şekillerine göre değişiklik gösterir. Problemlerin çözümü için ise, ağın yapısına göre seçilen öğrenme algoritmaları yardımıyla ağın ağırlıkları belirlenir.

3.2.8.1. YSA' nın yapılarına göre sınıflandırılması

YSA, yapılarına göre, ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olmak üzere iki farklı yapıda incelenmektedir.

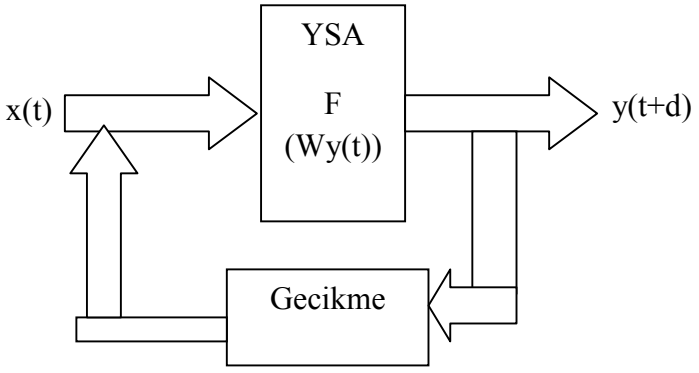
İleri Beslemeli Ağlar: İleri beslemeli bir ağda işlemci elamanlar (İE) genellikle katmanlara ayrılmışlardır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. İE' ler bir katmandan diğer bir katmana bağlantı

kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. Şekil 3.10' da ileri beslemeli ağ blok diyagramı gösterilmiştir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perseptronlar (multilayered perceptrons-MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir. Bu ağlar statik ağlar olarak da bilinirler.



Şekil 3.10. İleri beslemeli ağ.

Geri Beslemeli Ağlar: Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katman çıkışları, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur. Şekil 3.11' de bir geri beslemeli ağ yapısı görülmektedir. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır. Bundan dolayı, özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundurlar. Bu ağlar çeşitli tipteki zaman-serilerinin tahmininde oldukça başarı sağlamışlardır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağları verilebilir (Sağıroğlu ve diğ., 2003).



Şekil 3.11. Geri beslemeli ağ.

3.2.8.2. YSA' nın öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılması

YSA' da kullanılan öğrenme algoritmaları üç grupta incelenmektedir (Hinton, 1989).

i. **Öğreticili öğrenme** (Supervised Learning): Bir dış öğreticinin ağa her bir girdi için ağın üretmesi beklenen "doğru" sonuçları hedef çıktı olarak verdiği düşünülür. Ağın ürettiği çıktılar ile hedef çıktılar arasındaki fark hata olarak ele alınır ve bu hata minimize edilmeye çalışılır.

ii. **Öğreticisiz Öğrenme** (Unsupervised Learning): Ağa sadece girdiler verilir. Ağın ulaşması gereken hedef çıktılar bulunmaz. Ağ bu girdiler arasındaki ilişkiyi bir başka ifadeyle girdi setindeki örüntüyü öğrenmeye çalışır. Böylelikle ağ kendini girdi setindeki örüntüye uyumlaştırır (Hertz ve diğ., 1991).

iii. **Takviyeli öğrenme** (Reinforced Training): Öğreticili öğrenme yöntemine benzemekle birlikte, ağa hedef çıktılar yerine, ağın çıktılarının ne ölçüde doğru olduğunu belirten bir skor veya derece bildirilir (Neilsen, 1989).

Kullanılan çok sayıda öğrenme algoritması bulunmaktadır. YSA' nın yapısına, karşılaşılan sorunun niteliğine göre farklılık gösteren bu öğrenme algoritmalarının yüzden fazla çeşidi bulunmakla beraber en çok kullanılan öğrenme algoritmaları Hebb, Delta, Kohonen, Hopfield, Enerji fonksiyon, Geri Yayılma (Genelleştirilmiş Delta) dır.

YSA' nın geliştirilmesinde kullanılan çok sayıda öğrenme algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmaların uygulama alanlarına göre grupları ve uygun öğrenme algoritmaları Çizelge 3.2' de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Öğrenme algoritmaları ve uygulandıkları alanlar (Anderson-McNeill, 1992).

Uygulama Tipi	Öğrenme Algoritması
Öngörü Tanıma	Geriyayılım Delta Bar Delta Geliştirilmiş Delta Bar Delta Yönlendirilmiş Rastsal Tarama Geri Yayma İçine Özörgütlemeli Harita Ağı Yüksek Düzeyli Sinir Ağı
Sınıflandırma	Vektör Kuantalamalı Öğrenme Karşı Yayma Ağı Olasılıklı Yapay Sinir Ağları
Veri İlişkilendirme	Hopfield Boltmann Makinesi İki Yönlü Çağrışım Bellek Ağı Yığın Ağı (Spatio-Geçici Model Ağı)
Veri Kavramlaştırma	Uyarlanır Rezonans Ağı

YSA belki de en çok tahmin amacıyla kullanılmaktadır. Tahmin için kullanılan YSA içinde de en yaygın olarak kullanılanı geriyayılım (backpropagation) algoritmasıdır.

3.2.9. YSA tasarımı ve uygulaması

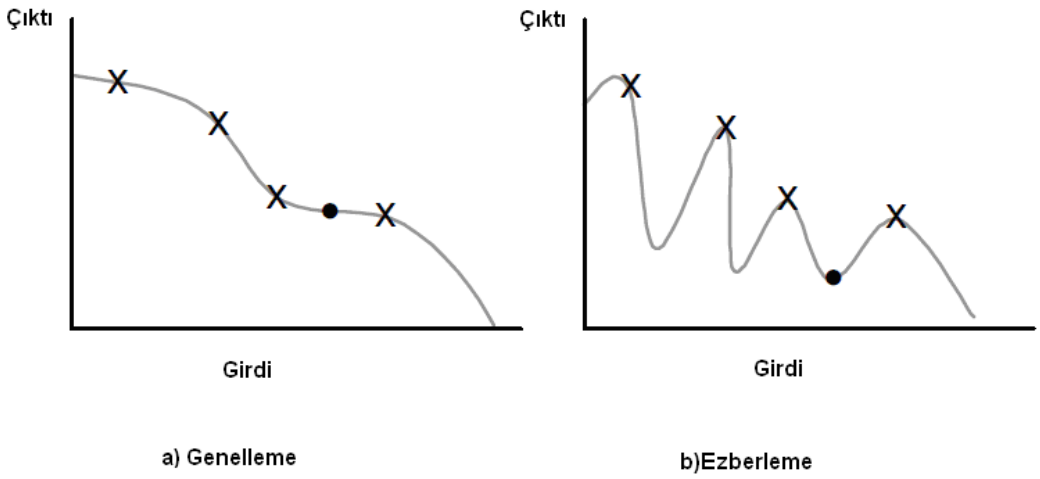
Bir YSA' da, işlemci elemanların bağlanması sonucu oluşan yapı, işlemci elemanların sahip oldukları toplama ve aktivasyon fonksiyonları, kullanılan öğrenme metodu ve öğrenme kuralı ağın modelini belirlemektedir. YSA uygulamasının başarısı, modelin oluşturulması aşamasının en doğru şekilde yürütülmesi ile yakından ilgilidir.

YSA' nın geliştirilmesi sürecinde her biri bir aşama olan, ağın yapısına ve işleyişine ilişkin şu kararların verilmesi gerekir (Schalkof, 1997):

- Ağ mimarisinin seçimi ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi (katman sayısı ve katmandaki işlemci eleman sayısı gibi),
- İşlemci elemanların kullandığı fonksiyonların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi,
- Öğrenme algoritması ve parametrelerinin belirlenmesi,
- Eğitim ve test setinin oluşturulması.

Eğitme: Ağa gösterilen girdinin beklenen çıktıyı üretmesi için ağa başlangıç ağırlık değerleri rastgele verilir ve ağ zaman içinde öğrenerek ağırlıkları belirler. Bu işlem hata belli bir oranın altına düşene ya da eğitme işlemi belli bir tekrar sayısına ulaşana kadar devam eder.

Eğitim süreci sonucunda YSA' da hesaplanan hatanın kabul edilebilir bir hata oranına inmesi beklenir. Ancak hata kareleri ortalamasının düşmesi her zaman için YSA'nın genellemeye (generalization) ulaştığını göstermez. YSA' nın gerçek amacı girdi-çıktı örnekleri için genellemeye ulaşmaktadır. Şekil 3.12-a 'da genellemenin nasıl gerçekleştiği görülmektedir.

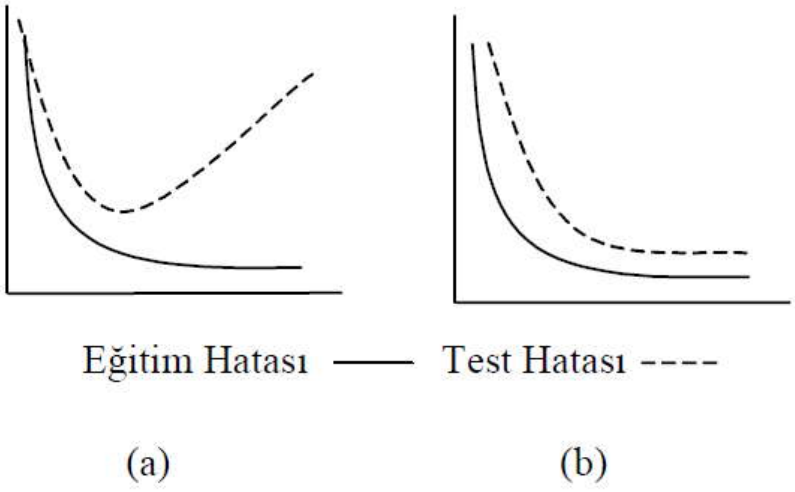


Şekil 3.12. Genelleme ve ezberleme.

Şekilde (x) ile görülen noktalar eğitim verileridir. Bunların arasında kalan eğri ise ağ tarafından oluşturulmaktadır. Bu eğri üzerindeki farklı bir girdi değeri için (·) üretilen doğru çıktı değeri, ağın iyi bir genelleme yaptığını gösterir. Ancak ağ gereğinden fazla girdi-çıktı ilişkisini öğrendiğinde, ağ verileri "ezberlemektedir" (memorization). Bu durum genellikle gereğinden fazla gizli katman kullanıldığında verilerin sinaptik bağlantılar üzerinde saklanmasından veya gereğinden fazla veri kullanılarak eğitilmesinden (overtraining) kaynaklanmaktadır. Ezberleme, genellemenin iyi gerçekleşmediğini ve girdi-çıktı eğrisinin düzgün olmadığını gösterir. Bu durum Şekil 3.12-b' de görülmektedir (Haykin, 1994).

Test etme: YSA' nın iyi eğitilip eğitilmediğini anlamak için, YSA' ya daha önce hiç görmediği veriler verilmelidir. Eğer hiç eğitilmediği ve daha önce karşılaşmadığı verilerle de doğru sonuçlar veriyorsa, o zaman YSA veriler arasındaki bağlantıları doğru kurmuş ve kullanılmaya hazır demektir. Eğer büyük bir hata oluşuyorsa daha çok ya da daha iyi veriler ile YSA yeniden eğitilmelidir. Ayrıca YSA' nın yapısını yani düğüm sayılarını değiştirmek de işe yarayabilir. Çok az düğüm sayısı öğrenme oranını düşürdüğü gibi çok fazla düğüm veya katman sayısı da hem öğrenmeyi yavaşlatmaktadır hem de bazı durumlarda öğrenmeyi zorlaştırmaktadır. Bu sayılar öğrenilmesi istenen bağlantıya bağlıdır, ancak henüz nasıl belirleneceklerine dair kesin bir yöntem yoktur. Şimdilik en uygun yöntem deneme-yanılmadır (Güler, 2004).

Eğitme ve test sonucunda verilerin ezberlenmiş olması YSA için istenmeyen bir durum olup, verileri ezberleyen ağa ait eğitim hatası düşme, test verilerinde ise artma eğilimi gösterir. Bundan dolayı birçok YSA yazılımı ağın eğitim ve test verilerine ait hataları grafik olarak göstermektedir. Verileri ezberleyen ağ gerçek hayattaki örüntüyü iyi temsil edemeyeceği için kullanılamaz. Şekil 3.13-a 'da ağ verileri ezberlediği için eğitim hatası azalma, test hatası ise artma eğilimi göstermektedir. Şekil 3.13-b 'de ise ağ kabul edilebilir bir genellemeye ulaşmıştır.



Şekil 3.13. Verileri ezberleyen (a) ve iyi genellemeye ulaşan (b) ağlardaki hata eğrileri.

3.2.10. YSA yazılımları

YSA ile ilgili olarak birçok yazılım mevcuttur. Bu yazılımlar Çizelge 3.3' de görülmektedir (Sağıroğlu ve diğ., 2003).

Çizelge 3.3. YSA yazılımları.

Ücretsiz Yazılımlar	Ticari Yazılımlar
GENESIS	NN/XNN
SNNS	SAS
ASPIRIN/MIGRAINES	Neural Works
WinNN	MATLAB Neural Network Toolbox
BIOSIM	NuTank
PDP++	NeuroSolutions
XERION	WAND
THE BRAIN	
NeuDL	
NeoC Explorer	
AINET	

MATLAB, teknik hesaplamalar ve matematiksel problemlerin çözümü için tasarlanmış bir yazılım geliştirme aracıdır. “MATrix LABoratory” kelimelerinin kısaltması olan MATLAB, adından da anlaşılacağı üzere matrisler (matrix) yani diğer bir deyişle dizileri kullanarak çalışır. MATLAB programlama dili ile yazılmış kütüphane ve araç kutularından oluşmaktadır. Özellikle mühendislik alanındaki sistemlerin analizinde kullanılan MATLAB, veri analizi ve inceleme, görsellik ve görüntü işleme, algoritma prototipi oluşturma ve geliştirme, modelleme ve simülasyon, programlama ve uygulama geliştirme işlemlerini yapabilmektedir (Hanselman ve diğ., 2001).

4. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde YSA ile ilgili ve Çevre Mühendisliği alanında yapılmış bazı uygulamalara örnek verilmektedir.

Chang ve diğ. (1996) kimyasal oksidasyon prosesinin renk giderimi kontrolü için modifiye edilmiş NERST modelini kullanmıştır. Laboratuvar çalışmalarında tekstil endüstrisi atıksularındaki 5 farklı boyar maddenin renk giderimi için NaOCl kullanmıştır. Renk değerleri spektrofotometre ile otomatik ölçüm sistemine göre ölçülmüştür. Renk giderim çalışmaları esnasında bilgisayar ortamında oksijen giderim potansiyeli ve pH değerleri takip edilmiştir. Bu çalışma ile her boyanın giderim verimi bulunmuştur.

Bongards, (2001) atıksu arıtma tesisinin Fuzzy kontrol ve ağ şebekesi ile etkinliğinin arttırılmasını araştırmıştır. Atıksu arıtma tesislerindeki işletim ana problemlerinden biri olan çamur susuzlaştırılması durumudur. Organik maddelerin çokluğu ve azot içeriğinden dolayı her ikisinin de aynı ortamda arıtılması gerekmektedir. Bir saat içinde çıkış değerlerinin ağ şebekesi yoluyla belirlendiği kimyasal doz miktarlarının Fuzzy kontrollerinin kullanıldığı bir kombinasyon oluşturulmuştur. Bu dizayn kontrol edilen sistemin Fuzzy kontrolü ile basit ve kolaylıkla birleştirilebilmesi için doğrusal olmayan bir kontrolün yapılmasına müsaade eder. Birkaç ay süren çalışmalar sonucunda sistemin güvenilir olduğu ve sistemin etkinliğinin artması için gerekli donanım ile güçlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Armbruster ve diğ. (2001) son çökeltim havuzunda çamur karakteristiğinin sayısal olarak modellemişlerdir. Son çökeltim havuzundaki düzensiz ve yoğun çamurun sayısal modellemeleri ile ilgili hesaplamada mevcut çamurun azaltılması ve çökme miktarını belirlenmesine imkan tanımıştır. Çamurun çökme karakteristiğini tanımlamak için yaklaşımlardan biri çamur derinliği olarak belirlenmiştir.

Rolfs ve diğ. (2001) verilerin online olarak simülasyonu için veri kaynağı oluşturmuşlardır. Kentsel atıksu arıtma tesislerinin online simülasyon sonuçlarını elde etmek için zor olan faktör iyi derecede verim için gerekli verilerin elde edilmesidir. Ön çalışma yapılmadığı takdirde elde edilen verimin simülasyon modelde kullanılması mümkün olmayacaktır. Bu nedenle hazırlanan veriler modele uygun giriş değerlerine dönüştürülmelidir. Eğer bireysel ölçüm değerleri iptal olursa kalan bilgilere dayalı yedek değer konsepti geliştirilmiş olmalıdır. Bu şekilde veri kaynağının devamlılığı sağlanabilir. Bu problemin çözümü için değişik yaklaşımlar mevcuttur. Veri akış safhasının yer aldığı Wupperverband tarafından geliştirilmiş program Wuppertal-Buchenhofen STP'nin gelecekteki online simülasyon oluşumu olarak sonuçlandırılmıştır.

Yang ve Kao, (1996) yılında yaptıkları çalışmada atıksu arıtma süreci ve uygun proses seçimi için uzman sistem kullanmışlardır. Atıksu arıtma sistemi seçilen arıtma prosesine ve arıtılacak parametrelere bağlı olarak değişik uygulama aşamaları içerir. Matematiksel programlama metodları atıksu arıtma sistemleri dizayn problemini çözmek için düşünülebilir. Burada değişik uygulamalar için bilinen parametreler kabul edilmiştir. Sonuç olarak geliştirilen sistem kimyasal atıksu prosesinin çalıştırılması için uyarlanmıştır.

Lindberg ve Carlsson (1996) yılında yaptıkları çalışmada aktif çamur proseslerinde çözünmüş oksijenin doğrusal olmayan gözlemlerinin kontrolünü yapmışlardır. Aktif çamur proseslerinde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun kontrolü hem ekonomi hem de proses verimi açısından oldukça önemlidir. Bunun için değişken çözünmüş oksijen konsantrasyonu kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Burada temel düşünce değişken oksijen transferi işlevinin verilerinin işlenmesidir.

Civelekoğlu ve diğ. (2006) kentsel atıksu arıtma tesisi performansını yapay zeka yöntemleri ile modellemişlerdir. Çalışmada bir kentsel atıksu arıtma tesisinin hedef çıktı değişkeninin KOİ, aynı tesise ait geçmiş verilerle tanımlanması ve bu verilerle eğitilmesi ile daha hızlı ve güvenilir olarak tahmin edilmesini hedeflemişlerdir. Çalışma kapsamında İSKİ Tuzla Kentsel atıksu arıtma tesisi biyolojik arıtım süreci verileri kullanılmış ve yapay zeka metodlarından Adaptif Ağ Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS, Adaptive Network based Fuzzy Inference

System) ile Yapay Sinir Ağlarını uygulamışlardır. Aynı girdi ve çıktı değişkenlerine sahip ANFIS ve YSA model yapıları kurularak model sonucu elde edilen KOİ değerlerinin tahmin performanslarını karşılaştırmışlardır.

Karul ve diğ. (2000) Keban Baraj Gölü, Mogan ve Eymir gölleri için ötrofikasyon modellemesi yapmışlardır.

Hava kirliliği üzerine de yapay zeka sistemleriyle çok sayıda modelleme çalışmaları yapılmıştır (Coşkuner ve diğ., 2003; Pintos ve diğ., 2000; Gardner ve Dorling, 2000; Reich ve diğ., 1999; Linker ve diğ., 1998; Djebbar ve Narbaitz, 2002).

Moatar ve diğ. (1999) yapay zeka kullanarak pH modellemesi yapmışlardır.

Maier ve Dandy (2000) su kaynağındaki değişkenlerin tahminini modellemişlerdir.

Ünite özelinde yapılan çalışmalara örnek olarak;

Holubar ve diğ., (2002) anaerobik çürütücülerde metan üretimini ileri beslemeli back propagation algoritmasıyla modellemişlerdir. Model parametreleri olarak kararlı konumdaki reaktörlerden alınan gaz kompozisyonu, metan üretim hızı, uçucu yağ asitleri konsantrasyonu, pH, redoks potansiyeli, uçucu AKM ve KOİ verilerini kullanmışlar ve çeşitli kademelerde gaz üretimini tahmin ederek şok yüklemeleri tahmin etme ve önlemede başarı sağlamışlardır.

Gontarski ve diğ., (2000) atıksu arıtma tesisindeki 6 reaktörün herbirini bir YSA ile simule edip, bir de sistemi tek YSA olarak modelleyerek çıkış TOK değerlerini tahmin etmişlerdir. Kullandıkları parametreler her reaktöre giriş TOK değeri, Her reaktöre giriş debisi, AKM, reaktörlerdeki ÇO konsantrasyonu, ortalama çamur bekleme süresi ve kinetik sabitlerdir. YSA çıktısı ise sistemin TOK değeridir.

Oliveira-Esquerrel ve diğ., (2002) biyolojik arıtım ünitelerini YSA ile modelledikleri çalışmalarında değişkenler olarak giriş BOİ, giriş KOİ ve giriş debisini kullanmışlar ve istatistiksel prensiplerin YSA model yapısında kullanılmasının model performansını önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuşlardır.

Pai ve diğ. (2007) hastane atıksularının aktif çamur ile arıtıldığı bir tesisin YSA ile simülasyonunda AKM, BOİ, KOİ ve renk parametrelerini sistem parametresi olarak ele almıştır.

Tesis bütünü üzerinde yapılan YSA modelleme çalışmalarına örnek olarak;

Mjalli ve diğ. (2007) bir kentsel atıksu arıtma tesisinde anahtar parametreler olarak KOİ, BOİ ve AKM değerlerinin çıkış suyundaki tahminini başarıyla yapmışlardır.

Çınar (2005) evsel atıksu arıtma tesisi performansını BOİ, AKM ve fekal koliform parametreleri üzerinden izlemiş ve YSA modeliyle bu parametrelerin çıkış değerleri tahminlerini başarıyla yapmıştır.

Hamed ve diğ., (2004) evsel atıksu arıtma tesisine ait 10 aylık BOİ ve AKM verisi kullanılarak yapılan birkaç aşamalık eğitme sonucu tesisin bu parametreler bazında performansının doğru tahmin edilebildiğini göstermişlerdir.

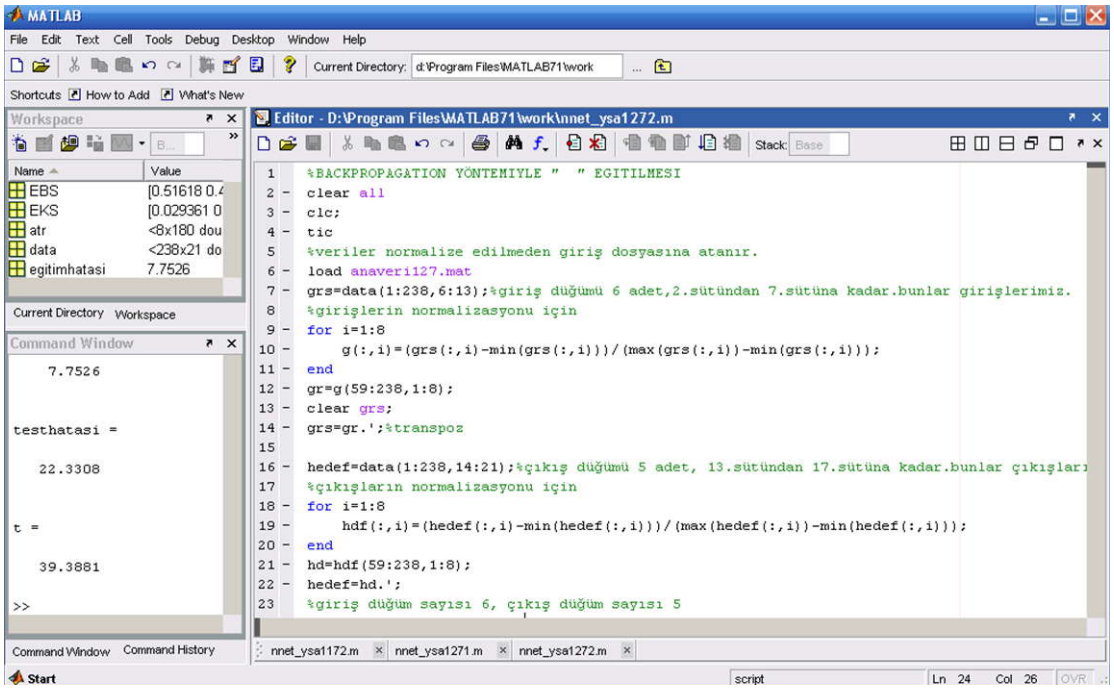
Açıkalın ve diğ. (2005) atıksu arıtma tesisi kirlilik parametrelerinden BOİ, KOİ ve AKM çıkış değerlerini tahmin etmek için YSA metodu kullanmışlardır. Model geliştirmede kullanılan veriler atıksu sıcaklığı, pH, ortalama debi, KOİ, BOİ ve AKM parametrelerinden oluşmaktadır. Adapazarı Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi verileri kullanılarak oluşturulan modellerden Çok Katmanlı Algılayıcı modelinin gerçek verilere oldukça iyi bir sonuçla uyum sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Huang ve Wang (1999) grafik bir model olan Fuzzy Casual Network (FCN) geliştirmiş ve atıksu arıtma tesisi çalışmasına uygulamıştır. Evsel atıksuya, öncül arıtma, ön çökeltme ve aktif çamur arıtım ünitelerinden oluşan tesisten 527 veri alınmıştır. pH, BOİ, KOİ, AKM, UKM, sediment iletkenlik takip edilmiştir. Üç arıtma ünitesi giriş ve çıkışlarından elde edilen veriler arasında eksik olan değerler ise YSA kullanılarak tahmin edilmiştir. İşletmenin üç işlem adımı için üç katmanlı YSA geliştirilmiştir. Değişken değerlerinin olasılık dağılımı ve bölge bilgisi fuzzy üyelik fonksiyonlarını tanımlamak için birleştirilmiştir. Huang ve Wang (1999) parametreler arası sebep sonuç ilişkisinin YSA ile etkin şekilde tanımlanamayacağını, FCN ile tanımlanabileceğini savunmuşlardır.

5. MATERYAL VE METOD

5.1. Çalışmada Kullanılan Yazılım

Günümüzde yapay sinir ağı çalışmaları için en sık kullanılan yazılım MATLAB programıdır. MATLAB veri girişi, yapay sinir ağının tanımlanması, test ve simülasyon aşamalarını başarı ile yapmaktadır. MATLAB ekran görüntüsü Şekil 5.1' de görülmektedir.



Şekil.5.1. MATLAB ekran görüntüsü.

Çalışmada The Mathworks MATLAB yazılımının 7.1.0.246 (R14) Service Pack 3 versiyonu kullanılarak sistem modellemesi yapılmıştır. MATLAB içerisinde yer alan Neural Network Toolbox kullanılmıştır.

5.2. Veri Seti

Model oluşturulurken, sistem bütünü atıksu arıtma tesisi olmasına karşın proses bazında izlenen parametre değerlerinin tahmini yapılacağından sistem, ön arıtım ünitesi ve biyolojik arıtım ünitesi olarak alt sistemlere bölünmüş ve her bir kısım için giriş-çıkış kontrol parametreleri seçilmiştir. Bu parametreler model hedef girdi ve hedef çıktıları olarak adlandırılmış ve bu parametrelere ait deneysel veri tabanı değerleri ile model veri seti oluşturulmuştur. Veri seti hazırlanırken Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi (KASKİ) 2005 yılı veri tabanına ait veriler zaman sıralı seri haline getirilerek düzenlenip her bir parametrenin istatistiksel değişim aralığı incelemesi yapılmış ve ölçüm hatalarının ve mantıksal sınır harici değerlerin olup olmadığı kontrol edilmiştir. Konsantrasyonu belli olmayan eksik veriler model veri setine dahil edilmemiştir.

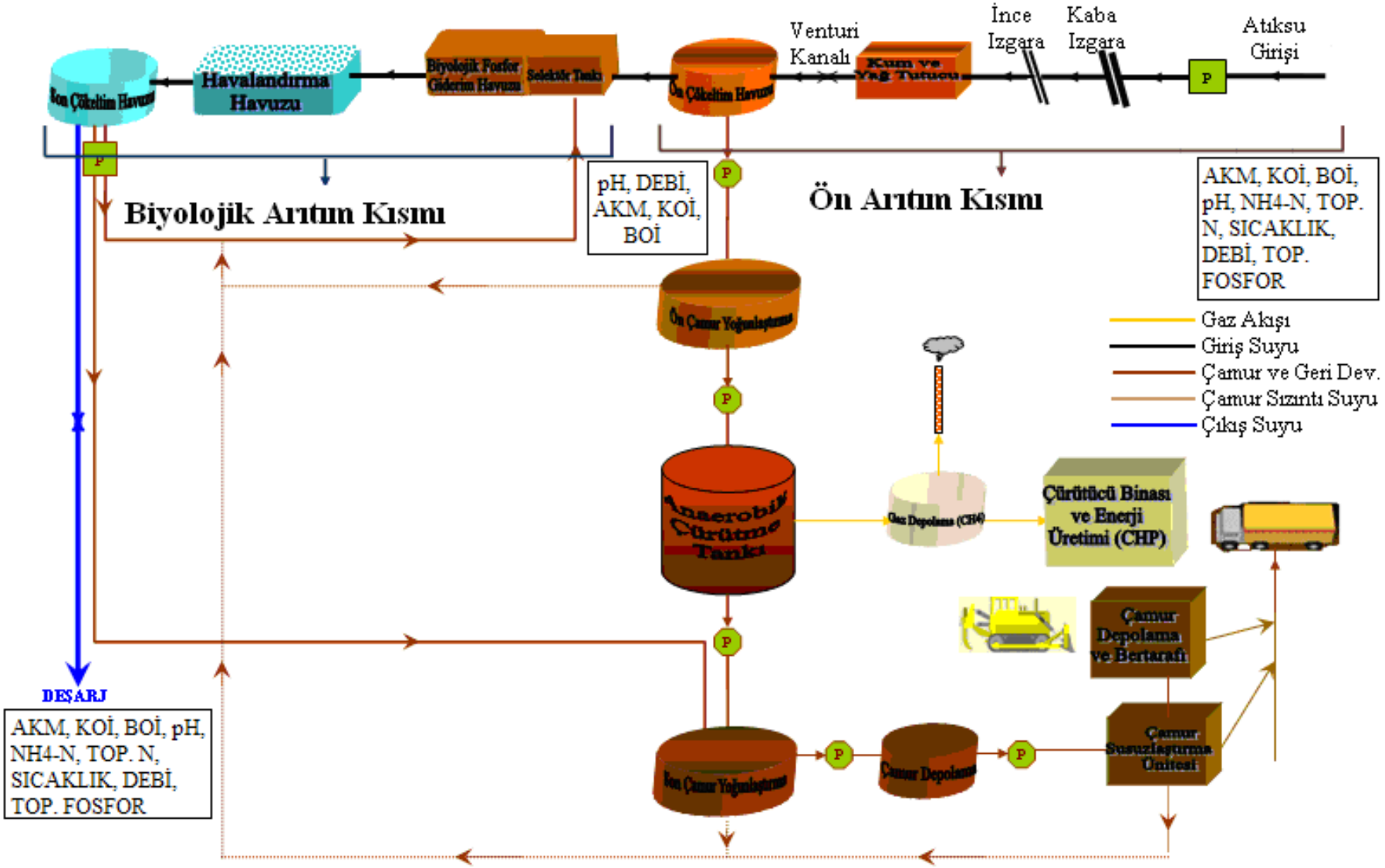
YSA geliştirme sürecinde veriler ikiye ayrılır; bir bölümü ağın eğitilmesi için kullanılır ve eğitim seti adını alır, diğer bölümü ise ağın eğitim verileri dışındaki performansını ölçmede kullanılır ve test seti olarak adlandırılır (Zahedi, 1991). Çalışmada, KASKİ 2005 yılı veri tabanına ait 238 adet deneysel veri YSA modelinin eğitim ve test setleri için kullanılmıştır. Tesis veri tabanından alınan 238 adet deney sonucunun yaklaşık %75' i (180 adedi) YSA' nın eğitiminde, geri kalan % 25' i (58 adedi) de YSA' nın test edilmesinde kullanılmıştır.

Çalışmada, modelde giriş-çıkış kontrol parametreleri olarak, Çevre Mühendisliği alanında, atıksuyun kirliliğinin ifadesinde ve arıtma tesisleri performansının takibinde genel olarak kullanılan en kritik işletme parametreleri seçilmiştir. Bu parametreler, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), pH, toplam azot, toplam fosfor, amonyak azotu (NH_4-N), nitrat azotu (NO_3-N), ve fosfat fosforu (PO_4-P), debi, sıcaklık parametreleri olup veri setinde bu parametrelere ait maksimum, ortalama ve minimum değerleri Çizelge 5.1' de görülmektedir.

Çizelge 5.1. Modelde kullanılan parametreleri ve bunların maksimum, ortalama ve minimum değerleri (KASKİ, 2005).

	Parametre	**Maksimum**	**Ortalama**	**Minimum**
Tesis Giriş	pH	9,36	8,09	7,03
	Debi (m^3/gün)	189163	136503	104827
	AKM (mg/L)	576	335	171
	KOİ (mg/L)	862	665	424
	BOİ (mg/L)	460	334	180
	Sıcaklık °C	24,49	20,24	14,81
	Toplam N (mg/L)	77,80	51,34	30,80
	NH_4 - N (mg/L)	70,20	35,46	23,50
	NO_3 - N (mg/L)	5,32	1,49	0,24
	Toplam Fosfor (mg/L)	15,60	10,06	5,49
	PO_4 - P (mg/L)	11,50	7,93	4,02
Ön Çökeltim Çıkışı	pH	8,80	7,99	7,10
	Debi (m^3/gün)	187716	135051	103904
	AKM (mg/L)	346	213	132
	KOİ (mg/L)	663	518	386
	BOİ (mg/L)	340	264	130
Tesis Çıkışı	pH	8,67	8,12	6,87
	Sıcaklık °C	25,46	20,64	13,31
	Debi (m^3/gün)	228936	132874	99967
	AKM (mg/L)	43	9	2
	KOİ (mg/L)	68	28	6
	BOİ (mg/L)	19	6	2
	Toplam N (mg/L)	11,30	5,64	1,62
	NH_4 - N (mg/L)	7,74	1,13	0,03
	Toplam Fosfor (mg/L)	6,15	2,87	0,36
	PO_4 - P (mg/L)	5,16	2,57	0,10

KASKİ, 2025 yılında 1.400.000 kişi için tasarlanmış bir atıksu arıtma tesisi olup, tesisin proses akım şeması Şekil 5.2' de görülmektedir.

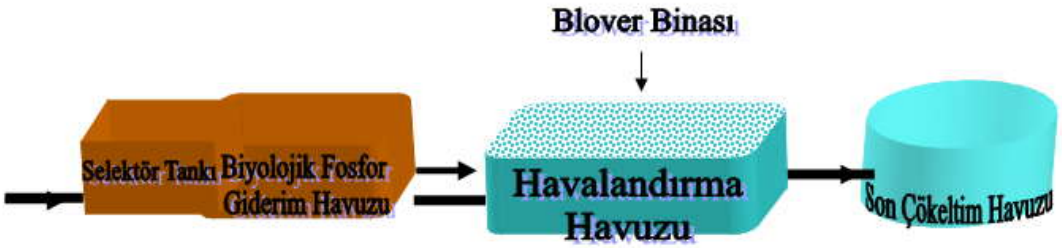


Şekil 5.2. Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi proses akım şeması.

Çalışmada kullanılan, ön arıtım ünitesi ve biyolojik arıtım ünitesi ait model kontfigürasyonu Şekil 5.3 ve 5.4' de görülmektedir.



Şekil 5.3. YSA-1 modeli (ön arıtım ünitesi) konfigürasyonu.



Şekil 5.4. YSA-2 modeli (biyolojik arıtım ünitesi) konfigürasyonu.

5.3. YSA Ağ Yapısı

Kısım 3.2.8.1' de anlatıldığı gibi YSA, yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olmak üzere iki farklı yapıda incelenmektedir. Bu çalışmada kullanılan YSA " İleri beslemeli" ağ yapısıdır.

Terimden de anlaşılacağı gibi bu türdeki YSA' da bilgi akışı bir önceki katmandan bir sonraki katmana doğrudur. Yani giriş katmanına gelen veriler doğrudan gizli katmana gönderilir. Daha sonra ise nörona girerken her gelen değer bir toplama fonksiyonunca toplanacak ve nöronda varolduğu kabul edilen bir aktivasyon fonksiyonuna aktarılacaktır. Bu işlem en son katman olan çıkış katmanında son bulacaktır (Moral ve diğ., 2005).

5.4. YSA Öğrenme Algoritması

Çalışmada KASKİ Atıksu Arıtma Tesisi parametrelerinin çıkış değerleri ağa öğretilmeye çalışılmıştır. Bu işlem sırasında ağ verilen değerlere bağlı olarak tahminde bulunma prensibine göre çalıştığından, amaca yönelik olarak eğitme işlemi "Geri Yayılım Algoritması" olarak adlandırılan yöntemle yapılmıştır.

5.5. Normalizasyon İşlemi

Veriler ağa sunulmadan önce verideki aşırı salınımları engellemek ve sistem performansını arttırmak için normalizasyon işlemine tabi tutulurlar. Bunun için logaritmik fonksiyonlar kullanıldığı gibi, genellikle verilerin [0,1] veya [-1,+1] aralıklarından birine ölçeklendirilmesi önerilmektedir. Ölçekleme verilerin geçerli eksen sisteminde sıkıştırılması anlamı taşıdığından veri kalitesi aşırı salınımlar içeren problemlerin YSA modellerini olumsuz yönde etkileyebilir (Saraç, 2004).

