İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZNİK GÖL SUYU KALİTE PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahu DEDE

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Hidrolik ve Su Kaynakları Programı

ŞUBAT 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İZNİK GÖL SUYU KALİTE PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahu DEDE
(501071503)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. H. Kerem CIĞIZOĞLU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Emin SAVCI (İTÜ)
Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU (BÜ)

ŞUBAT 2009

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada İznik Gölündeki gözlem noktalarından alınan veriler yapay sinir ağları modellemesiyle tahmin edilmeye çalışılmış ve sonuçlar bir istatistiksel yöntem olan çok değişkenli lineer regresyon yöntemiyle kıyaslanmıştır. Öncelikle göllerin ve göl suyu kalite parametrelerinin önemi göllerin fiziko – biyo – kimyasal özellikleri incelenerek ve bu güne kadar göl suyu kalite parametreleri ile ilgili modelleler araştırılarak açıklanmıştır. Daha sonra İznik Gölünün hidro – jeo – kimyasal özellikleri araştırılmış ve gözlem noktalarındaki veriler istatistiksel analiz ve korelasyon analiziyle incelenmiştir. Sonraki bölümde ise çalışmada kullanılan yapay sinir ağları yöntemleri ve regresyon yöntemi tanıtılmıştır. Son olarak YSA tahminleri üzerinde transfer fonksiyonunun, çarpıklık kat sayısının ölçeklendirmenin ve göllerdeki tabakalaşmanın etkisi incelenmiştir. Üç faklı YSA mimarisi ve çoklu lineer regresyon yöntemi ile tahmin edilen değerler birbirleriyle kıyaslanarak en iyi model bulunmuştur.

Bu tez çalışmasında desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. H. Kerem CIĞIZOĞLU'na ve benden yardımlarını esirgemiyen Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU'ya bilimsel katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Aralık 2008

Ahu Dede

Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR ..... **vi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xiv**
ÖZET ..... **xvi**
SUMMARY ..... **xviii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
2. GÖLLER VE GÖL SUYU KALİTE PARAMETRELERİNİN ÖNEMİ **3**
2.1 Göllerin Fiziko – Biyo – Kimyasal Özellikleri 3
2.1.1 Göllerin kullanım maksatları 3
2.1.2 Gölleri oluşturan süreçler 3
2.1.3 Derin göllerde tabakalaşma ve sirkülasyon 4
2.1.4 Kökene göre göller 7
2.1.5 Göllerin ekolojik koşulları 8
2.1.5.1 Biyolojik alanlar 8
2.1.5.2 Göl üretkenliği 10
2.1.5.3 Göllerin doğal hayat döngüleri 11
2.1.6 Göl suyu kalite parametreleri 12
2.1.6.1 Toplam katı madde (TKM) 12
2.1.6.2 Elektriksel İletkenlik (Eİ) 13
2.1.6.3 pH 14
2.1.6.4 Çözünmüş oksijen (ÇO) 14
2.1.6.5 Sıcaklık 16
2.1.6.6 Göllerin inorganik bileşimi 17
2.1.7 Gölleri tehdit edici faktörler 18
2.1.8 Göllerde su kalitesi bozulması 19
2.1.8.1 Termal kirlilik 20
2.1.8.2 Toprak kaynaklı kirlilik 20
2.1.8.3 Ötrofikasyon 21
Göllerde fosfor kontrolü 22
2.1.8.4 Göllerdeki asitlenme 24
2.2 Göl Suyu Kalite Parametrelerinin Tahmini İle İlgili Çalışmalar 25
3. VERİ ANALİZİ **30**
3.1 İznik Gölünün Hidro – Jeo - Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi 30
3.1.1 Coğrafi yapısı ve konumu 30
3.1.2 Kulanım maksadı 31
3.1.3 Hidrolojik özellikler 31
3.1.3.1 Su toplama alanı 31
3.1.3.2 Akarsular 31
3.1.3.3 Su seviyesi 33

3.1.3.4 Tabakalaşma 34
3.1.3.5 Suların hareketi 34
3.1.3.6 Yenilenme zamanı 34
3.1.3.7 İklim 35
3.1.4 Su kalitesi....35
3.1.4.1 Koruma statüsü 35
3.1.4.2 Balıkçılık 35
3.1.4.3 Canlı habitatı 36
3.1.4.4 Sanayi 36
3.1.4.5 Kirletici kaynaklar 37
3.1.4.6 Ekolojik koşul 37
3.1.4.7 Su kalitesi parametreleri 38
Toplam katı madde 38
pH 38
Elektriksel İletkenlik 39
Çözünmüş Oksijen 39
3.1.5 Jeolojik özellikler....41
3.1.5.1 Gölün türü 41
3.1.5.2 Gölün topraklarının pH'sı 41
3.1.5.3 Gölün toprak potansiyeli 41
3.1.5.4 Ovalar 41
3.1.5.5 Yerleşim 41
3.1.5.6 Kökeni 42
3.1.5.7 Sulak alanın kullanım durumu 42
3.1.5.8 Batimetrik ölçümler 44
3.1.5.9 Jeolojik özellikleri 45
3.1.5.10 Fay hattı 46
3.2 Verilerinin İncelenmesi ve İstatistik Parametrelerinin Bulunması 46
3.2.1 Kullanılan gözlem noktalarının konumları....46
3.2.2 Verilerin analizi....47
3.2.2.1 İstatistiksel analiz 49
3.2.2.2 Korelasyon analizi 52
Çapraz Korelasyon Değerleri (Çapraz Bağımlılık) 52
Otokorelasyon Değerleri (Ardışık Bağımlılık) 54
4. MODELLERİN TANITILMASI 56
4.1 Çalışmada Kullanılan Yapay Sinir Ağı Metodları 56
4.1.1 Genel bilgi....56
4.1.1.1 YSA'nın gelişim süreci 58
4.1.1.2 YSA ile hesaplamanın özellikleri 60
4.1.1.3 Transfer fonksiyonları 61
4.1.1.4 Ağ fonksiyonları 62
4.1.1.5 Performans fonksiyonları 63
4.1.1.6 Öğrenme fonksiyonu 63
4.1.2 İleriye beslemeli geriye yayınımlı yapay sinir ağları (İBGYSA) 65
4.1.3 Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA)....66
4.1.4 Genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağı (GRYSA)....68
4.1.5 Su kaynakları ve su kalitesi konularında YSA kullanımı ile ilgili çalışmalar....69
4.2 Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon (ÇDDR) ve Uygulamaları 73
5. MODEL UYGULAMALARI 80