Çalışmada veriler [0,1] aralığına getirilerek normalize edilmiştir. Girdilerin normalizasyon işlemi formül 5.1 ile yapılmıştır.

$$X_{norm}=(X_{gerçek}-X_{min})/(X_{max}-X_{min}) \quad (5.1)$$

Veriler son aşamada denormalize işlemi formül 5.2 ile yapılmıştır.

$$X_{denorm}= X_{test} * (X_{max}- X_{min}) + X_{min} \quad (5.2)$$

5.6. Eğitme ve Test Hatasının Hesaplanması

Eğitme ve test hatasının hesaplanması formül 5.3 yardımıyla yapılmıştır. Bu eşitlikte t(i) çıkışa ait hedef değer, a(i) ağın gerçek çıkış değeri, k eğitme verisindeki örnek sayısı, m eğitme ya da test verisindeki segment sayısı ve n çıkış katmanındaki nöron sayısını ifade etmektedir (Özbay ve diğ., 2006).

$$\underset{Hatası}{\text{Eğitme}-\text{Test}}(\%)=\left(\frac{\sum_{i=1}^{k}\left|t(i)-a(i)\right|}{m*n}\right)*100 \qquad (5.3)$$

Çalışmada performansın değerlendirilmesinde kullanılan bu yöntemde YSA' dan elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları arasındaki en az hatayı veren ağ yapısı saptanmaya çalışılmıştır.

5.7. Katman ve Nöron Sayısı

Ağ yapısında kullanılan katman sayısı ve her katmanda bulunan nöron (düğüm) sayısı YSA' nın karmaşıklığını belirler. Katman sayısı ve katmanlardaki düğüm sayısı arttıkça YSA' nın işlem ve öğrenme yeteneği artarken yakınsama süresi de artmakta, ağın genelleme kabiliyeti düşmekte ve ağın ezberlemesine (Memorization) neden olmaktadır.

Modelin geliştirilmesinde tek katmanlı bir yapı tercih edilmiş olup, gizli katman sayısının belirlenmesinde, Hecht-Nielsen (1987) tarafından önerilen, formül 5.4 kullanılmıştır. Bu formül, YSA' nın herhangi bir sürekli fonksiyonu tahminleyebilmesini sağlamak için gerekli gizli katman düğüm sayısının üst sınırını belirlemektedir.

$$N^H \leq 2\,N^I + 1 \qquad (5.4)$$

N^H = Gizli katman düğüm sayısı

N^I = Girdi katmanı düğüm sayısı

Rogers ve Dowla (1994) ise eğitme seti veri sayısı ile ağ yapısının büyüklüğü arasındaki ilişkinin de göz önünde tutulmasını önermektedir. Bu kriteri sağlamak amacıyla yine gizli katman düğüm sayısının üst sınırını belirlemek amacıyla formül 5.5 kullanılmıştır.

$$N^H \leq N^{TR} / (N^I + 1) \qquad (5.5)$$

N^{TR} = Eğitme seti veri sayısı

Bu çalışmada kullanılan girdi katmanı düğüm sayısı 11 olup eğitme seti veri sayısı 180' dir. Formül 5.4 ve 5.5 kullanılarak hesaplanan gizli katman düğüm sayısı üst sınrları sırasıyla 23 ve 15' dir. Çalışmada üst sınır 23 olarak kabul edilmiş ve en iyi model yapısının belirlenmesi için bu sınırın altında 2 ila 23 gizli katman düğüm sayısı için denemeler yapılmıştır.

5.8. Toplama ve Aktivasyon Fonksiyonu

Transfer fonksiyonu olarak da geçen aktivasyon fonksiyonu, birleştirme fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek işlem elemanının çıktısını belirleyen ve genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. İşlem elemanı modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli tipte aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametreli ya da uyarlanabilir parametreli seçilebilir. En uygun aktivasyon fonksiyonu tasarımcının denemeleri sonucunda belli olur. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi büyük ölçüde yapay sinir ağının verilerine ve ağın neyi öğrenmesinin istendiğine bağlıdır.

Seçilecek olan aktivasyon fonksiyonları öğrenmede önemli bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Problemin davranışına uygun olan fonksiyon tipinin belirlenmesi başarı yüzdesini yükseltebilir (Sağıroğlu ve diğ., 2003).

Çalışmada, YSA-1 modelinde, birleştirme fonksiyonu olarak toplama fonksiyonu kullanılmış, aktivasyon fonksiyonu olarak Çizelge 5.2' de görülen MATLAB aktivasyon fonksiyon türleri için denemeler yapılmıştır. Denemelerde düğüm sayıları dışında üç değişken önemli rol oynamaktadır. Bunlar, öğrenme oranı (*lr*), momentum sabiti (*mc*) ve iterasyon sayısıdır.

Öncelikle, öğrenme oranı (*lr*) 0,1 momentum sabiti (*mc*) 0,8 ve iterasyon sayısı 10.000 kabul değerleri sabit alınarak düğüm sayısının 4-20 aralığında

değiştirilmesi ile eğitme ve test hataları belirlenmiş ve buna göre ağ yapısına en uygun aktivasyon fonksiyonları tespit edilmiştir.

Çizelge 5.2. MATLAB aktivasyon fonksiyonları.

İsim	**Matlabdaki Komut**
Competetive	compet
Hard Limit	hardlim
Hyperbolic Tangent Sigmod	tansig
Log-Sigmoid	logsig
Positive Linear	poslin
Radial Basis	radbas
Linear	purelin
Saturating Linear	satlin
Symmetrical Saturating Linear	satlins
Traingular	tribas

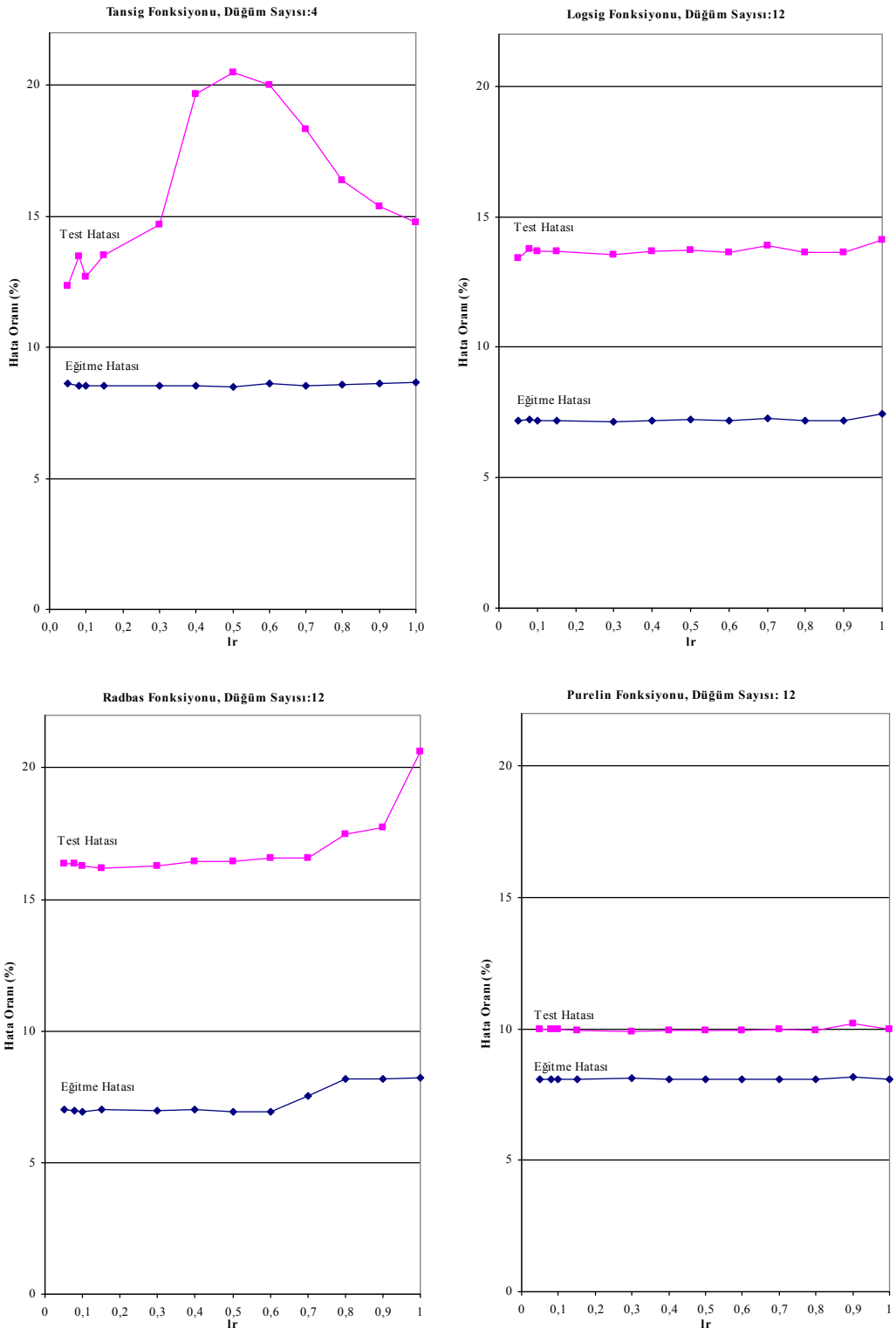
Yapılan deneme sonuçlarına göre en az eğitme ve test hatasını veren **hyperbolic tangent sigmod** (tansig), **log-sigmoid** (logsig), **radial basis** (radbas) ve **linear** (purelin) fonksiyonlarının ağ yapısına en uygun fonksiyonlar olduğu tespit edilmiştir. Model çalışmasında bu fonksiyonlar kullanılmıştır.

5.9. Öğrenme Oranı (*lr*)

Öğrenme oranının belirlenmesinde düğüm sayıları ve öğrenme oranı sayıları değişken, momentum sabiti (*mc*) 0,8 ve iterasyon sayısı 10000 olacak şekilde sabit alınarak düğüm sayısının 4-20 aralığında, öğrenme oranı sayısının ise literatürdeki seçim aralığının 0-1 olması yaklaşımı (Fausett, 1994) ile 0,05-1 aralığında değiştirilerek eğitme ve test hataları tespit edilmiştir.

Deneme sonuçlarını daha net yorumlayabilmek için her bir fonksiyona ait grafikler oluşturulmuştur. Örnek teşkil etmesi amacıyla, deneme sonuçlarından

seçilen, 4-20 aralığındaki düğüm sayıları için, tansig, logsig, radbas ve purelin fonksiyonlarına ait öğrenme oranı sayılarına karşılık gelen eğitme ve test hata oranları Şekil 5.5' de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 5.5. Öğrenme oranı karşılık hata oranı değişimi.

4-20 aralığındaki düğüm sayıları ve tansig, logsig, radbas ve purelin fonksiyonları için yapılan denemelerde, Şekil 5.5 genel olarak incelendiğinde birkaç istisna haricinde *lr* değiştikçe hata oranlarında fazla bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Tansig fonksiyonunda 0,1 değerinden sonra öğrenme oranı arttıkça test hata oranlarında artış gözlenirken eğitme hata oranlarında fazla bir değişim olmamaktadır. Logsig, radbas ve purelin fonksiyonları açısından değerlendirildiğinde ise test ve eğitme hata oranları açısından fazla bir değişim olmadığı gözlenmiştir.

Öğrenme oranı hata fonksiyonu üzerinde minimuma doğru yaklaşırken atılan adımın büyüklüğü olarak ifade edilebilir. Öğrenme oranının küçük değer alması, öğrenme sürecinin küçük adımlar halinde olmasını yani yavaş bir öğrenme sürecini getirir (Anderson ve diğ., 1992). Diğer taraftan öğrenme hızını arttırmak amacı ile öğrenme katsayısı büyütülebilir. Büyük öğrenme katsayıları kullanıldığında ağ mutlak minimuma ulaşamayabilir. Bu duruma salınım denir. Dolayısıyla bu oran salınıma yol açmayacak büyüklükte alınmaya çalışılır. Öğrenme oranının tayininin en iyi şekilde yapılabilmesi için hata yüzeyinde bulunulan noktadaki eğime dikkat edilmelidir. Ancak hata yüzeyi hakkında fazla bir bilgiye sahip olmak mümkün olmayacağından eğimlere göre öğrenme oranı değerinin atanması zordur. Bu yüzden yapılan çalışmalarda genellikle 0 ile 1, tercihen de 0-0,2 arasında bir değer atanır (Morgan ve diğ., 1991).

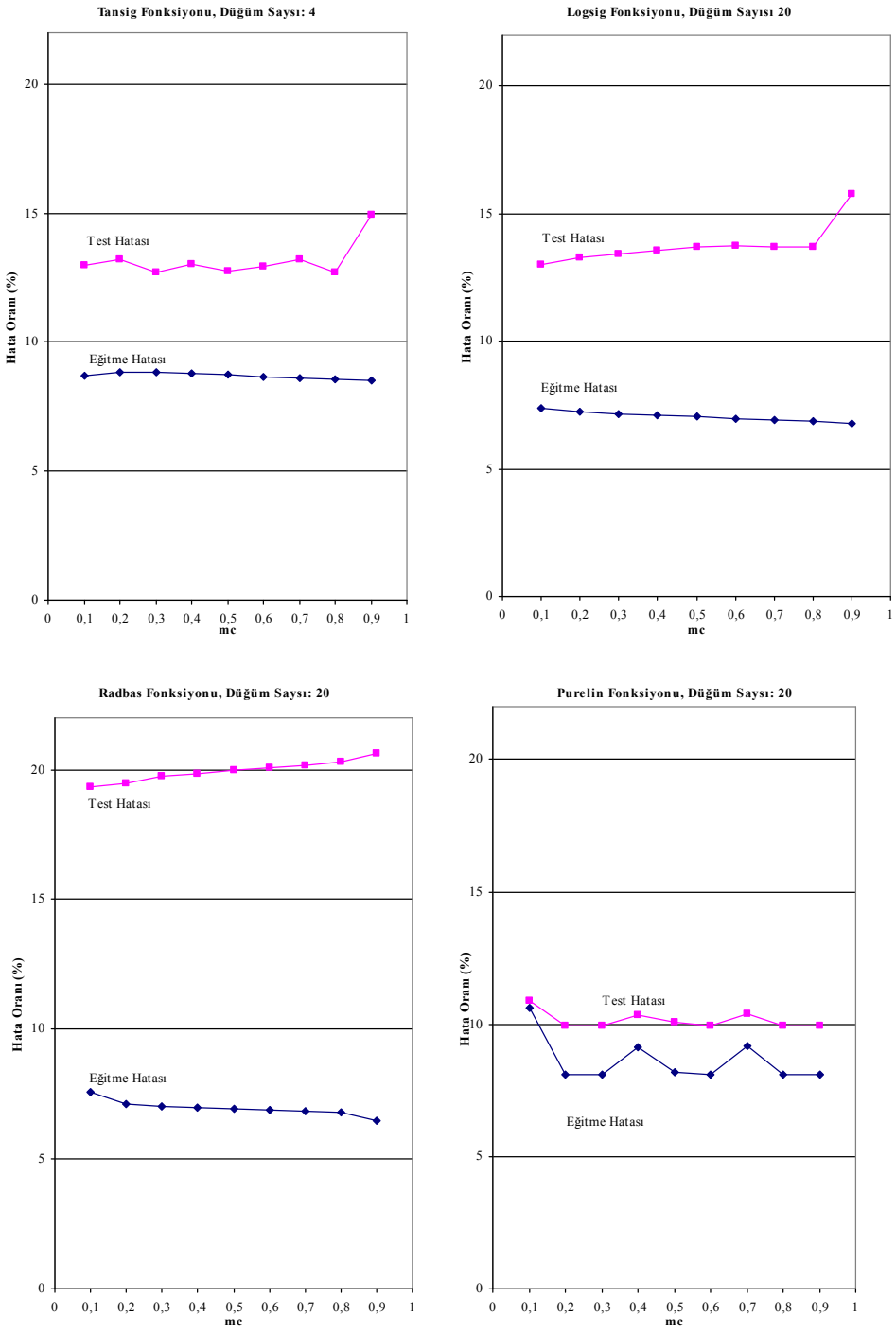
Bu bilgiler ışığında, yapılan denemeler sonucunda eğitme ve test hata oranlarında genellemede orta kararlılık gösteren değer 0,1 olarak seçilmiştir.

5.10. Momentum Sabiti (*mc*)

Momentum sabitinin belirlenmesinde düğüm sayıları ve momentum sabiti sayıları değişken, öğrenme oranı (*lr*) 0,1 ve iterasyon sayısı 10000 olacak şekilde sabit alınarak düğüm sayısının 4-20 aralığında, momentum sabiti sayısının ise literatürdeki seçim aralığının 0-1 olması yaklaşımı (Fausett, 1994) ile 0,1-0,9 aralığında değiştirilerek eğitme ve test hataları tespit edilmiştir.

Deneme sonuçlarını daha net yorumlayabilmek için her bir fonksiyona ait grafikler oluşturulmuştur. Örnek teşkil etmesi amacıyla, deneme sonuçlarından

seçilen, 4-20 aralığındaki düğüm sayıları için, tansig, logsig, radbas ve purelin fonksiyonlarına ait momentum sabiti sayılarına karşılık gelen eğitme ve test hata oranları Şekil 5.6' da grafik halinde verilmiştir.



Şekil 5.6. Momentum sabitine karşılık hata oranı değişimi.

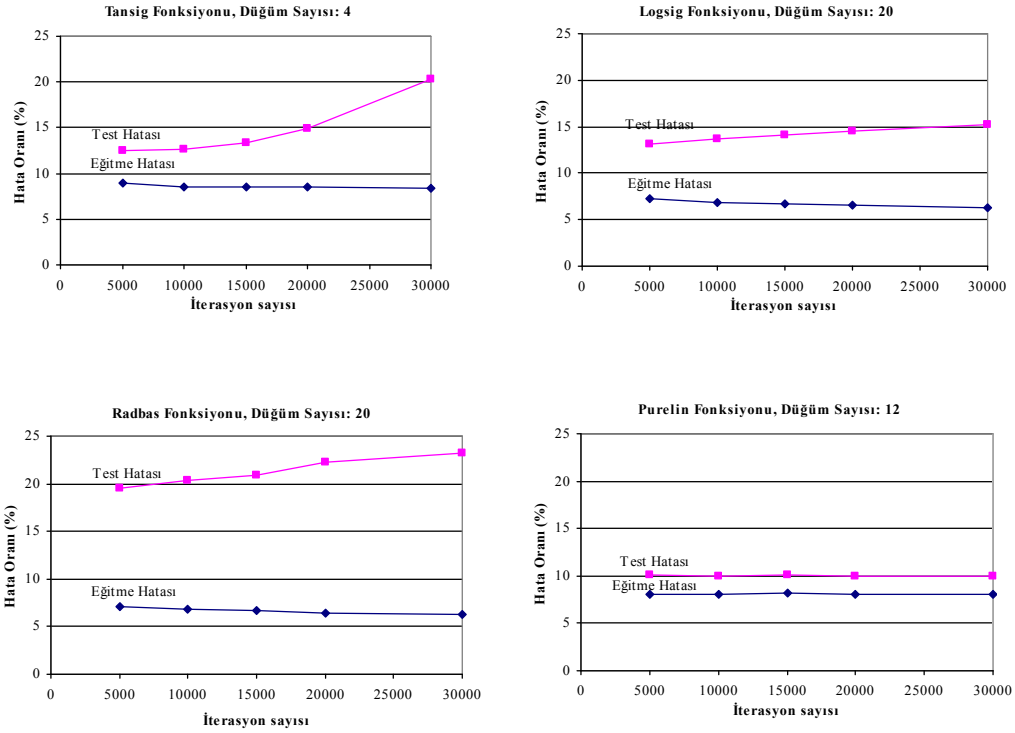
Tansig, logsig ve radbas fonksiyonlarında (Şekil 5.6) *mc* değeri arttıkça eğitme hata oranı azalırken, test hata oranında artış gözlenmektedir. Purelin fonksiyonunda ise *mc* değiştikçe hata oranlarında fazla bir değişim olmadığı görülmektedir. Tansig fonksiyonunda momentum sabiti arttıkça test hata oranlarında salınımlar gözlenirken *mc* 0,8 değerinden sonra pik artış görülmekte, eğitme hata oranında ise momentum sabiti arttıkça düşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Logsig ve radbas fonksiyonlarına ait örnek grafiklere bakıldığında ise *mc* değeri arttıkça eğitme hata oranı azalırken, test hata oranında artış gözlenmekte, *mc* 0,8 değerinden sonra test hata oranında pik artış gözlenmektedir. Purelin fonksiyonunda *mc* arttıkça eğitme ve test hata oranlarında salınımlar gözlenirken *mc* 0,8 değerinden sonra hatanın sabitlendiği görülmektedir.

Optimal momentum sabitinin belirlenmesi büyük ölçüde deneysel ve sezgisel bir özellik taşır (Haykin, 1994). Ayrıca bu parametreler büyük ölçüde ilgilenilen sorun alanına bağlı olarak değişiklik gösterir. Genel bir yaklaşımla momentum katsayısı 0-1 aralığında seçilebilir (Tsoukalas ve diğ., 1997; Fausett, 1994). Bu bilgiler ışığında, yapılan denemeler sonucunda eğitme ve test hata oranlarında genellemede orta kararlılık gösteren değer 0,8 olarak seçilmiştir.

5.11. İterasyon Sayısı

İterasyon sayısının belirlenmesinde düğüm sayıları ve iterasyon sayıları değişken, öğrenme oranı (*lr*) 0,1 ve momentum sabiti (*mc*) 0,8 olacak şekilde sabit alınarak düğüm sayısının 4-20 aralığında, iterasyon sayısının ise 5000-30000 aralığında değiştirilmesi ile eğitme ve test hataları tespit edilmiştir.

Deneme sonuçlarını daha net yorumlayabilmek için her bir fonksiyona ait grafikler oluşturulmuştur. Örnek teşkil etmesi amacıyla, deneme sonuçlarından seçilen, 4-20 aralığındaki düğüm sayıları için, tansig, logsig, radbas ve purelin fonksiyonlarına ait iterasyon sayılarına karşılık gelen eğitme ve test hata oranları Şekil 5.7' de grafik halinde verilmiştir.



Şekil 5.7. İterasyon sayısına karşılık hata oranı değişimi.

Genel olarak iterasyon sayısı arttıkça eğitme hata oranı azalırken, test hata oranında artış gözlenmekte, purelin fonksiyonunda ise hata oranlarında fazla bir değişim olmadığı görülmektedir. Şekil 5.7 incelendiğinde, tansig, logsig ve radbas fonksiyonlarında 10.000 değerinden sonra iterasyon sayısı arttıkça eğitme hata oranı azalırken, test hata oranında artış gözlenmektedir.

Eğitim için kullanılan veri setine Eğitim Seti denir. Eğitim boyunca aynı eğitim seti defalarca ağa verilerek ağırlıkların en uygun seviyeye gelmesi sağlanır. İterasyon (Epoch) kelimesi, tüm eğitim setinin ağa gösterilmesi olarak ifade edilir. Eğitim süreleri genelde iterasyon ile ölçülür. Bu bilgiler ışığında, yapılan denemeler hata oranları ve işlem süresi açısından değerlendirildiğinde daha hızlı çalışan bir sinir ağı için orta kararlılık gösteren değer 10000 olarak seçilmiştir. Benzer çalışmalar da (Ko ve diğ., 2003) incelendiğinde 10000 iterasyon sayısının kullanıldığı görülmüştür.

5.12. YSA' nın Oluşturulması

Deneysel çalışmalarda, oluşturulan YSA-1 ve YSA-2 modelinde girdi ve çıktı katmanlarına ait parametreler değiştirilerek farklı varyasyonlar oluşturulmuştur. Ortaya konacak olan modelin benzer atıksu arıtma tesislerinde uygulanabilirliği hedeflendiğinden bu parametreler modelde seçenekli olarak seçilmiş ve modelin uygulanacağı tesislerde atıksu yapısına göre proses bazında ölçülebilecek ve takip edilebilecek tüm parametrelere yer verilmiştir. Bu kapsamda, YSA-1 modeli için iki deneme, YSA-2 modeli için dört farklı deneme yapılmış olup, YSA-1 modeli kısmını temsil eden ön arıtım ünitesinde çıkış parametresi olarak aşağıda isimleri verilen beş parametrenin izlenmesi gereken parametreler olması sebebiyle YSA-1 modeli için 2 deneme ile sınırlı kalınmıştır.

YSA-1 Modeli 1. Denemede;

YSA-1 modelinin girdi katmanında pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot, NH_4-N, NO_3-N, Toplam Fosfor, PO_4-P olmak üzere 11 parametre, çıktı katmanında ise ön arıtım ünitesi çıkışına ait ana parametreler olan pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ olmak üzere 5 parametre kullanılmıştır.

YSA-1 Modeli 2. Denemede;

YSA-1 modelinin girdi katmanında pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot, Toplam Fosfor olmak üzere 8 parametre, çıktı katmanında ise ön arıtım ünitesi çıkışına ait ana parametreler olan pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ olmak üzere 5 ana parametre kullanılmıştır.

YSA-2 Modeli 1. Denemede;

YSA-2 modelinin girdi katmanında pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot, NH_4-N, NO_3-N, Toplam Fosfor, PO_4-P olmak üzere 11 parametre çıktı katmanında ise pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot, NH_4-N, Toplam Fosfor, PO_4-P olmak üzere 10 parametre kullanılmıştır.

YSA-2 Modeli 2. Denemede;

YSA-2 modelinin girdi katmanında pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot, NH_4-N, NO_3-N, Toplam Fosfor, PO_4-P olmak üzere 11 parametre çıktı katmanında ise pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Toplam Azot, Toplam Fosfor olmak üzere 7 parametre kullanılmıştır.

YSA-2 Modeli 3. Denemede;

YSA-2 modelinin girdi katmanında pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot, Toplam Fosfor olmak üzere 8 parametre, çıktı katmanında ise pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot, Toplam Fosfor olmak üzere 8 parametre kullanılmıştır.

YSA-2 Modeli 4. Denemede;

YSA-2 modelinin girdi katmanında pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot, Toplam Fosfor olmak üzere 8 parametre çıktı katmanında ise pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot, NH_4-N, Toplam Fosfor, PO_4 -P olmak üzere 10 parametre kullanılmıştır.

Model çalışmalarında kullanılan parametreler Çizelge 5.3’ de çizelge halinde görülmektedir.

Çizelge 5.3. Model çalışmalarında kullanılan parametreler.

Sıra No	Paremetreler	Girdi Katmanında Seçilen Parametreler						Çıktı Katmanında Seçilen Parametreler					
		YSA 1		YSA 2				YSA 1		YSA 2			
		Deneme 1	Deneme 2	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3	Deneme 4	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3	Deneme 4
1	pH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Debi	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	AKM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	KOİ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	BOİ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	Sıcaklık	X	X	X	X	X	X			X		X	X
7	Toplam Azot	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
8	NH_4 - N	X		X	X					X			X
9	NO_3 - N	X		X	X								
10	Toplam Fosfor	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
11	PO_4 - P	X		X	X					X			X

6. YSA MODELİ UYGULAMA ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. YSA Modelinin Eğitme ve Test Hataları

Yapılan tüm denemelerde elde edilen sonuçlar EK-1' de, bu sonuçların minimum, maksimum ve ortalama hata oranları EK-2' de sunulmuştur.

Yapılan tüm deneme sonuçları taranarak hata oranının hem eğitme hem de test sonuçları açısından minimum olduğu aktivasyon fonksiyonu ve düğüm sayısı tespit edilmiştir. Yapılan taramalarda minimum eğitme hata oranına göre elde edilen en iyi düğüm sayısı ve transfer fonksiyonları Çizelge 6.1' de görülmektedir.

Çizelge 6.1. Minimum eğitme hata oranına göre en iyi fonksiyon ve düğüm sayısı.

YSA	Deneme	Transfer Fonksiyon Adı	Düğüm Sayısı	Hata Oranları(%)	
				Eğitme	Test
1	1	Radbas,Tansig	22	5,9103	26,4960
1	2	Radbas,Purelin	23	6,1259	20,3679
2	1	Tansig, Logsig	23	5,9055	22,3521
2	2	Radbas,Logsig	23	5,4998	22,8330
2	3	Tansig, Logsig	23	6,0605	20,8264
2	4	Radbas,Logsig	22	6,2268	23,3084

Çizelge 6.1 incelendiğinde YSA-1 modeli için minimum eğitme hata oranına karşılık gelen en iyi fonksiyonun 1.denemeye ait radbas-tansig transfer fonksiyonu, en iyi düğüm sayısının ise bu fonksiyona bağlı 22 düğüm sayısı olduğu ve bu sonuçlar için eğitme hata oranı %5,9, test hata oranının ise %26,5 olduğu görülmektedir. YSA-2 modeli için ise minimum eğitme hata oranına karşılık gelen en iyi fonksiyonun 2.denemeye ait radbas-logsig transfer fonksiyonu, en iyi düğüm

sayısının ise bu fonksiyona bağlı 23 düğüm sayısı olduğu ve bu sonuçlar için eğitme hata oranı %5,5, test hata oranının ise %22,8 olduğu görülmektedir. Ancak bu sonuçlara bakıldığında eğitme hatasının tüm denemelerde birbirinden çok farklı olmadığı, buna karşılık test hatasının daha büyük farklara sahip olduğu görülmektedir. Örneğin YSA-1' de iki denemenin eğitme hataları %5.9 ve %6.1 gibi yakın değerler iken test hataları %26.5 ve %20.4 gibi açık farklıdır. Bu durumda minimum eğitme hatasını %5.9 olarak almanın test sonuçlarının sağlıklılığını etkileyeceği kanaatine varılmıştır.

Eğitim süreci YSA' da hesaplanan hatanın kabul edilebilir bir hata oranına inmesi ile sonlandırılır. Ancak hata kareleri ortalamasının düşmesi her zaman için YSA'nın genellemeye ulaştığını göstermez. Çünkü ağ gereğinden fazla girdi-çıktı ilişkisini öğrendiğinde, ağ verileri "ezberlemektedir". Bu durum genellikle gereğinden fazla gizli katman kullanıldığında verilerin sinaptik bağlantılar üzerinde saklanmasından veya gereğinden fazla veri kullanılarak eğitilmesinden kaynaklanmaktadır. Oysa, YSA' nın gerçek amacı girdi-çıktı örnekleri için genellemeye ulaşmaktadır. Eğitme ve test sonucunda verilerin ezberlenmiş olması YSA için istenmeyen bir durum olup, verileri ezberleyen ağa ait eğitim hatası oldukça düşme, test verilerinde ise hata artma eğilimi gösterir. Verileri ezberleyen ağ gerçek hayattaki örüntüyü iyi temsil edemeyeceği için kullanılamaz. ağ verileri ezberlediği için eğitim hatası azalma, test hatası ise artma eğilimi göstermektedir. (Haykin, 1994). Çalışmada, elde edilen sonuçlarda minimum hatanın gizli katman sayısının maksimum değerinde elde edilmiş olması ve eğitme hatası azalırken, test hatasının artma eğilimi göstermesi fazla gizli katman kullanımını göstermekte ve verilerin gereğinden fazla eğitilerek ağın verileri ezberlediği görüşünü ortaya koymaktadır. Dolayısıyla ağ kabul edilebilir bir genellemeye ulaşmamış olup, eğitme hatası açısından en uygun yapay sinir ağının tespiti mümkün olmamaktadır.

Yukarıda açıklanan bu sebeplerden dolayı sistem bu kez minimum test hata oranı hedef alınarak değerlendirilmiştir. Minimum test hata oranına göre elde edilen en iyi düğüm sayısı ve transfer fonksiyonları ise Çizelge 6.2' de görülmektedir.

Çizelge 6.2. Minimum test hata oranına göre en iyi fonksiyon ve düğüm sayısı.

YSA	Deneme	Transfer Fonksiyon Adı	Düğüm Sayısı	Hata Oranları (%)	
				Eğitme	Test
1	1	Purelin,Radbas	10	8,4276	9,8449
1	2	Purelin,Purelin	8	8,2169	9,3255
2	1	Purelin,Radbas	10	9,1237	17,3260
2	2	Radbas,Logsig	5	9,7238	15,6505
2	3	Purelin,Purelin	13	9,2386	14,8006
2	4	Purelin,Logsig	4	10,2443	15,1537

Çizelge 6.2 incelendiğinde YSA-1 modeli için minimum test hata oranına karşılık gelen en iyi fonksiyonun 2.denemeye ait purelin-purelin transfer fonksiyonu, en iyi düğüm sayısının ise bu fonksiyona bağlı 8 düğüm sayısı olduğu ve bu sonuçlar için eğitme hata oranı %8,2, test hata oranının ise 9,3 olduğu görülmektedir. YSA-2 modeli için ise minimum test hata oranına karşılık gelen en iyi fonksiyonun 3.denemeye ait purelin-purelin transfer fonksiyonu, en iyi düğüm sayısının ise bu fonksiyona bağlı 13 düğüm sayısı olduğu ve bu sonuçlar için eğitme hata oranı %9,2, test hata oranının ise %14,8 olduğu görülmektedir.

Hata oranları minimum test hatası açısından değerlendirildiğinde, en az hata oranını veren ağ yapısı seçilmiştir. Burada eğitme hatası azalırken, test hatasının artma eğilimi göstermemesi de hata oranlarına karşılık gelen gizli katman sayılarının optimal değerlerde olduğunu ve ağın genellemeye ulaştığını göstermektedir. Ayrıca Çizelge 6.1' deki bulgularda yaşanan sorun burada ortadan kalkmıştır. Aynı YSA' ya ait tüm denemelerdeki hem eğitme hem test hata oranları birbirine daha yakındır. Minimum test hata oranına dayalı değerlendirmenin, eğitme hatasına dayalı değerlendirmeden daha sağlıklı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; YSA-1 modeli için genellemeye ulaşan en uygun yapay sinir ağının, 2.denemeye ait purelin-purelin 8 düğüm sayılı ağ yapısının olduğu tespit edilmiştir. YSA-2 modeli için ise genellemeye ulaşan en uygun yapay sinir ağının, 3.denemeye ait purelin-purelin 13 düğüm sayılı ağ yapısının olduğu tespit edilmiştir.

6.2. YSA-1 ve YSA-2 Modeli Tahmin Bulguları

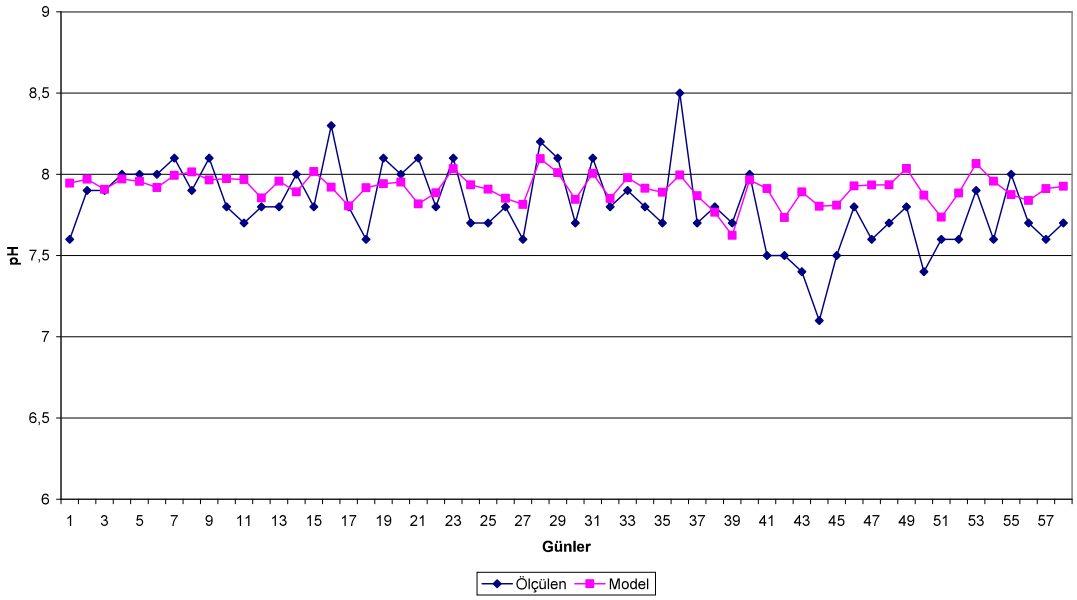
Denemeler sonucu elde edilen hata oranlarına göre, YSA' dan elde edilen en iyi genelleme yeteneğine sahip ağ yapısının belirlenmesinin ardından modelin başarısını daha iyi irdelemek için tesisin ölçüm sonuçlarının model sonuçları ile karşılaştırılmasına geçilmiştir. Çıktı katmanına ait YSA-1 modeli için pH, debi, AKM, KOİ, BOİ parametrelerini, YSA-2 modeli için pH, sıcaklık, debi, AKM, KOİ, BOİ, toplam N, toplam P parametrelerini temsil eden ölçülen gerçek değerler ile, YSA modelinin hesapladığı tahmin değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler her parametre için sırasıyla çizilmiş ve model tahmin değerleri ile ölçülen gerçek değerlerin karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca eğitme ve test işlemleri sonucu elde edilen model tahmin değerleri gerçek ölçülen değerler ile regresyon yöntemi ile karşılaştırılmış ve dağılım diyagramları oluşturulmuştur. Diyagrama ait y=ax denklemleri ve R^2 belirleme katsayıları hesaplanmıştır. Model değerleri ile ölçülen gerçek değerlerin istatistiksel olarak irdelenmesi amacıyla standart sapmalar da hesaplanmıştır. Seçilen ağ yapısı için YSA-1 modeli ve YSA-2 modeline ait tahmin sonuçları ve ölçülen gerçek değerler EK-3' de çizelgeler halinde sunulmuştur.

6.2.1. YSA-1 modeli için tahmin sonuçları

En iyi deneme sonucunda ağın model tahmin değerleri ile ölçülen gerçek değerlerin karşılaştırıldığı grafikler ve dağılım diyagramları, 1.kısım YSA modeline ait çıkış parametreleri pH, debi, AKM, KOİ, BOİ için aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

6.2.1.1. YSA-1 modelinde pH tahmini

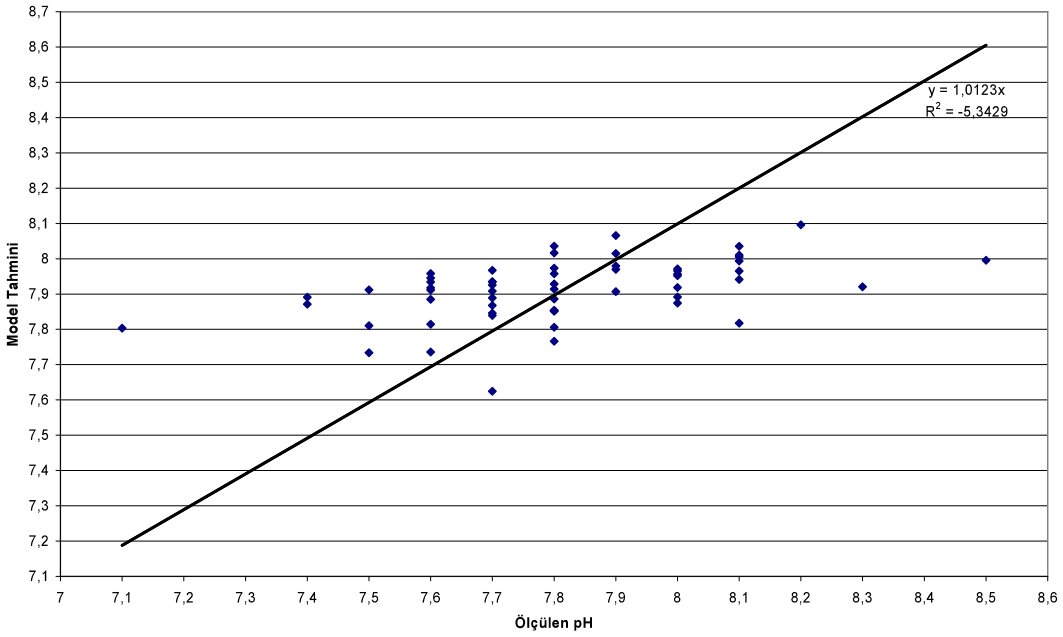
Şekil 6.1' de pH parametresi için model değerleri ile ölçülen değerlerin karşılaştırılması incelendiğinde modelde uç noktadaki (genel ortalamadan çok uzaklaşan) noktaların tahmininde model yetersiz kalırken, genel dağılımın içerisindeki noktaların tahmininde başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 6.1. YSA-1 modelinde pH parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

Dağılım diyagramından (Şekil 6.2) görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı -5,3429 olarak bulunmuştur. Bu değer ve Şekil 6.2 verilerin bütün koşullarda yaklaşık aynı aralıkta model çıktısı verdiğini göstermektedir. Arıtma tesislerinde pH aralığı zaten çok küçüktür, bu sebeple de salınımlar 0,1 gibi küçük değerlerle gerçekleşmektedir. Eğitme verilerinde çok ekstrem pH değerlerinin bulunmaması veya az sayıda bulunması durumunda bu tutarsızlığın gerçekleşmesi kaçınılmazdır. Ayrıca pH parametresinin özel durumu olarak girişteki pik salınım ünite içerisinde kompanse edilebilmekte ve/veya ünitedeki istisnai bir durum anlık olarak çıkış değerlerini değiştirebilmektedir. Bu

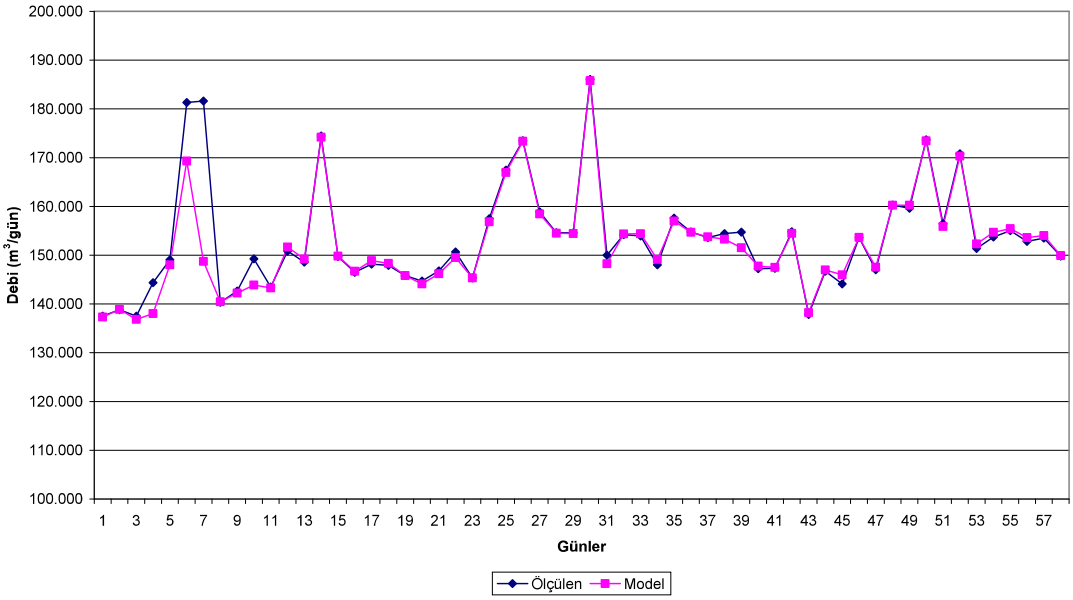
sebeple bu yöntemle pH modelleyebilmek için günlük yerine saatlik/dakikalık gibi daha sık aralıklı ve daha çok sayıda pH verisi kullanılmalıdır.



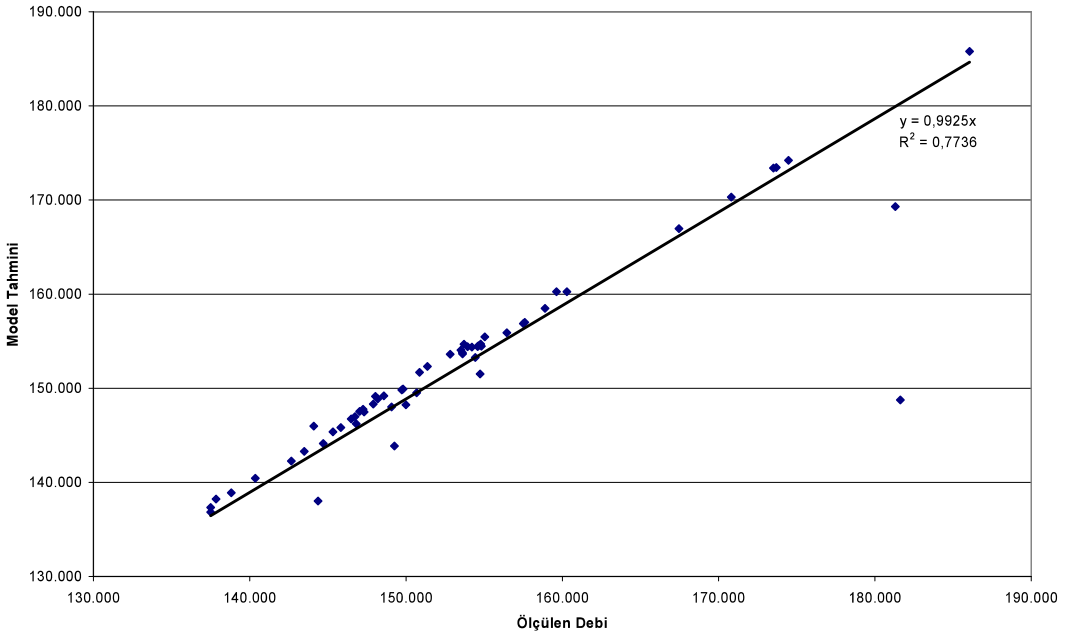
Şekil 6.2. YSA-1 modelinde pH parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

6.2.1.2. YSA-1 modelinde debi tahmini

Seçilen ağ yapısında debi çıkış parametresine ait model tahmin değerleri ile ölçülen değerlerin karşılaştırıldığı grafik ve dağılım diyagramı Şekil 6.3 ve Şekil 6.4' de görülmektedir. Şekil 6.3' de debi parametresi için model değerleri ile ölçülen değerlerin karşılaştırılması incelendiğinde genel dağılımın içerisindeki noktaların tahmininde başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 6.3. YSA-1 modelinde debi parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

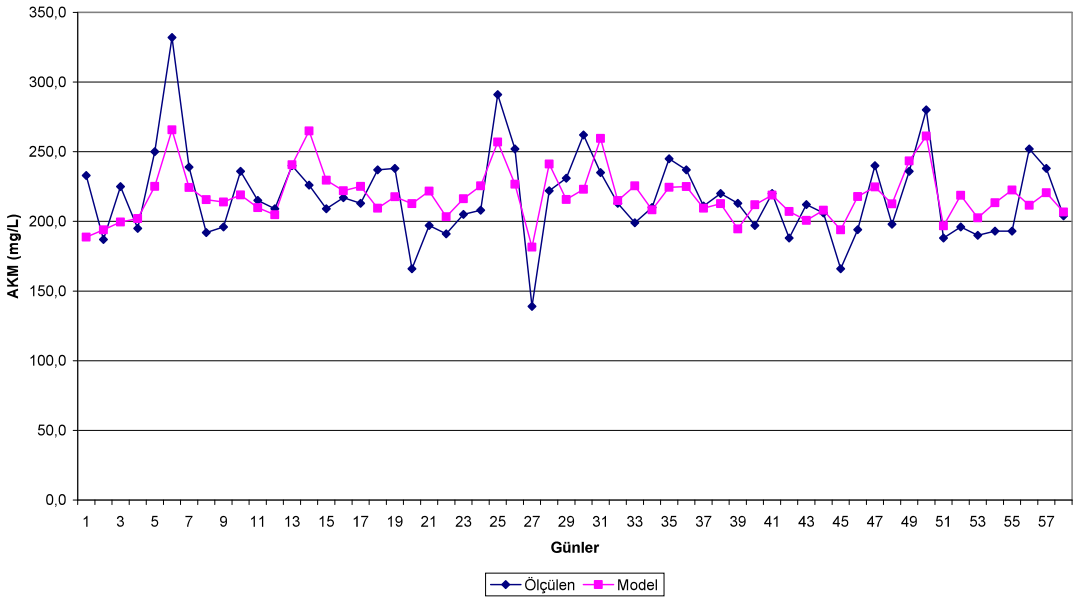


Şekil 6.4. YSA-1 modelinde debi parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

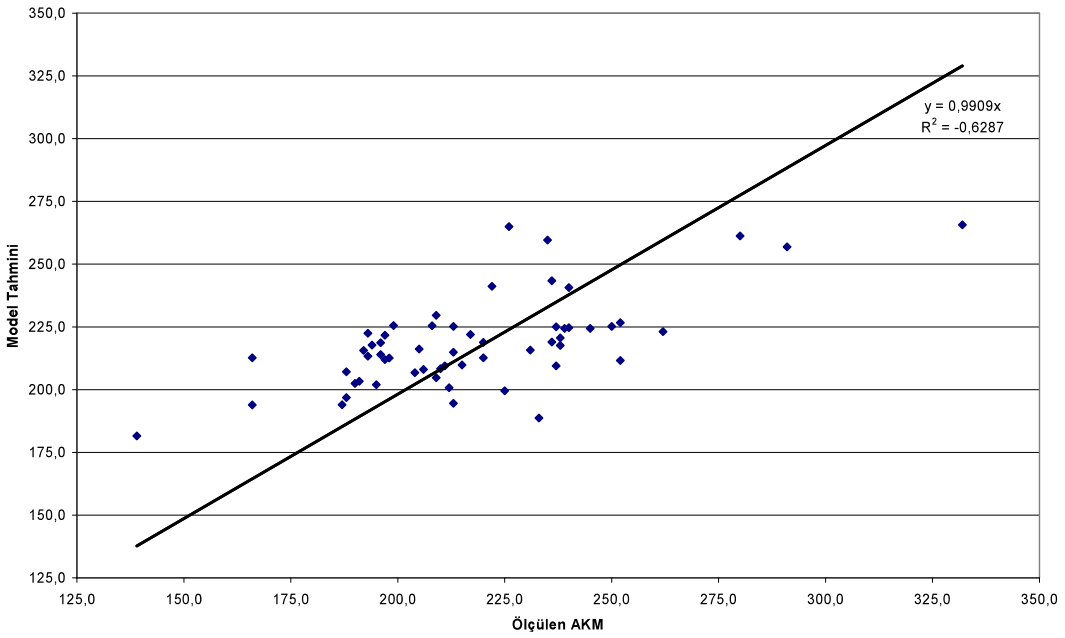
Dağılım diyagramından görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı 0,7736 olarak bulunmuştur (Şekil 6.4). Grafiğe bakıldığında aslında iki nokta haricinde modelin daha başarılı olduğu ve o iki nokta olmasa R^2 değerinin çok daha yüksek olacağı açıkça görülmektedir. Denklemdeki katsayı da beklendiği gibi 1' e oldukça yakındır. Arıtma tesislerinde debinin ünitelerde fazla değişime uğramadığı düşünülürse bu bulgu beklendiği gibidir.

6.2.1.3. YSA-1 modelinde AKM tahmini

Şekil 6.5' de, modelde uç noktadaki (genel ortalamadan çok uzaklaşan) değerlerin tahmininde model yetersiz kalırken, genel dağılımın içerisindeki noktaların tahmininde başarılı olduğu görülmektedir. Eğitme veri setinde bu tür salınımların sayısı az olduğunda bu tür tutarsızlıkların yaşanması kaçınılmazdır. AKM' de de pH' da olduğu gibi giriş değeri çok farklı da olsa model çıkış değerinin 200-250 mg/L aralığında kalma eğilimi göstermiştir. Dağılım diyagramından görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı -0,6287 olarak bulunmuştur (Şekil 6.6). YSA-1 modeli ön arıtım ünitesi çıkışını tahmin etmekteydi. Ön arıtımda %30-60 gibi bir miktar AKM giderimi sağlanır ancak kalan kısım ikinci çökeltme tankında giderilir. Bu sebeple değerler yüksek olabilir ve sistem bu salınımları tolere edebilir. Ancak modellemede doğruya en yakın değerleri bulmak esastır. Burada ulaşılan sonuçlar önerilen modelin bu sistemde uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur, kullanılabilirliği için ise daha fazla sayıda ve salınımları da içeren veri setiyle eğitme yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.



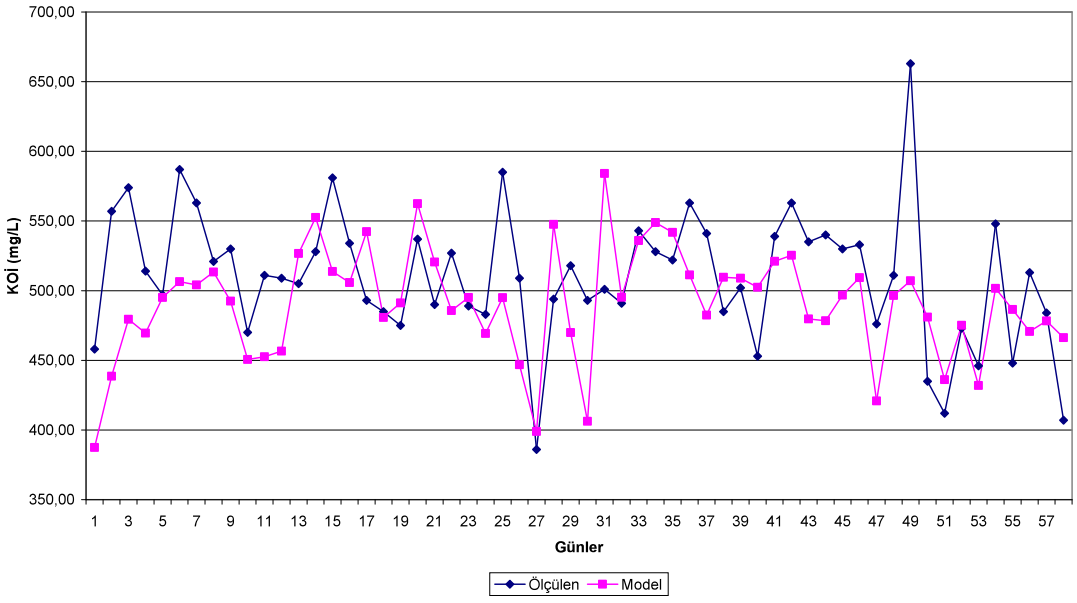
Şekil 6.5. YSA-1 modelinde AKM parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.



Şekil 6.6. YSA-1 modelinde AKM parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

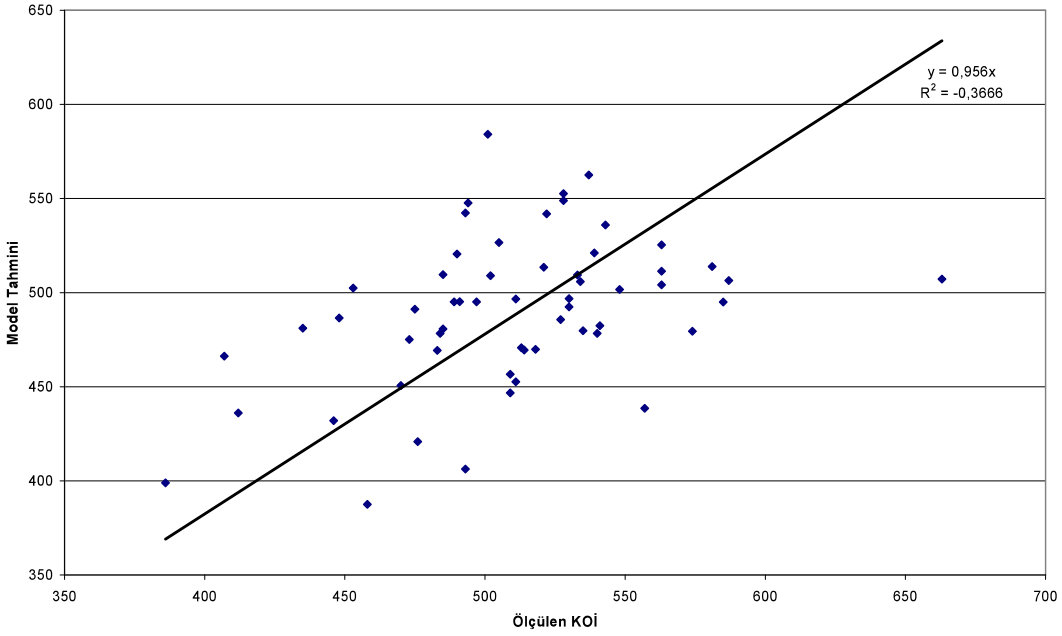
6.2.1.4. YSA-1 modelinde KOİ tahmini

Şekil 6.7' de KOİ parametresi için model değerleri ile ölçülen değerlerin karşılaştırılması incelendiğinde modelde uç (genel ortalamadan çok uzaklaşan) değerlerin tahmininde model yetersiz kalırken, genel dağılımın içerisindeki noktaların tahmininde başarılı olduğu görülmektedir. KOİ değerleri genelde 500 mg/L etrafında ölçülmüş, birkaç noktada ise 400-600 mg/L aralığına dağılmıştır. Model değerleri de yaklaşık olarak bu aralıkta gözlenmekle birlikte artış ve azalışlar ölçülenlere her zaman paralel değildir. Arıtma 1.kademesinde normalde KOİ seviyesinde önemli bir değişim olması beklenmez, giriş değerlerine çok yakın seviyelerde çıkış elde edilir. Ama giriş değerinde zaman zaman şok yüklemeler veya seyrelmeler gerçekleşince tüm tesiste salınım kaçınılmazdır. Ön arıtımda KOİ giderimi hedeflenmeyince çıkışında da doğrusal bir bağıntı yoktur. Bu sebeple AKM' de olduğu gibi daha sık periyotta KOİ verisi toplanmalı ve eğitme bununla yapılmalıdır.



Şekil 6.7. YSA-1 modelinde KOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

Dağılım diyagramından (Şekil 6.8) görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer AKM ve pH' daki gibi aynı aralığa sabitlenmeyip artan bir trend göstermiştir. Verilerin dağınık olması R^2 değerini düşürmekle birlikte diğer parametrelerdeki gibi ciddi bir tahmin sorunu bulunmamakta, model bu parametre için umut verici davranmaktadır.

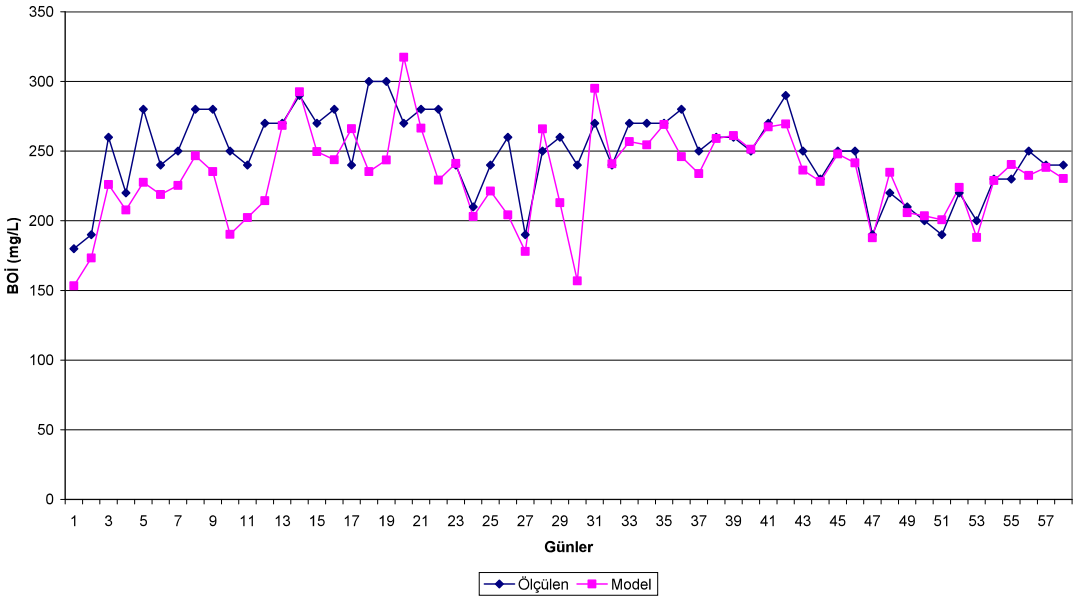


Şekil 6.8. YSA-1 modelinde KOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

6.2.1.5. YSA-1 modelinde BOİ tahmini

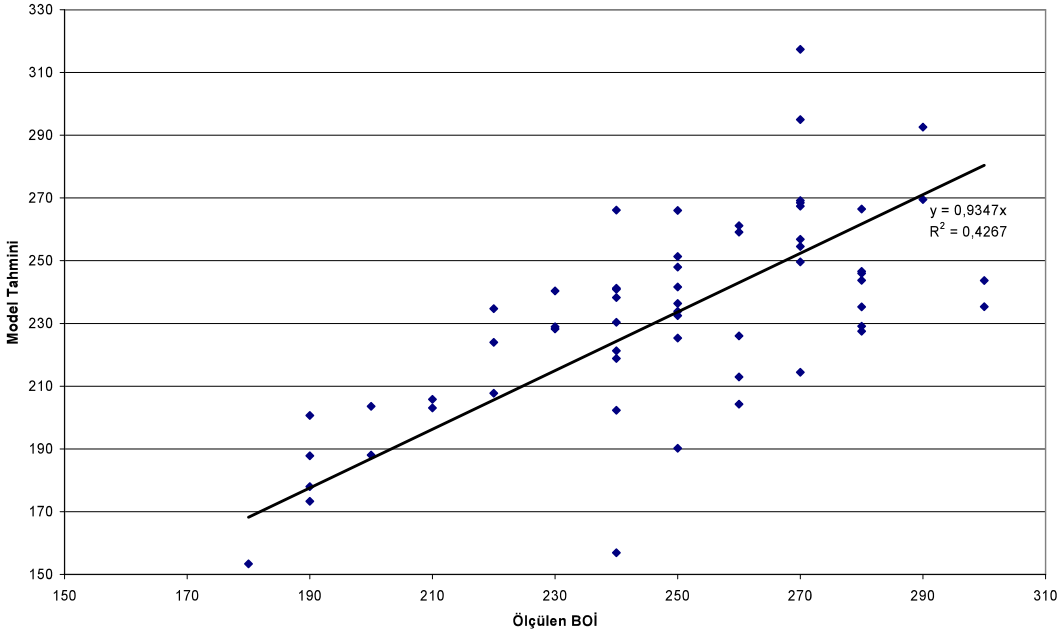
BOİ tahminleri AKM ve KOİ' ye kıyasla daha tutarlıdır (Şekil 6.9) grafiğe bakıldığında ilk 33 günde model değerleri ve ölçülen değerlerin birbirine çok fazla yakın olmadığı görülmektedir. Bu durum eğitme verileri ile test verileri arasındaki mevsimsel farklılıktan kaynaklanmaktadır. 33 günden sonraki verilerde hemen hemen ölçülen değerin aynısı elde edilirken bu güne kadarki verilerde gerçek değerden ortalama 40-50 mg/L kadar farklı değerler hesaplanmıştır. Buradaki bulgulardan eğitme veri setinin seçiminde mevsimsel çeşitliliğe mutlaka yer

verilmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Önceki parametrelerde de tutarsızlıkların sebeplerinden birinin bu olması muhtemeldir. Ancak BOİ, diğerlerine göre sıcaklığa daha hassas bir parametre olduğundan burada daha açık gözlenmiştir.



Şekil 6.9. YSA-1 modelinde BOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

KOİ' de olduğu gibi burada da ölçülen değer arttıkça tahmini değeri de artmıştır (Şekil 6.10). Verinin dağılımı nispeten fazla olsa da modelin tek değer aralığına sabitlenmemesi kullanabilirliği konusunda umut verici olduğunu göstermiştir.



Şekil 6.10. YSA-1 modelinde BOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

YSA-1 modeli çıkış parametrelerinden pH, debi, AKM, KOİ, BOİ' ye ait model tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerler arasındaki belirleme katsayıları (R^2) ve dağılım diyagramı denklemi y=*a*x için *a* değerleri Çizelge 6.3' de görülmektedir.

Çizelge 6.3. YSA-1 modeli tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerler belirleme katsayıları ve dağılım diyagramı denklemi y=*a*x için *a* değerlerinin karşılaştırılması.

YSA-1 Modeli Çıkış Parametreleri	***a***	**Belirleme Katsayısı (R^2)**
pH	1,0123	-5,3429
Debi (m^3/gün)	0,9925	0,7736
AKM (mg/L)	0,9909	-0,6287
KOİ (mg/L)	0,956	-0,3666
BOİ (mg/L)	0,9347	0,4267

Çizelge 6.3' de verilen, YSA-1 modeline ait parametreler için, parametre bazında model başarısını irdelemek amacıyla çizilen dağılım diyagramları sonuçları incelendiğinde, doğrusallığın belirleyicisi olan y=*a*x doğru denkleminde *a* katsayısının pH, Debi, AKM, KOİ ve BOİ parametreleri için 1' e yakın olması ölçülen gerçek değerler ile model tahmin değerleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesine ışık tutmaktadır. Ayrıca, dağılım diyagramlarına ait ilişki doğrusunun, en iyi dağılım doğrusuna olan yakınlığı da diğer irdeleyici faktördür. R^2 değerinin 1' e yakınlığı tüm verilerin y=*a*x doğrusuna yakınlığını temsil etmektedir.

Modelin performansı ve tamamen başarılı kabul edilebilmesi için bu değerlendirmede hem *a* değerlerinin 1' e yakın olması, hem de R^2' lerin 1' e yakın olması beklenir. Doğruluk ve tutarlılık ikisine birden bağlıdır. Oysa önceki değerlendirmelerden ve Çizelge 6.3' den görüldüğü gibi burada model sonuçlarının *a* değerleri 1' e yakındır, yani doğruluk bir ölçüde sağlanmıştır, ancak R^2' ler tutarlılığın düşük olduğunu göstermektedir. Bu ise eğitmenin daha gelişmiş veri seti ile yapılması durumunda aşılabilecek bir problem olarak görülmektedir. Arıtma ünitelerinde mevsim ve şehir koşullarına bağlı olarak zaman zaman beklenmedik pik değerlerin olması doğaldır. Bu sebeple de oluşturulan model yapısının en az 2 veya 3 yıllık veri setini kullanması ve belli periyotlarda, örneğin ayda bir, son alınan veriler eğitme setine katılıp aynı miktar en eski veri çıkarılarak yeniden eğitilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca hem a, hem de R^2' lerde aynı anda 1' e yakınlığın sağlanması için *lr*, *mc* ve *iterasyon sayısı* gibi parametrelerin değişik varyasyonları ile denenmesi gerektiği ortaya konmaktadır.

Çalışmada ayrıca, model tahmin değerleri ile ölçülen gerçek değerlerin standart sapmaları da hesaplanmıştır. YSA-1 modeli çıkış parametrelerinden pH, debi, AKM, KOİ, BOİ' ye ait model tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerlere ait ortalama değerleri, standart sapma değerleri ve yüzdeleri Çizelge 6.4' de görülmektedir.

Çizelge 6.4. YSA-1 modeli tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerlere ait ortalama değerleri, standart sapma değerleri ve yüzdeleri.

YSA-1 Modeli Çıkış Parametreleri	**Ölçülen Ortalama Değeri**	**Ölçülen Değerin Standart Sapması**	**Ölçülen Değer İçin Standart Sapma Yüzdesi(%)**	**Ölçülen Minimum Değeri**	**Ölçülen Maksimum Değeri**
pH	7,81	0,243	3,11	7,5	8,05
Debi (m^3/gün)	153368	10872	7,09	142494	165484
AKM (mg/L)	218	31,101	14,29	186	250
KOİ (mg/L)	510	47,759	9,36	462	557
BOİ (mg/L)	248	29,822	12,02	218	277
YSA-1 Modeli Çıkış Parametreleri	**Model Ortalama Değeri**	**Model Değerin Standart Sapması**	**Model Değeri İçin Standart Sapma Yüzdesi(%)**	**Model Minimum Değeri**	**Model Maksimum Değeri**
pH	7,91	0,086	1,09	7,8	8,0
Debi (m^3/gün)	152346	9831	6,45	142519	163236
AKM (mg/L)	218	18,12	8,30	200	236
KOİ (mg/L)	490	39,653	8,09	450	530
BOİ (mg/L)	233	32,187	13,84	200	265

pH değeri için ölçülen ve modelin ortalama değerleri birbirine yakın olurken, Çizelge 6.4.' de verilen standart sapma yüzdeleri ve pH tahmini için yapılan grafiksel değerlendirmelerde de görüldüğü gibi model değerleri 7,6-8,1 aralığında seyrederken tesiste ölçülen gerçek değerlerin bazı günlerde yaptığı pik salınımların model tarafından algılanamadığı görülmektedir. Standart sapma yüzdeleri değerlendirildiğinde ölçülen değerlerin ortalama değerinden ±%3,11 (7,5-8,05) aralığında olurken model değerlerin ise ortalama değerin ±%1,09 (7,8-8) aralığında olduğu da yine burada görülmektedir. pH değerlerinin tesis genelinde ölçülen pH değerinin 7,5-8 aralığında olması ve birkaç günde bu değerlerden farklı seyretmesi tesis işletiminde oluşan beklenmeyen durumdan kaynaklanmıştır. Bu durumun ortadan kalkması için pH ölçümlerinin daha sık yapılması ve modelin bu verilerle eğitilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Debi değerlerinin sayısal olarak yüksek olması nedeniyle standart sapma değerleri de büyük çıkmaktadır. Standart sapma yüzdeleri ölçülen değerlerin ortalama değerinden ±%7,09 (142494 m^3/gün - 165484 m^3/gün) saparken, model değerlerin ortalamadan ±%6,45 (142519 m^3/gün - 163236 m^3/gün) saptığı görülmektedir. Debi parametresinin grafiksel değerlendirmesi ve standart sapma yüzdeleri ile değerlendirildiğinde modelin başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

AKM ortalama değeri hem ölçülen değerler için hem de model tahmin değerleri için 218 mg/L hesaplanmıştır. Standart sapma yüzdeleri ile değerlendirme yapıldığında ölçülenler ±%14,29 (186 mg/L - 250 mg/L), modelin ise ±%8,30 (200 mg/L - 236 mg/L) aralığında olduğu görülmektedir. Tesiste ölçülen verilerin birkaç gün için genel veri aralığından farklı olması nedeniyle ölçülen değerin uç noktaları ile model tahmin değerlerinin uç noktaları arasında farklılık olmuştur. Bu farklılık tesisteki mevcut AKM konsantrasyonunun kalan kısmının son çöktürme tankında giderilmesi ile tolere edilebilir.

KOİ parametresinde model ve ölçülen değerler için ortalama değeri ile standart sapma yüzdeleri birbirine yakındır. Ölçülen değerlerin ortalaması 510 mg/L, ±%9,36 (462 mg/L - 557 mg/L), model tahminlerinin ortalama değeri 490 mg/L, ±%8,09 (450 mg/L – 530 mg/L) aralığındadır. Bu durum, model ile ölçülen değerlerin, salınımları birbirine yakın bant aralığında izlediğini göstermiştir.

BOİ değerleri KOİ' deki gibi bir birine yakındır. Ölçülen değer 248 mg/L ±%12,02 (218 mg/L - 277 mg/L) iken model ortlaması 233 mg/L ±%13,84 (200 mg/L - 265 mg/L) dir. Modelin tahminde ölçülen değerden biraz daha düşük değerler vermesi dezavantajken grafiksel gösterimlerle de görüldüğü gibi modelin BOİ parametresi için sabit bir aralığa sabitlenmeden sonuçlar vermesi kullanılabilirliğini göstermiştir.

YSA-1 modelinde bazı parametrelerde modelin istenen salınımlara karşı beklenen tepkiyi göstermemesinin nedenleri ve çözüm önerileri şöyle sıralanabilir:

Öncelikli olarak eğitme setinde bulunan parametrelere ait verilerin, tesisin maksimum ve minimum değerlerini içermesine özen gösterilmeli ve verilerin daha sık aralıklarla toplanması sağlanmalıdır.

Eğitme ve test setine ait verilerin ayrılmasında, veriler zaman sıralı yerine istatistiksel seçim kurallarına göre mevsimsel olarak gruplandırılarak seçilmelidir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, tek yıllık veri yerine minimum 2 yada 3 yıllık veri ile modelin çalıştırılması ve verilerin sistematik olarak yenilenmesidir. Sisteme ilave edilecek veride son bir ay sisteme eklenip, o aya ait eski verinin sistemden çıkarılması sağlanmalıdır. Örneğin toplamda 2 yıllık veri ile çalışan son bir ayın verileri 4 eğitme verisi -1 test verisi şeklinde sisteme katılırken, aynı ayın eski verileri sistemden çıkartılmalıdır. Yani veri grubu 4 eğitme verisi -1 test verisi şeklinde ayrılarak modelin tüm mevsimsel şartlara uyum sağlaması sağlanmalıdır.

Modelin sistemi en iyi şekilde tanımasını sağlayacak gruplandırmanın yapılmasının ardından, YSA eğitimindeki diğer önemli hususlar olan öğrenme oranının ve momentum sabitinin iyi bir şekilde irdelenmelidir. Çünkü YSA yapısının seçiminden sonra öğrenme oranının belirlenmesi modelin uygulama başarısını etkileyen en önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra momentum sabiti de YSA' nın daha hızlı toparlanmasına yardım eden ve öğrenme esnasında salınımları önleyen diğer önemli faktördür.

Değişen veri seti ile birlikte bu parametrelerin de değişmesi model performansı üzerinde önemli etkilere sahip olacaktır. Açıklamalardan da anlaşılacağı gibi daha çok veri ile çalışılması durumunda yeni veri setine ait *lr* ve *mc* oranlarının yeniden belirlenerek uygun modelin seçilmesi gerekmektedir. Yapılan bu işlemlerin ardından sistemde oluşacak problemlere karşı istenilen tepkileri veren, performansı daha yüksek bir modele ulaşılacağı düşünülmektedir.