5.1 Göl Genelinde İBGYSA, RTYSA, GRYSA ve ÇDDR ile Derinliğe Dayalı Çözünmüş Oksijen (ÇO) Tahmin Uygulamaları 80
5.1.1 İleri beslemeli geri yayılımlı yapay sinir ağı (İBGYSA) ile tahmin uygulamaları 81
5.1.1.1 İBGYSA uygulamalarında ölçeklemenin etkisinin incelenmesi 85
İBGYSA uygulamalarında ölçeklemenin etkisinin değerlendirilmesi 87
5.1.1.2 İBGYSA uygulamalarında farklı giriş hücre sayılarının kıyaslanması 93
İBGYSA ile kıyaslanan farklı giriş hücre sayılarının değerlendirilmesi 93
5.1.1.3 İBGYSA uygulamalarında çarpıklık katsayısının etkisinin incelenmesi 100
İBGYSA uygulamasında incelenen çarpıklık katsayısı etkisinin değerlendirilmesi 103
5.1.1.4 İBGYSA uygulamalarında farklı transfer fonksiyonlarının kıyaslanması 109
İBGYSA ile farklı transfer fonksiyonlarının kıyaslanmasının değerlendirilmesi 110
5.1.2 Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA) ile tahmin uygulamaları 117
5.1.2.1 RTYSA uygulamalarının değerlendirilmesi 117
5.1.3 Geneleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları (GRYSA) ile tahmin uygulamaları 124
5.1.3.1 GRYSA uygulamalarının değerlendirilmesi 124
5.1.4 Çok değişkenli doğrusal regresyon uygulaması 130
5.1.4.1 Regresyon uygulamasında çarpıklık katsayısının etkisinin incelemesi 135
5.1.5 Göl genelinde derinliğe dayalı İBGYSA, RTYSA, GRYSA ve ÇDDR tahmin uygulamalarının genel değerlendirilmesi 136
5.2 Göl Tabakalaşmasının Dikkate Alındığı İBGYSA İle Tahmin Uygulamaları 137
5.2.1 Göl tabakalaşmasının dikkate alındığı İBGYSA'ların değerlendirilmesi 139
5.3 Önceki ÇO Değerini de Dikkate Alarak İBGYSA İle Yapılmış ÇO Tahmin Uygulamaları 144
5.3.1 Önceki ÇO değerini de dikkate alarak İBGYSA ile yapılmış ÇO tahmin uygulamasının değerlendirilmesi 144
6. SONUÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ 151
KAYNAKLAR 156
EKLER 161
A. EK 1 161

KISALTMALAR

ART	**:** Adaptif Rezonans Teorisi
AKM	**:** Aksıda Katı Madde
BOI	**:** Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CBS	**:** Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇKA	**:** Çok Katlı Algılayıcılar (Multi Layer Perceptron MLP)
ÇO	**:** Çözünmüş Oksijen
ÇDDR	**:** Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon
DSİ	**:** Devlet Su İşleri
Eİ	**:** Elektriksel İletkenlik
İBGYYSA	**:** İleri Beslemeli Geri Yayınımlı Yapay Sinir Ağları
GA	**:** Genetik Algoritmalar
GRYSA	**:** Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağları
lr	**:** Öğrenme Hızı (learning rate)
KOİ	**:** Kimyasal Oksijen İhtiyacı
OKH	**:** Ortalama Karesel Hata
PSO	**:** Parçacık Kümelerinin Optimizasyonu
ppm	**:** parts per million
RTYSA	**:** Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları
TKM	**:** Toplam Katı Madde
TÇM	**:** Toplam Çözünmüş Madde
USEPA	**:** Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu
WASP	**:** Water Quality Analysis Simulation Program
YSA	**:** Yapay Sinir Ağ
YZ	**:** Yapay Zeka

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Gölde bulunan kimyasallar, kaynakları ve etkileri (Mutluay ve Demirak, 1996; Karpuzcu, 1988). 17
Çizelge 2.2 : Göller, Göletler, Bataklıklar ve Baraj Haznelerinin Ötrofikasyon Kontrolü İçin Sınır Değerleri (su kirliliği kontrolü yönetmeliği).....22
Çizelge 3.1 : İznik Gölün kıyı ovaları (Budakoğlu, 2000; Bursa il çevre durum raporu, 2004). 41
Çizelge 3.2 : İznik Gölü etrafındaki ilçeler (Budakoğlu, 2000).....41
Çizelge 3.3 : Gözlem noktalarının konumları (DSİ I. Bölge Müdürlüğü). 46
Çizelge 3.4 : Gözlem noktalarındaki su kalitesi parametrelerinin istatistiksel değerleri.....50
Çizelge 3.5 : İznik Gölünde 5 gözlem noktasındaki tüm derinlikte 6 farklı su kalitesi parametresinin çapraz korelasyon değerleri. 53
Çizelge 3.6 : Çözünmüş oksijenin tüm gözlem noktalarındaki derinliğe göre otokorelasyon değerleri. 55
Çizelge 4.1 : Ağ Türleri ve Başarılı Oldukları Alanlar (Saraç, 2004).....63
Çizelge 4.2 : Farklı veri kümeleri girişleri.....71
Çizelge 5.1 : Çalışmada kullanılan toplam veri adetleri, test verisi adetleri ve eğitim verisi adetleri. 80
Çizelge 5.2 : Test verisi için 2. gözlem noktasında 5 girişli 0.1 - 0.9 arası ölçeklenmiş verilerle saklı tabaka hücre sayısına göre değişen iterasyon sayısı ile ortalama karesel hata ve determinasyon kat sayısı sonuçları.84
Çizelge 5.3 : Ölçeklendirme aralığı ve formülü.....86
Çizelge 5.4 : İBGYSA'da 5 girişli ölçeklendirme aralıklarının performansları.....88
Çizelge 5.5 : İBGYSA'da 2 girişli ölçeklendirme aralıklarının performansları.....94
Çizelge 5.6 : Eğitim Verilerinin Çarpıklık Katsayıları.....100
Çizelge 5.7 : Test Verilerinin Çarpıklık Katsayıları. (- dönüşüm yapılamayan).....101
Çizelge 5.8 : Çarpıklık azaltma dönüşümleri yapılmış verilerin ve yapılmamış verinin performansları.....103
Çizelge 5.9 : Farklı transfer fonksiyonlu verilerin performansları. 110
Çizelge 5.10 : Çarpıklık azaltma dönüşümleri yapılmış verilerin logsig – tansig fonksiyonlu performansları.....111
Çizelge 5.11 : Çarpıklık dönüşümü yapılmamış ve karekök dönüşümü yapılmış RTYSA performansları. 118
Çizelge 5.12 : Çarpıklık dönüşümü yapılmamış ve karekök dönüşümü yapılmış GRYSA performansları.....125
Çizelge 5.13 : 2 girişli regresyon uygulaması için determinasyon katsayısı ve ortalama karesel hata.....136
Çizelge 5.14 : İBGYSA, RTYSA, GRYSA ve ÇDDR yöntemlerinin optimum performans değerleri. 136
Çizelge 5.15 : Tabakalaşmada kullanılan toplam veri adetleri, test verisi adetleri ve eğitim verisi adetleri.....139