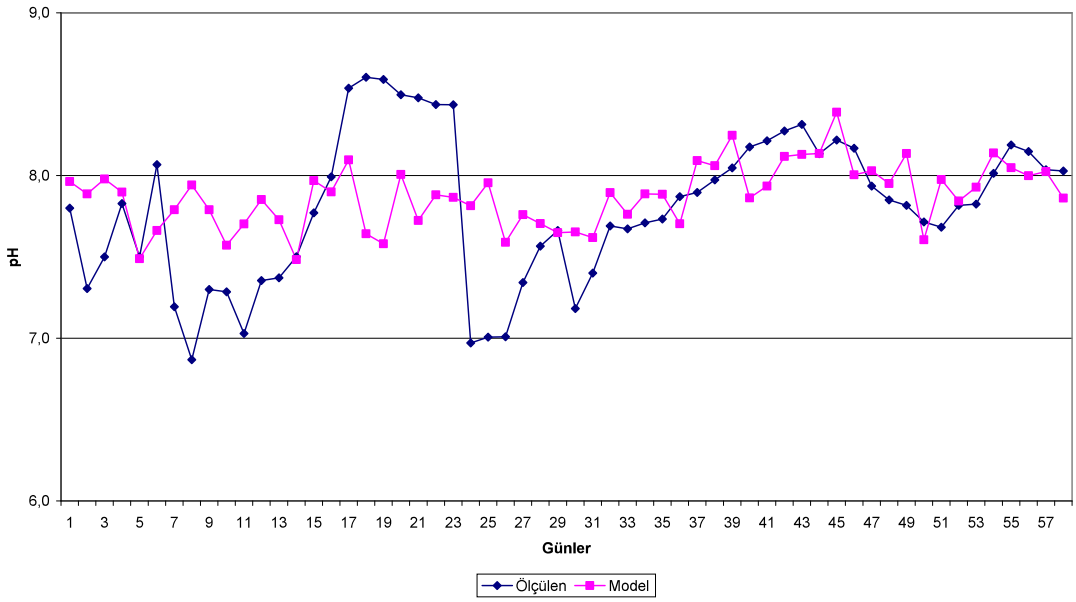
6.2.2. YSA-2 modeli için tahmin sonuçları

En iyi deneme sonucunda ağın model tahmin değerleri ile ölçülen gerçek değerlerin karşılaştırıldığı grafikler ve dağılım diyagramları, YSA-2 modeline ait çıkış parametreleri pH, sıcaklık, debi, AKM, KOİ, BOİ, Toplam N, Toplam P için aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

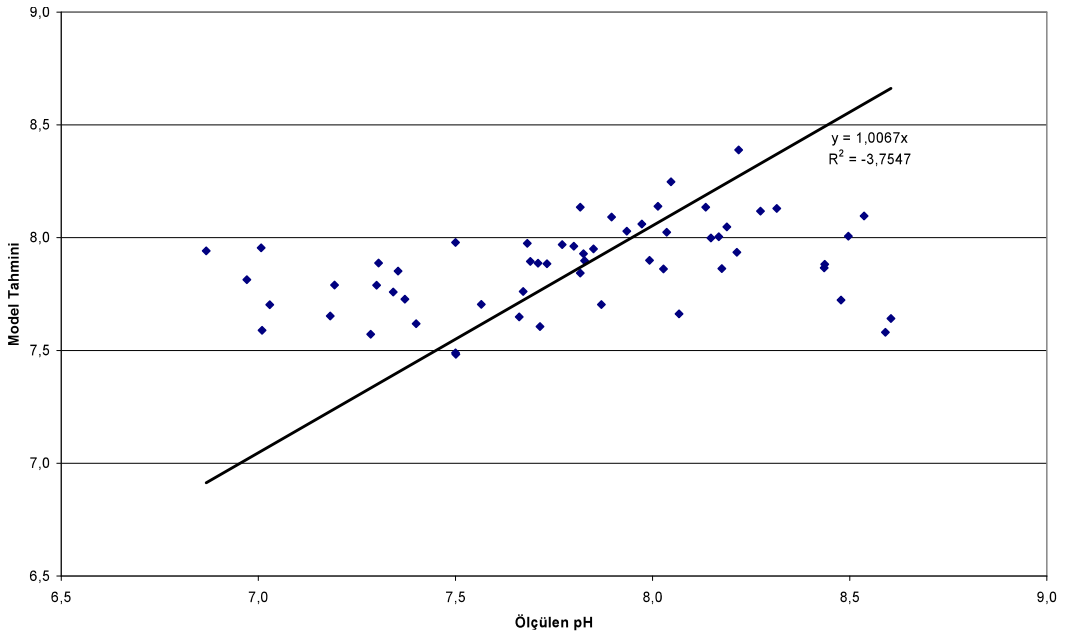
6.2.2.1. YSA-2 modelinde pH tahmini

Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi YSA-2 modeli bakteriyolojik faaliyetlerin gerçekleştiği proseslerden oluşan biyolojik arıtım ünitesi çıkışını tahmin etmekteydi. Buradaki çok sayıdaki bakteri çeşitleri pH değerinin 7,5-8,0 arasında olması durumunda optimum aktifliğe sahip olmaktadırlar. Eğer pH değeri bu aralıktan farklı bir değer alırsa bakterilerin aktifliği azalır, arıtma verimi düşer ve çıkışta yüksek BOİ değerine rastlanır. Biyolojik arıtma ünitesinde havalandırma ile sisteme verilen oksijenin bakteriler tarafından kullanılması ile organik parçalanma sağlanır. Bu parçalanma esnasında ortaya çıkan karbondioksit (CO_2) bazik sularda fazla olan pH değerini nötrleştirmeye çalışır. Şekil 6.11' deki grafiğe bakıldığında ve pH parametresi için model değerleri ile ölçülen değerlerin karşılaştırılması incelendiğinde modelin tesiste ölçülen pH değerlerinin 6,9-8,7 aralığında olduğu görülmektedir. Buna göre ölçülen değerlerin 17-24 günleri arasında 8' in üzerinde değerler alması yukarıdaki açıklanan bilgiler ışığında suyun bazik özellikte kalarak nötrleştirme olmamasına yani düşük oksijen sebebiyle organik parçalanmanın tam gerçekleşememesine, dolayısıyla düşük CO_2 mevcudiyetine bağladır. Bunun yanı sıra pH' ın 7 değerinin altına düştüğü birkaç nokta vardır ki bunlarda da yüksek oksijen sebebiyle fazla CO_2 çıkışının olmasına ve dolayısıyla suyun asidik özellikte kalmasına bağlıdır. Bu durumu YSA-2 modeli aynı döneme ait BOİ değerlerindeki salınımlar da desteklemektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi, bu döneme ait veri seti model çalışmasında sorun teşkil etmektedir. Bunun sebebi, ilgili döneme ait test veri setinin eğitme veri seti ile mevsimsel olarak farklı zaman aralığını temsil etmesidir. Bu nedenle, YSA-2 modeli pH değerlerinin tahmininde model ile ölçülen değerler arasındaki ilişki istenen düzeyde olmamaktadır. Bu problemin ortadan kalkması için, önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi daha sık aralıklı ölçümlerin yapıldığı ve mevsimler farklılıkları da içeren veri seti ile modelin eğitilmesi gerekmektedir. Burada da YSA-1 modeli pH' da olduğu gibi giriş değerleri farklılıklar da gösterse model çıkış değerinin 7,5-8,5 arasında kalma eğilimi gözlenmiştir. YSA-1 modeli pH ölçülen değerlerinden farkı ise biyolojik faaliyet olmaması sebebiyle aşırı asitlik yada bazlık durumunun oluşmamış olmasıdır. Dağılım diyagramından görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı -3,7547 olarak

bulunmuştur (Şekil 6.12). Bu durumda, YSA-2 modelinde pH parametresi için modelin salınımları izleyemediği sonucu ortaya çıkmaktadır.



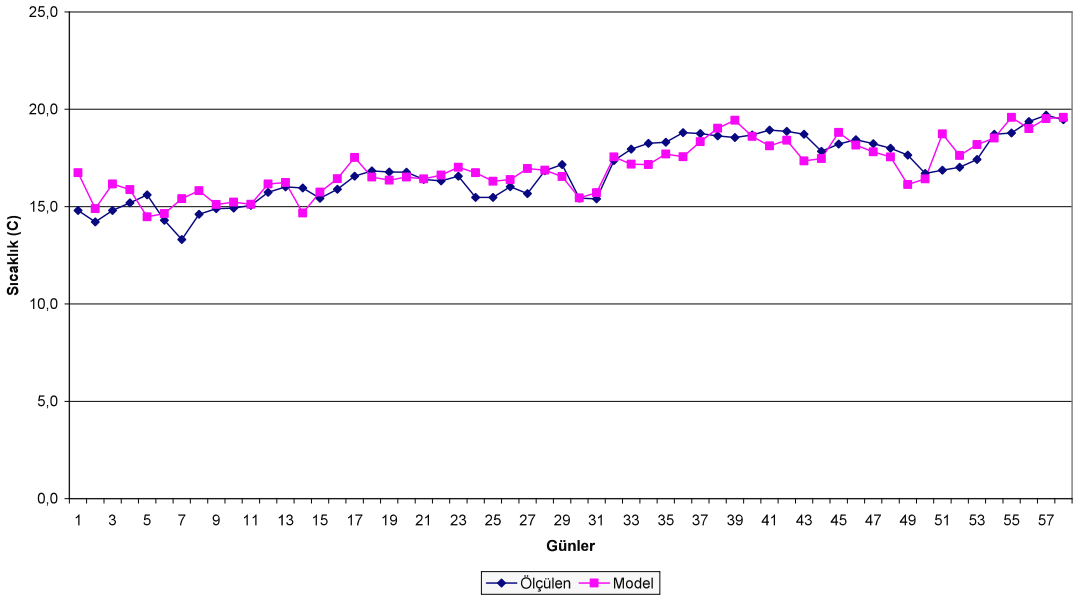
Şekil 6.11. YSA-2 modelinde pH parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.



Şekil 6.12. YSA-2 modelinde pH parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

6.2.2.2. YSA-2 modelinde sıcaklık tahmini

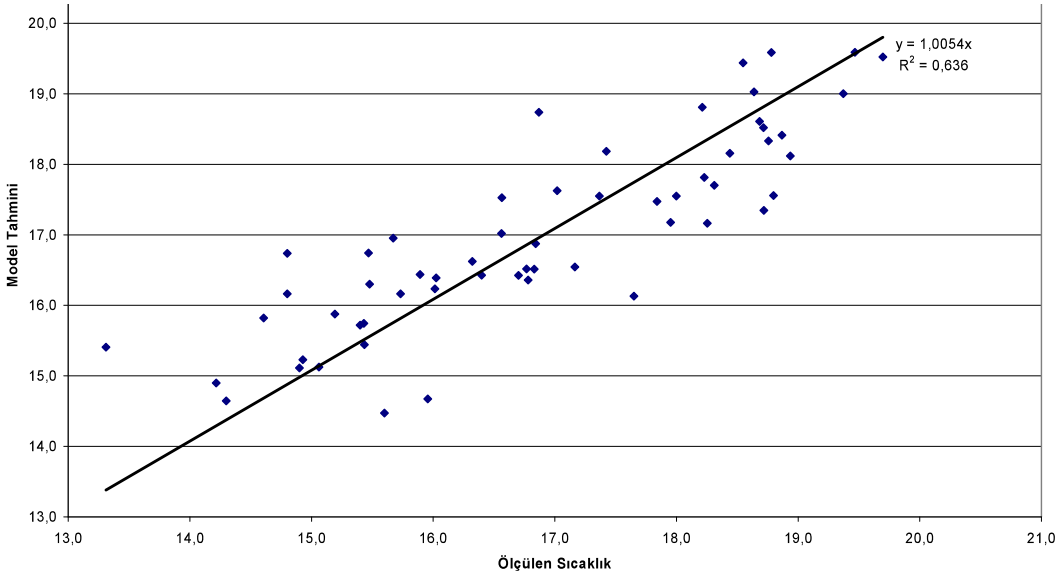
Şekil 6.13' de sıcaklık parametresi için model değerleri ile ölçülen değerlerin karşılaştırılması incelendiğinde genel dağılımın içerisindeki noktaların tahmininde başarılı olduğu görülmektedir. Grafiğe bakıldığında veri setinin mevsimsel farklılık gösteren bir test setine ait olduğu görülmektedir.



Şekil 6.13. YSA-2 modelinde sıcaklık parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

Dağılım diyagramından görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı 0,636 olarak bulunmuştur (Şekil 6.14). Kimyasal tepkimeler gibi, mikroorganizmaların meydana getirdiği tepkimeler de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yalnız metabolik aktiviteleri etkilemekle kalmaz biyolojik çamurun çökme özelliği, gaz transfer hızı gibi faktörleri de etkiler. Bütün biyokimyasal olaylar yüksek sıcaklıklarda daha hızlı olmaktadır. Çünkü yüksek sıcaklıklarda oksijen reaksiyon hızının, ayrışım hızına oranı artar. Evsel atıksuların arıtılmasında atıksuyun sıcaklığının düşük olması (10^{o}C' den az) arıtma verimini düşürmektedir. Bu sebeple sıcaklık parametresi arıtma performasına olan etkilerinden dolayı biyolojik sistem içerisinde izlenmesi gereken önemli bir parametredir. Çalışmada özellikle YSA-2' de gerçekleşen biyokimyasal olaylara, dolayısıyla arıtma

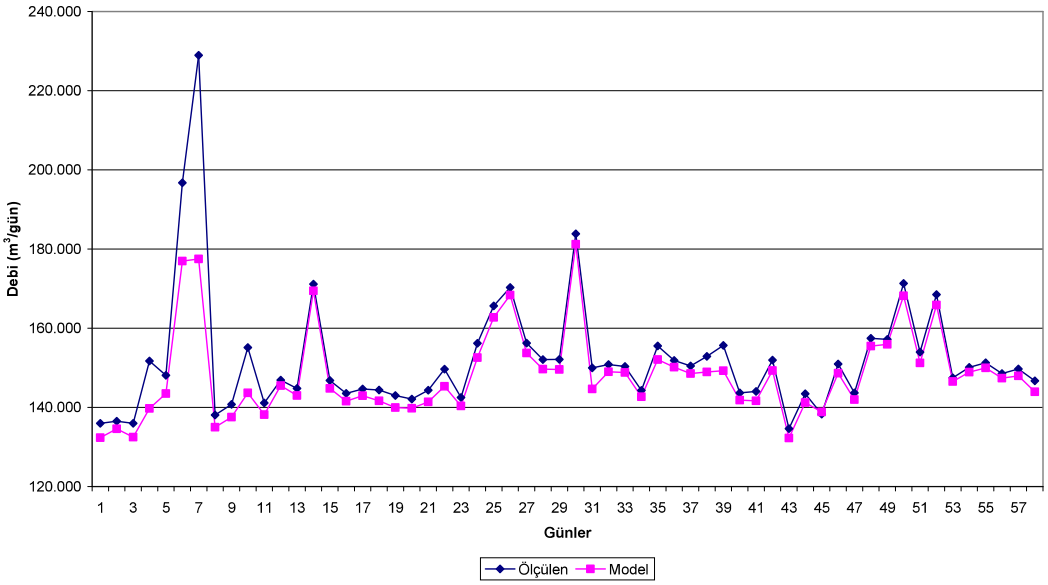
performansına olan etkilerini ilişkilendirmek amacıyla sıcaklık parametresi modellenmiştir. Model sonuçlarının olumlu olması ile süreç içerisindeki reaktörler arasında zamansal farklılıklar sonucu modelin bunu ilişkilendirme kabiliyeti saptanmıştır.



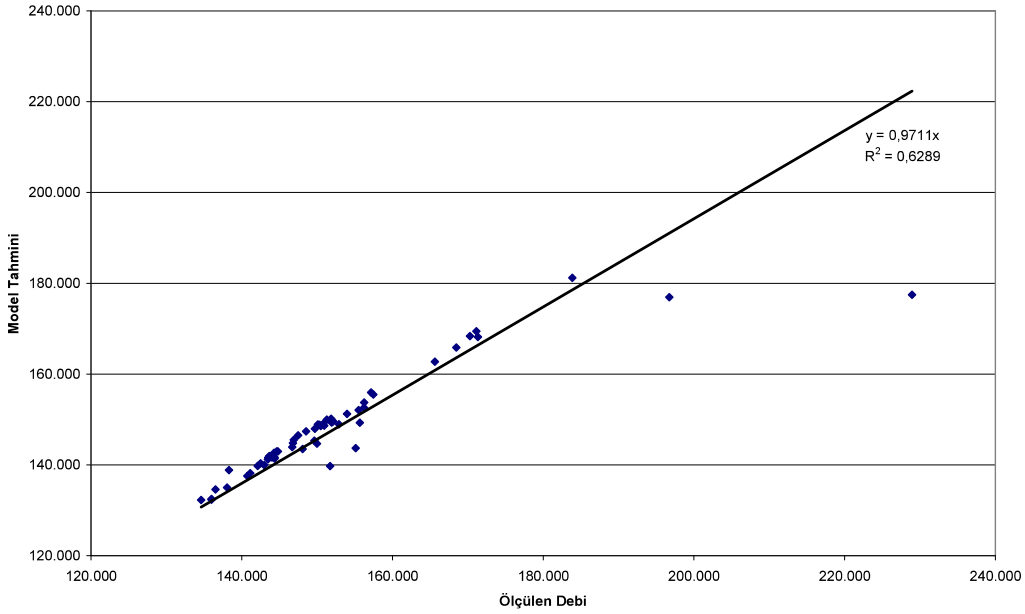
Şekil 6.14. YSA-2 modelinde sıcaklık parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

6.2.2.3. YSA-2 modelinde debi tahmini

Şekil 6.15' de genel dağılımın içerisindeki noktaların tahmininde YSA-2 modelinin debi parametresi için başarılı olduğu görülmektedir. Bu çalışamada debi parametresinin tahmin edilmesi, çoklu parametre üzerine çalışılmasından ve modelin geliştirme aşamasında yük hesabında önem taşıyacağından dolayı önem kazanmaktadır. Dağılım diyagramından görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı 0,6289 olarak bulunmuştur (Şekil 6.16). Yukarıda ifade edildiği gibi genel dağılımda ölçüm ve model bulguları birbirine birkaç nokta dışında oldukça yakındır. YSA-1' de de debi parametresi için aynı başarılı durumun söz konusu olması ve orada da ifade edildiği gibi arıtma tesislerinde debinin üniteler arasında fazla bir değişime uğramaması sebebiyle bu beklenen bir sonuç olarak ortaya konmaktadır.



Şekil 6.15. YSA-2 modelinde debi parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

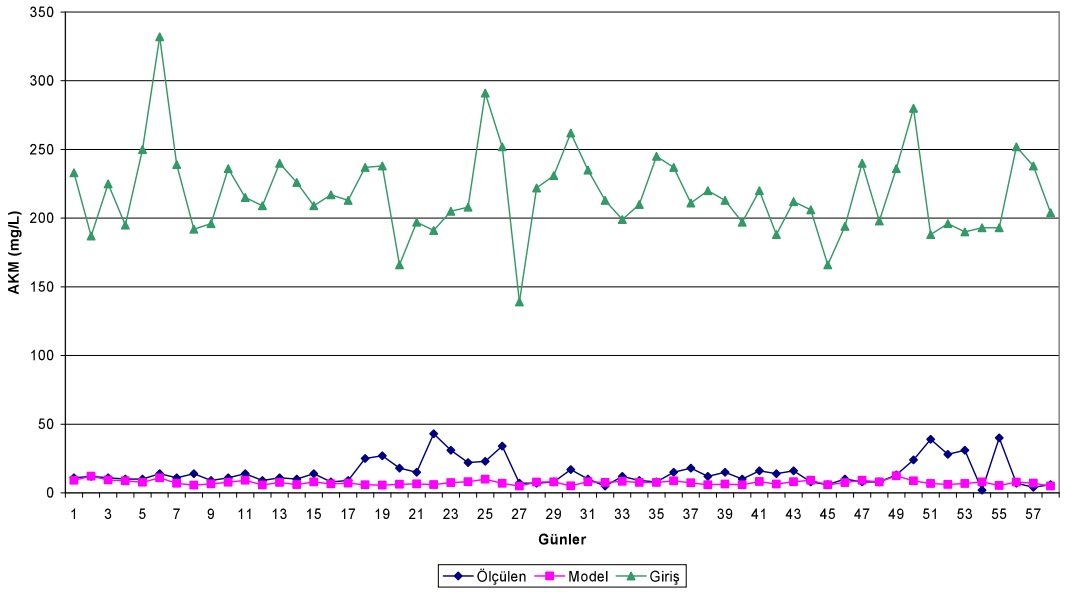


Şekil 6.16. YSA-2 modelinde debi parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

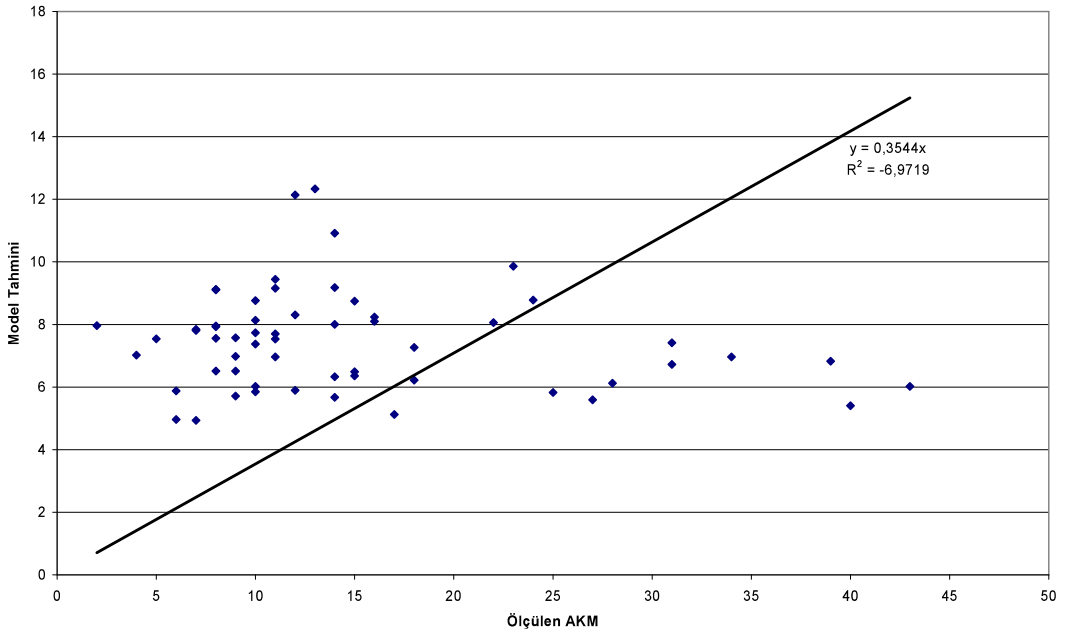
6.2.2.4. YSA-2 modelinde AKM tahmini

08.01.2006 tarih ve 26047 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren "Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği (KAAY)" de bildirilen AKM deşarj limitleri 100.000 ve üzeri nüfus için 35 mg/L' dir. Şekil 6.17' de görüldüğü gibi AKM değerleri 5-40 mg/L aralığında dağılmış, bir iki noktada ise 5 mg/L' nin altına düşmüş ve 40 mg/L' nin üstüne çıkmıştır. Değerlerin salınım gösterdiği günler 17-25 ve 50-55 arası günler olup, bu durum o günlerde çökeltme veriminin iyi olmamasından kaynaklanmaktadır. Test veri setinin de zaman sıralı olarak seçilmesinden kaynaklanan durumun eğitme ve test veri setinin farklı gruplandırma metodu ile oluşturulmasıyla çözülebilir. Çökeltme verimi ise katı yükleme hızı ve çökelme hızına bağlıdır. YSA-1 modelinde AKM model çıkış değerlerine 200-250 mg/L gibi yüksek değerler olurken buna kıyasla YSA-2 modeli çıkış değerleri ise 5-12 mg/L değerleri arasında genel bir dağılım izlemekle birlikte ölçülenlere her zaman paralel değildir. Değerlerden görüleceği ve YSA-1 modeli AKM tahmin bulgularında bahsedildiği gibi ön arıtım ünitesinde %30-60 gibi bir miktar AKM giderimi gerçekleşirken kalan kısmı ikinci çökeltme tankında giderilmektedir. Fakat, modelin uygulanabilir olması için salınım gösteren değerlere yakın olması beklenir. Bu durumda YSA-2 modellemesinde biyolojik arıtma ünitesindeki MLSS konsantrasyonu ve son çökeltme tankındaki bekleme süresinin de ilave olduğu veri seti ile eğitme yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Dağılım diyagramından (Şekil 6.18) görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı -6,9719 olarak bulunmuştur. Grafik bulgularından ve bu değerden görüldüğü gibi, model belli bir aralıkta sabitlenirken verilerin bu aralıktan uzaklaşıp fazla dağılım göstermesi YSA-1 modelindeki gibi tolere edilebilecek salınımları vermemesi ve salınımların daha fazla olması, YSA-2 modelinin AKM parametresi için yeterince başarılı olmadığını doğrulamaktadır. Burada *lr, mc* ve *iterasyon sayısı* gibi model kurgusuna etki eden fakörlerin değiştirilmesi ile en tutarlı modelin elde edilmesi ile yeniden eğitme yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.



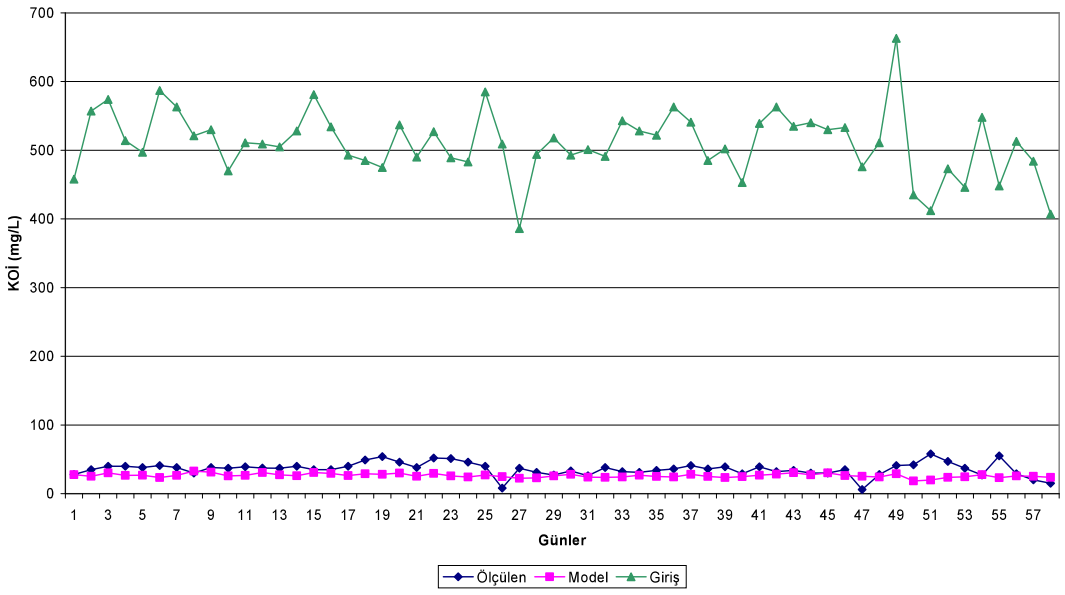
Şekil 6.17. YSA-2 modelinde AKM parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.



Şekil 6.18. YSA-2 modelinde AKM parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

6.2.2.5. YSA-2 modelinde KOİ tahmini

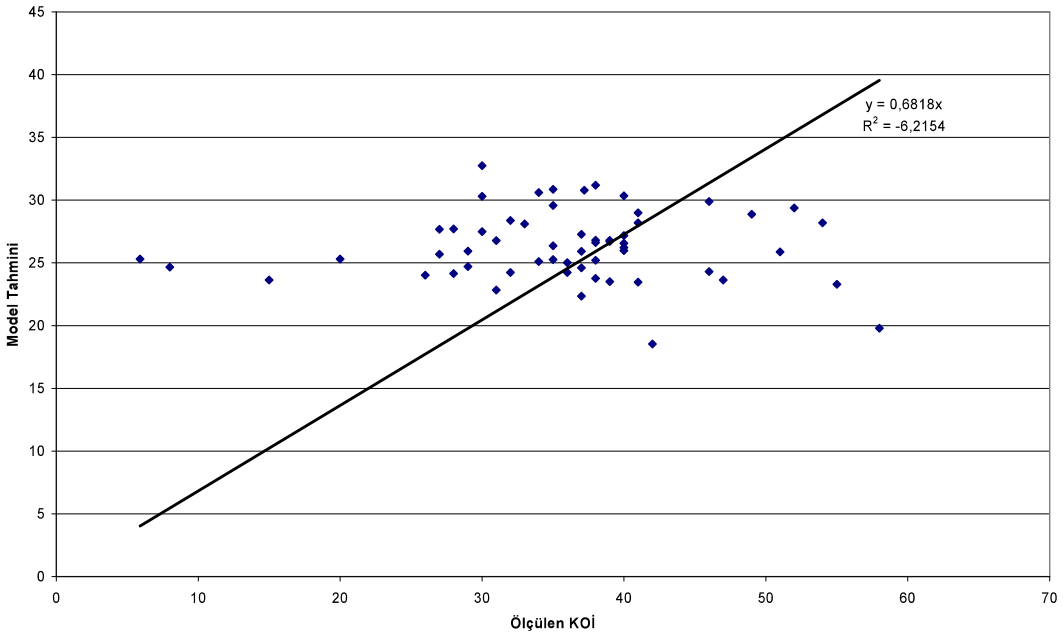
Şekil 6.19' da görüldüğü gibi ölçülen KOİ değerleri 20-60 mg/L aralığında dağılmış, üç noktada 20 mg/L' nin altına düşmüştür. YSA-2 modeli çıkış değerleri ise 20-35 mg/L arasında dağılmaktadır. Ölçülen değerler AKM' de olduğu gibi 17-25 arası günlerde konsantrasyonlarda bir miktar artış göstermektedir. Aynı durum 50-56 arası günler için de geçerli olmaktadır. İkinci kademe olan biyolojik arıtma ünitesinde KOİ giderimi %80-90 civarında gerçekleşir. Grafikte giriş değerlerinin 400-600 mg/L arasında iken tesis çıkışında 20-60 mg/L aralığına düşmesi bu giderim veriminin beklenen aralıkta olduğunu göstermektedir. KAAY' de KOİ parametresi için verilen deşarj limit değeri ise 125 mg/L olup, tesise ve modele ait değerlerin deşarj limitlerinin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 6.19. YSA-2 modelinde KOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

Dağılım diyagramından (Şekil 6.20) görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı -6,2154 olarak bulunmuştur. Verilerin bazı noktalarda dağınık olması R^2 değerini düşürmekle birlikte model KOİ için AKM' ye kıyasla daha tutarlıdır. Ancak, AKM' de olduğu gibi modelin belli bir

aralıkta sabitlenerek tesis verilerindeki değişkenlikleri görememesi modelin KOİ parametresi tahmininde beklenen seviyede olmadığını göstermektedir. Modeldeki yığılma ve verilerin tek aralığa sabitlenme eğilimi göstermesi, giriş değerlerinin (500mg/L ± 100mg/L) sayısal olarak yüksek olurken, çıkış değerlerinin (36mg/L± 10mg/L) düşük olduğunu göstermektedir. Burada giriş değerlerindeki salınım farkları ile çıkış değerleri arasındaki salınım farklılıkları birbirinden farklı olmaktadır. Yani giriş değerleri çok büyük salınımlar gösterirken, çıkış değerleri küçük salınımlar göstermektedir. Bu durum AKM' de olduğu gibi, model kurgusundaki yapılabilecek değişiklikler olan *lr* ve *mc* değerlerinin değiştirilerek, farklı uygulamalar yapılması gerekliliğini burada da ortaya koymaktadır.

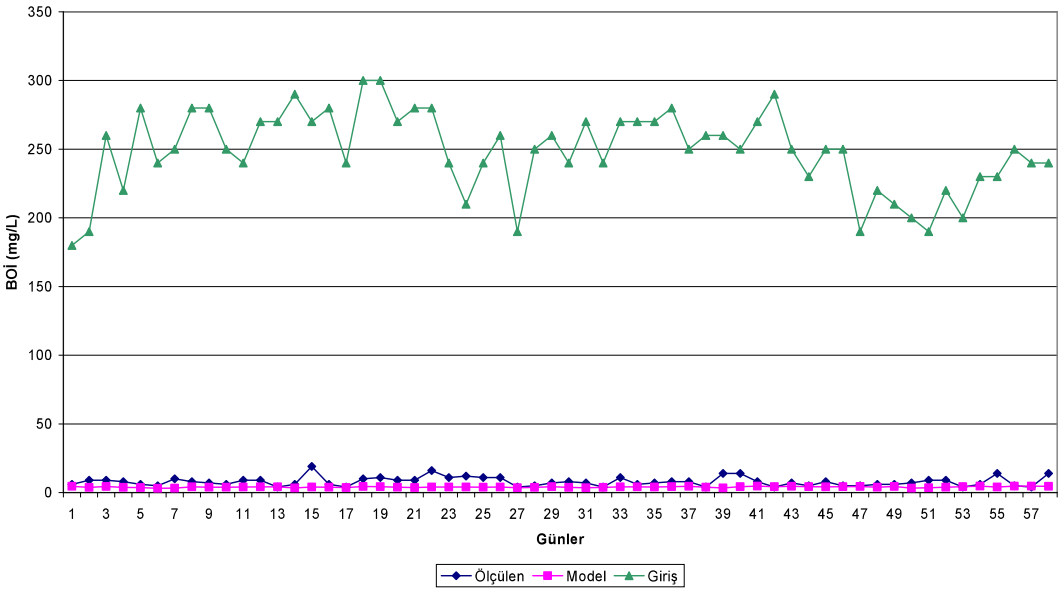


Şekil 6.20. YSA-2 modelinde KOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

6.2.2.6. YSA-2 modelinde BOİ tahmini

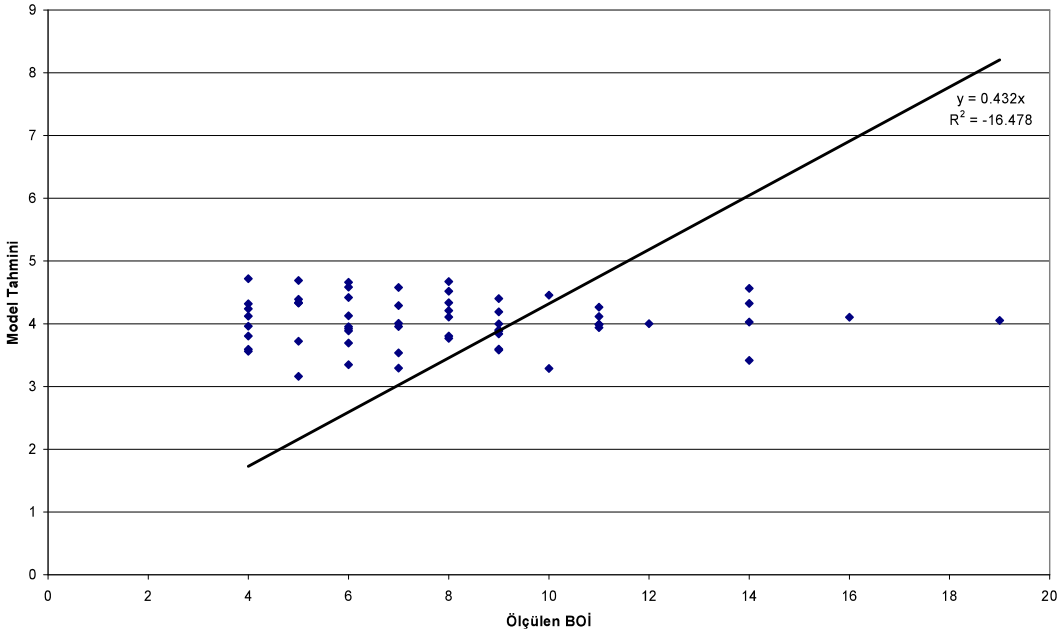
BOİ, biyolojik arıtım ünitesinde giderimi sağlanan önemli bir parametredir. BOİ giderme verimi biyolojik arıtma ünitesinde %95 civarında

gerçekleşmektedir. Şekil 6.21' de görüldüğü gibi tesis giriş değerleri 170-300 mg/L arasında değişirken, tesis çıkışında bu değer 4-20 mg/L arasında değişmektedir. KAAY' de BOİ parametresi için verilen deşarj limiti 25 mg/L' dir. Bu değerler de göstermektedir ki, sistem istenen verimde çalışmaktadır. Ancak model sonuçlarına bakıldığında 3-5 mg/L aralığında sabitlendiği görülmektedir.



Şekil 6.21. YSA-2 modelinde BOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

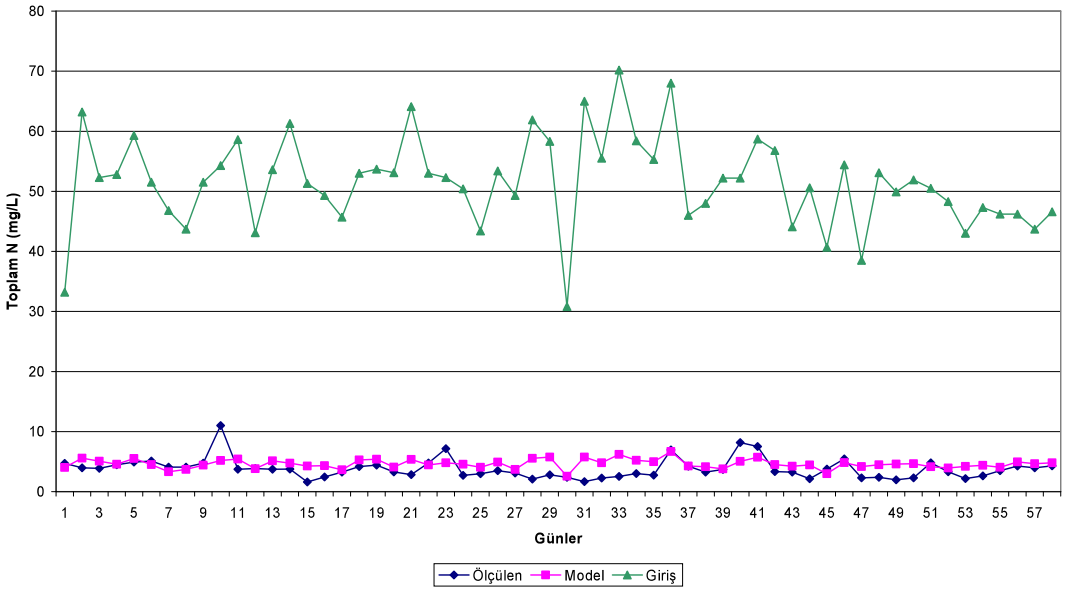
Dağılım diyagramından (Şekil 6.22) görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı -16,478 olarak bulunmuştur. Verilerin dağınık olması R^2 değerini düşürmekle birlikte modelin sabitlenip verilerdeki salınımları izlememesi modelin AKM ve KOİ' de olduğu gibi bu parametre için de beklenen performansta olmadığını göstermektedir. Ayrıca, KOİ' de olduğu gibi burada da giriş değerlerinin salınımları, çıkış değerlerine göre fazla olmaktadır. Dolayısıyla KOİ için önerilen durum burada da gerekli olmaktadır.