Çizelge 5.16 : Farklı göl tabakaları için İBGYSA'nın performansları. 140
Çizelge 5.17 : Farklı göl tabakaları için tansig – logsig transfer fonksiyonlu performansları. 140
Çizelge 5.18 : 3 girişli ÇO tahmin performansları. 144
Çizelge A.1 : 2 Giriş için başlangıç ağırlıkları ve eşik değerleri. 161
Çizelge A.2 : 5 Giriş için başlangıç ağırlıkları.....162
Çizelge A.3 : Farklı göl tabakalarındaki eğitim ve test verilerinin çarpıklıkları. 163

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Dünyada yaklaşık yüzde değerleriyle su dağılımı (UNEP, 1994).....1
Şekil 2.1 : Güncel ve eski göllerdeki kil mineralleri birliği (Budakoğlu, 2000). 4
Şekil 2.2 : Ilıman ötrofik göllerde sıcaklık ve oksijen ilişkisi 4
Şekil 2.3 : Sıcaklık ve çözünmüş oksijenin mevsimlik değişimi. (Davis ve Masten, 2004). 5
Şekil 2.4 : Sıcaklığın mevsimlere bağlı olarak derinlikle değişmesi ve buna bağlı sıcaklık tabakalaşması – göl karışımı (Karpuzcu, 1988; Davis ve Masten, 2004). 6
Şekil 2.5 : Gölde biyolojik faaliyetler için oksijene ve ışığa bağlı birçok farklı alan bulunabilir. 8
Şekil 2.6 : Göldeki biyokimyasal reaksiyonlar (Karpuzcu, 1988). 9
Şekil 2.7 : Göl derinliğine göre fosfor yükleri (Karpuzcu, 1988). 10
Şekil 2.8 : Göllerin hayat döngüleri. 11
Şekil 2.9 : Göllerde oksijen üretici ve tüketici biyo – kimyasal kaynaklar. 15
Şekil 2.10 : (a) Gölün sıcaklık ve derinlik profili. (b) Taban ve yüzey mesafeleri. (c) Rüzgar yönü etkisi (Sümer, 1992). 16
Şekil 3.1 : İznik Gölü lokasyon haritası (Akbulak, 2007). 30
Şekil 3.2 : İznik Gölünün su taşıyan ve uzaklaştıran akarsuları, drenaj alanları ve ortalama akımları. (http://www.bursacevreorman.gov.tr; Budakoğlu, 2000). 32
Şekil 3.3 : Gölün su yüzeyinin denizden yüksekliğinin zamanla değişimi (Budakoğlu, 2000; Cengiz, M., T., 2005). 33
Şekil 3.4 : 1996 Ağustos, İznik Gölü Sıcaklık – Derinlik Profili. (Budakoğlu, 2000). 34
Şekil 3.5 : Akıntıların genel yönü ve hızı (Budakoğlu, 2000). 34
Şekil 3.6 : Dereköy kuzeyi (Akbulak, 2007). 36
Şekil 3.7 : Sıcaklık ile ÇO arasındaki ilişki (Budakoğlu, 2000). 40
Şekil 3.8 : İznik çevresi arazi kullanım durumu (Akbulak, 2007). 42
Şekil 3.9 : Gölün kuzey batısındaki zeytinlik düzlükleri (Akbulak, 2007). 43
Şekil 3.10 : Zeytin yetiştiriciliği gölün güneyindeki göle bakan Gürle – Avdan Dağlarının kuzey yamaçlarında da yaygındır (Akbulak, 2007). 44
Şekil 3.11 : Bir süre ziraat için kullanılan ve eğimli arazilerden olan Çınardere Vadisi (Akbulak, 2007). 44
Şekil 3.12 : Sonar ölçümle çıkan batimetri haritası (Budakoğlu, 2000). 45
Şekil 3.13 : İznik Göl'ündeki gözlem noktalarının konumları. 47
Şekil 3.15 : Gözlem noktalarından belirtilen günlerde ve zaman aralıklarında alınmış su kalitesi parametreleri (DSİ I. Bölge Müdürlüğü, 2003). 48
Şekil 4.1 : Yapay sinir ağı genel akış şeması. 56
Şekil 4.2 : Biyolojik sinir sistemi ile YSA arasındaki benzerlikler. 57
Şekil 4.3 : Tek girişli hücre modeli. 57
Şekil 4.4 : Çok girişli hücre modeli. 58

Şekil 4.5 : En sık kullanılan trasfer fonksiyonları. 62
Şekil 4.6 : İleriye beslemeli geriye yayınımlı yapay sinir ağlarının akış şeması (www.mathworks.com). 66
Şekil 4.7 : Radyal tabanlı hücre modeli. 67
Şekil 4.8 : Radyal tabanlı fonksiyon. 67
Şekil 4.9 : Radyal tabanlı yapay sinir ağlarının akış şeması (www.mathworks.com). 68
Şekil 4.10 : Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağının akış şeması (www.mathworks.com). 69
Şekil 4.11 : Değişkenler arasındaki ilişki. 74
Şekil 4.12 : Fonksiyonel ve istatistiksel ilişkilerin karşılaştırılması. 75
Şekil 5.1 : Farklı saklı tabaka hücre sayısı için ağırlıklar ve eşik değerleri. 82
Şekil 5.2 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 2. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri. 88
Şekil 5.3 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 2. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 89
Şekil 5.4 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri. 89
Şekil 5.5 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 5. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 90
Şekil 5.6 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 6. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri. 90
Şekil 5.7 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 6. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 91
Şekil 5.8 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 7. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri. 91
Şekil 5.9 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 7. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 92
Şekil 5.10 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 9. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri. 92
Şekil 5.11 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 9. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 93
Şekil 5.12 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri. 95
Şekil 5.13 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 2. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 95
Şekil 5.14 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 5. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri. 96
Şekil 5.15 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 5. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 96
Şekil 5.16 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 6. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri. 97
Şekil 5.17 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 6. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 97
Şekil 5.18 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 7. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri. 98
Şekil 5.19 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 7. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 98
Şekil 5.20 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 9. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri. 99