Şekil 6.22. YSA-2 modelinde BOİ parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

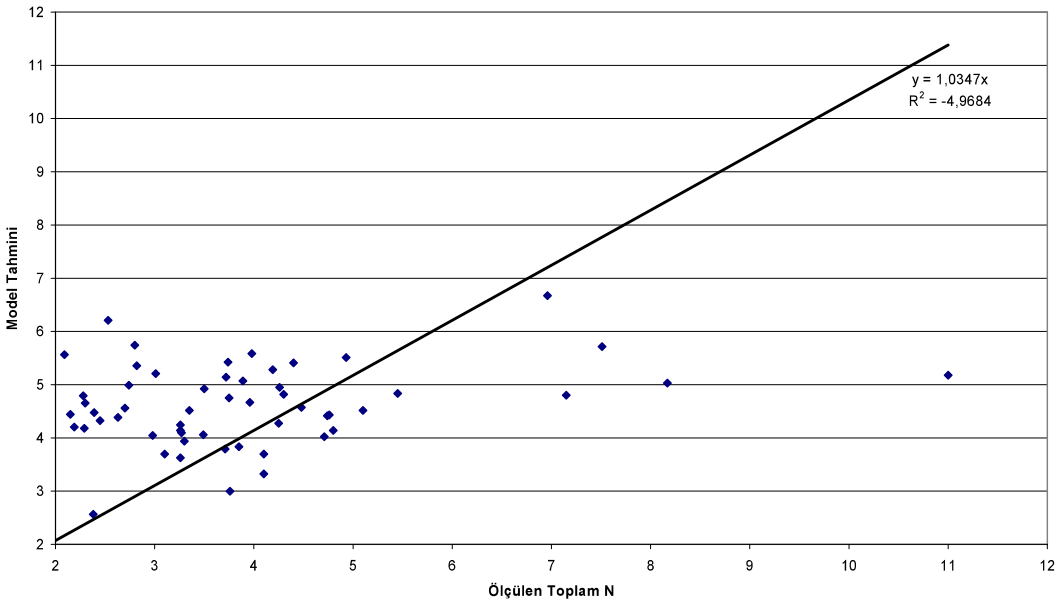
6.2.2.7. YSA-2 modeli toplam N tahmini

YSA-2 modelinde Toplam N için model değerleri ve ölçülen değerler karşılaştırıldığında (Şekil 6.23) Toplam N değerlerinin genelde 2-8 mg/L aralığında ölçüldüğü, bir noktada 10' un üzerine çıktığı, sadece iki noktada ise 2 nin altına düştüğü görülmektedir. Model değerleri de yaklaşık olarak aynı aralıkta gözlenmekle birlikte artma ve azalma eğilimi her noktada aynı paralellikte olmamaktadır. 2.günden 10.güne kadar birbirine oldukça yakın değerler gözlenirken, 10.günden sonraki verilerde gerçek değerden aşırı pik yapan noktalar hariç 2-4 mg/L kadar farklı değerler hesaplanmıştır. KAAY' de Toplam N için verilen deşarj limiti ile kıyaslandığında ise limit değer olan 10 mg/L' nin altında kaldığı sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6.23. YSA-2 modelinde toplam N parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması

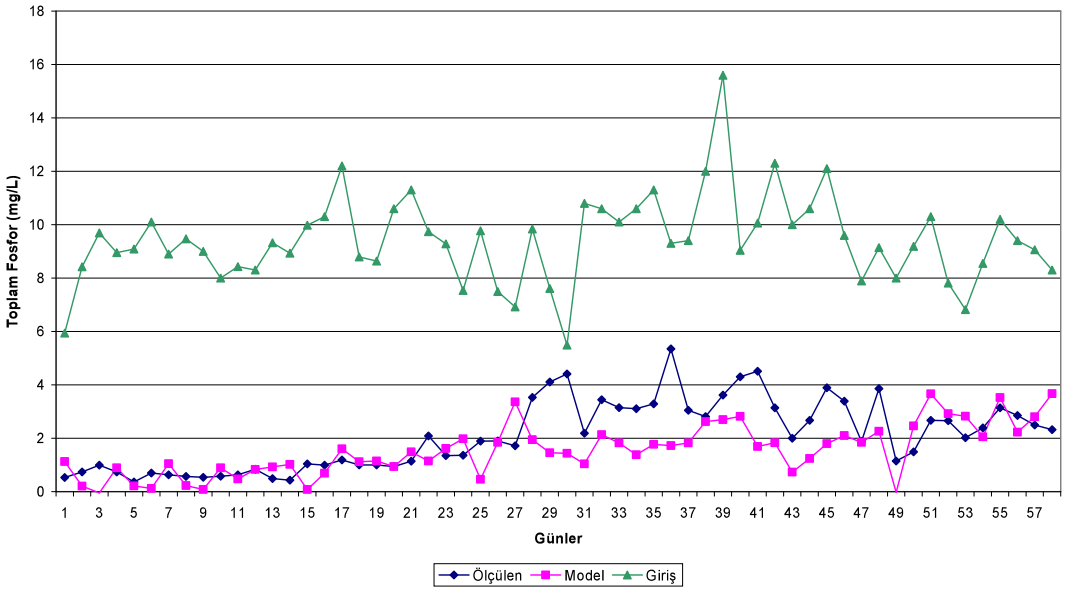
Dağılım diyagramından (Şekil 6.24) görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı -4,9684 olarak bulunmuştur. Verilerin dağılımına bakıldığında R^2 değerini düşük olmakla birlikte ölçülen ve model değerlerinin birbirine yakın aralıkta değişiyor olmasına rağmen model tahmin değerleri ölçülen değerlerin genelde üzerinde kalmaktadır. Ayrıca, artma ve azalma eğiliminin her noktada aynı paralellikte olmaması sebebiyle model tahmin performansı düşük olmaktadır. Burada da, giriş ve çıkış değerlerindeki farklılıklar KOİ ve BOİ' deki gibi olmaktadır, ancak burada daha önemli bir husus toplam N' nin sıcaklıktan daha fazla etkilenen bir parametre olduğudur. Dolayısıyla mevsimsel değişimi dikkate alan eğitme verisi seçilmesi bu parametre için daha kritik önem taşımaktadır.



Şekil 6.24. YSA-2 modelinde toplam N parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramları.

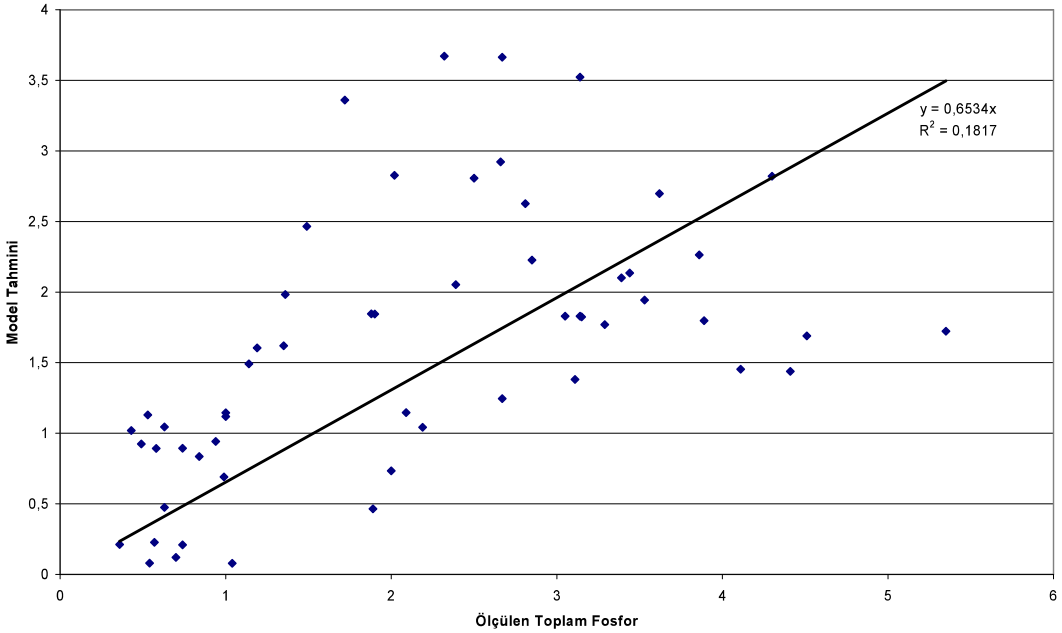
6.2.2.8. Toplam P tahmini

Şekil 6.25' e bakıldığında, ölçülen ve modele ait toplam P değerleri ilk 25 gün yakınlık gösterirken, 30.günden sonra artış ve azalışlar aynı paralellikte olmasına rağmen değer olarak birbirinden uzaklaştığı görülmektedir. Bu durum mevsimsel periyoda ve veri setinden eğitme-test datası seçimlerine bağlıdır. Grafik geneline bakıldığında ise tesis ve model değerleri genelde 0,5-5 mg/L aralığında değişmiştir. Arıtma tesisine giriş fosfor değeri ortalama 10 mg/L civarındadır. Burada %80-90 fosfor giderimi sağlanır. KAAY' de Toplam P için verilen deşarj limit değeri 1 mg/L' dir ve bu durumda olması beklenen değer 1-2 mg/L' dir. Burada verimin bazı noktalarda beklenenden düşük olmasının sebebi fosfor arıtımını gerçekleştiren bakterinin son çökeltme tankında fazla beklemesi sonucunda içerisinde biriktirmiş olduğu fosforu tekrar suya bırakmasıdır. Buna bağlı olarak fosfor arıtımının oldukça hassas olmasından dolayı çökeltme tankındaki çöktürme süresinin ve çamur geri devir süresinin optimum olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 6.25. YSA-2 modelinde toplam P parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

Dağılım diyagramından (Şekil 6.26) görülebileceği gibi model tahmini ile ölçülen değer arasındaki belirleme katsayısı 0,1817 olarak bulunmuştur. Diyagramda görüldüğü gibi verilerin dağılımı nispeten fazladır. Burada giriş ve çıkış değerlerindeki farklılıklar KOİ, BOİ ve toplam N' de olduğu kadar yüksek değildir. Modelin tümünde salınımlara yakın aralıkla eşlik etmemesi sebebiyle Toplam N' da olduğu gibi tahmin başarısının yetersiz olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Model performansının arttırılması için aynı gün içerisinde hava sıcaklık farklılıklarından etkilenmiş birden fazla ölçüm sonucunu içeren veri seti ile eğitme yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çünkü toplam P parametresi de, toplam N' de olduğu sıcaklıktan önemli ölçüde etkilenen bir parametredir.



Şekil 6.26. Toplam P parametresi için model değerleri ve ölçülen değerlerin dağılım diyagramı.

YSA-2 modeli çıkış parametrelerinden pH, debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot ve Toplam Fosfora ait model tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerler arasındaki belirleme katsayıları (R^2) ve dağılım diyagramı denklemi y=*a*x için *a* değerleri Çizelge 6.5' de görülmektedir.

Çizelge 6.5. YSA-2 modeli tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerler belirleme katsayıları ve dağılım diyagramı denklemi y=*a*x için *a* değerlerinin karşılaştırılması.

YSA-2 Modeli Çıkış Parametreleri	***a***	**Belirleme Katsayısı (R^2)**
pH	1,0067	-3,7547
Debi (m^3/gün)	0,9711	0,6289
AKM (mg/L)	0,3544	-6,9719
KOİ (mg/L)	0,6818	-6,2154
BOİ (mg/L)	0,432	-16,478
Sıcaklık (^{0}C)	1,0054	0,636
Toplam Azot (mg/L)	1,0347	-4,9684
Toplam Fosfor(mg/L)	0,6534	0,1817

Çizelge 6.5' de verilen, YSA-2 modeline ait parametreler için y=*a*x doğru denkleminde *a* katsayısının pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot ve Toplam Fosfor parametreleri için 1' e yakın olması ölçülen gerçek değerler ile model tahmin değerleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesine ışık tutmaktadır. R^2 değerinin ise 1' e yakınlığı tüm verilerin y=*a*x doğrusuna yakınlığını temsil etmektedir. Bu kapsamda Çizelge 6.5' de görüldüğü gibi YSA-2 modelinde *a* değerlerinin pH, Debi, Sıcaklık ve Toplam N parametreleri için 1' e oldukça yakın değerler alırken, AKM, KOİ, BOİ ve Toplam P parametreleri için 1' e yakın değerler almamaktadır. YSA-2 modelinin tamamen başarılı kabul edilebilmesi için YSA-1 modelinde de ifade edildiği gibi hem *a* değerinin, hemde R^2' lerin 1' e yakın olması gerekmektedir. Burada kabul edilen başarı *a* değerlerinin değerlendirilmesine göredir. R^2' ler açısından değerlendirdiğimizde ise tutarlılığın daha düşük olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ise YSA-1 modelinde de karşımıza çıkan durum olmakta ve orada da belirtildiği gibi eğitmenin daha gelişmiş veri setiyle yapılması önerisiyle giderilebilecek bir problem olarak ortaya konmuştur. Ayrıca YSA-2 modelinin yapısal olarak daha fazla çıktı katmanına sahip olmasının tutarlılığı daha olumsuz yönde etkilediği sonucunu ortaya koymaktadır. Bu durumda, önceki alt bölümlerde her bir parametre için ulaşılan sonuçlarda dikkate alınırsa, model kurgusunu değiştirerek denemelerin yeniden yapılması, hem a hem de R^2' lerde aynı anda 1' e yakınlığın sağlanması için *lr*, *mc* ve *aktivasyon sayısı* gibi faktörlerin yeniden analiz edilmesi ve eğitme-test verisi sayısının çoğaltılarak 2 yada 3 yıllık veri seti ile mevsimsel koşullar dikkate alınarak eğitmenin yeniden yapılması gibi YSA-1 modelin de öngörülen önerilerle aşılabileceği ortaya konmaktadır.

Çalışmada ayrıca, model değerleri ile ölçülen değerlerin standart sapmaları da hesaplanmıştır. YSA-2 modeli çıkış parametrelerinden pH, Debi, AKM, KOİ, BOİ, Sıcaklık, Toplam Azot ve Toplam Fosfor parametrelerine ait model tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerlere ait ortalama değerleri, standart sapma değerleri ve yüzdeleri Çizelge 6.6' da görülmektedir.

Çizelge 6.6. YSA-2 modeli tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerlere ait ortalama değerleri, standart sapma değerleri ve yüzdeleri.

YSA-2 Modeli Çıkış Parametreleri	**Ölçülen Ortalama Değeri**	**Ölçülen Değerin Standart Sapması**	**Ölçülen Değer İçin Standart Sapma Yüzdesi(%)**	**Ölçülen Minimum Değeri**	**Ölçülen Maksimum Değeri**
pH	7,80	0,45	5,77	7,34	8,25
Sıcaklık (^{0}C)	16,87	1,585	9,39	15,28	18,45
Debi (m^3/gün)	152136	15295	10,05	136846	167425
AKM (mg/L)	15	9,305	62,83	5,58	24,42
KOİ (mg/L)	36	9,796	27,22	26,20	45,80
BOİ (mg/L)	8	3,325	41,56	4,67	11,32
Toplam Azot (mg/L)	3,82	1,683	44,07	2,13	5,50
Toplam Fosfor(mg/L)	2,09	1,291	61,74	0,8	3,38
YSA-2 Modeli Çıkış Parametreleri	**Model Ortalama Değeri**	**Model Değerin Standart Sapması**	**Model Değeri İçin Standart Sapma Yüzdesi(%)**	**Model Minimum Değeri**	**Model Maksimum Değeri**
pH	7,88	0,193	2,45	7,68	8,07
Sıcaklık (^{0}C)	17,00	1,355	7,97	15,64	18,35
Debi (m^3/gün)	148212	11030	7,44	137185	159238
AKM (mg/L)	7	1,592	21,35	5,50	8,50
KOİ (mg/L)	26	2,784	10,57	23,25	28,74
BOİ (mg/L)	4	0,384	9,50	3,62	4,38
Toplam Azot (mg/L)	4,63	0,76	16,42	3,86	5,39
Toplam Fosfor(mg/L)	1,55	0,966	62,37	0,58	2,52

Çizelge 6.6' da verilen YSA-2 modeli çıkış parametreleri için ölçülen ve model ortalama değerleri kıyaslandığında birbirine nispeten yakın değerler olduğu görülmektedir.

pH parametresi için ölçülen değerlerin ortalaması ile model tahmin değerlerinin ortalaması birbirine oldukça yakın olmaktadır. Standart sapma yüzdeleri ölçülen değerler için ±%5,77 (7,34 - 8,25) iken model tahmin değerleri ±%2,45 (7,68 - 8,07) olduğu görülmektedir. Standart sapma yüzdelerindeki bu farklılık grafiksel

bulgularla kıyaslandığında, pH' a ait model değerlerinin ölçülen değerlere göre daha dar bir bant üzerinde seyrettiği ve salınımlar gösterdiği görülmektedir. Veri setinin daha sık yapılan analizlerle elde edilecek veri seti ile eğitilmesi ile model ile ölçülen değerlerin aynı bantta hareket etmesinin sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Sıcaklık değerleri tesisteki mikroorganizmanın aktifliğine etkisinin değerlendirilmesi açısından incelenmiştir. Bulunan değerlere bakıldığında, ölçülen değerlerle tahmin değerlerinin ortalamasının yaklaşık olarak 17 °C olduğu görülmektedir. Yine aynı şekilde standart sapma yüzdeleri değerlendirildiğinde ölçülen değerin ±%9,39 (15,28°C - 18,45°C) olduğu, model değerinin ise ±%7,97 (15,64°C - 18,35°C) olduğu görülmektedir. Sıcaklık için değerlerin yakın aralıkta olması model performansının iyi olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Debi parametresinin tahmini için yapılan grafiksel değerlendirmelere ait bulgularda, ölçülen değerlerle model değerlerinin 6. ve 7. günlerde birbirinden çok farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu durum, hem ortalama değerin hem de standart sapma yüzdelerinin birbirinden bir miktar uzaklaşmasına neden olmaktadır. Ölçülen değerin standart sapma yüzdesinin ±%10,05 (136846 m^3/gün - 167425 m^3/gün) iken, model tahmin değerinin yüzdesinin ±%7,44 (137185 m^3/gün - 159238 m^3/gün) olduğu görülmektedir. Buna göre debi tahmininde modelin iki gün dışında oldukça iyi sonuç verdiği ve kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Debi, yük hesabında önem taşıyan bir parametre olduğundan doğru tahmin edilmesi tesis performansının takibinin de doğru yapılmasını sağlayacaktır.

AKM' ye ait standart sapma yüzdeleri ölçülen değer için ±%62,83 (5,58 mg/L - 24,42 mg/L) iken model tahmin değeri için ±%21,35 (5,50 mg/L - 8,50 mg/L) olmaktadır. Burada, düşük değerler tutarlı olurken, yüksek değerler birbirinden uzaklaşarak başarısız sonuçlar vermektedir. Grafiksel bulgularda da AKM model tahmininde model sonuçlarının dar bir bantta seyrederek, ölçümlerdeki salınımları izleyemediği görülmektedir. AKM için gözlenen salınımlar, son çökeltme tankındaki sorunlara bağlı olarak yaşanan çökelme veriminin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda, son çökeltme tankındaki bekleme süresinin ve biyolojik arıtım ünitesi reaktöründeki MLSS konsantrasyonunun giriş parametresi olarak veri setine ilavesi ile sorun çözülebilir.

KOİ ölçülen ve model tahmin ortalamasının birbirine çok yakın olmaması ve ölçülen değerlerin birkaç gün beklenenden yüksek çıkması, standant sapma yüzdesinin (±%27,20 (26,20 mg/L - 45,80 mg/L)) model standart sapma yüzdesinden (±%10,57 (23,25 mg/L - 28,74 mg/L)) farklı olmasını sağlamıştır. Değerlere bakıldığında, düşük değerler birbirine yakın olurken, yüksek değerlerde fark daha fazla olmaktadır. Ancak, değerler deşarj limitlerinin oldukça altında kalmaktadır. Bu durumda daha sık aralıklı veri seti ile yapılacak sağlıklı bir eğitme ile tahmin sorununun aşılabileceği sonucuna varılmıştır.

BOİ parametresinin tahmininde model değerlerinin ölçülen değerlerden daha küçük kalması ortalama değer ve standart sapma düzeylerinden anlaşılmaktadır. BOİ değerlerinde de KOİ ve AKM parametrelerindeki pik salınımların gözlendiği günlerde sorun olduğundan dolayı sapma yüzdelerinin de bu sorunlu günler nedeniyle genişlediği görülmektedir. Ölçülen değerlerin standart sapma yüzdesi ±%41,56 (4,67 mg/L - 11,32 mg/L) iken model tahmin yüzdesi ±%9,50 (3,62 mg/L - 4,38 mg/L) dir. Burada salınımların yüksek olduğu döneme ait verilerin model performansını düşürüyor olması sebebiyle, mevsimsel farklılıkları da içeren veri grubu ile yeniden eğitilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Toplam N parametresine ait ölçülen değer ±%44,07 (2,13 mg/L - 5,50 mg/L) iken model tahmin değeri ±%16,42 (3,86 mg/L - 5,39 mg/L) dir. Standart sapmalardaki bu farklılık ortalamalardaki farklılık ve model tahmin değerlerinin dar bir bant aralığında seyretmesi, modelin ölçülen değerlere ait alt ve üst uç noktalardaki salınımlara tepkisinin yetersiz kaldığını göstermektedir. KAAY yönetmeliği deşarj limitleri 10 mg/L' dir. Ölçülen değerlerin bir tanesi bu değerin üzerinde olduğundan modelin birkaç modifikasyonla daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Toplam P parametresi ortalama değerleri ve standart sapma yüzdeleri birbirine oldukça yakındır. Ölçülen değerin standart sapma yüzdesi ±%61,74 (0,8 mg/L - 3,38 mg/L) iken model tahmin değerine ait standart sapma yüzdesi ±%62,37 (0,58 mg/L - 2,52 mg/L) dir. Bu değerlerden de görüldüğü gibi model tahmininde alt değer aralığının ölçülen değerlerin altında iken, üst değerlerde model bir miktar sıçrama gösterse de, modelin genelinde istenen sıçramaları yapmadığı görülmektedir.

Ancak, bulunan değerlerin küçük, birbirine yakın ve istenen deşarj düzeyinde olması, fosfor giderimindeki verimi etkileyen faktörlerin fazla olması gözününe alındığında modelin bulduğu sonuçlar başarılı olarak değerlendirilebilir.

YSA-1 modeli bulguları yorumlanırken model yapısının kurgulanması üzerine eksiklik ve düzenlemelerin yapılarak daha iyi sonuçların alınacağından bahsedilmişti. Aynı düzenlemeler YSA-2 için de geçerli olmaktadır. Bu bilgiler ışığında dikkat edilmesi gereken noktalar, biyolojik arıtımın gerçekleştiği proseslerin, ön arıtımın gerçekleştiği prosese göre daha hassas olduğudur. Biyolojik arıtmada mikroorganizmaların aktivitesinin sıcaklık farkından etkilenmesinden dolayı gündüz ve gece değerlerini de içeren YSA-1' e göre daha sık periyotta seçilmesi gereklidir. Amaç sağlıklı sonuçlar olduğundan yukarıda anlatılan özelliklerden dolayı momentum sabiti ve öğrenme oranı değerlerinin de YSA-1' e göre aynı olmaması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında tesiste verilerin toplanmasına ilişkin yapılacak modifikasyonlarla beraber oluşturulacak yeni çalışmalarda YSA modellerine ilişkin kritik değerlerin yeniden belirlenerek modelin kurgulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

YSA-2 model çalışması bulgularını değerlendirdiğimizde, model performansını etkileyen önemli faktörlerin varlığı ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, bu etkilerin neler olduğu ve bunların ortadan kaldırılmasını sağlayarak, modelin performansını yükseltecek çözüm önerileri aşağıda açıklanmaktadır:

YSA-2 model konfirigürasyonu biyolojik arıtma ünitesinden oluşmaktadır. Biyolojik arıtımın gerçekleştiği prosesler, ön arıtım proseslerine göre daha hassas yapıdadırlar. Bu hassasiyet proses içerisinde arıtımı gerçekleştiren mikroorganizmaların metobolik faaliyetlerine bağlı olmaktadır. Arıtma olgusu, gerçekleşen reaksiyonlara bağlı olduğundan dış etkiler ve işletme koşulları süreç verimini etkilemektedir. Bu sebeple, iyi bir biyolojik arıtma süreci işletmek ve arıtma verimini yüksek tutarak istenen çıkış değerlerini elde etmek için bu dış etkilerin ve süreci olumlu etkileyecek işletme koşullarının iyi bilinmesi gerekmektedir. YSA model çalışmasında bu koşulların sisteme doğru şekilde aktarılması için veri setinin dış etkilerle ilişkilendirilmiş verilerden oluşması gerekmektedir.

Yukarıda biyolojik arıtıma ilişkin açıklamalarda bahsedilen dış etkilerin başında sıcaklık etkisi gelmektedir. Bu sebeple, YSA-2 modeline ait veri seti oluşturulurken, mikroorganizma aktivitelerinin sıcaklık farkından etkilenmesinden dolayı, gündüz ve gece için ölçülmüş değerleri de içeren daha sık periyotlu veriler seçilmesi sağlanmalıdır.

Bunun yanı sıra, sıcaklık farkı mevsimsel değişimlere de bağlı olduğundan mevsim değişimlerinin de biyolojik arıtma üzerinde önemli etkileri vardır. Buna bağlı olarak YSA-1 model veri seçiminde de vurgulandığı gibi, eğitme ve test setine ait verilerin ayrılmasında, veriler zaman sıralı yerine istatistiksel seçim kurallarına göre her mevsimden veri olacak şekilde guplandırılarak seçilmelidir. Örneğin veri grubu 4 eğitme verisi-1 test verisi şeklinde ayrılarak, veri setinde her mevsimden veri olması ve modelin tüm mevsimsel şartlara uyum sağlaması sağlanmalıdır.

Ayrıca, YSA-1 modeli için önerilen çözümlerden veri seti oluşumunda tesisin maksimum ve minumum değerleri içermesine özen gösterilmesi YSA-2 modeli kurgusu için de geçerli olmaktadır.

YSA-2 için önerilecek diğer bir husus da, modele ait öğrenme oranı ve momentum sabiti değerlerinin YSA-1' den farklı olarak YSA-2 için yeniden analiz yapılması gerekliliğidir.

Yukarıda açıklanan bilgiler ışığında, veri setinin ve *lr*, *mc* değerlerinin değiştirilmesi model performansı üzerinde önemli etkiler yaratacaktır. Yapılan bu düzenlemeler ile sistemde oluşacak problemlere karşı modelin tepkileri daha iyi algılayacağı ve buna bağlı olarak performansında olumlu gelişmeler olacağı düşünülmektedir.

6.3. Bulguların Literatür ile İlişkilendirilmesi

Atıksu arıtma tesislerinin modelleme çalışmalarında kullanımı yaygınlaşan YSA çalışmaları her geçen gün artmaktadır. Çalışmaların geneli incelendiğinde tüm tesis verimi dikkate alınarak modelleme çalışmaları yapılmıştır. Bazılarında belirli ana arıtım üniteleri üzerine çalışmalar yapılırken, çoklu parametre tahmini yerine

genelde tek parametrenin tahmininin yapıldığı YSA modelleme çalışmalarına sıklıkla rastlanmaktadır. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında parametre tahmininde başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu çalışmada, elde edilen bulgular, diğer çalışmalarla kıyaslandığında, örneğin Gontarski ve diğ. (2000)' nin atıksu arıtma tesisindeki 6 reaktörün herbirini bir YSA ile simule edip, bir de sistemi tek YSA olarak modelleyerek çıkışta sadece TOC (R=0.9776) değerlerini tahminini yapmaları ve bir başka çalışmada Civelekoğlu ve diğ. (2006)' nin kentsel atıksu arıtma tesisi performansını yapay zeka metodlarından Adaptif Ağ Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi ile modellemeleri ve bu çalışmalar sonucunda yüksek performans elde etmiş olmaları, tek parametre tahmini yapan çalışma olmalarından ileri gelmektedir. Bu çalışmada her üç model için gerçekleştirilen ilk sonuçlarda KOİ, NH_4-N ve TN modelleri için RMSE ve MAPE hata değerleri sırasıyla (23.5 mg/L, %14.3), (1.5 mg/L, %47.1) ve (5.7 mg/L, %20.2) olarak hesaplanmıştır. Häck ve diğ. (2006)' nin başlıca atıksu parametrelerinin tahmini için yaptıkları çalışmada tesis çıkışında KOİ ve NH_4-N tahmini yapmışlardır. KOİ için R=0.92 bulunurken, NH_4-N için R=0.91 bulunarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Farklı model kurgusu içeren Mjalli ve diğ. (2007)' nin yaptıkları çalışmada ise bir kentsel atıksu arıtma tesisinde anahtar parametreler olarak KOİ (MSE=0.03), BOİ (MSE=0.023) ve AKM (MSE=0.053) değerlerinin çıkış suyundaki tahmini yapılmış, Çınar (2005) tarafından yapılan bir başka çalışmada evsel atıksu arıtma tesisi performansı BOİ, AKM ve fekal koliform parametreleri üzerinden izlenmiş ve YSA modeliyle bu parametrelerin çıkış değerleri tahminleri elde edilmiştir. Çalışmalarda elde edilen yüksek performans, model kurgusunun ara üniteleri kapsayan iki ayrı model olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada ortaya konan model performansı, tüm bunlara kıyasla, çoklu parametreli model olması ve ara üniteleri kapsayan farklı model kurgusunu içeriyor olması sebepleriyle farklı sonuçlar vermiştir. Bu durum sunulan önerilerle, modelin faklı model kurguları ile geliştirilmesi suretiyle ortadan kaldırılabilecek bir durumdur.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Atıksu arıtma tesislerinde verimin takip edilmesi için kritik çıkış parametreleri olan BOİ, AKM, KOİ, toplam azot ve toplam fosforun izlenmesi gerekmektedir. Bunun için geleneksel yöntem olarak, tesisteki aktif çamur prosesi içerisinde yer alan mikroorganizma ve substrat konsantrasyonuna bağlı olarak denklemler (formül 2.1-2.2) geliştirilmiş olup bu denklemler kullanılarak özellikle BOİ ve KOİ çıkış değerleri tahmini yapılmaktadır. Bunun sonucunda tesis verimi (formül 2.3) izlenmektedir. Model çalışmaları bu geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında birçok avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlardan en önemlisi sağlıklı ve hızlı sonuç almaktır. Bu sayede birden fazla parametre ya da bileşen için geçmişteki veriler kullanılarak ileriye yönelik tahmin yapılabilmekte ve deneysel çalışma gereksinimi minimuma indirgeneceğinden tesis işletme maliyetleri büyük ölçüde azaltmaktadır. YSA' nın diğer önemli bir avantajı ise hızlı öğrenme kabiliyetleri sebebiyle hiç karşılaşmadıkları bir problemi çözebilmeleridir. Bu sebeplerden ötürü arıtma tesisi modelleme çalışmalarında YSA kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Buna paralel olarak da parametre seçimleri yapılmıştır. Spesifik ünitelerde o ünitede giderimi sağlanan parametrelere ağırlık verilmiş, tesis geneli için yapılan çalışmalarda ise genellikle AKM, KOİ ve BOİ seçilmiştir. Debi, sıcaklık, toplam N ve toplam P için yapılmış tahmin çalışmalarına çok fazla rastlanmamaktadır.

Ayrıca, çalışmaların çoğu tesisin ana giriş - ana çıkış parametreleriyle ilgilenmektedir. Ara aşamalarda yani ünite çıkışlarında parametre takibi yapan çalışmaya çok az rastlanmaktadır ve çalışmaların çoğu tek parametre üzerinde yoğunlaşmıştır. Yapılan bu çalışmanın en önemli üstünlüğü ara proseslere ait değişkenlerin tahmini ve çıkışta birden fazla parametreye ait tahmin bulgusu elde etmeye yönelik model kurgulanmasıdır. Çevre Mühendisliği alanında atıksu arıtma tesisleri otomasyonunda, genelde kullanılan PLC sistemleri bu model çıktılarından yararlanabilmekte, ancak sadece ana giriş verisiyle sistem çıkış parametreleri tahmini yapıldığından ara ünitelerde sistem operasyonuna önemli bir katkıda bulunmamaktadır. Çalışmanın açıklanan üstünlük ve farklılıkları sonraki aşamada

geliştirilebilecek yazılım programı ve kurulacak donanım aracılığı ile PLC'den daha sağlıklı otomasyon sistemlerinin oluşturulabileceğini göstermektedir.

Bu sebeplerle çalışmada, evsel nitelikli bir atıksu arıtma tesisindeki ön arıtma ve biyolojik arıtma ara aşamalarında, ilgili işletim parametrelerinin giriş değerleri dikkate alınarak, birden fazla parametre için tahmini çıkış değerlerinin MATLAB programı kullanılarak, Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli ile belirlenebilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bunun için öncelikle çalışmada kullanılacak The Mathworks MATLAB programının içerisinde yer alan uygulamalar araştırılmış ve Neural Network Toolbox uygulaması seçilmiştir. Daha sonra verime etki eden parametreler belirlenerek veri seti hazırlanmıştır. Çalışmada, KASKİ Atıksu Arıtma Tesisi işletme veri tabanına ait 238 adet ölçüm sonucunun 180 adedi YSA' nın eğitiminde, 58 adedi de YSA' nın test edilmesinde kullanılmıştır. YSA ağ yapısı "İleri beslemeli" ağ, öğrenme algoritması amaca yönelik "Geri Yayılım Algoritması" olarak seçilmiştir. YSA modeli ön arıtım ünitesi ve biyolojik arıtım ünitesi olarak alt bölümlere ayrılmıştır. Tek gizli katmanda 2 ila 23 işlem elemanı için modellerin performansları incelenmiştir. YSA-1 modelinde, birleştirme fonksiyonu olarak toplama fonksiyonu kullanılmış, aktivasyon fonksiyonu olarak MATLAB programı içerisinde yer alan 10 adet farklı aktivasyon fonksiyonundan en az eğitme ve test hatasını veren tansig, logsig, radbas ve purelin fonksiyonlarının ağ yapısına en uygun fonksiyonlar olarak seçilmiştir. Öğrenme oranı (*lr*) belirlemek üzere 0,05-1 aralığında, momentum sabiti (*mc*) belirlenmek üzere ise 0,1-0,9 aralığında denemeler yapılmış ve öğrenme oranı 0,1, momentum sabiti ise 0,8 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte iterasyon sayısını belirlemek üzere 5000-30000 aralığında denemeler yapılmış iterasyon sayısı 10000 olarak tespit edilmiştir.

Eğitme ve test süreci sonunda, YSA-1 modeli için genellemeye ulaşan en uygun yapay sinir ağının, purelin-purelin 8 düğüm sayılı yapı; YSA-2 modeli için ise genellemeye ulaşan en uygun yapay sinir ağının, purelin-purelin 13 düğüm sayılı yapı olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen hata oranlarına göre, YSA' dan elde edilen en iyi genelleme yeteneğine sahip ağ yapısının belirlenmesinin ardından modelin doğrulama işlemi yapılmıştır. YSA-1 ve YSA-2 modeli çıkış parametrelerini temsil eden ölçülen gerçek değerler ile, YSA modelinin hesapladığı tahmin değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

YSA-1 modeli için yapılan karşılaştırmalarda pH, debi, AKM, KOİ, BOİ parametrelerinin tahmin bulgularına göre pH ve AKM için uç noktadaki değerlerin tahmininde model yetersiz kalırken, genel dağılımın içindeki noktaların tahmininde başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Debi'de ise iki nokta haricinde modelin oldukça başarılı olduğu ifade edilmiştir. KOİ parametresi tahmin bulgularına göre model değerlerinin ölçülen değerlere yakın aralıkta gözlendiği ancak artış ve azalışların ölçülenlere her zaman paralel olmadığı ortaya konmuştur. KOİ için de AKM'de olduğu gibi daha sık periyotta KOİ verisi toplanması ve eğitmenin bununla yapılması gerektiği sonucuna varılırken, verilerin AKM ve pH' daki gibi aynı aralığa sabitlenmeyip artan bir trend göstermesiyle modelin bu parametre için umut verici davrandığı sonucu ortaya konmuştur. BOİ tahmininde ise AKM ve KOİ'ye kıyasla daha tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Burada ölçülen değer arttıkça tahmini değerde de artışlar gözlenmiştir. Verilerin dağılımı nispeten fazla da olsa modelin tek değer aralığında sabitlenmemesi ile kullanılabilir olduğu konusunda umut verici olduğu ortaya konmuştur. YSA-1 modeli tahmin değerleri ve ölçülen gerçek değerlere ait belirleme katsayıları (R^2) ve dağılım diyagramı denklemi ($y=ax$) için a değerlerine göre tahmin bulguları değerlendirildiğinde, YSA-1 modeline ait tüm çıkış parametreleri için a değeri 1' e yakın olurken, R^2' ler tutarlılığın düşük olduğunu göstermiştir. Bu durumun aşılabilmesi için daha gelişmiş veri seti ile modelleme yapılması görüşü ortaya konmuştur. Yani oluşturulan model yapısının belli periyotlarda ve günlük yerine saatlik/dakikalık gibi daha sık aralıklı ve daha çok sayıda veri alınarak eğitme setine katılması ve aynı miktar eski verinin çıkartılması ile yeniden eğitilmesinin yararlı olacağı görüşü ortaya konmuştur.

YSA-2 modeli için yapılan karşılaştırmalarda pH parametresi için modelin salınımları izleyemediği sonucu ortaya konmuştur. Sıcaklık için ise genel dağılımda noktaların tahmininde modelin başarılı olduğu ortaya konmuştur. Debinin, YSA-1'de

olduğu gibi fazla değişime uğramaması sebebiyle başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. AKM, KOİ, BOİ'de modelin belli bir aralıkta sabitlenip salınımları izlemediği gözlenmiştir. Toplam N için model değerleri ölçülen değerlere yakın aralıkta gözlenirken, artma ve azalma eğilimlerinin her noktada aynı paralellikte olmadığı gözlenmiştir. Bu durumda model tahmin performansının düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Toplam P parametresinin tahmininde ise modelin tümünde yakın aralıkta eşlik etmemesi sebebiyle tahmin başarısının yetersiz olduğu sonucu ortaya konmuştur. YSA-2 modeline ait çıkış parametrelerinden pH, debi, sıcaklık, toplam azot için *a* değeri 1' e yakın olurken, AKM, KOİ, BOİ ve toplam fosfor için 1' e çok yakın değerler olmadığı görülmüştür. R^2' lere bakıldığında ise tutarlılığın düşük olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum ise YSA-1 modelinde de karşımıza çıkan durum olmakta ve orada da belirtildiği gibi eğitmenin daha gelişmiş veri setiyle yapılması önerisiyle giderilebilecek bir problem olarak ortaya konmuştur.

Standart sapma yüzdelerine göre model performansı açısından YSA-1 modeli için pH, debi, AKM, KOİ ve BOİ parametrelerinin tahmininde başarılı olduğu ortaya konmuştur. YSA-2 modelinde ise pH, debi, sıcaklık ve toplam fosfor için uygulanabilir sonuçlar elde edilirken AKM, KOİ, BOİ ve toplam azot için model performansının düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, YSA ile yapılan tahmin çalışmalarından, tesis çıkışında tek parametrenin tahmininin yapıldığı ve tesis bütünü üzerinde modelleme çalışmalarının yapıldığı çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilirken, literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak ortaya koyulan bu çalışmanın açıklanan üstünlüklerinin yanı sıra, veri seti kaynaklı yaşanan olumsuzluklar, farklı model kurgusu ve çoklu parametreli model çalışması olması dezavantaj olarak ortaya çıkmıştır. Burada, tahmin edilmek istenen parametreler için YSA-1 ve YSA-2 modellerinin ayrı ayrı kurgulanması ile model başarısının parametre bazında daha yüksek olacağı beklenmektedir. Bu çalışma ile bütün parametrelerinin aynı anda tahmin edilebilirliği mümkün olurken, çalışmanın uygulanabilirliği sonucu ortaya konmuştur. Bundan sonra yapılacak olan YSA model çalışmalarında, çoklu parametre tahmini yapılmasında model performansının arttırılabilmesi için:

- Öncelikli olarak eğitme setinde bulunan parametrelere ait verilerin, tesisin maksimum ve minimum değerlerini içermesine özen gösterilmeli ve verilerin daha sık aralıklarla toplanması sağlanarak veri sayısı arttırılmalıdır.

- Eğitme ve test setine ait verilerin ayrılmasında, veriler zaman sıralı yerine istatistiksel seçim kurallarına göre mevsimsel olarak gruplandırılarak seçilmelidir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, tek yıllık veri yerine minimum 2 yada 3 yıllık veri ile modelin çalıştırılması ve verilerin sistematik olarak yenilenmesidir. Sisteme ilave edilecek veride son bir ay sisteme eklenip, o aya ait eski verinin sistemden çıkarılması sağlanmalıdır.

- Model yapısında kontrollü değişikliklerle parametre tahmin performansının takip edilmesi ve hem a, hem de R^2' lerde aynı anda 1' e yakınlığın sağlanması için;

  - ✓ *mc değerinin* ve *iterasyon sayısının* sabit tutulması ile öğrenme oranının (*lr*) değiştirilmesi,

  - ✓ Diğer parametrelerin sabit tutulması ile momentum sabitinin (*mc*) değiştirilmesi,

  - ✓ Aktivasyon fonksiyonunu değiştirilmesi

  ile farklı varysyonlar denenmeli ve eğitme işlemi yeniden yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Açıkalın S., İleri R., Keleş R., 2005. "Adapazarı Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu Parametreleri ve Verim Değerlerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi", Sakarya Universitesi, Muh. Fak., Sakarya.

Anderson, D. ve McNeil, G., 1992. "Artificial Neural Networks Technology", Data & Analysis Center for Software.

Armbruster, M., Krebs P., and Rodi, W., 2001. "Numerical Modelling Of Dynamic Sludge Blanket Behaviour In Secondary Clarifiers", Wat. Sci. Technol. 43(11), 173-180.

Bongards, M., 2001. Improving The Efficiency Of A Wastewater Treatment Plant By Fuzzy Control And Neural Networks, Wat. Sci. Technol. 43(11), 189-196.

Caudill M., 1987. "Neural Networks Primer Part I", AI Expert.

Chang, C. N., Lin, J. G., Chao A. C. and Liu, C. S., 1996. "Modified Nernst Model For On-Line Control Of The Chemical Oxidation Decoloring Process", Wat. Sci. Technol. 34(3-4), 151-157.

Civelekoğlu, G., Yiğit, N.Ö., Kitis, M., 2006. "Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Performansının Yapak Zeka Yöntemleri İle Modellenmesi", 10. EKK Sempozyumu, 495-499.

Coşkuner, R. T., Güllü, G., Tuncel, G., 2003. "Yapay Sinir Ağları Metodunun İstanbul Şehri NO_x Seviyelerinin Tahmininde Kullanımı", ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü ODTÜ, 2. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, 137 - 144.

Çınar, Ö. 2005. "New tool for evaluation of performance of wastewater treatment plant: Artificial neural network", Process. Biochem., 40, 2980 - 2984.

Dağ, C. M., 2002. "Evsel Nitelikli Atıksular için Arıtma Prosesleri", Çevre Mühendisliği Uygulamaları, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara.

Djebbar, Y. and Narbaitz, R.M., 2002. "Neural Network Prediction of Air Stripping K_La", Journal of Environmental Engineering (ASCE), 128(5), 451-460.

Elmas, Ç., 2003. "Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)", Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Fausett, L., 1994. "Fundamentals of Neural Networks Architectures, Algorithms and Applications", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Freeman, J.A. and Skapura, D.M., 1991. "Neural Networks Algorithm", Applications and Programming Techniques, Addison-Wesley Publishing Company.

Gardner, M.W. ve Dorling, S.R., 2000. "Statistical Surface Ozone Models: An Improved methodology to Account For Non-Linear Behaviour", Atmos. Environ., 34, 21-34.

Gontarski, C.A., Rodrigues, P.R., Mori, M., and Prenem L.F., 2000. "Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural Networks", Comput. Chem. Eng., 24, 1719-1723.

Güler, M.O., 2004. "Yüksek Alüminalı Refrakterlerin Basma Mukavemetlerinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

Günerhan Ü., Akmaz U., Us E., Perendeci A. 2007. "Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Proses Kontrol Sistemleri ve Türkiye'deki Mevcut Durum", XV. Ulusal Biyoteknoloji Kongresi, 28-31 Ekim 2007, Antalya.

Häck, M. and Köhne, M. 1996. "Estimation of wastewater process parameters using artificial neural networks", Wat. Sci. Technol., 33(1), 101-115.

Hamed, M.M., Khalafallah, M.G., and Hassanien, E.A., 2004. "Prediction of wastewater treatment plant performance using artificial neural networks", Environ. Modell. Softw., 19, 919–928.

Hanselman, D. ve Littlefield, B., 2001. Mastering Matlab 6. Prentice Hall, New Jersey.

Haykin S., 1994. “Neural Networks : A Comprehensive Foundation”, Prentice Hall Int., Inc., New Jersey.

Hecht-Neilsen R., 1987. “Neurocomputing”, Addison-Wesley Pub. Comp., 48-49, Massachusetts.

Hertz J., Krogh A. and Palmer R. G., 1991. “Introduction To The Theory of Neural Computation”, Addison-Wesley Publishing Company ,Redwood City (CA), 10.

Hinton G. E., 1989. "Connectionist Learning Procedures", Artif. Intel., 40(1), 189.

Holubar, P., Zani, L., Hager, M., Froschl, W., Radak, Z., Braun, R., 2002. “Advanced controlling of anaerobic digestion by means of hierarchical neural networks”, Water Res, 36, 2582–2588.

Huang, Y.C., Wang, X.Z., 1999. “Application of fuzzy causal Networks to waste water treatment plants”, Chem. Eng. Sci., 54, 2731-2738.

İller Bankası, 2005. “İçmesuyu Arıtma Tesislerinin İşletme ve Bakımı”, İller Bankası Genel Müdürlüğü İçmesuyu Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Karul C., Soyupak S., Çilesiz, A.F., Akbay, N., Germen, E., 2000. “Case Studies On The Use Of Neural Networks In Eutrophication Modeling”, Ecol. Model., 134, 145-152.

Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi, 2005. “Atıksu Arıtma Tesisi 2005 Yılı İşletme Verileri”, Kayseri.

Ko, K.Y., Patry, G.G., Cretu, A.M. and Petriu, E.M., 2003. “Neural network model for wastewater treatment plant control”, SCIMA-International Workshop, Brigham Young University, Provo, Utah, USA, 38-43.

Kohonen T., 1988. "An Introduction to Neural Computing",Neural Networks, 1, 3-16.

Kohonen, T., 1987. ”State Of The Art In Neural Computing”, IEEE First International Conference on Neural Networks, 1, 79-90.

Lindberg, C. F. and Carlsson, B., 1996. “Nonlinear and Set-point Control of the Dissolved Oxygen Dynamics in an Activated Sludge Process,”Wat. Sci. Technol., 34, 135.

Linker. R., Seginer. I., ve Gutman, P.O., 1998. “Optimal CO_2 control in a greenhouse modeled with neural Networks”, Comput Electron Agr, 19, 289-310.

Maier H.R. and Dandy G.C., 2000. “Application of artificial neural networks to forecasting of surface water quality variables: issues, applications and challenges” in Artificial Neural Networks in Hydrology, edited by R.S. Govindaraju and A.R. Rao, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 287-309.

Mjalli, F.S., Al-Asheh, S., Alfadala, H.E., 2007. “Use of artificial neural network black-box modeling for the prediction of wastewater treatment plants performance”, J. Environ. Manage., 83, 329–338.

Metcalf & Eddy, 2003. “Wastewater Engineering: Treatment and Reuse”, New York, United States, Water Environment Federation.

Minsky, M.L. and Papert, S.S., 1969. Perceptrons, MA:MIT Press, Cambridge.

Moatar. F., Fessant, F., ve Poirel, A., 1999. “pH Modeling By Neural Networks, Applicaion Of Control And Validation Data Series In The Middle Loie River”, Ecol. Model., 120, 141-156.

Moral, H., 2005. Modeling of Activated Sludge Process by Using Artificial Neural Networks, Yüksek Lisans Tezi, Orta Dogu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Morgan, D.P., Scofield, C.L., Adcock, J.E., 1991. "Multiple neural network topologies applied to keyword spotting," International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP-91., 313-316.

Neilsen R., 1989. Neurocomputing, Addison-Wesley Pub. Comp., Massachusetts, 48-49.

Oliveira-Esquerre1, K.P. Mori, M. and Bruns, R.E., 2002. "Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural networks and principal components analysis", Braz. J. Chem. Eng., 19(04), 365-370.

Özbay Y., Ceylan R., Karlık B., 2006. "A fuzzy clustering neural network architecture for classification of ECG arrhytmias", Comput. Biol. Med. 36(4), 376-388.

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

Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U., 2006. "Atıksu Arıtımının Esasları Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü", Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Pai, T.Y., Tsai, Y.P., Loa, H.M., Tsai, C.H., Lin, C.Y., 2007. "Grey and neural network prediction of suspended solids and chemical oxygen demand in hospital wastewater treatment plant effluent", Comput. Chem. Eng., 31, 1272–1281.

Pintos, S., Queipo, N. V., Rincon, O.T., Rincon, A.,ve Morcillo, M., 2000. "Artificial Neural Network Modeling Of Atmospheric Corroison In The MICAT Project", Corros. Sci., 42, 35-52.

Raduly, B., Gernaey, K.V., Capodaglio, A.G., Mikkelsen, P.S., Henze, M., 2007. Artificial neural networks for rapid WWTP performance evaluation: Methodology and case study. Environ. Modell. Softw., 22, 1208-1216.

Reich S.L., Gomez D.R., Dawidowski L.E., 1999. "Artificial neural network for the identification of unknown air pollution sources" Atmos. Environ., 33, 3045-3052.

Rogers, L.L. and Dowla, F.U., 1994. "Optimization of groundwater remediation using artificial neural networks with parallel solute transport modeling", Water. Resour. Res., 30(2), 457-481.

Rolfs, T., Bornemann, C., Kolisch G. and Londong, J. Provision of Data For On-Line Simulation, 2001, Wat. Sci. Technol., 43(11), 215-222.

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and McClelland, J.L., 1986. “A General Fremework for Parallel Distributed Processing”, Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, MIT Press Cambridge, Massachusetts. (1), 47.

Sağıroğlu, S., Besdok, E., Erler, M., 2003. “Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları- I”, Yapay Sinir Ağları, Ufuk Yayıncılık, Kayseri.Samsunlu, A., , 2006. “Atık Suların Arıtılması”, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Saraç, T., 2004, ”Yapay Sinir Ağları, Basılmamış Seminer Projesi”, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Schalkof R. J., 1997. “Artificial Neural Networks”, The McGraw-Hill Companies, Inc., .62-63, New York.

Schutze M., Campisano A., Colas H., Schilling W., Vanrolleghem P. A., 2004. “Real time control of urban wastewater systems-where do we stand today?”, J. Hydrol., 299, 335-348.

Spall, J.C. and Criston, J.A., 1997. A Neural network controller for systems with unmodeled dynamics with applications to wastewater treatment, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 27(3), 369-375.

Topacık D., 2000. “Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme El Kitabı”, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSKİ Genel Müdürlüğü, İstanbul.

Toprak H., 2000. “Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları” D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.

Trippi R. R. and Turban E., 1996. Neural Network in Finance and Investing, Irwin Professional Pub., Chicago.

Tsoukalas, Lefteri H. and Robert E., 1997. “Fuzzy and Neural Approaches in Engineering” John Wiley & Sons, 587, New York.

Wen, C.H. and Vassiliadis, C.A., 1998. Applying hybrid artificial intelligence techniques in wastewater treatment, Eng. Appl. Artif. Intel., 11, 685-705.

Yang, C.-T. and Kao, J.J., 1996. “An Expert System For Selecting And Sequencing Wastewater Treatment Processes”, Wat. Sci. Technol. 34 (3-4), 347-353.

Zahedi, F., 1991. “An introduction to neural networks and a comparison with artificial intelligence and expert system”, Interfaces, 21(2), 25-38.

EKLER

EK.1. İki YSA modeli için 2 ila 23 arası işlem elemanı ait deneme sonuçları

YSA-1 modeli 1.deneme (tansig fonksiyonu için)

tansig	tansig	traingdx		tansig	logsig	Traingdx		tansig	radbas	traingdx		tansig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	Test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	44,372	43,998		2	9,7522	12,722		2	28,363	33,009		2	9,1075	11,108
3	8,6466	11,081		3	8,8031	12,314		3	8,923	11,033		3	8,4959	11,534
4	8,5506	12,706		4	8,7644	14,199		4	16,345	20,671		4	8,4998	13,776
5	8,1345	13,354		5	8,2045	15,228		5	8,4023	19,596		5	8,3357	11,576
6	8,0636	18,369		6	8,6093	10,87		6	7,9355	11,798		6	7,9693	14,117
7	8,6653	10,824		7	8,5697	13,395		7	7,7515	16,832		7	7,7558	16,021
8	8,0444	15,103		8	7,4671	13,016		8	7,7462	13,976		8	8,0673	13,964
9	7,6213	17,725		9	7,3112	19,022		9	8,0341	12,444		9	7,8774	17,826
10	7,5218	16,173		10	7,2899	15,922		10	7,559	19,004		10	7,4106	16,653
11	7,9339	16,128		11	7,1261	13,704		11	7,6872	15,844		11	7,747	18,943
12	7,1128	14,632		12	7,4023	14,164		12	7,1879	16,129		12	7,6576	13,594
13	7,4711	14,482		13	7,1647	16,869		13	7,2082	16,186		13	7,7544	17,122
14	7,3839	18,756		14	6,7595	19,096		14	7,1521	16,758		14	7,5968	19,395
15	7,1282	16,072		15	7,0344	18,21		15	7,2367	15,948		15	8,056	19,349
16	7,0987	18,837		16	6,5497	19,032		16	7,6716	31,646		16	7,3004	18,295
17	7,3382	15,889		17	6,6501	17,326		17	7,3035	15,955		17	7,732	19,245
18	7,3439	20,159		18	6,5423	17,571		18	7,2701	19,325		18	7,6223	25,603
19	7,0859	15,637		19	6,4485	15,715		19	7,5898	18,588		19	7,4034	19,539
20	7,0787	14,567		20	6,7065	18,5650		20	7,1064	18,138		20	7,2862	15,185
21	7,3441	20,07		21	6,3428	15,828		21	6,7965	18,806		21	7,4445	30,229
22	7,8415	17,59		22	6,2321	18,206		22	6,978	21,776		22	7,7002	25,227
23	7,2602	18,048		23	6,2282	15,466		23	7,7044	20,149		23	7,3364	19,574
min	7,0787	10,8237		min	6,2282	10,8703		min	6,7965	11,0325		min	7,2862	11,1084
ort	9,3201	17,2818		ort	7,3618	15,7473		ort	8,9069	18,3459		ort	7,8253	17,6307
max	44,3723	43,9982		max	9,7522	19,0959		max	28,3625	33,0088		max	9,1075	30,2291

YSA-1 modeli 1.deneme (logsig fonksiyonu için)

logsig	tansig	traingdx		logsig	logsig	traingdx		logsig	radbas	traingdx		logsig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	45,584	45,423		2	11,464	19,102		2	22,789	27,632		2	8,8321	10,797
3	9,1505	10,564		3	8,6944	11,72		3	9,1613	16,028		3	9,0839	12,044
4	8,9884	14,561		4	8,8133	14,507		4	17,162	19,341		4	9,2606	15,841
5	8,4817	12,147		5	8,0146	15,264		5	8,2974	17,109		5	8,1228	11,417
6	9,1215	16,356		6	8,7171	11,347		6	8,3159	13,174		6	8,3299	12,774
7	8,5506	17,299		7	8,5875	11,755		7	8,0508	15,469		7	8,2248	16,147
8	8,0825	12,823		8	7,6655	14,2		8	7,9699	12,573		8	7,8778	14,431
9	8,4946	11,558		9	7,3103	16,649		9	8,5257	12,044		9	8,4915	13,943
10	7,6794	15,39		10	7,1077	17,339		10	8,221	14,351		10	8,0159	14,039
11	8,1144	17,062		11	7,2214	13,896		11	8,2152	14,326		11	7,8617	15,331
12	7,5901	12,859		12	7,1805	13,66		12	8,0791	13,865		12	7,4469	12,976
13	8,0666	14,898		13	7,481	16,06		13	8,1653	15,623		13	7,5096	13,271
14	8,0127	14,723		14	6,9731	15,501		14	7,8647	15,809		14	7,7331	14,247
15	8,7494	14,362		15	7,5727	16,911		15	8,4509	17,878		15	7,7678	14,068
16	7,9499	13,919		16	6,6993	18,845		16	8,683	25,206		16	7,6204	13,401
17	7,7726	14,721		17	6,9517	17,379		17	7,9252	15,28		17	7,6336	17,994
18	7,9625	20,262		18	6,8854	13,981		18	7,8276	15,848		18	7,6596	18,69
19	7,6405	14,4		19	6,917	14,98		19	9,0597	19,913		19	7,5835	15,764
20	7,7186	14,34		20	6,867	13,7138		20	7,7961	15,872		20	7,4761	15,979
21	7,603	15,673		21	6,9775	15,219		21	7,4472	17,251		21	7,2611	18,029
22	7,8057	14,538		22	6,6438	14,654		22	7,6433	16,438		22	7,5331	16,145
23	7,6089	13,429		23	6,4119	15,786		23	8,3805	18,202		23	7,4832	14,347
min	7,5901	10,5635		min	6,4119	11,3469		min	7,4472	12,0435		min	7,2611	10,7965
ort	9,8513	15,9684		ort	7,5980	15,1122		ort	9,2741	16,7831		ort	7,9459	14,6216
max	45,5843	45,4229		max	11,4641	19,1022		max	22,7890	27,6324		max	9,2606	18,6903

YSA-1 modeli 1.deneme (radbas fonksiyonu için)

radbas	tansig	traingdx		radbas	logsig	traingdx		radbas	radbas	traingdx		radbas	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	11,543	14,03		2	21,05	21,093		2	20,658	29,775		2	8,7808	12,257
3	15,238	19,495		3	15,738	20,109		3	20,675	23,134		3	8,4386	10,525
4	9,006	13,138		4	8,5868	11,777		4	11,55	26,16		4	8,0487	16,146
5	7,9567	19,145		5	8,5804	15,086		5	8,6608	13,055		5	8,0619	17,457
6	8,3361	16,639		6	8,8238	12,045		6	9,2452	23,743		6	8,008	13,678
7	7,991	14,997		7	8,4626	14,812		7	8,6482	20,849		7	7,5673	12,919
8	7,9306	16,488		8	7,9308	14,353		8	7,8278	13,409		8	7,6769	13,636
9	7,4112	19,294		9	7,8558	16,917		9	10,287	26,212		9	7,2544	15,285
10	7,328	24,185		10	7,4715	14,583		10	7,5642	22,028		10	7,3351	16,444
11	7,7025	18,575		11	7,373	19,166		11	8,0005	22,075		11	7,5877	18,528
12	6,8496	22,884		12	6,7873	14,438		12	6,9469	16,286		12	6,9609	22,184
13	7,1018	16,513		13	6,59	17,314		13	7,8223	24,189		13	7,056	24,799
14	6,8063	20,588		14	7,0076	16,191		14	7,9345	21,854		14	7,017	15,079
15	6,7407	27,994		15	6,4975	22,447		15	8,6137	23,894		15	6,5222	21,918
16	6,8884	21,33		16	6,6706	17,187		16	10,251	26,261		16	6,4841	21,346
17	6,9752	22,815		17	6,9138	22,035		17	8,4077	21,881		17	6,6427	25,368
18	6,7447	24,554		18	6,3791	19,234		18	7,0242	19,536		18	6,382	23,613
19	6,4404	20,047		19	6,1834	19,767		19	6,5405	21,891		19	6,406	23,711
20	6,3592	17,377		20	6,2877	18,7896		20	6,7925	20,303		20	6,5763	16,882
21	6,1987	18,543		21	6,3744	16,904		21	7,7567	23,443		21	6,0045	22,383
22	5,9103	26,496		22	5,9247	23,433		22	6,9191	29,119		22	6,2681	29,046
23	6,0532	23,267		23	5,9686	20,637		23	7,122	20,346		23	6,104	25,317
min	5,9103	13,1380		min	5,9247	11,7773		min	6,5405	13,0549		min	6,0045	10,5250
ort	7,7051	19,9269		ort	8,1571	17,6509		ort	9,3294	22,2474		ort	7,1447	19,0236
max	15,2380	27,9942		max	21,0496	23,4334		max	20,6748	29,7751		max	8,7808	29,0463

YSA-1 modeli 1.deneme (purelin fonksiyonu için)

purelin	tansig	traingdx		purelin	logsig	traingdx		purelin	radbas	traingdx		purelin	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	10,432	12,845		2	11,455	14,54		2	9,9811	15,912		2	8,8925	10,322
3	8,9333	11,482		3	9,0172	10,722		3	20,123	19,779		3	8,6139	10,587
4	8,3472	10,908		4	8,4129	10,635		4	8,432	10,407		4	9,0111	11,038
5	8,2353	10,684		5	8,2426	10,502		5	9,8832	14,142		5	8,1167	10,203
6	8,2469	10,813		6	8,2473	10,283		6	8,3246	10,286		6	8,1833	10,128
7	8,3061	10,755		7	8,2494	10,281		7	8,2706	10,066		7	8,0898	9,9469
8	8,3317	10,526		8	8,2467	10,245		8	8,3179	10,258		8	8,3213	10,543
9	8,2204	10,809		9	8,4342	10,511		9	8,2696	10,173		9	8,1084	10,205
10	8,224	10,768		10	8,2476	10,293		10	8,4276	9,8449		10	8,1057	9,9337
11	8,9216	10,708		11	8,2476	10,295		11	8,2692	10,155		11	8,0889	9,9353
12	8,2232	10,773		12	8,2485	10,305		12	8,2735	10,172		12	8,0981	9,9627
13	8,4672	10,919		13	8,2475	10,295		13	8,2701	10,152		13	8,4279	9,9763
14	8,2259	10,792		14	8,246	10,303		14	8,2709	10,126		14	8,3848	10,095
15	8,2256	10,773		15	8,248	10,293		15	8,27	10,154		15	8,0896	9,9234
16	8,2232	10,774		16	8,2476	10,295		16	8,7435	10,083		16	8,0887	9,9316
17	8,2232	10,772		17	8,7365	10,054		17	8,377	10,722		17	8,2532	9,9175
18	8,2231	10,772		18	8,2452	10,311		18	8,27	10,151		18	8,0884	9,9325
19	8,2239	10,769		19	8,4033	10,358		19	8,2701	10,15		19	8,0883	9,9321
20	8,2233	10,772		20	8,2475	10,2945		20	8,3154	10,155		20	8,0885	9,9327
21	8,2234	10,774		21	8,2475	10,294		21	8,3787	10,426		21	8,2328	10,108
22	8,2233	10,772		22	8,4569	10,466		22	8,2976	10,206		22	8,0888	9,9339
23	8,2232	10,773		23	8,2476	10,294		23	8,2845	10,129		23	8,0884	9,9328
min	8,2204	10,5256		min	8,2426	10,0540		min	8,2692	9,8449		min	8,0883	9,9175
ort	8,4149	10,8969		ort	8,4828	10,5395		ort	9,0145	11,0749		ort	8,2522	10,1100
max	10,4324	12,8447		max	11,4547	14,5400		max	20,1229	19,7794		max	9,0111	11,0381

YSA-1 modeli 2.deneme (tansig fonksiyonu için)

tansig	tansig	traingdx	tansig	logsig	traingdx	tansig	radbas	traingdx	tansig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000	lr:0,1	mc:0,8	10000	lr:0,1	mc:0,8	10000	lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test	Düğüm	eğitme	test	Düğüm	eğitme	test	Düğüm	eğitme	test
2	10,1666	12,0985	2	22,6468	28,1519	2	22,7670	28,2443	2	8,9925	10,8850
3	10,8640	15,3818	3	8,9578	11,3295	3	8,5738	14,6081	3	8,9350	11,0418
4	8,6339	10,7190	4	8,6397	10,9596	4	8,5045	11,4580	4	8,3744	11,8086
5	8,5898	12,1057	5	8,5971	11,6990	5	8,2603	13,2133	5	7,7873	11,7319
6	8,3193	11,2151	6	8,2148	11,9772	6	8,9672	11,6837	6	7,6667	13,4245
7	7,9688	13,6595	7	8,0341	13,1151	7	16,3334	19,1363	7	7,8899	13,7746
8	7,6577	16,3155	8	7,3807	14,3360	8	8,1009	14,0640	8	7,6708	13,2692
9	7,8603	15,4389	9	7,4279	16,6496	9	7,7242	13,4498	9	7,7745	15,0109
10	7,9320	14,0829	10	7,4538	14,2730	10	7,9075	16,2198	10	8,1013	12,7247
11	7,7201	12,6474	11	7,5667	12,2499	11	7,8175	13,7896	11	8,0578	11,1442
12	7,5817	13,3639	12	7,1120	16,1062	12	7,5467	13,0402	12	7,5862	12,8581
13	7,4364	14,3988	13	7,4122	12,9891	13	7,4121	15,7595	13	7,4332	14,7505
14	7,2273	14,3746	14	6,7733	13,6706	14	7,9917	17,7038	14	7,3825	14,1069
15	7,3089	16,2541	15	7,0237	17,1704	15	7,5147	15,6699	15	7,8274	14,0903
16	6,9851	13,4066	16	6,7207	18,5372	16	7,9069	19,5067	16	7,4544	16,1901
17	7,5751	15,3135	17	6,8709	14,1534	17	7,3009	13,8778	17	7,7245	20,4728
18	6,9873	16,2568	18	6,6834	14,9442	18	7,6423	17,6672	18	7,2948	17,3669
19	7,1476	14,0509	19	6,5380	17,4026	19	7,2906	15,3271	19	7,4390	16,3075
20	7,2136	14,0260	20	6,8214	14,9614	20	6,9595	14,5212	20	7,6932	18,9113
21	6,8191	20,0775	21	6,5420	14,5984	21	6,7430	22,2261	21	7,2354	19,3698
22	6,8285	16,7020	22	6,5658	16,6237	22	6,9123	14,5906	22	7,2954	13,0112
23	7,0634	17,4112	23	6,4034	14,5388	23	8,1464	16,1241	23	7,2796	17,8849
min	6,8191	10,7190	min	6,4034	10,9596	min	6,7430	11,4580	min	7,2354	10,8850
ort	7,8130	14,5136	ort	8,0176	15,0199	ort	8,8329	15,9946	ort	7,7680	14,5516
max	10,8640	20,0775	max	22,6468	28,1519	max	22,7670	28,2443	max	8,9925	20,4728

YSA-1 modeli 2.deneme (logsig fonksiyonu için)

logsig	tansig	traingdx		logsig	logsig	traingdx		logsig	radbas	traingdx		logsig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	41,7233	41,5804		2	22,7031	28,3231		2	24,4554	27,6134		2	8,8673	10,6581
3	10,6567	15,9443		3	10,6639	13,9685		3	8,6961	14,0616		3	8,9504	10,7992
4	8,6384	10,4646		4	8,6476	11,0708		4	8,4040	12,1010		4	8,5029	10,3742
5	8,5080	12,3847		5	8,4734	12,6460		5	22,3164	28,3345		5	8,1887	10,9110
6	8,8452	10,7340		6	9,0280	14,3657		6	8,7862	12,6080		6	8,1688	13,5744
7	8,5009	14,8619		7	8,0780	14,7019		7	16,5114	18,9948		7	8,0498	14,5864
8	8,4765	11,7266		8	7,5269	12,9635		8	8,3817	12,1983		8	8,1085	10,2372
9	8,1301	12,8434		9	7,6047	12,6370		9	8,4745	11,8580		9	8,3381	12,2183
10	8,6995	12,7944		10	7,8242	15,1357		10	8,4825	14,0241		10	8,1823	10,2731
11	8,1185	10,6643		11	7,4515	13,8358		11	8,2360	10,8707		11	7,8812	11,0807
12	7,8995	12,6741		12	7,1360	13,9846		12	7,9145	12,0841		12	7,5824	12,8943
13	7,7459	13,9468		13	7,7375	13,7931		13	7,7617	15,1873		13	7,5475	13,7596
14	7,9409	12,4247		14	7,1133	12,0335		14	7,9582	13,7908		14	7,8513	13,6103
15	7,8199	13,8616		15	7,1687	16,0590		15	8,0142	14,1001		15	7,9026	13,2148
16	7,5858	15,9010		16	6,7555	14,5091		16	8,9650	19,3197		16	7,4061	13,3758
17	7,9287	14,0970		17	7,0855	13,6829		17	7,7943	13,3892		17	7,7541	13,7218
18	7,8494	13,4938		18	7,1667	13,6778		18	9,6139	23,0891		18	7,4366	13,2248
19	7,7394	14,8971		19	6,8696	14,2523		19	7,6654	16,0321		19	7,5805	15,8804
20	7,6480	11,9685		20	7,2473	13,2889		20	7,3468	12,4688		20	7,4470	11,7201
21	7,5463	15,3299		21	6,9334	13,7800		21	7,3179	17,5403		21	7,3278	19,4149
22	7,3927	14,2887		22	6,6751	16,3972		22	7,3125	14,4508		22	7,1547	14,2038
23	7,5586	15,7547		23	6,8216	14,5227		23	8,2411	17,1353		23	7,4650	16,8415
min	7,3927	10,4646		min	6,6751	11,0708		min	7,3125	10,8707		min	7,1547	10,2372
ort	9,6796	14,6653		ort	8,3051	14,5286		ort	9,9386	15,9660		ort	7,8952	13,0261
max	41,7233	41,5804		max	22,7031	28,3231		max	24,4554	28,3345		max	8,9504	19,4149

YSA-1 modeli 2.deneme (radbas fonksiyonu için)

radbas	tansig	traingdx		radbas	logsig	traingdx		radbas	radbas	traingdx		radbas	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	42,0727	42,0268		2	23,1458	27,9689		2	24,6524	27,2565		2	8,8100	12,5458
3	11,1174	13,7248		3	11,3321	14,2879		3	16,1914	26,8864		3	8,7792	10,7245
4	8,7884	10,4962		4	8,6985	14,4415		4	9,5051	14,0510		4	8,2822	12,8163
5	8,1717	15,0374		5	8,5576	11,4013		5	9,3716	17,7778		5	7,9046	11,2523
6	8,4569	11,7180		6	8,8479	10,3076		6	10,9316	16,7020		6	7,6050	11,6589
7	8,3345	14,2142		7	8,1712	13,7814		7	8,8960	13,9900		7	7,8343	12,1430
8	7,6867	16,2306		8	7,6593	16,7806		8	9,3717	18,4317		8	7,6051	15,6193
9	7,7890	13,9839		9	8,0586	12,4644		9	10,7336	24,4437		9	7,5643	19,8315
10	7,5419	16,1658		10	7,7382	14,8913		10	9,1442	21,3355		10	7,7395	12,7447
11	7,1944	14,9870		11	7,7227	11,9002		11	8,0769	14,1133		11	7,0943	16,9242
12	7,4524	14,9030		12	7,3339	15,9022		12	7,2203	16,0660		12	7,2072	15,4111
13	7,1019	17,0215		13	7,1344	15,6315		13	7,8468	17,9956		13	6,9965	16,1930
14	6,9042	15,8384		14	6,9255	11,9900		14	7,9221	21,9125		14	6,8910	16,2316
15	7,0749	15,8132		15	6,8770	16,1483		15	10,4485	34,1046		15	6,9899	24,1119
16	6,7683	18,6130		16	6,6896	18,3427		16	8,1849	21,6364		16	6,7238	16,8356
17	7,0070	17,8919		17	6,8861	14,9423		17	8,4104	24,6283		17	6,6728	15,3611
18	6,7169	17,8562		18	6,6262	17,0543		18	6,9804	21,7750		18	6,6523	20,2191
19	6,4564	18,6305		19	6,8338	14,4733		19	10,4108	25,7654		19	6,7020	15,1257
20	6,4077	18,5257		20	6,7948	16,4480		20	6,9232	20,2314		20	6,8088	21,7633
21	6,8652	20,3616		21	6,7811	17,3224		21	9,1029	29,8515		21	6,1921	23,1020
22	6,4487	19,8972		22	6,2318	18,4623		22	8,0962	19,2425		22	6,2400	18,9856
23	6,4398	25,4285		23	6,4371	18,2268		23	7,2519	20,7984		23	6,1259	20,3679
min	6,4077	10,4962		min	6,2318	10,3076		min	6,9232	13,9900		min	6,1259	10,7245
ort	9,0362	17,6984		ort	8,2492	15,5986		ort	9,8033	21,3180		ort	7,2464	16,3622
max	42,0727	42,0268		max	23,1458	27,9689		max	24,6524	34,1046		max	8,8100	24,1119

YSA-1 modeli 2.deneme (purelin fonksiyonu için)

purelin	tansig	traingdx	purelin	logsig	traingdx	purelin	radbas	traingdx	purelin	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000	lr:0,1	mc:0,8	10000	lr:0,1	mc:0,8	10000	lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test	Düğüm	eğitme	test	Düğüm	eğitme	test	Düğüm	eğitme	test
2	15,8136	19,8078	2	14,3821	16,3728	2	33,4913	31,1230	2	9,3338	10,7253
3	8,7099	10,6970	3	8,9284	10,2016	3	8,6761	10,0562	3	8,7912	10,1073
4	8,4345	10,2874	4	8,3184	9,7667	4	8,4897	9,8729	4	8,2972	9,6348
5	8,3519	10,0929	5	8,3723	9,6222	5	11,4892	15,4152	5	8,6194	10,0177
6	8,3512	10,0474	6	8,3683	9,6306	6	8,4012	9,5217	6	8,2265	9,3527
7	9,0234	10,0939	7	8,3669	9,6316	7	8,3907	9,5335	7	8,7128	9,4653
8	8,3496	10,0576	8	8,3669	9,6310	8	8,3918	9,5271	8	8,2169	9,3255
9	8,3495	10,0514	9	8,3669	9,6309	9	8,3910	9,5328	9	8,2166	9,3286
10	8,3495	10,0517	10	8,3535	9,6509	10	8,3914	9,5337	10	8,2167	9,3300
11	8,3496	10,0511	11	8,3669	9,6306	11	8,4245	9,4644	11	8,8952	9,6236
12	8,3611	10,0483	12	8,3668	9,6301	12	16,7576	15,6279	12	8,2167	9,3292
13	8,3491	10,0518	13	8,3668	9,6310	13	8,3907	9,5365	13	8,2167	9,3300
14	8,3486	10,0518	14	8,3669	9,6304	14	8,3911	9,5326	14	8,2166	9,3295
15	8,3498	10,0515	15	8,3669	9,6298	15	8,4378	9,6047	15	8,2167	9,3300
16	8,3494	10,0519	16	8,5565	9,4281	16	8,3909	9,5336	16	8,2167	9,3301
17	8,3496	10,0517	17	8,8384	9,5298	17	8,3914	9,5328	17	8,2161	9,3313
18	9,2616	10,4993	18	8,3669	9,6310	18	8,3913	9,5322	18	8,2154	9,3257
19	8,3495	10,0519	19	8,3684	9,6245	19	8,3911	9,5327	19	8,2155	9,4160
20	8,3533	10,0485	20	8,3666	9,6321	20	8,3899	9,5338	20	8,2166	9,3300
21	8,3495	10,0519	21	8,3690	9,6234	21	8,6385	10,2746	21	8,2168	9,3296
22	8,3495	10,0517	22	8,3684	9,6292	22	8,3813	9,5668	22	8,2168	9,3299
23	9,2387	10,5577	23	8,3667	9,6304	23	8,4106	9,4723	23	8,2166	9,3300
min	8,3486	10,0474	min	8,3184	9,4281	min	8,3813	9,4644	min	8,2154	9,3255
ort	8,8224	10,5821	ort	8,6936	9,9554	ort	10,0863	11,1300	ort	8,3693	9,4978
max	15,8136	19,8078	max	14,3821	16,3728	max	33,4913	31,1230	max	9,3338	10,7253