Şekil 5.21 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 9. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 99
Şekil 5.22 : 2. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri. 104
Şekil 5.23 : Karekök dönüşümlü 2. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 105
Şekil 5.24 : 5. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri. 105
Şekil 5.25 : Karekök dönüşümlü 5. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 106
Şekil 5.26 : 6. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri. 106
Şekil 5.27 : Karekök dönüşümlü 6. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 107
Şekil 5.28 : 7. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri. 107
Şekil 5.29 : Karekök dönüşümlü 7. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 108
Şekil 5.30 : 9. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri. 108
Şekil 5.31 : Karekök dönüşümlü 9. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 109
Şekil 5.32 : 2. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri. 112
Şekil 5.33 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 2. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 112
Şekil 5.34 : 5. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri. 113
Şekil 5.35 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 5. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 113
Şekil 5.36 : 6. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri. 114
Şekil 5.37 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 6. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 114
Şekil 5.38 : 7. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri. 115
Şekil 5.39 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 7. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 115
Şekil 5.40 : 9. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri. 116
Şekil 5.41 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 9. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 116
Şekil 5.42 : RTYSA'da 2. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri. 119
Şekil 5.43 : RTYSA'da 2. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 119
Şekil 5.44 : RTYSA'da 5. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri. 120
Şekil 5.45 : RTYSA'da 5. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 120
Şekil 5.46 : RTYSA'da 6. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri. 121
Şekil 5.47 : RTYSA'da 6. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 121

Şekil 5.48 : RTYSA'da 7. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri.....122
Şekil 5.49 : RTYSA'da 7. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 122
Şekil 5.50 : RTYSA'da 9. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri.....123
Şekil 5.51 : RTYSA'da 9. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 123
Şekil 5.52 : GRYSA'da 2. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri. 125
Şekil 5.53 : GRYSA'da 2. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 126
Şekil 5.54 : GRYSA'da 5. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri. 126
Şekil 5.55 : GRYSA'da 5. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 127
Şekil 5.56 : GRYSA'da 6. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri. 127
Şekil 5.57 : GRYSA'da 6. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 128
Şekil 5.58 : GRYSA'da 7. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri. 128
Şekil 5.59 : GRYSA'da 7. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 129
Şekil 5.60 : GRYSA'da 9. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri. 129
Şekil 5.61 : GRYSA'da 9. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları. 130
Şekil 5.62 : Regresyon'da 2. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.....131
Şekil 5.63 : Regresyon'da 5. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.....132
Şekil 5.64 : Regresyon'da 6. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.....133
Şekil 5.65 : Regresyon'da 7. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.....134
Şekil 5.66 : Regresyon'da 9. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.....135
Şekil 5.67 : Gözlem noktalarındaki sıcaklık ve çözünmüş oksijenin derinliğe göre değişiminde ara tabakanın gösterimi. 138
Şekil 5.68 : 6. gözlem noktasının 1. tabakasının karesel hata grafikleri. 141
Şekil 5.69 : 6. gözlem noktasının 1. tabakasının tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 141
Şekil 5.70 : 6. gözlem noktasının ara tabaka dahil olan 2. tabakasının karesel hata grafikleri.....142
Şekil 5.71 : 6. gözlem noktasının ara tabaka dahil olan 2. tabakasının tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 142
Şekil 5.72 : 6. gözlem noktasının ara tabaka dahil olmayan 2. tabakasının karesel hata grafikleri. 143

Şekil 5.73 : 6. gözlem noktasının ara tabaka dahil olmayan 2. tabakasının tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları. 143
Şekil 5.74 : 2. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri. 145
Şekil 5.75 : 2. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları. 145
Şekil 5.76 : 5. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri. 146
Şekil 5.77 : 5. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları. 146
Şekil 5.78 : 6. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri. 147
Şekil 5.79 : 6. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları. 147
Şekil 5.80 : 7. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri. 148
Şekil 5.81 : 7. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları. 148
Şekil 5.82 : 9. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri. 149
Şekil 5.83 : 9. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları. 149

SEMBOL LİSTESİ

a : Momentum katsayısı
Al^{3+} : Alüminyum III İyonu
$Al_2(SO_4)_3$: Alüminyum Sülfat
$Al_2O_3\ xSiO_2$: Alüminyum Silikat
(aq) : Aqua (çözünmüş)
°C : Santigrat Derece
Ca : Kalsiyum
$CaCO_3$: Kalsiyum Karbonat
Cd : Kadmiyum
CH_4 : Metan
CN : Siyanür
Cl^- : Klorür (Klor İyonu)
CO_2 : Karbondiyoksit
CO_3^{2-} : Karbonat İyonu
Cu^{2+} : Bakır II İyonu
$CuSO_4$: Bakır II Sülfat
exp : Exponensiyel
F : Flor
Fe^{2+} : Demir II İyonu
$FeCO_3$: Demir II Karbonat
(g) : Gas
H^+ : Hidrojen iyonu
ha : Hektar
H_2O : Su
H_2CO_3 : Karbonik Asit
Hg^{2+} : Civa II İyonu
HNO_3 : Nitrik Asit
H_2SO_4 : Sülfürik Asit
H_2S : Hidrojen Sülfür
K : Potasyum
km : Kilometre
L : Litre
Mn^{2+} : Mangan II İyonu
$MgCO_3$: Magnezyum Karbonat
m : metre
mg : Miligram
$NO_2 – N$: Nitrit Nitrojen
$NO_3 – N$: Nitrat Nitrojen
$NH_3 – N$: Amonyak Nitrojen
Ni : Nikel
OH^- : Hidroksit İyonu
P : Fosfor
Pb : Kurşun