YSA-2 modeli 1.deneme (tansig fonksiyonu için)

tansig	tansig	traingdx		tansig	logsig	traingdx		tansig	radbas	traingdx		tansig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	22,5999	35,8851		2	30,3195	36,3864		2	17,1810	25,3956		2	9,9249	21,6550
3	8,7784	19,5228		3	14,9711	23,6806		3	17,8391	25,3677		3	8,4350	19,9126
4	10,0286	20,1108		4	8,8480	20,2217		4	8,7285	20,3947		4	8,8157	19,7308
5	10,1250	22,2356		5	8,2584	20,8485		5	8,2518	20,3526		5	8,4011	19,9170
6	8,6863	20,9563		6	7,9501	20,9889		6	14,7527	22,1761		6	8,5023	21,4945
7	8,3624	24,3485		7	7,3853	24,3246		7	8,0081	20,1386		7	7,9995	23,7840
8	8,8002	23,2339		8	7,2864	20,0644		8	7,6353	22,8755		8	8,4932	25,1992
9	7,8124	27,4204		9	7,0721	22,5331		9	7,7492	22,5178		9	8,0047	20,5678
10	7,7905	28,2260		10	6,6257	25,8225		10	7,7937	21,0139		10	7,8580	28,2727
11	7,8306	22,8718		11	6,5333	22,6033		11	7,2896	22,2780		11	8,1172	21,4066
12	7,8851	27,2625		12	7,0859	19,7386		12	7,2198	22,4557		12	8,1770	22,8213
13	7,9056	20,3435		13	6,8048	22,7852		13	7,6838	22,2528		13	7,8981	20,5443
14	7,6460	25,0492		14	6,9156	19,9883		14	6,9968	23,3325		14	7,8695	23,6404
15	7,5399	24,5357		15	6,3080	21,9171		15	6,8319	25,3155		15	7,7992	24,6275
16	7,0859	26,4752		16	5,9800	24,8970		16	8,2113	22,2019		16	7,8344	26,6335
17	7,5699	27,2884		17	6,2700	22,0445		17	6,7295	21,0865		17	8,0922	25,0475
18	7,5767	19,5808		18	6,0679	21,5539		18	6,8498	23,9133		18	8,2606	20,5081
19	7,0637	28,8796		19	6,0206	23,7421		19	7,0356	25,1480		19	7,8785	22,6969
20	7,3193	25,2923		20	5,9220	25,4979		20	6,5370	23,0962		20	7,5403	25,5132
21	7,4175	24,5553		21	6,2732	21,0845		21	6,4725	21,7799		21	8,2570	29,9920
22	7,1565	27,5386		22	6,0067	25,3685		22	6,8164	22,1280		22	7,0639	31,0435
23	7,5700	26,4239		23	5,9055	22,3521		23	7,0613	20,1267		23	8,1668	20,0623
min	7,0637	19,5228		min	5,9055	19,7386		min	6,4725	20,1267		min	7,0639	19,7308
ort	8,6614	24,9107		ort	8,2186	23,1111		ort	8,6216	22,5158		ort	8,1541	23,4123
max	22,5999	35,8851		max	30,3195	36,3864		max	17,8391	25,3956		max	9,9249	31,0435

YSA-2 modeli 1.deneme (logsig fonksiyonu için)

logsig	tansig	traingdx		logsig	logsig	traingdx		logsig	radbas	traingdx		logsig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	45,5549	45,1066		2	30,7935	41,8431		2	16,9402	26,3066		2	8,8345	19,8064
3	10,8208	23,9333		3	8,8290	21,0790		3	16,2078	25,2521		3	8,7629	20,1602
4	10,3603	23,3172		4	8,8860	20,6926		4	8,7857	20,3896		4	8,2986	22,3042
5	10,0356	20,1770		5	7,8418	23,7001		5	10,9395	25,9005		5	8,4459	20,0203
6	9,3462	21,1302		6	7,6395	20,8831		6	15,5002	23,9875		6	8,8312	19,6992
7	8,8435	23,3168		7	7,4813	21,1413		7	8,3390	21,3733		7	8,0670	21,4048
8	9,2801	22,5747		8	7,6154	18,8288		8	8,6064	20,9892		8	7,8392	28,6090
9	8,6844	20,6211		9	6,8328	24,3716		9	8,7591	25,4263		9	8,0727	22,5586
10	8,8954	21,6634		10	7,2039	20,9249		10	8,1448	22,1803		10	8,1793	22,0845
11	8,5208	19,7785		11	6,7024	20,4265		11	7,9381	19,1754		11	8,0974	20,5342
12	8,5646	22,6466		12	6,7288	21,4879		12	8,1329	20,8587		12	8,0937	21,3090
13	8,4033	23,1935		13	8,4909	25,9223		13	7,8018	21,8596		13	8,1809	25,0275
14	8,9200	21,9151		14	6,7196	26,7437		14	7,9745	19,6607		14	8,3997	20,4785
15	8,0990	23,9580		15	6,7393	20,2861		15	7,9428	23,3429		15	7,9773	22,4836
16	8,3306	21,2010		16	6,0001	23,9681		16	8,5819	20,8800		16	7,7576	24,0769
17	8,2135	23,7809		17	6,5487	24,5303		17	7,9100	20,3271		17	8,2381	20,8946
18	8,5005	22,1675		18	6,7674	22,8711		18	7,7475	19,1034		18	8,1922	21,5963
19	7,8064	24,0614		19	6,2253	23,7601		19	7,8475	24,0175		19	7,8779	23,0350
20	8,2254	22,4145		20	6,3948	20,1324		20	7,3793	20,7593		20	8,0471	23,5468
21	8,3292	23,5133		21	6,5660	19,2105		21	7,7307	22,5931		21	8,2082	22,2935
22	7,6662	24,0323		22	6,2310	21,8984		22	7,8717	22,4302		22	7,6574	26,3969
23	8,3815	22,1199		23	6,1335	22,2058		23	7,6186	18,5098		23	8,2678	22,5567
min	7,6662	19,7785		min	6,0001	18,8288		min	7,3793	18,5098		min	7,6574	19,6992
ort	10,4446	23,4829		ort	8,1532	23,0413		ort	9,3045	22,0601		ort	8,1967	22,3126
max	45,5549	45,1066		max	30,7935	41,8431		max	16,9402	26,3066		max	8,8345	28,6090

YSA-2 modeli 1.deneme (radbas fonksiyonu için)

radbas	tansig	traingdx		radbas	logsig	traingdx		radbas	radbas	traingdx		radbas	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	52,3473	62,7044		2	28,9060	46,2533		2	21,2597	26,5269		2	10,2937	21,9896
3	13,8636	29,2245		3	21,2058	31,6578		3	16,3650	26,6499		3	8,8831	18,6148
4	11,0021	22,4906		4	10,5257	20,5327		4	10,8542	24,0515		4	8,5476	21,2357
5	9,7245	20,9903		5	10,2525	23,8410		5	12,2709	24,0092		5	8,6050	19,5641
6	9,8063	19,8877		6	9,3362	18,9431		6	8,8614	22,0647		6	7,8441	23,5655
7	8,1376	23,3307		7	8,2485	23,9890		7	9,2636	28,1051		7	7,7657	25,8989
8	8,5546	25,5757		8	7,9336	20,3767		8	8,5125	25,7517		8	8,4137	19,9927
9	8,2017	30,9394		9	7,7375	22,3560		9	8,5063	24,5417		9	7,2566	38,0355
10	8,0124	25,7667		10	8,7198	19,2623		10	13,5528	26,2542		10	8,1816	21,4746
11	8,1823	23,9495		11	7,9369	22,1649		11	8,1144	22,6267		11	7,8515	22,1142
12	7,7317	29,3756		12	7,1941	22,1237		12	9,6835	29,3508		12	6,8648	30,3692
13	7,6319	23,0460		13	6,9697	24,9627		13	11,7061	34,9407		13	7,2413	29,9273
14	7,2700	25,7496		14	7,0850	24,8152		14	9,8273	27,3710		14	6,9800	25,8766
15	7,4280	25,4173		15	6,7262	19,0224		15	7,8451	23,5842		15	6,8888	27,4547
16	6,8713	29,6179		16	6,3171	25,3039		16	8,5331	25,6911		16	7,2399	20,5376
17	7,2266	29,3565		17	6,7815	17,7216		17	7,9028	28,3050		17	6,7982	27,8755
18	7,1772	25,4275		18	6,5992	21,4504		18	8,3308	30,3445		18	6,9342	23,5807
19	7,6649	22,7875		19	7,0169	19,6165		19	7,7455	23,7000		19	7,0672	26,0722
20	7,0948	26,3812		20	6,4341	24,6225		20	6,9436	24,3098		20	6,9023	37,1488
21	6,9679	29,2676		21	6,0566	21,7129		21	7,2867	29,9660		21	6,3407	21,4264
22	6,4097	31,6525		22	6,0319	25,3688		22	6,7466	25,5111		22	6,6465	31,0926
23	6,7468	24,9068		23	6,2262	24,6237		23	6,6424	26,0600		23	7,1826	28,4742
min	6,4097	19,8877		min	6,0319	17,7216		min	6,6424	22,0647		min	6,3407	18,6148
ort	10,1842	27,6293		ort	9,1019	23,6691		ort	9,8525	26,3507		ort	7,5786	25,5601
max	52,3473	62,7044		max	28,9060	46,2533		max	21,2597	34,9407		max	10,2937	38,0355

YSA-2 modeli 1.deneme YSA (purelin fonksiyonu için)

purelin	tansig	traingdx		purelin	logsig	traingdx		purelin	radbas	traingdx		purelin	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	23,4169	34,6139		2	30,5250	35,6073		2	25,4658	27,9092		2	9,9940	18,4338
3	15,5224	25,6530		3	13,0690	24,4796		3	21,1686	23,4053		3	9,9870	18,1069
4	9,6212	20,5249		4	13,0012	24,4435		4	13,6513	18,3374		4	9,4998	17,9787
5	9,6416	20,5124		5	10,9543	21,5283		5	13,1290	24,2552		5	9,4197	17,9506
6	9,3073	20,4544		6	9,2052	17,5599		6	10,6489	20,8946		6	9,3743	18,1991
7	9,2715	21,2318		7	9,0067	18,0259		7	9,5410	18,5424		7	9,3410	18,1723
8	9,2501	21,1334		8	8,9414	17,8393		8	13,1999	17,9214		8	9,3451	18,0725
9	9,2564	21,2012		9	8,9266	17,7322		9	13,1928	18,1540		9	9,5387	18,5912
10	9,4670	21,7618		10	8,9281	17,8093		10	9,1237	17,3260		10	9,3498	18,1745
11	9,2687	21,3362		11	8,9257	17,7768		11	9,0910	17,4502		11	9,3431	18,1885
12	9,3298	21,1678		12	8,9283	17,7375		12	12,9880	19,6979		12	9,3356	18,1754
13	9,2301	21,0670		13	8,9266	17,7446		13	9,1149	17,4530		13	9,6032	18,1345
14	9,2290	21,0991		14	8,9408	17,7977		14	9,1256	17,4962		14	9,3507	18,2167
15	9,2464	21,0916		15	8,9258	17,7589		15	9,1195	17,4702		15	9,3425	18,1435
16	9,2257	21,1219		16	8,9705	17,7112		16	9,5080	18,6371		16	9,3368	18,1624
17	9,6993	20,8193		17	8,9685	17,8953		17	9,1204	17,4626		17	9,5547	18,1091
18	9,2306	21,0996		18	8,9284	17,7563		18	9,1206	17,4640		18	9,3339	18,1644
19	9,2295	21,1001		19	8,9248	17,7508		19	9,5660	18,4492		19	9,3396	18,1407
20	9,2299	21,1050		20	8,9262	17,7547		20	9,5973	18,3787		20	9,3357	18,2537
21	9,2353	21,0890		21	8,9262	17,7533		21	9,3194	17,6759		21	9,3415	18,1534
22	9,2305	21,0946		22	8,9443	17,7797		22	9,1211	17,4575		22	9,3378	18,1590
23	9,2305	21,0969		23	8,9190	17,7901		23	9,1208	17,4649		23	9,5279	18,7691
min	9,2257	20,4544		min	8,9190	17,5599		min	9,0910	17,3260		min	9,3339	17,9506
ort	10,2441	21,8807		ort	10,3960	19,3651		ort	11,5015	19,0592		ort	9,4515	18,2023
max	23,4169	34,6139		max	30,5250	35,6073		max	25,4658	27,9092		max	9,9940	18,7691

YSA-2 modeli 2.deneme (tansig fonksiyonu için)

tansig	tansig	traingdx		tansig	logsig	traingdx		tansig	radbas	traingdx		tansig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	22,4200	28,4433		2	22,1308	31,7195		2	17,6386	34,1009		2	9,3449	17,7226
3	9,7882	17,3853		3	20,1562	22,0872		3	20,0035	20,9831		3	8,6428	17,5839
4	9,3273	17,0018		4	10,3312	18,5365		4	9,9988	16,8864		4	8,6663	19,1179
5	8,8629	22,3890		5	8,1862	19,0620		5	8,7892	19,7590		5	8,3998	19,7583
6	8,6537	19,3583		6	8,4029	20,7058		6	8,8825	17,7034		6	8,6040	20,9925
7	8,6537	19,3583		7	8,1851	21,5288		7	9,3360	23,2883		7	8,5406	19,7652
8	7,6261	21,2011		8	7,8140	19,9957		8	7,9660	20,2408		8	7,7778	22,0104
9	8,0081	19,7015		9	7,2616	19,8156		9	7,7698	19,4430		9	8,0902	18,3565
10	7,7039	20,8578		10	7,1009	20,6351		10	7,9497	19,2255		10	8,1144	21,7051
11	7,6951	20,1503		11	7,2245	21,5217		11	7,8715	20,9181		11	8,2295	19,8647
12	7,9601	17,4942		12	7,2491	19,2524		12	8,1065	21,8829		12	8,1399	22,2526
13	7,7279	20,1240		13	7,1002	19,4784		13	7,6275	19,3604		13	7,8759	22,1995
14	7,5892	20,8603		14	7,1260	19,8178		14	7,5365	19,2554		14	7,9964	21,8015
15	7,1769	20,3875		15	6,9596	20,4634		15	7,1611	20,2693		15	7,8945	21,2178
16	7,5127	21,4829		16	6,5946	20,0932		16	7,3191	18,5270		16	7,8728	18,9596
17	7,4979	19,8951		17	6,8683	18,8122		17	7,3688	18,4490		17	7,7032	19,4187
18	7,4560	21,6237		18	6,4404	18,7256		18	7,2159	18,0742		18	7,7684	21,4755
19	7,1859	19,9612		19	6,7158	20,9809		19	6,9441	20,7252		19	7,5411	20,4225
20	7,5119	19,3746		20	6,4347	22,9281		20	7,3444	18,5426		20	7,9906	21,1597
21	7,5884	21,2380		21	5,8907	20,9470		21	7,4278	27,3043		21	7,5177	19,5771
22	7,0298	20,9794		22	6,2000	21,6538		22	6,5960	19,7441		22	7,3297	20,0215
23	7,2566	20,1228		23	6,3171	20,5714		23	6,5753	20,8724		23	7,7761	22,3411
min	7,0298	17,0018		min	5,8907	18,5365		min	6,5753	16,8864		min	7,3297	17,5839
ort	8,5560	20,4268		ort	8,4859	20,8787		ort	8,7922	20,7071		ort	8,0826	20,3511
max	22,4200	28,4433		max	22,1308	31,7195		max	20,0035	34,1009		max	9,3449	22,3411

YSA-2 modeli 2.deneme (logsig fonksiyonu için)

logsig	tansig	traingdx		logsig	logsig	traingdx		logsig	radbas	traingdx		logsig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	23,2271	29,4811		2	21,3705	29,1666		2	26,5821	29,3928		2	9,3700	17,1061
3	10,4731	19,1328		3	20,1579	20,7913		3	20,4146	24,4759		3	8,6889	17,6032
4	10,0340	18,1607		4	9,2467	18,6303		4	10,5862	18,0649		4	8,6224	21,1218
5	9,8067	20,7499		5	8,2409	18,6857		5	8,9143	18,9417		5	8,9168	19,6165
6	9,5120	19,9130		6	8,1636	19,4645		6	10,5532	20,5193		6	8,6539	19,1104
7	9,1506	19,3127		7	8,4196	20,0912		7	9,2202	18,1371		7	8,3274	18,5947
8	8,5908	21,4895		8	7,9514	19,5010		8	8,7270	18,4271		8	8,0247	21,6098
9	8,8300	18,8292		9	7,3649	19,5238		9	8,7369	17,3381		9	8,3718	18,6762
10	9,4181	18,6826		10	7,5077	20,0827		10	8,0667	18,4304		10	8,7970	17,2028
11	8,4772	17,3454		11	7,5603	19,7800		11	8,1601	18,4087		11	8,3662	18,5574
12	8,5564	17,3537		12	7,8549	19,1303		12	8,5772	23,3688		12	8,3801	17,5319
13	8,3886	20,8439		13	7,3475	19,1739		13	8,3573	18,1220		13	8,3519	19,9344
14	8,2048	19,1031		14	7,1773	19,4838		14	8,3986	18,6318		14	8,2266	18,9812
15	8,2963	19,8068		15	7,2882	21,5892		15	8,0078	19,4893		15	7,8768	19,4134
16	8,4079	19,2262		16	6,7818	17,9615		16	8,1838	18,4251		16	8,1607	18,4525
17	8,2615	17,9743		17	6,9528	19,1919		17	8,1902	17,4542		17	8,1370	17,6673
18	8,0767	20,9606		18	6,9020	20,0057		18	7,9560	19,0348		18	8,0611	19,3953
19	7,8912	19,0949		19	6,8176	20,6293		19	7,8594	20,2182		19	7,5348	19,6775
20	8,2121	19,1384		20	6,8610	20,2855		20	8,1971	17,4576		20	8,2013	17,2850
21	8,0527	20,1880		21	6,5999	19,7666		21	8,4072	23,4195		21	7,9277	18,7008
22	7,8427	18,2163		22	6,4330	19,9314		22	7,7755	18,5321		22	7,7559	18,7986
23	7,9462	18,4768		23	6,5168	19,5016		23	7,5157	19,6442		23	7,9650	18,6220
min	7,8427	17,3454		min	6,4330	17,9615		min	7,5157	17,3381		min	7,5348	17,1061
ort	9,3480	19,7036		ort	8,6144	20,1076		ort	9,8812	19,8152		ort	8,3054	18,8027
max	23,2271	29,4811		max	21,3705	29,1666		max	26,5821	29,3928		max	9,3700	21,6098

YSA-2 modeli 2.deneme (radbas fonksiyonu için)

radbas	tansig	traingdx		radbas	logsig	traingdx		radbas	radbas	traingdx		radbas	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	23,9381	34,2548		2	24,2908	28,2402		2	17,1579	34,2347		2	9,2687	17,3038
3	14,5056	27,0476		3	18,6951	30,0095		3	17,5080	25,6428		3	9,1096	19,0130
4	10,3317	17,9194		4	19,8845	23,4694		4	19,1998	21,3906		4	8,9262	16,9343
5	9,3785	17,2132		5	9,7238	15,6505		5	12,0753	24,8511		5	8,6182	22,3343
6	8,8809	19,2660		6	8,4124	18,9704		6	13,3484	29,0364		6	8,3526	21,0283
7	8,5822	18,8482		7	8,8590	19,2518		7	11,0763	36,6681		7	8,0324	20,2025
8	8,0953	19,7500		8	8,1214	20,6558		8	8,2870	23,0452		8	7,5200	22,9204
9	7,6748	18,5402		9	7,8710	18,3663		9	8,6262	24,6026		9	7,9198	23,0341
10	8,4722	20,3713		10	7,6562	20,6008		10	8,9464	26,7693		10	7,8129	22,7956
11	7,5543	18,5630		11	7,9858	20,4868		11	7,6618	18,6981		11	7,1176	22,3289
12	8,3223	21,3408		12	7,2201	20,2462		12	8,9272	23,6958		12	7,5050	22,8656
13	7,4341	20,3729		13	7,3019	19,7628		13	8,0379	24,6094		13	7,3165	21,6571
14	7,4448	20,4634		14	7,0002	22,4083		14	8,4028	26,1769		14	7,9103	20,7827
15	7,5500	20,8284		15	6,7848	20,6022		15	8,5396	22,9906		15	7,1663	21,3500
16	6,8023	19,8805		16	6,6131	19,9345		16	7,9111	21,7450		16	6,8719	23,0170
17	7,1008	24,2356		17	6,9776	20,6581		17	7,3218	23,7128		17	7,0708	20,0973
18	6,9958	22,5745		18	6,2139	22,2190		18	7,7795	25,9243		18	6,8739	24,2819
19	7,0881	20,6588		19	6,3782	19,6873		19	7,1601	25,6858		19	6,7381	24,5272
20	7,4902	20,3798		20	6,3761	22,7024		20	7,8494	23,6712		20	6,7895	22,8261
21	7,0102	28,2046		21	5,9823	25,8372		21	8,0131	31,8456		21	6,6102	23,0218
22	6,4902	21,4538		22	5,9135	20,3205		22	8,2530	28,6899		22	6,4735	20,7306
23	6,7918	23,5218		23	5,4998	22,8330		23	6,5416	26,4510		23	6,7161	23,7780
min	6,4902	17,2132		min	5,4998	15,6505		min	6,5416	18,6981		min	6,4735	16,9343
ort	8,8152	21,6222		ort	9,0801	21,4960		ort	9,9375	25,9153		ort	7,5782	21,6741
max	23,9381	34,2548		max	24,2908	30,0095		max	19,1998	36,6681		max	9,2687	24,5272

YSA-2 modeli 2.deneme (purelin fonksiyonu için)

purelin	tansig	traingdx		purelin	logsig	traingdx		purelin	radbas	traingdx		purelin	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	23,1010	29,8534		2	20,5770	20,2589		2	24,4039	26,3258		2	9,7997	16,2323
3	9,9293	17,0689		3	14,5542	27,7788		3	16,7870	24,1046		3	9,4754	16,6232
4	9,2321	15,9645		4	16,8561	18,3337		4	16,8717	19,1366		4	9,2671	16,9689
5	9,0730	16,5144		5	9,3053	16,7309		5	9,6478	16,1815		5	9,0927	16,9920
6	9,1686	16,4963		6	9,0739	16,7245		6	9,1198	16,7045		6	9,0148	16,8109
7	8,9897	16,5167		7	9,0607	16,2042		7	9,1617	16,8980		7	9,0329	16,4020
8	8,9753	16,1173		8	9,0576	16,2425		8	12,3119	22,1608		8	9,0306	16,3151
9	8,9132	16,2931		9	9,0647	16,2064		9	9,1085	16,5210		9	9,5857	16,3495
10	8,9584	16,1219		10	9,0611	16,2260		10	9,1150	16,7623		10	9,0354	16,7566
11	8,9613	16,1860		11	9,0611	16,2264		11	9,0956	16,5952		11	9,0222	16,4992
12	8,9607	16,1393		12	9,0612	16,2296		12	9,1034	16,6188		12	9,0363	16,4904
13	8,9635	16,1884		13	9,0807	16,3822		13	9,1005	16,5388		13	9,0202	16,4763
14	9,1348	16,4755		14	9,0645	16,1803		14	9,1289	16,7308		14	9,0620	16,6651
15	8,9613	16,1463		15	9,1050	16,1112		15	9,3465	16,9430		15	9,0231	16,4944
16	9,1552	16,1551		16	9,0878	16,7867		16	9,1003	16,5102		16	9,3241	16,2720
17	8,9614	16,1455		17	9,0611	16,2268		17	9,1204	16,7558		17	9,0243	16,4956
18	8,9621	16,1457		18	9,0735	16,1844		18	9,1012	16,5355		18	8,9874	16,6716
19	9,0440	16,4483		19	9,0612	16,2271		19	9,2031	16,3307		19	9,0214	16,4010
20	8,9613	16,1455		20	9,0613	16,2251		20	9,1011	16,5366		20	9,7382	16,7971
21	9,0548	16,4372		21	9,0611	16,2266		21	9,1013	16,5356		21	9,0491	16,7537
22	9,3360	16,9097		22	9,0776	16,1761		22	9,1013	16,5361		22	9,0211	16,4908
23	8,9599	16,1372		23	9,0611	16,2267		23	9,1013	16,5353		23	9,0214	16,4911
min	8,9132	15,9645		min	9,0576	16,1112		min	9,0956	16,1815		min	8,9874	16,2323
ort	9,7162	16,9366		ort	10,2058	17,0961		ort	10,6924	17,7499		ort	9,1675	16,5659
max	23,1010	29,8534		max	20,5770	27,7788		max	24,4039	26,3258		max	9,7997	16,9920

YSA-2 modeli 3.deneme (tansig fonksiyonu için)

tansig	tansig	traingdx		tansig	logsig	traingdx		tansig	radbas	traingdx		tansig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	23,7182	36,3563		2	27,4013	26,5075		2	33,6928	35,9489		2	8,8202	18,1997
3	11,6463	23,3030		3	9,2890	17,0153		3	19,1183	28,7146		3	8,5497	18,4067
4	8,4601	20,4709		4	8,7223	21,4621		4	8,9623	18,0778		4	8,0599	18,9569
5	8,7604	18,3396		5	7,9236	19,7059		5	8,4833	18,8460		5	8,2384	19,9072
6	8,6011	18,0314		6	8,4819	19,1302		6	16,4990	22,0404		6	8,4332	18,4594
7	8,2204	19,2862		7	8,1838	18,0303		7	8,0661	19,1355		7	7,9529	20,3227
8	8,2998	22,6153		8	7,7010	23,1261		8	7,9664	20,3863		8	8,1173	18,6088
9	7,7759	20,3884		9	7,4527	21,1195		9	7,9545	17,9696		9	7,7647	22,2876
10	7,8998	20,2218		10	7,0580	22,5990		10	7,8895	21,8251		10	7,9460	21,3557
11	7,8968	19,5811		11	7,2354	21,2222		11	8,1937	23,5270		11	8,0969	20,5239
12	7,6738	23,8899		12	6,8731	23,6972		12	7,3510	19,1203		12	8,0408	18,2207
13	7,8539	20,1696		13	6,9673	24,5949		13	7,2237	21,8167		13	8,2694	17,3995
14	7,9481	20,5798		14	6,6868	21,9549		14	7,5436	25,0052		14	7,5258	21,3636
15	7,3790	22,4918		15	6,9402	18,5705		15	7,3614	19,8849		15	8,0303	19,5670
16	7,1949	19,9327		16	6,6207	23,8637		16	7,0636	21,3591		16	7,7732	21,3831
17	6,9757	23,8111		17	6,6796	21,9685		17	6,9610	20,7316		17	7,1304	24,6961
18	7,1813	21,1775		18	6,3243	22,6319		18	7,2763	18,3101		18	7,8870	18,8801
19	7,2085	20,1620		19	6,4089	21,6895		19	7,1063	20,0327		19	7,7680	18,6235
20	7,0325	24,1074		20	6,2668	22,5432		20	6,6437	20,2102		20	7,5453	20,9706
21	7,3111	22,0380		21	6,3630	20,7577		21	6,9342	22,3885		21	7,8572	17,9661
22	7,2928	23,7111		22	6,4254	20,2402		22	7,2511	19,7408		22	7,5707	20,8754
23	7,0950	22,8405		23	6,0605	20,8264		23	7,0786	23,7405		23	7,8381	25,7965
min	6,9757	18,0314		min	6,0605	17,0153		min	6,6437	17,9696		min	7,1304	17,3995
ort	8,6102	21,9775		ort	8,0939	21,5117		ort	9,6646	21,7642		ort	7,9643	20,1259
max	23,7182	36,3563		max	27,4013	26,5075		max	33,6928	35,9489		max	8,8202	25,7965

YSA-2 modeli 3.deneme (logsig fonksiyonu için)

logsig	tansig	traingdx		logsig	logsig	traingdx		logsig	radbas	traingdx		logsig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	22,7807	33,2705		2	15,6169	25,7617		2	17,0639	22,9905		2	8,8464	18,5550
3	11,6515	23,4124		3	9,8495	19,5380		3	19,9618	29,2572		3	8,5878	18,5150
4	8,9815	17,1415		4	8,7174	18,7873		4	9,0101	18,5590		4	8,1809	18,4332
5	9,7585	17,3112		5	8,2061	19,4170		5	10,2437	18,7076		5	8,5897	17,8606
6	8,8966	19,4270		6	8,1460	18,2690		6	17,2232	23,7873		6	8,3072	19,2149
7	8,6614	18,5198		7	8,2230	18,4152		7	8,5284	17,9935		7	8,2016	18,2973
8	8,7980	20,5321		8	7,6764	19,2159		8	8,4983	18,5433		8	8,1907	17,5738
9	8,2881	19,7277		9	7,5985	20,2737		9	9,2603	20,0029		9	8,1127	17,8671
10	8,4063	18,2528		10	7,1091	21,9494		10	8,1559	18,5429		10	8,1575	19,0385
11	8,7190	18,3951		11	7,3573	20,0783		11	9,1599	24,4317		11	8,2387	18,0454
12	8,0493	18,8671		12	7,0500	25,6800		12	7,8312	20,1983		12	8,0300	18,7265
13	8,6193	18,8626		13	7,5695	21,3541		13	7,9459	21,7959		13	8,0653	18,2776
14	8,3753	18,4490		14	7,0629	19,7866		14	7,9129	17,6004		14	7,8429	19,5663
15	8,5490	19,8910		15	7,3464	17,2863		15	8,0978	17,9463		15	8,0550	18,2577
16	7,8253	20,3365		16	6,8670	23,4168		16	7,5256	18,5783		16	7,7155	21,2134
17	7,7802	18,8872		17	6,8300	21,9996		17	7,4133	18,7529		17	7,6857	19,5747
18	7,9769	18,7729		18	6,7341	20,0955		18	7,7972	18,5980		18	7,9394	17,6004
19	7,8323	19,6962		19	6,8899	20,0327		19	7,6323	18,6725		19	7,6443	19,2504
20	7,9966	20,5066		20	6,5675	21,9213		20	7,1666	20,8588		20	7,6270	18,3814
21	7,9551	18,0502		21	6,9049	19,8567		21	7,8618	21,7596		21	7,5951	18,0690
22	7,7561	20,0359		22	6,7977	20,2123		22	7,5772	19,1784		22	7,6933	17,3820
23	7,7638	21,4420		23	6,6696	19,1741		23	7,4529	19,2141		23	7,9023	20,5230
min	7,7561	17,1415		min	6,5675	17,2863		min	7,1666	17,6004		min	7,5951	17,3820
ort	9,1555	19,9903		ort	7,8086	20,5692		ort	9,5146	20,2713		ort	8,0550	18,6465
max	22,7807	33,2705		max	15,6169	25,7617		max	19,9618	29,2572		max	8,8464	21,2134

YSA-2 modeli 3.deneme (radbas fonksiyonu için)

radbas	tansig	traingdx		radbas	logsig	traingdx		radbas	radbas	traingdx		radbas	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	52,4061	51,0830		2	27,4769	27,4937		2	33,5418	37,5908		2	8,9272	17,8620
3	13,4514	29,6264		3	11,3036	22,0609		3	20,5823	32,1767		3	8,7040	20,9311
4	10,2272	20,5508		4	9,2842	18,1102		4	10,3012	20,2792		4	8,3062	19,1756
5	8,9489	17,7209		5	14,2270	20,5042		5	11,3187	25,6464		5	8,0891	20,7157
6	8,6379	20,8873		6	8,9117	18,7848		6	8,0415	25,2919		6	7,9437	20,8294
7	8,7190	16,9443		7	8,4202	17,7260		7	10,3668	25,7040		7	7,9146	19,5595
8	8,2379	26,1647		8	8,3725	18,0752		8	13,0578	30,2747		8	7,5991	25,6479
9	7,6684	21,3420		9	7,9383	19,1303		9	9,5599	23,2468		9	7,3490	21,6469
10	7,7526	22,3308		10	8,2157	21,6577		10	7,9430	23,6053		10	7,7145	20,1107
11	7,9623	22,7285		11	7,9968	21,1851		11	7,8449	25,1548		11	7,4329	20,8435
12	7,5094	21,0554		12	7,4808	21,9384		12	9,2181	25,1394		12	7,8610	23,2614
13	7,5483	24,5444		13	7,6020	23,3683		13	8,0434	22,8694		13	7,1433	21,5603
14	7,4063	21,1716		14	7,2721	20,4238		14	7,6210	24,6649		14	7,2394	28,1237
15	7,1969	24,9948		15	7,3716	24,8260		15	10,7587	27,7411		15	7,3401	24,4400
16	7,3381	22,3251		16	7,3977	19,3447		16	9,4614	28,2270		16	7,0717	29,0247
17	6,6427	28,3489		17	6,6408	21,5043		17	7,9547	26,4999		17	6,9003	23,1345
18	7,1401	25,8229		18	6,4984	23,6506		18	8,2455	23,9771		18	6,7569	25,0069
19	6,8802	25,8441		19	6,6716	22,0419		19	7,1583	24,9656		19	6,6811	35,9411
20	6,7163	27,5514		20	6,5360	20,4220		20	7,8701	26,8162		20	6,5723	27,7766
21	6,8859	24,9504		21	6,5992	23,3155		21	8,9181	24,9901		21	6,6283	29,2519
22	6,5757	21,2852		22	6,6246	23,6724		22	9,0000	25,2941		22	6,9002	19,6475
23	6,7145	31,9358		23	6,6596	21,8259		23	6,7148	28,8865		23	6,8048	29,0613
min	6,5757	16,9443		min	6,4984	17,7260		min	6,7148	20,2792		min	6,5723	17,8620
ort	9,9348	24,9640		ort	8,8864	21,4119		ort	10,6146	26,3201		ort	7,4491	23,7978
max	52,4061	51,0830		max	27,4769	27,4937		max	33,5418	37,5908		max	8,9272	35,9411

YSA-2 modeli 3.deneme (purelin fonksiyonu için)

purelin	tansig	traingdx		purelin	logsig	traingdx		purelin	radbas	traingdx		purelin	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	11,9837	20,7005		2	15,0633	18,5229		2	19,2769	18,9842		2	9,1884	16,4483
3	10,0436	20,9113		3	9,5534	17,6598		3	9,2604	17,2812		3	9,2866	16,1141
4	9,0880	16,8332		4	8,9146	16,0272		4	10,0493	18,1282		4	8,7450	15,5614
5	8,8563	16,6131		5	8,8001	15,6303		5	12,8791	17,3154		5	8,9295	15,7109
6	8,8903	16,4302		6	8,9208	15,4524		6	8,9387	16,1226		6	8,6710	15,5720
7	8,8410	16,3357		7	8,7609	15,7062		7	8,7631	15,8673		7	8,6699	15,5395
8	8,8387	16,4202		8	8,7571	15,7638		8	8,7798	15,7193		8	8,6832	15,4395
9	8,8476	16,3372		9	8,7576	15,7550		9	13,0121	16,6664		9	8,6835	15,4106
10	8,8444	16,4489		10	8,7481	15,7219		10	8,7613	15,7488		10	8,6723	15,4216
11	8,9027	16,3385		11	8,7566	15,7539		11	8,7613	15,7668		11	8,6663	15,4086
12	8,8380	16,2804		12	8,7557	15,7552		12	8,7567	15,7799		12	8,6724	15,3554
13	8,8408	16,3488		13	8,7557	15,7531		13	8,7567	15,7846		13	9,2386	14,8006
14	8,8406	16,3523		14	8,7638	15,7947		14	8,9493	16,0440		14	8,6677	15,4114
15	10,7160	18,0102		15	8,7542	15,7579		15	9,2818	17,9787		15	8,6668	15,4157
16	8,8407	16,3504		16	8,7613	15,7299		16	8,7569	15,7829		16	8,6717	15,3893
17	8,8407	16,3505		17	8,7787	15,8012		17	8,7566	15,7807		17	8,6676	15,4116
18	8,8378	16,3569		18	8,7557	15,7558		18	8,7566	15,7815		18	8,6752	15,4044
19	8,8423	16,3424		19	8,7396	15,7575		19	8,7568	15,7813		19	8,6677	15,4115
20	8,8396	16,3535		20	9,0859	15,4786		20	8,7517	15,7348		20	8,6676	15,4119
21	8,8408	16,3490		21	8,7557	15,7539		21	8,9941	15,5835		21	8,6677	15,4149
22	8,8407	16,3487		22	8,7557	15,7529		22	9,2819	17,9776		22	8,6676	15,4116
23	8,8408	16,3489		23	8,7573	15,7683		23	8,7566	15,7810		23	8,6550	15,4766
min	8,8378	16,2804		min	8,7396	15,4524		min	8,7517	15,5835		min	8,6550	14,8006
ort	9,1407	16,8709		ort	9,1114	15,9478		ort	9,7744	16,4269		ort	8,7628	15,4973
max	11,9837	20,9113		max	15,0633	18,5229		max	19,2769	18,9842		max	9,2866	16,4483