PO_4^{3-}	**:** Fosfat
R^2	**:** Determinasyon Katsayısı
(s)	**:** Sıvı
SO_4^{2-}	**:** Sülfat
µg	**:** Mikrogram
µm	**:** Mikrometre
µS	**:** Mikrosiemens
Zn	**:** Çinko

İZNİK GÖL SUYU KALİTE PARAMETRELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Tatlı su gölleri nüfusun üçte birinin sağlıklı içme suyundan yoksun olduğu dünyada artan bir kullanım talebiyle karşı karşıyadır. Dünyadaki tatlı suların yaklaşık % 70'ini oluşturan tatlı su göllerinin planlanmasında ve yönetiminde su kalitesi verilerinin yorumlanması önemli bir husustur. Göl suyunun kalitesindeki değişimleri incelemek için kullanılan metotlar arasında gözlem noktalarında yapılan anlık ölçümler, laboratuar ortamlarında yapılan çalışmalar, uzaktan algılama teknikleri ve nümerik modeller bulunmaktadır. Pahalı ve zaman alıcı bir iş olan veri toplama çabalarını en az seviyede tutabilmek modelleme çalışmaları ile mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları (YSA) temelli bir model kullanılmıştır.

Su kalitesinin belirlenmesinde egemen bir rol oynayan ve sudaki canlıların metabolik faaliyetleri, oksidasyon ve sentez reaksiyonları için gerekli olan çözünmüş oksijen, sudaki kirliliğin, organik madde miktarının ve alg etkiliğinin bir ölçütünü oluşturur. Bu tezde İznik Gölünün beş gözlem noktasında ölçülen ve derinlikle birlikte değişen çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonunun yapay sinir ağlarıyla belirlenmesine çalışılmıştır. Verilerinin ilk % 80'lik kısmının eğitim amaçlı son % 20'lik kısmının test amaçlı tasarlandığı modellerde giriş verisi olarak toplam çözünmüş katı madde, pH, iletkenlik, sıcaklık ve derinlik parametreleri kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında geri yayılım öğrenme ve Levenberg-Marquardt eğitim algoritmalı ve tek saklı tabakalı olarak tasarlanan ileri beslemeli geri yayınımlı yapay sinir ağı (İBGYSA) kullanılarak YSA yapısı için etkin giriş parametreleri seçilmiştir. Derinlik ve sıcaklık YSA yapısında optimum giriş olarak bulunmuştur. Bir sonraki adımda bu iki girişli YSA yapısı kullanılarak veriler için en uygun ölçeklendirme aralığı 0.1 ile 0.9 arası seçilmiştir. Ölçeklenmiş verileri normal dağlıma yaklaştırmak için dört faklı dönüşüm metodu denenmiş en uygun sonuçları veren karekök dönüşümü optimum dönüşüm olarak bulunmuştur. Daha sonraki adımda saklı tabaka ile çıkış tabakasında kullanılan transfer fonksiyonları araştırılmış ve YSA modellerinin yapılandırılmasında saklı tabakada transfer fonksiyonu olarak logaritmik sigmoid, çıkış tabakasında hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonları en uygun transfer fonksiyonları olarak bulunmuştur. Geliştirilen 2 girişli, 0.1 – 0.9 ölçeklendirme aralıklı, karekök dönüşümlü ve logsig – tansig fonksiyon çiftli YSA modelini kurma sürecinde saklı tabaka hücre sayısı ve iterasyon sayısı test hatasını en aza indirecek şekilde sürekli değiştirilmiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında bulunan bu optimum parametreler radyal tabanlı (RTYSA) ve genelleştirilmiş regresyon (GRYSA) yapay sinir ağında yapılan ÇO tahminlerinde kullanılmıştır. YSA ile uygulamalarda en iyi sonuç, İBGYSA ve RTYSA ile elde edilmiştir. Çalışmanın en son aşamasında sunulan YSA model sonuçları çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDDR) analizi ile karşılaştırılmıştır. YSA ve ÇDDR ile oluşturulan modellerlerden elde edilen çözünmüş oksijen değerlerinin hata

performansları karşılaştırıldığında, YSA'ların ÇDDR modellerinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

İznik Göl'ündeki ÇO'nin derinlik artıkça nasıl değiştiğini görmek amacı ile kurulan modellere ek olarak çalışmanın bir bölümünde göl tabakalaşmasının dikkate alındığı ve verilerin iki tabakaya ayrılarak her tabakanın kendi içinde değerlendirildiği İBGYSA tabanlı modeller tasarlanmıştır. ÇO'nin tahmini için tasarlanan bu modellerde, ilk tabaka, tabalaşmanın dikate alınmadığı modellere göre daha yüksek ikinci tabakalar daha düşük performanslar göstermişlerdir.

İznik Gölündeki ÇO verileri içinde eksik olan ÇO değerlerinin tahmin edilmeye çalışıldığı İBGYSA tabanlı bir model de denenmiştir. Bu yapıda derinlik ve sıcaklık girişlerine ek olarak bir önceki ÇO değeri de giriş olarak kullanılmıştır. Bu model iki girişli yapılardan daha yüksek performans göstermiştir.

Bu çalışmanın bundan sonra yapılacak olan çalışmalara önemli katkılar sağlayacağı beklenmektedir.

EVALUATION OF WATER QUALITY PARAMETERS FOR İZNİK LAKE BY MEANS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

SUMMARY

Fresh water lakes are facing an increasing water demand in a world whose one-third of population is suffering from lack of the safe drinking water. The interpretation of water quality parameters is an important point in the planning and management of fresh water lakes forming about 70 % of fresh water in the world. Instantaneous measurement in the stations, experiments in the laboratories, remote sensing techniques and numerical models are the methods used to monitor the variety of lake water quality. Models enable to hold expensive and time consuming data gathering process at the minimum level. In this work an artificial neural network model was used.

Dissolved oxygen which plays an important role in the investigation of the water quality is required for metabolic activities of living things in the water, oxidation and synthesis reactions. It is a measurement of pollution in the water, amount of organic matter and algae activities. In this thesis dissolved oxygen concentration derived from five observation points of İznik Lake and showing a change with depth was estimated by the means of artificial neural networks. Total dissolved solids, pH, conductivity, temperature and depth were used as input data in the models created by using 80 % of data for training and other 20 % for testing.

In the first part of this work effective input parameters were found using feed forward back propagation neural network with back propagation learning and Levenberg-Marquardt training algorithm with single hidden layer. Depth and temperature were determined as the optimum input parameters for the ANN structure. At the next step using this ANN structure with two inputs, optimum normalization range for the data was chosen as 0.1 – 0.9. Four different transformation techniques were used in order to convert the normalized data to normal distribution and square root transformation giving the most appropriate result was determined as the best transformation method. In the other step transfer functions used for hidden and output layer were investigated and logarithmic sigmoid for hidden layer and hyperbolic tangent sigmoid for output layer were found as an optimum transfer functions in the building of the ANN architecture. Designing this ANN model with 2 inputs, 0.1 - 0.9 normalization range, square root transformation and logsig – tansig activation function, hidden layer nod number and iteration number were changed continuously in the way that it made the test error minimum. In the next step this optimum parameters were used for the radial basis (RBNN) and the generalized regression neural networks (GRNN). The best results were obtained with FFBPNN and RBNN. The final step or the work results of the ANN were compared with the results of the multi variable linear regression analysis. By comparing the error performance of the ANN and MVLR, it was seen that the ANN models provided the more accurate result than MVRL models.

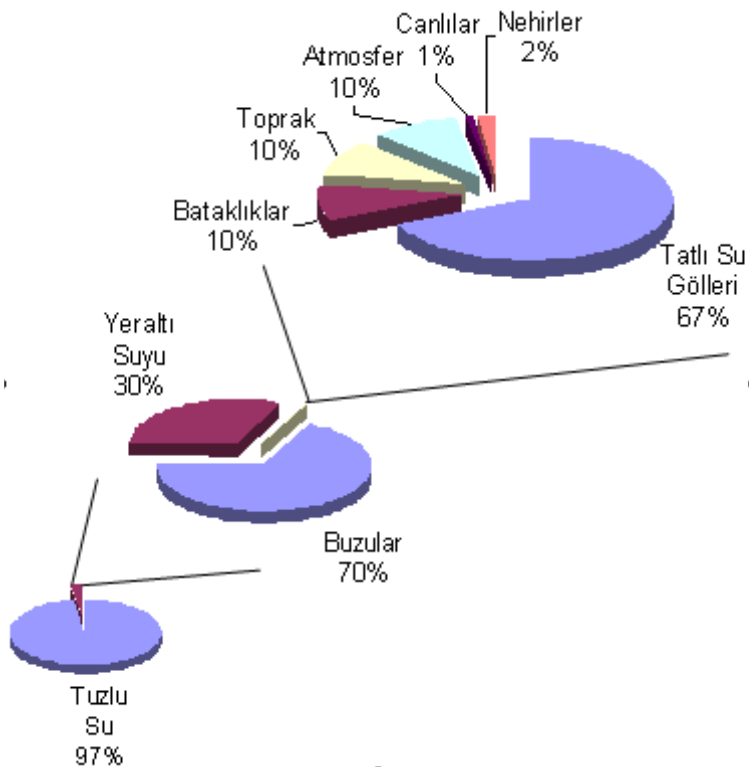
A part of this thesis mentions about the FFBPNN models which consider the lake stratification in addition to these models which were built for the aim to monitor how DO changes with increasing depth. In the lake stratification model, the training and testing of ANNs were accomplished for each stratification layer separately. In the first stratification layer, the ANN performance was found superior to the whole depth model. In the second stratification layer, the ANN performance was found inferior to the whole depth model.

Furthermore, a FFBPNN model considering also a third input, i.e. DO x-1, in addition to temperature and depth, was applied to the lake data. This structure has shown superior performance compared to the two inputs ANN structure.

It is hoped that the presented study would make significant contribution to the future works.

1. GİRİŞ

Her gün 25 bin insanın kalitesiz sular sebebiyle hayatını kaybettiği ve üçte birinden fazlasının sağlıklı içme suyundan yoksun olduğu bunun sonucunda da çoğunluğu çocuklar olmak üzere her yıl 3 milyon insanın ölümüne sebep olan 900 milyon ishal vakasının tahmin edildiği, 1.2 milyar insanın da kanalizasyon alt yapısından yoksun olduğu dünyada yaklaşık 1 trilyon 400 milyar km^3 su bulunmaktadır. Fakat bu suların % 97'si tuzludur. Geriye kalan tatlı suların % 69.6'sı donmuştur, % 30.1'i yeraltındadır ve % 0.3'lük kısmı oluşturan nehirler ve yağan yağmurun nehirlerden direkt olarak denizlere karışmasını önleyerek tatlı suyu kullanma zamanımızı uzatan ayrıca yeryüzündeki serbest suların % 0.009'u oluşturan (Doğan ve Soylak, 2000) tatlı su gölleri yoğun bir kullanım talebiyle karşı karşıyadır (UNEP, 1994). Şekil 1.1 dünyadaki bu su dağılımını yaklaşık yüzdeleriyle göstermektedir.



Şekil 1.1 : Dünyada yaklaşık yüzde değerleriyle su dağılımı (UNEP, 1994).

Göllerin karşı karşıya olduğu bu yoğun talep günümüzde dünyadaki göllerin sayısında yaşanan hızlı artışla doğrulanmaktadır. Çünkü evsel kullanım, sulama suyu ve enerji üretimi için kararlı bir su kaynağı sağlamak ve taşkın önlemek amacıyla akarsuların akımlarındaki dalgalanmayı ortadan kaldırmak için nehirlerin üzerine kurulan barajların meydana getirdiği yapay göller hızla artmaktadır (UNEP, 1994).

Ulaşılabilirliği herhangi bir zamanda erişilebilir miktarından çok hidrolojik döngüyle yeniden çevrilme hızına bağlı olan suların yeraltında yüzlerce – binlerce yılda, göllerde onlarca yılda ve nehirler 2 haftada yenilenmesi göz önüne alınırsa artan kullanım talebiyle karşı karşıya olan tatlı su göllerinin kullanımlarının planlanması ve yönetimleri büyük önem arz etmektedir (UNEP, 1994; Güler ve Çobanoğlu, 1997).