YSA-2 modeli 4.deneme (tansig fonksiyonu için)

tansig	tansig	traingdx		tansig	logsig	traingdx		tansig	radbas	traingdx		tansig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	40,4997	38,6960		2	27,3245	28,5568		2	21,0401	26,3117		2	9,2550	18,3468
3	9,8745	18,3204		3	18,8134	26,6519		3	27,7705	26,4864		3	9,0059	19,3223
4	9,1522	19,8862		4	8,8707	20,3262		4	15,6790	24,0404		4	9,1106	18,3073
5	9,7990	17,2008		5	8,1850	17,9982		5	8,6582	17,3975		5	8,4660	22,2427
6	8,1762	22,5336		6	8,3961	18,9533		6	15,1491	21,9229		6	8,9515	20,8511
7	8,8019	21,4840		7	8,1062	19,3411		7	8,3988	17,0319		7	8,4321	21,8590
8	8,8058	21,4794		8	7,9835	19,6223		8	8,0593	19,5682		8	8,2456	20,6184
9	10,3322	24,2934		9	8,3996	23,2933		9	8,0455	21,2633		9	8,4139	20,4804
10	8,2785	21,6390		10	7,4483	22,0274		10	8,0048	18,9181		10	8,2864	27,1508
11	8,1483	20,6600		11	7,2000	23,3772		11	7,4639	21,4767		11	8,3492	23,8314
12	7,9767	26,3720		12	7,1075	20,6173		12	7,6800	19,9649		12	8,3630	19,9229
13	8,1888	23,4841		13	7,5211	18,6282		13	7,6923	22,8467		13	8,5789	20,0227
14	7,6580	26,6495		14	6,9809	26,2154		14	7,7292	26,8817		14	8,3572	19,5318
15	7,9985	22,6978		15	7,0460	24,4202		15	7,4326	24,1180		15	8,1392	20,3999
16	7,7697	23,3266		16	6,8378	24,4582		16	7,0443	20,5467		16	8,1002	23,4395
17	7,3892	21,2994		17	6,5861	22,7676		17	7,1910	23,2139		17	7,8536	20,5481
18	7,7016	22,6581		18	6,5025	24,6884		18	7,1386	20,4093		18	7,8458	20,4363
19	7,2049	24,0176		19	6,4343	22,1031		19	7,1392	21,5791		19	8,0057	18,4325
20	6,9679	24,9086		20	6,6578	24,9102		20	7,1711	21,8178		20	8,0771	20,9693
21	7,5953	28,0291		21	6,3457	25,8666		21	7,5461	25,0653		21	8,0359	21,4023
22	7,5124	20,7043		22	6,3471	22,0878		22	7,7783	19,7462		22	8,2785	23,1004
23	7,5283	22,0158		23	6,4042	26,0608		23	7,0069	19,7489		23	8,1091	20,9162
min	6,9679	17,2008		min	6,3457	17,9982		min	7,0069	17,0319		min	7,8458	18,3073
ort	9,6982	23,2889		ort	8,7045	22,8623		ort	9,8554	21,8343		ort	8,3755	21,0060
max	40,4997	38,6960		max	27,3245	28,5568		max	27,7705	26,8817		max	9,2550	27,1508

YSA-2 modeli 4.deneme (logsig fonksiyonu için)

logsig	tansig	traingdx		logsig	logsig	traingdx		logsig	radbas	traingdx		logsig	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	36,1371	38,5526		2	29,5171	30,4149		2	27,1558	28,9482		2	9,3341	18,4681
3	11,5235	22,2250		3	10,7340	20,8934		3	27,5567	27,4875		3	9,1254	19,9894
4	12,8691	23,6191		4	9,3019	18,6321		4	15,3138	21,6643		4	9,1114	18,7140
5	10,0218	16,7978		5	8,1208	17,9923		5	15,6143	19,6199		5	8,5163	19,7938
6	9,5911	19,3181		6	8,7166	18,8091		6	15,7292	22,2446		6	8,8803	19,7263
7	9,3762	18,5228		7	8,1813	21,1418		7	9,1157	22,7037		7	8,8313	19,4299
8	9,1023	20,3470		8	8,0447	21,8292		8	8,4571	19,2353		8	8,7809	20,2112
9	9,2483	17,9708		9	7,8990	23,4168		9	8,6923	18,9408		9	8,6417	19,2034
10	9,5636	18,4277		10	7,2565	18,6733		10	8,7203	17,6549		10	8,7234	17,4376
11	9,3585	18,8058		11	7,7750	19,2892		11	8,2252	21,1335		11	8,2787	20,0517
12	8,7468	19,3461		12	7,2421	20,2915		12	8,3274	18,4737		12	8,3722	20,1376
13	9,3464	17,9786		13	7,7185	17,4581		13	8,0757	22,0901		13	8,7008	20,4643
14	8,3778	22,8271		14	7,1066	20,9175		14	8,2688	23,1886		14	8,0940	21,2421
15	8,8454	18,7948		15	7,3972	26,3096		15	7,8506	20,8568		15	8,1522	20,0543
16	8,5832	21,1044		16	7,0058	23,7496		16	7,7839	18,6214		16	8,2697	22,2413
17	8,3925	20,2132		17	6,8104	20,8899		17	7,9685	20,5884		17	8,1299	18,6337
18	8,2374	19,2536		18	6,8452	23,2405		18	8,0122	19,0178		18	8,1490	19,3437
19	8,2833	18,8585		19	6,7587	23,6218		19	7,4665	19,0998		19	7,9473	18,7135
20	8,5952	22,5886		20	6,9430	23,5840		20	7,9037	20,6177		20	7,7632	21,3831
21	8,5212	19,0000		21	6,8249	22,9589		21	8,1846	20,0365		21	8,1328	19,7599
22	9,7083	22,0545		22	6,7852	21,4251		22	8,2560	19,1281		22	8,0828	19,4683
23	8,2510	18,8451		23	6,4424	24,3856		23	8,1996	18,5210		23	8,1773	18,4882
min	8,2374	16,7978		min	6,4424	17,4581		min	7,4665	17,6549		min	7,7632	17,4376
ort	10,4855	20,7023		ort	8,6103	21,8147		ort	10,9490	20,9033		ort	8,4634	19,6798
max	36,1371	38,5526		max	29,5171	30,4149		max	27,5567	28,9482		max	9,3341	22,2413

YSA-2 modeli 4.deneme (radbas fonksiyonu için)

radbas	tansig	traingdx		radbas	logsig	traingdx		radbas	radbas	traingdx		radbas	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	38,6701	38,7408		2	28,6638	28,7643		2	29,7840	30,0315		2	9,6332	18,4739
3	13,5531	27,6025		3	13,4502	23,8529		3	18,0104	26,1947		3	9,0189	18,6508
4	11,1082	19,8043		4	16,4338	21,7618		4	18,0384	20,8583		4	9,2784	18,2827
5	10,2914	17,1757		5	10,0685	19,4215		5	16,6439	21,2501		5	9,0413	18,8449
6	9,6596	20,1456		6	9,4337	17,2246		6	11,2504	22,2895		6	8,6596	20,2246
7	8,7273	25,0220		7	9,1419	16,6732		7	10,8053	21,2725		7	8,7673	25,1739
8	8,8610	26,4270		8	9,1393	20,6861		8	8,3180	23,5770		8	8,6376	23,5628
9	8,4791	21,8301		9	8,4333	18,8429		9	10,3800	23,7140		9	7,6948	22,7645
10	7,9299	23,9233		10	8,5750	17,0469		10	11,0465	27,3232		10	7,6633	22,5597
11	8,9672	21,7374		11	7,8981	19,0841		11	8,3891	22,4623		11	8,4401	22,2582
12	8,0483	24,1373		12	7,7570	22,2866		12	8,9717	26,4082		12	7,7435	23,9070
13	7,9779	18,9232		13	7,7412	20,6528		13	7,7114	26,1409		13	7,6978	34,7381
14	7,6594	26,2422		14	7,0933	20,3517		14	9,8316	29,7469		14	7,1096	33,3562
15	6,6762	25,4511		15	6,9785	21,8522		15	7,4720	20,1818		15	7,4674	28,5525
16	7,3745	21,8435		16	7,3011	20,1001		16	8,5330	29,9499		16	7,0449	24,0210
17	7,1485	28,9273		17	6,8804	24,0556		17	7,9169	26,8229		17	6,9449	33,0997
18	7,7224	23,4736		18	6,4018	20,6350		18	7,7511	27,3969		18	7,2057	22,9920
19	7,3358	21,4108		19	6,8376	22,9657		19	7,4515	25,2569		19	7,0665	26,7401
20	7,2230	22,6667		20	6,5001	23,3457		20	7,2335	26,1755		20	6,8971	28,0806
21	6,7726	25,3972		21	6,5471	25,9790		21	7,5073	28,2005		21	6,6164	40,7718
22	7,2709	21,6117		22	6,2268	23,3084		22	9,5811	29,2528		22	7,0189	25,1189
23	7,0938	27,8726		23	6,8397	22,4998		23	7,2160	28,7178		23	6,9684	35,8971
min	6,6762	17,1757		min	6,2268	16,6732		min	7,2160	20,1818		min	6,6164	18,2827
ort	9,7523	24,1075		ort	9,2883	21,4269		ort	10,9020	25,6011		ort	7,8462	25,8214
max	38,6701	38,7408		max	28,6638	28,7643		max	29,7840	30,0315		max	9,6332	40,7718

YSA-2 modeli 4.deneme (purelin fonksiyonu için)

purelin	tansig	traingdx		purelin	logsig	traingdx		purelin	radbas	traingdx		purelin	purelin	traingdx
lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000		lr:0,1	mc:0,8	10000
Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test		Düğüm	eğitme	test
2	39,5972	46,5607		2	32,8783	41,1611		2	24,7150	24,0245		2	10,1328	16,7843
3	26,3155	34,9013		3	17,2348	19,9111		3	24,3056	30,2554		3	10,0344	16,1053
4	10,1653	17,6673		4	10,2443	15,1537		4	16,7033	19,2280		4	9,9696	15,7972
5	10,0957	16,5243		5	13,5509	17,4727		5	14,3622	18,7031		5	9,6740	15,7846
6	9,7637	16,6615		6	9,7789	15,5096		6	10,2084	16,9308		6	9,6695	15,7113
7	9,7346	16,5508		7	9,4257	15,6226		7	13,8257	18,8933		7	9,6577	15,6730
8	9,7369	16,6495		8	9,3782	15,9839		8	9,5342	15,8598		8	9,6531	15,7263
9	11,0137	19,3314		9	9,3818	15,9435		9	14,1820	18,6064		9	9,6482	15,6576
10	9,7275	16,4738		10	9,3820	15,8745		10	9,5359	15,8058		10	9,6547	16,6282
11	9,7346	16,5066		11	9,3801	15,9010		11	9,5783	15,9055		11	9,7449	15,5357
12	9,7372	16,4708		12	9,3789	15,9129		12	9,5364	15,8321		12	9,6496	15,6461
13	9,7328	16,5248		13	9,3801	15,9144		13	9,5342	15,8414		13	9,6465	15,6514
14	11,0134	19,3302		14	9,3795	15,9155		14	9,5363	15,8127		14	10,0556	16,0429
15	9,7328	16,5144		15	9,3795	15,9161		15	9,5322	15,8193		15	9,6513	15,6874
16	9,7305	16,5215		16	9,3798	15,9182		16	10,2975	17,8252		16	9,6486	15,6478
17	9,7322	16,5794		17	9,3815	15,9432		17	9,9556	17,5666		17	9,6485	15,6466
18	9,7328	16,5145		18	9,3797	15,9149		18	9,5912	15,7395		18	9,6477	15,6564
19	9,7329	16,5144		19	9,3795	15,9147		19	9,5328	15,8235		19	9,6441	15,6368
20	10,0416	16,3581		20	9,3734	15,9242		20	10,6789	20,8871		20	9,6555	15,6715
21	10,1286	16,0307		21	9,3790	15,9080		21	9,9547	17,5958		21	9,6487	15,6478
22	9,7329	16,5145		22	9,6189	15,9233		22	9,5350	15,8328		22	9,6486	15,6478
23	10,3841	16,9685		23	9,3821	15,8994		23	9,5350	15,8332		23	9,6487	15,6477
min	9,7275	16,0307		min	9,3734	15,1537		min	9,5322	15,7395		min	9,6441	15,5357
ort	12,0598	19,0304		ort	11,0649	17,2518		ort	12,0077	17,9374		ort	9,7287	15,8015
max	39,5972	46,5607		max	32,8783	41,1611		max	24,7150	30,2554		max	10,1328	16,7843

EK.2. YSA denemelerine ait minimum, maksimum ve ortalama hata oranları

YSA-1 modeli 1.deneme;

Fonksiyonlar	Eğitme			Test		
	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata
Tansig, Tansig	7,0787	9,3201	44,3723	10,8237	17,2818	43,9982
Tansig, Logsig	6,2282	7,3618	9,7522	10,8703	15,7473	19,0959
Tansig, Radbas	6,7965	8,9069	28,3625	11,0325	18,3459	33,0088
Tansig, Purelin	7,2862	7,8253	9,1075	11,1084	17,6307	30,2291
Logsig, Tansig	7,5901	9,8513	45,5843	10,5635	15,9684	45,4229
Logsig, Logsig	6,4119	7,5980	11,4641	11,3469	15,1122	19,1022
Logsig, Radbas	7,4472	9,2741	22,7890	12,0435	16,7831	27,6324
Logsig, Purelin	7,2611	7,9459	9,2606	10,7965	14,6216	18,6903
Radbas, Tansig	5,9103	7,7051	15,2380	13,1380	19,9269	27,9942
Radbas, Logsig	5,9247	8,1571	21,0496	11,7773	17,6509	23,4334
Radbas,Radbas	6,5405	9,3294	20,6748	13,0549	22,2474	29,7751
Radbas,Purelin	6,0045	7,1447	8,7808	10,5250	19,0236	29,0463
Purelin, Tansig	8,2204	8,4149	10,4324	10,5256	10,8969	12,8447
Purelin, Logsig	8,2426	8,4828	11,4547	10,0540	10,5395	14,5400
Purelin,Radbas	8,2692	9,0145	20,1229	9,8449	11,0749	19,7794
Purelin, Purelin	8,0883	8,2522	9,0111	9,9175	10,1100	11,0381

YSA-1 modeli 2.deneme;

Fonksiyonlar	Eğitme			Test		
	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata
Tansig, Tansig	6,8191	7,8130	10,8640	10,7190	14,5136	20,0775
Tansig, Logsig	6,4034	8,0176	22,6468	10,9596	15,0199	28,1519
Tansig, Radbas	6,7430	8,8329	22,7670	11,4580	15,9946	28,2443
Tansig, Purelin	7,2354	7,7680	8,9925	10,8850	14,5516	20,4728
Logsig, Tansig	7,3927	9,6796	41,7233	10,4646	14,6653	41,5804
Logsig, Logsig	6,6751	8,3051	22,7031	11,0708	14,5286	28,3231
Logsig, Radbas	7,3125	9,9386	24,4554	10,8707	15,9660	28,3345
Logsig, Purelin	7,1547	7,8952	8,9504	10,2372	13,0261	19,4149
Radbas, Tansig	6,4077	9,0362	42,0727	10,4962	17,6984	42,0268
Radbas, Logsig	6,2318	8,2492	23,1458	10,3076	15,5986	27,9689
Radbas,Radbas	6,9232	9,8033	24,6524	13,9900	21,3180	34,1046
Radbas,Purelin	6,1259	7,2464	8,8100	10,7245	16,3622	24,1119
Purelin, Tansig	8,3486	8,8224	15,8136	10,0474	10,5821	19,8078
Purelin, Logsig	8,3184	8,6936	14,3821	9,4281	9,9554	16,3728
Purelin,Radbas	8,3813	10,0863	33,4913	9,4644	11,1300	31,1230
Purelin, Purelin	8,2154	8,3693	9,3338	9,3255	9,4978	10,7253

YSA-2 modeli 1.deneme;

Fonksiyonlar	Eğitme			Test		
	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata
Tansig, Tansig	7,0637	8,6614	22,5999	19,5228	24,9107	35,8851
Tansig, Logsig	5,9055	8,2186	30,3195	19,7386	23,1111	36,3864
Tansig, Radbas	6,4725	8,6216	17,8391	20,1267	22,5158	25,3956
Tansig, Purelin	7,0639	8,1541	9,9249	19,7308	23,4123	31,0435
Logsig, Tansig	7,6662	10,4446	45,5549	19,7785	23,4829	45,1066
Logsig, Logsig	6,0001	8,1532	30,7935	18,8288	23,0413	41,8431
Logsig, Radbas	7,3793	9,3045	16,9402	18,5098	22,0601	26,3066
Logsig, Purelin	7,6574	8,1967	8,8345	19,6992	22,3126	28,6090
Radbas, Tansig	6,4097	10,1842	52,3473	19,8877	27,6293	62,7044
Radbas, Logsig	6,0319	9,1019	28,9060	17,7216	23,6691	46,2533
Radbas,Radbas	6,6424	9,8525	21,2597	22,0647	26,3507	34,9407
Radbas,Purelin	6,3407	7,5786	10,2937	18,6148	25,5601	38,0355
Purelin, Tansig	9,2257	10,2441	23,4169	20,4544	21,8807	34,6139
Purelin, Logsig	8,9190	10,3960	30,5250	17,5599	19,3651	35,6073
Purelin,Radbas	9,0910	11,5015	25,4658	17,3260	19,0592	27,9092
Purelin, Purelin	9,3339	9,4515	9,9940	17,9506	18,2023	18,7691

YSA-2 modeli 2.deneme;

Fonksiyonlar	Eğitme			Test		
	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata
Tansig, Tansig	7,0298	8,5560	22,4200	17,0018	20,4268	28,4433
Tansig, Logsig	5,8907	8,4859	22,1308	18,5365	20,8787	31,7195
Tansig, Radbas	6,5753	8,7922	20,0035	16,8864	20,7071	34,1009
Tansig, Purelin	7,3297	8,0826	9,3449	17,5839	20,3511	22,3411
Logsig, Tansig	7,8427	9,3480	23,2271	17,3454	19,7036	29,4811
Logsig, Logsig	6,4330	8,6144	21,3705	17,9615	20,1076	29,1666
Logsig, Radbas	7,5157	9,8812	26,5821	17,3381	19,8152	29,3928
Logsig, Purelin	7,5348	8,3054	9,3700	17,1061	18,8027	21,6098
Radbas, Tansig	6,4902	8,8152	23,9381	17,2132	21,6222	34,2548
Radbas, Logsig	5,4998	9,0801	24,2908	15,6505	21,4960	30,0095
Radbas,Radbas	6,5416	9,9375	19,1998	23,7128	24,9608	36,6681
Radbas,Purelin	6,4735	7,5782	9,2687	16,9343	21,6741	24,5272
Purelin, Tansig	8,9132	9,7162	23,1010	15,9645	16,9366	29,8534
Purelin, Logsig	9,0576	10,2058	20,5770	16,1112	17,0961	27,7788
Purelin,Radbas	9,0956	10,6924	24,4039	16,1815	17,7499	26,3258
Purelin, Purelin	8,9874	9,1675	9,7997	16,2323	16,5659	16,9920

YSA-2 modeli 3.deneme;

Fonksiyonlar	Eğitme			Test		
	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata
Tansig, Tansig	6,9757	8,6102	23,7182	18,0314	21,9775	36,3563
Tansig, Logsig	6,0605	8,0939	27,4013	17,0153	21,5117	26,5075
Tansig, Radbas	6,6437	9,6646	33,6928	17,9696	21,7642	35,9489
Tansig, Purelin	7,1304	7,9643	8,8202	17,3995	20,1259	25,7965
Logsig, Tansig	7,7561	9,1555	22,7807	17,1415	19,9903	33,2705
Logsig, Logsig	6,5675	7,8086	15,6169	17,2863	20,5692	25,7617
Logsig, Radbas	7,1666	9,5146	19,9618	17,6004	20,2713	29,2572
Logsig, Purelin	7,5951	8,0550	8,8464	17,3820	18,6465	21,2134
Radbas, Tansig	6,5757	9,9348	52,4061	16,9443	24,9640	51,0830
Radbas, Logsig	6,4984	8,8864	27,4769	17,7260	21,4119	27,4937
Radbas,Radbas	6,7148	10,6146	33,5418	20,2792	26,3201	37,5908
Radbas,Purelin	6,5723	7,4491	8,9272	17,8620	23,7978	35,9411
Purelin, Tansig	8,8378	9,1407	11,9837	16,2804	16,8709	20,9113
Purelin, Logsig	8,7396	9,1114	15,0633	15,4524	15,9478	18,5229
Purelin,Radbas	8,7517	9,7744	19,2769	15,5835	16,4269	18,9842
Purelin, Purelin	8,6550	8,7628	9,2866	14,8006	15,4973	16,4483

YSA-2 modeli 4.deneme;

Fonksiyonlar	Eğitme			Test		
	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata	Minimum Hata	Ortalama Hata	Maksimum Hata
Tansig, Tansig	6,9679	9,6982	40,4997	17,2008	23,2889	38,6960
Tansig, Logsig	6,3457	8,7045	27,3245	17,9982	22,8623	28,5568
Tansig, Radbas	7,0069	9,8554	27,7705	17,0319	21,8343	26,8817
Tansig, Purelin	7,8458	8,3755	9,2550	18,3073	21,0060	27,1508
Logsig, Tansig	8,2374	10,4855	36,1371	16,7978	20,7023	38,5526
Logsig, Logsig	6,4424	8,6103	29,5171	17,4581	21,8147	30,4149
Logsig, Radbas	7,4665	10,9490	27,5567	17,6549	20,9033	28,9482
Logsig, Purelin	7,7632	8,4634	9,3341	17,4376	19,6798	22,2413
Radbas, Tansig	6,6762	9,7523	38,6701	17,1757	24,1075	38,7408
Radbas, Logsig	6,2268	9,2883	28,6638	16,6732	21,4269	28,7643
Radbas,Radbas	7,2160	10,9020	29,7840	20,1818	25,6011	30,0315
Radbas,Purelin	6,6164	7,8462	9,6332	18,2827	25,8214	40,7718
Purelin, Tansig	9,7275	12,0598	39,5972	16,0307	19,0304	46,5607
Purelin, Logsig	9,3734	11,0649	32,8783	15,1537	17,2518	41,1611
Purelin,Radbas	9,5322	12,0077	24,7150	15,7395	17,9374	30,2554
Purelin, Purelin	9,6441	9,7287	10,1328	15,5357	15,8015	16,7843

Ek.3. Seçilen ağ yapısı için ysa-1 ve ysa -2 model tahmin sonuçları ve ölçülen değerler

	ÖN ÇÖKELTİM ÇIKIŞI YSA 1 Sonuçları									
Sıra	Ölçülen pH	Model pH	Ölçülen Debi	Model Debi	Ölçülen AKM	Model AKM	Ölçülen KOİ	Model KOİ	Ölçülen BOİ	Model BOİ
1	7,6	7,946	137.497	137.326	233	188,7	458	387,5	180	153,37
2	7,9	7,97	138.816	138.902	187	194	557	438,6	190	173,34
3	7,9	7,907	137.497	136.842	225	199,6	574	479,5	260	226,04
4	8	7,971	144.378	138.020	195	202	514	469,5	220	207,74
5	8	7,957	149.075	148.015	250	225,2	497	495,1	280	227,54
6	8	7,9	181.305	169.308	332	265,7	587	506,4	240	218,83
7	8,1	8	181.622	148.750	239	224,4	563	504,1	250	225,33
8	7,9	8	140.359	140.443	192	215,6	521	513,4	280	246,59
9	8,1	8	142.664	142.259	196	213,9	530	492,4	280	235,28
10	7,8	8	149.260	143.870	236	219	470	450,7	250	190,22
11	7,7	8	143.492	143.282	215	209,8	511	452,6	240	202,31
12	7,8	7,9	150.860	151.685	209	204,7	509	456,7	270	214,46
13	7,8	8	148.581	149.200	240	240,7	505	526,6	270	268,45
14	8	7,9	174.468	174.207	226	264,9	528	552,6	290	292,59
15	7,8	8	149.724	149.823	209	229,6	581	513,8	270	249,64
16	8,3	7,9	146.499	146.729	217	222	534	505,9	280	243,73
17	7,8	7,8	148.188	148.876	213	225,2	493	542,4	240	266,12
18	7,6	7,9	147.907	148.309	237	209,5	485	480,7	300	235,33
19	8,1	7,9	145.830	145.824	238	217,6	475	491,2	300	243,7
20	8	8	144.707	144.127	166	212,7	537	562,5	270	317,35
21	8,1	7,8	146.811	146.215	197	221,7	490	520,5	280	266,49
22	7,8	7,886	150.682	149.515	191	203,3	527	485,7	280	229,1
23	8,1	8,035	145.329	145.358	205	216,2	489	495,1	240	241,22
24	7,7	7,935	157.507	156.872	208	225,4	483	469,3	210	203,1
25	7,7	7,9	167.459	166.955	291	256,9	585	495	240	221,28
26	7,8	7,9	173.503	173.386	252	226,7	509	446,8	260	204,29
27	7,6	7,8	158.892	158.482	139	181,6	386	398,9	190	178
28	8,2	8,1	154.624	154.505	222	241,2	494	547,6	250	266,02
29	8,1	8	154.580	154.422	231	215,7	518	469,9	260	212,94
30	7,7	7,8	186.057	185.790	262	223,1	493	406,3	240	156,89
31	8,1	8	149.990	148.239	235	259,6	501	584,1	270	295
32	7,8	7,9	154.218	154.368	213	214,9	491	495,2	240	240,87
33	7,9	8	153.934	154.413	199	225,6	543	536	270	256,85
34	7,8	7,9	148.040	149.143	210	208,3	528	548,9	270	254,52
35	7,7	7,9	157.594	156.994	245	224,4	522	541,8	270	269,15
36	8,5	8	154.781	154.699	237	225	563	511,3	280	245,97

ÖN ÇÖKELTİM ÇIKIŞI YSA 1 Sonuçları Devamı										
37	7,7	7,9	153.607	153.784	211	209,5	541	482,5	250	233,87
38	7,8	7,8	154.433	153.273	220	212,7	485	509,6	260	259,09
39	7,7	7,6	154.739	151.520	213	194,6	502	509	260	261,17
40	8	8	147.254	147.764	197	212	453	502,4	250	251,32
41	7,5	7,9	147.325	147.487	220	218,8	539	521,1	270	267,4
42	7,5	7,7	154.819	154.460	188	207,1	563	525,4	290	269,52
43	7,4	7,9	137.848	138.228	212	200,8	535	479,8	250	236,37
44	7,1	7,8	146.735	146.993	206	208	540	478,3	230	228,27
45	7,5	7,8	144.097	145.983	166	193,9	530	496,8	250	247,98
46	7,8	7,9	153.618	153.652	194	217,8	533	509,4	250	241,62
47	7,6	7,9	147.035	147.545	240	224,7	476	420,8	190	187,84
48	7,7	7,9	160.293	160.252	198	212,6	511	496,6	220	234,71
49	7,8	8,036	159.622	160.250	236	243,4	663	507,2	210	205,81
50	7,4	7,871	173.685	173.461	280	261,3	435	481,1	200	203,56
51	7,6	7,736	156.453	155.888	188	196,8	412	436,1	190	200,69
52	7,6	7,885	170.810	170.317	196	218,7	473	475,1	220	223,97
53	7,9	8,066	151.364	152.308	190	202,5	446	432	200	188,03
54	7,6	8	153.711	154.687	193	213,3	548	501,7	230	228,96
55	8	7,9	155.039	155.459	193	222,5	448	486,6	230	240,39
56	7,7	7,8	152.820	153.615	252	211,6	513	470,7	250	232,51
57	7,6	7,9	153.510	154.042	238	220,6	484	478,3	240	238,27
58	7,7	7,9	149.807	149.923	204	206,7	407	466,2	240	230,36

AKTİF ÇAMUR ÇIKIŞI YSA2																
Sıra	**Ölçülen pH**	**Model pH**	**Ölçülen Sıcaklık**	**Model Sıcaklık**	**Ölçülen Debi**	**Model Debi**	**Ölçülen AKM**	**Model AKM**	**Ölçülen KOİ**	**Model KOİ**	**Ölçülen BOİ**	**Model BOİ**	**Ölçülen Toplam N**	**Model Toplam N**	**Ölçülen Toplam Fosfor**	**Model Toplam Fosfor**
1	7,8	8	14,8	16,7	135.994	132.339	11	9,157	28	27,71	6	4,585	4,71	4,020987	0,53	1,13014
2	7,3	7,9	14,2	14,9	136.524	134.593	12	12,14	35	25,27	9	3,839	3,98	5,585674	0,74	0,20927
3	7,5	8	14,8	16,2	135.994	132.477	11	9,442	40	30,35	9	4,402	3,89	5,071294	0,99	-0,0451
4	7,8	7,9	15,2	15,9	151.720	139.729	10	8,762	40	26,56	8	3,803	4,48	4,572141	0,74	0,89322
5	7,5	7,5	15,6	14,5	148.090	143.484	10	7,735	38	26,81	6	3,693	4,93	5,511155	0,36	0,21165
6	8,1	7,7	14,3	14,6	196.741	176.937	14	10,92	41	23,46	5	3,163	5,1	4,517418	0,7	0,12029
7	7,2	7,8	13,3	15,4	228.936	177.481	11	6,962	38	26,62	10	3,287	4,1	3,324166	0,63	1,04428
8	6,9	7,9	14,6	15,8	138.058	134.997	14	5,671	30	32,75	8	4,108	4,1	3,695666	0,57	0,22678
9	7,3	7,8	14,9	15,1	140.746	137.554	9	6,514	38	31,19	7	3,957	4,74	4,416722	0,54	0,08016
10	7,3	7,6	14,9	15,2	155.119	143.687	11	7,698	37	25,92	6	3,888	11	5,179355	0,58	0,89251
11	7	7,7	15,1	15,1	141.117	138.180	14	9,182	39	26,71	9	4	3,74	5,423724	0,63	0,47474
12	7,4	7,9	15,7	16,2	146.901	145.505	9	5,713	37,2	30,79	9	4,191	3,85	3,832683	0,84	0,83466
13	7,4	7,7	16	16,2	144.792	142.980	11	7,534	37	27,28	4	4,121	3,72	5,14131	0,49	0,92421
14	7,5	7,5	16	14,7	171.141	169.428	10	6,018	40	25,98	6	3,347	3,75	4,750316	0,43	1,01915
15	7,8	8	15,4	15,7	146.804	144.796	14	8,005	35	30,87	19	4,053	1,62	4,271055	1,04	0,07886
16	8	7,9	15,9	16,4	143.517	141.580	8	6,511	35	29,58	6	3,922	2,45	4,323442	0,99	0,691
17	8,5	8,1	16,6	17,5	144.636	142.968	9	6,979	40	26,22	4	3,594	3,26	3,625294	1,19	1,60415
18	8,6	7,6	16,8	16,5	144.362	141.634	25	5,827	49	28,88	10	4,455	4,19	5,281557	1	1,11849
19	8,6	7,6	16,8	16,4	142.987	139.969	27	5,594	54	28,19	11	4,264	4,4	5,407879	1	1,14444
20	8,5	8	16,8	16,5	142.125	139.770	18	6,222	46	29,89	9	3,884	3,27	4,095394	0,94	0,94198
21	8,5	7,7	16,4	16,4	144.361	141.398	15	6,491	38	25,21	9	3,595	2,82	5,355471	1,14	1,49124
22	8,4	7,9	16,3	16,6	149.645	145.344	43	6,023	52	29,38	16	4,105	4,76	4,432836	2,09	1,14627
23	8,4	7,9	16,6	17	142.494	140.349	31	7,414	51	25,87	11	3,987	7,15	4,801271	1,35	1,6204
24	7	7,8	15,5	16,7	156.211	152.588	22	8,059	46	24,3	12	4,002	2,7	4,560937	1,36	1,98309
25	7	8	15,5	16,3	165.629	162.746	23	9,86	40	27,17	11	3,939	2,98	4,046595	1,89	0,46461
26	7	7,6	16	16,4	170.294	168.350	34	6,962	8	24,66	11	3,993	3,5	4,921483	1,9	1,84508
27	7,3	7,8	15,7	17	156.243	153.749	7	4,934	37	22,35	4	3,563	3,1	3,696769	1,72	3,36039
28	7,6	7,7	16,8	16,9	152.073	149.685	7	7,845	31	22,83	5	3,721	2,09	5,562969	3,53	1,94363
29	7,7	7,6	17,2	16,5	152.110	149.573	8	7,953	27	25,69	7	4,29	2,8	5,743144	4,11	1,45341
30	7,2	7,7	15,4	15,4	183.864	181.204	17	5,126	33	28,1	8	3,768	2,38	2,563528	4,41	1,43845

AKTİF ÇAMUR ÇIKIŞI YSA2 Devamı																
31	7,4	7,6	15,4	15,7	149.990	144.660	10	8,136	26	24,02	7	3,535	1,68	5,759192	2,19	1,04242
32	7,7	7,9	17,4	17,5	150.818	149.014	5	7,538	38	23,76	4	3,806	2,28	4,79057	3,44	2,13469
33	7,7	7,8	18	17,2	150.333	148.823	12	8,304	32	24,23	11	4,117	2,53	6,20969	3,15	1,8238
34	7,7	7,9	18,3	17,2	144.296	142.663	9	7,576	31	26,78	6	4,127	3,01	5,208599	3,11	1,38176
35	7,7	7,9	18,3	17,7	155.520	152.080	8	7,556	34	25,1	7	4,006	2,74	4,990726	3,29	1,76977
36	7,9	7,7	18,8	17,6	151.865	150.169	15	8,747	36	24,24	8	4,335	6,96	6,673663	5,35	1,72259
37	7,9	8,1	18,8	18,3	150.481	148.558	18	7,268	41	28,19	8	4,517	4,25	4,273508	3,05	1,82863
38	8	8,1	18,6	19	152.898	148.958	12	5,895	36	25,02	4	3,963	3,26	4,14029	2,81	2,62588
39	8	8,2	18,5	19,4	155.673	149.281	15	6,355	39	23,5	14	3,416	3,71	3,790614	3,62	2,69721
40	8,2	7,9	18,7	18,6	143.658	141.850	10	5,852	29	24,71	14	4,323	8,17	5,030336	4,3	2,82063
41	8,2	7,9	18,9	18,1	144.007	141.640	16	8,239	39	26,8	8	4,672	7,51	5,714338	4,51	1,68947
42	8,3	8,1	18,9	18,4	151.931	149.322	14	6,327	32	28,38	4	4,239	3,35	4,516435	3,14	1,82917
43	8,3	8,1	18,7	17,3	134.609	132.247	16	8,102	34	30,61	7	4,58	3,26	4,242586	2	0,73343
44	8,1	8,1	17,8	17,5	143.465	141.197	8	9,125	30	27,49	5	4,331	2,15	4,441743	2,67	1,24488
45	8,2	8,4	18,2	18,8	138.295	138.839	6	5,881	30	30,31	8	4,21	3,76	2,997014	3,89	1,7976
46	8,2	8	18,4	18,2	150.941	148.645	10	7,377	35	26,36	5	4,337	5,45	4,83658	3,39	2,10121
47	7,9	8	18,2	17,8	143.674	141.950	8	9,103	5,9	25,3	5	4,391	2,29	4,179755	1,88	1,84606
48	7,9	8	18	17,5	157.470	155.503	8	7,927	28	24,14	6	3,952	2,39	4,475965	3,86	2,26315
49	7,8	8,1	17,6	16,1	157.162	155.936	13	12,34	41	28,98	6	4,418	1,96	4,603509	1,15	-0,0247
50	7,7	7,6	16,7	16,4	171.331	168.192	24	8,783	42	18,53	7	3,294	2,3	4,653884	1,49	2,46476
51	7,7	8	16,9	18,7	153.965	151.211	39	6,826	58	19,8	9	3,582	4,8	4,140765	2,67	3,66356
52	7,8	7,8	17	17,6	168.480	165.850	28	6,124	47	23,64	9	3,901	3,3	3,939407	2,66	2,92188
53	7,8	7,9	17,4	18,2	147.485	146.510	31	6,726	37	24,61	4	4,319	2,19	4,20479	2,02	2,82648
54	8	8,1	18,7	18,5	150.093	148.890	2	7,963	27	27,68	6	4,662	2,63	4,384777	2,39	2,05315
55	8,2	8	18,8	19,6	151.292	149.970	40	5,404	55	23,29	14	4,026	3,49	4,05903	3,14	3,52289
56	8,1	8	19,4	19	148.533	147.390	7	7,811	29	25,94	5	4,69	4,26	4,949052	2,85	2,22635
57	8	8	19,7	19,5	149.707	147.966	4	7,019	20	25,3	4	4,717	3,96	4,668087	2,5	2,80711
58	8	7,9	19,5	19,6	146.695	143.918	6	4,962	15	23,64	14	4,564	4,3	4,817288	2,32	3,67165

EK.4. Aktivasyon fonksiyonlarına ait deneme sonuçları (lr:0,1, mc:0,8, iterasyon sayısı:10.000)

Aktivasyon Fonksiyon Türü	Eğitme Fonksiyonu	Düğüm Sayısı	Eğitme Hatası	Test Hatası
Compet	**traingdx**	4	41,0269	45,8857
		8	48,125	50,4555
		12	41,0269	45,8857
		20	45,3944	51,579
Hardlim	**traingdx**	4	52,5128	51,6184
		8	52,5128	51,6184
		12	52,5128	51,6184
		20	52,5128	51,6184
Tansig	**traingdx**	4	8,5506	12,7059
		8	8,0444	15,1026
		12	7,1128	14,6323
		20	7,0787	14,5665
Logsig	**traingdx**	4	8,8133	14,5065
		8	7,6655	14,1998
		12	7,1805	13,66
		20	6,867	13,7138
poslin	**traingdx**	4	18,797	21,0016
		8	9,1892	18,1213
		12	21,0989	28,5993
		20	7,4823	15,9281
radbas	**traingdx**	4	11,5501	26,1602
		8	7,8278	13,4091
		12	6,9469	16,2862
		20	6,7925	20,3027
purelin	**traingdx**	4	9,0111	11,0381
		8	8,3213	10,5432
		12	8,0981	9,9627
		20	8,0885	9,9327
satlin	**traingdx**	4	16,9322	18,0448
		8	7,7346	10,1755
		12	7,2399	13,3058
		20	6,4813	17,9817
satlins	**traingdx**	4	46,531	49,1031
		8	7,8463	12,8657
		12	7,1365	12,5347
		20	6,8195	16,798
softmax	**traingdx**	4	28,2175	29,1674
		8	30,4192	31,0454
		12	28,5447	28,9637
		20	28,4072	29,4441
tribas	**traingdx**	4	10,5503	16,3284
		8	7,712	11,4613
		12	6,8827	18,2216
		20	6,7306	18,6269