1.1 Tezin Amacı

Göllerinin planlanması ve yönetimi su kalitesindeki değişimleri değerlendirerek yapılır. Suyunun kalitesindeki değişimleri incelemek için kullanılan metotlardan biri Yapay Sinir Ağları (YSA)'dır. Sulardaki kirliliğin belirlenmesinde önemli bir ölçüt olan çözünmüş oksijeni belirlemeye yönelik bu çalışmada İznik Gölünün beş gözlem noktasından alınan çözünmüş oksijen, toplam çözünmüş katı madde, pH, iletkenlik, sıcaklık ve derinlik parametreleri kullanılarak YSA temelli bir model oluşturmak amaçlanmıştır.

2. GÖLLER VE GÖL SUYU KALİTE PARAMETRELERİNİN ÖNEMİ

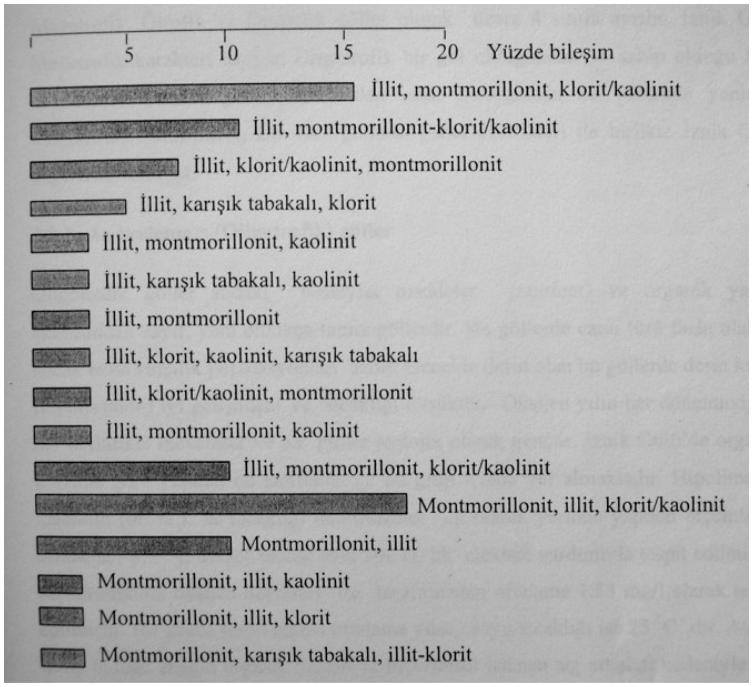
2.1 Göllerin Fiziko – Biyo – Kimyasal Özellikleri

2.1.1 Göllerin kullanım maksatları

Doğal ve yapay göller dünyadaki evsel kullanım suyunun büyük bir kısmını karşılarlar. Yağmur suyu ile yetişmeyen ürünlerin üçte birini sulamada kullanılırlar. Sanayi suyu temininde de önemli bir kaynaktırlar. Su ürünlerinden faydalanılır. Örneğin gelişmekte olan ülkelerdeki insanların çoğunun aldığı proteinin dörtte biri tatlı sulardaki balıklardan sağlanır. Bunlara ek olarak taşıma, turizm, dinlenme, enerji üretimi, taşkın kontrolü gibi amaçlar içinde kullanırlar. Ayrıca biyolojik çeşitlilik için gereklidir. Örneğin balık türlerinin üçte biri göllerde yaşar. Bu amaçlara zıt olarak kent ve sanayi atıklarının giderilmesi amacıyla da kullanılırlar (Doğan ve Soylak, 2000; UNEP, 1994).

2.1.2 Gölleri oluşturan süreçler

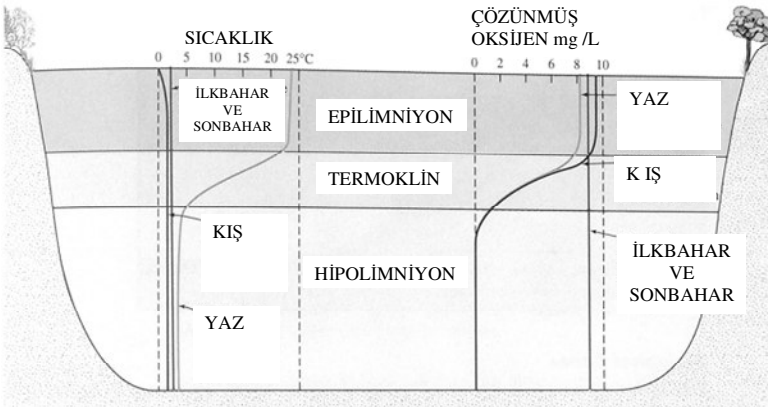
- Gölleri oluşturan faaliyetler: Tektonik basenler, toprak kaymaları, rüzgar etkinliği, volkanik aktivite, glasyal aktivite, çözelti aktivitesi, akıntı aktivitesi
- Göller sedimanlarla tamamen dolduktan sonra yaşam döngülerini tamamlarlar.
- Son 18,000 yılda göllerin dağlımını değiştiren faktörler: buzulların kıta üzerindeki hareketleri ve erimeleri, buz domları, su ortamların alçalıp yükselmesi, nem oranındaki değişiklik (Budakoğlu, 2000).
- Göller yakın dönemde buzullanma geçirmiş dağlık bölgelerde yaygındır.
- Irmakların yatak değiştirmesine bağlı olarak ırmak boylarında oluşur.
- Bol yağış alan yerlerin denize yakın yerlerinde çok göl olur (Doğan ve Soylak, 2000).
- Tek tip kil minerali yoktur, kaynak malzemeyi ve iklimi yansıtan farklı kil.mineralleri bulunur. Şekil 2.1'de güncel ve eski göllerdeki kil mineralleri birliği görülmektedir (Budakoğlu, 2000).



Şekil 2.1 : Güncel ve eski göllerdeki kil mineralleri birliği (Budakoğlu, 2000).

2.1.3 Derin göllerde tabakalaşma ve sirkülasyon

Tabakalaşma haliçler, koy ve körfezler başta olmak üzere, kıyı ve açık deniz bölümlerinde ve göllerde derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk ve bunlara bağlı yoğunluk farklılaşmasının aniden büyük değerler göstermesi sebebiyle, farklı özelliklerde birden fazla su kütlesinin bulunabilmesinidir (su kirliliği kontrolü yönetmeliği). Şekil 2.2'de bu durum görülmektedir.

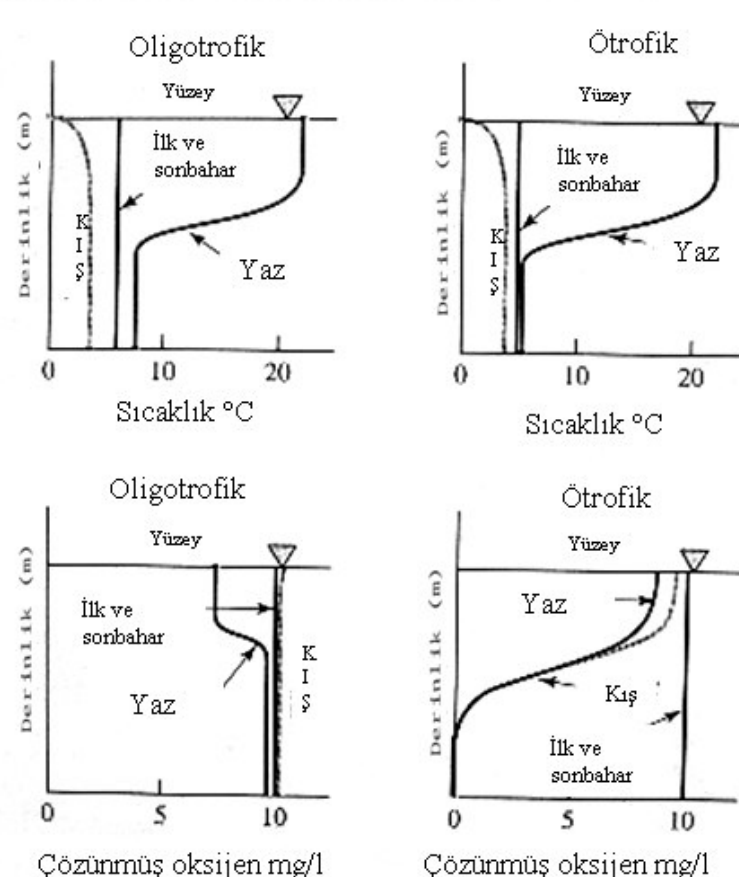


Şekil 2.2 : Ilıman ötrofik göllerde sıcaklık ve oksijen ilişkisi

Suyun sıcaklığı havanın sıcaklığına bağlı olarak değiştiğinden; Ilıman iklimlerde, göllerde yazın tabakalaşma, sonbaharda sirkülasyon olur. Soğuk iklimlerde kışın tabakalaşma, ilkbaharda sirkülasyon olur. Yazın yüzeydeki su sıcak havayla dolaylı olarak, güneş ışığı ile direkt olarak temasından dolayı ısınır. Su ısıyı iyi iletmediğinden ısı üst tabakada tutulur. Yüzeyde ısınan bu su rüzgar ya da botlarla oluşan dalgaların yarattığı türbülansla aşağı doğru belli bir derinlikte karışır. Bu derinlik;

1) Gölün boyutuyla alakalı olarak: küçük göllerde 1m, büyük göllerde 20 m ya da daha fazla olabilir.

2) Tabakalaşmanın oluştuğu ilkbaharda çıkan etkili bir fırtına ile artar.

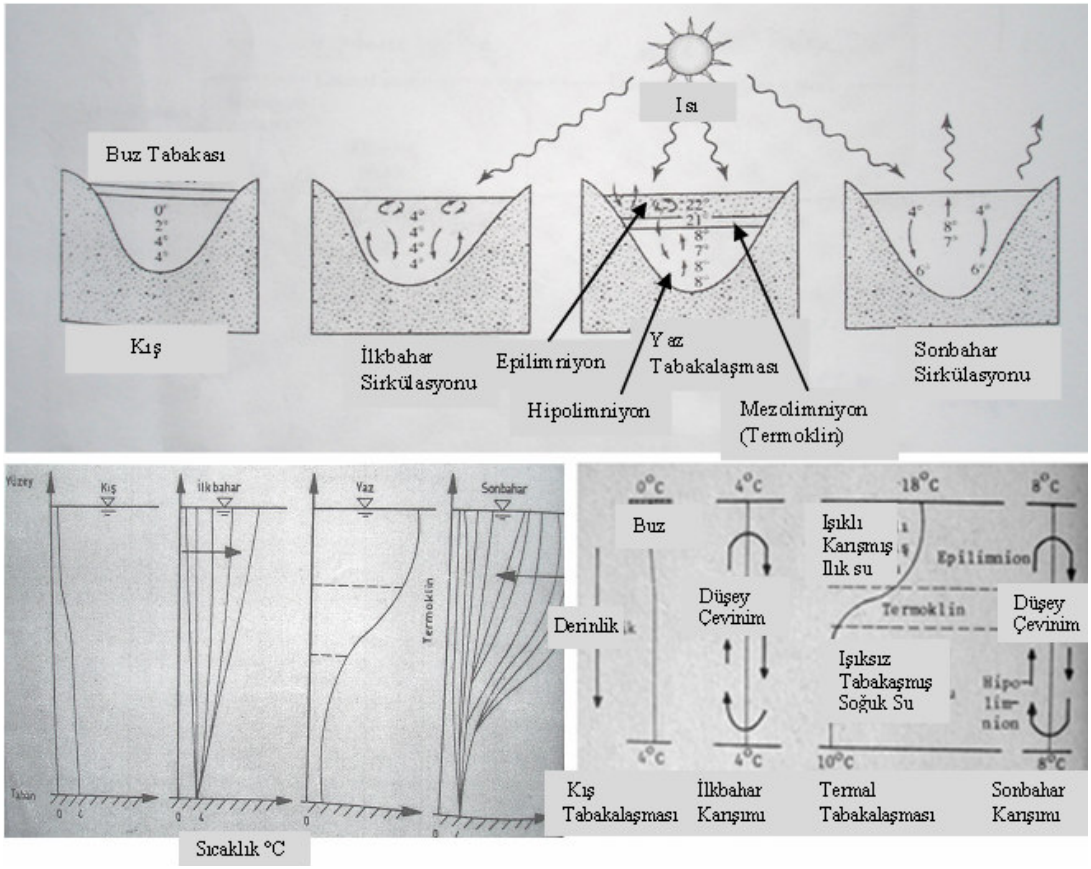


Şekil 2.3 : Sıcaklık ve çözünmüş oksijenin mevsimlik değişimi. (Davis ve Masten, 2004).

Sonunda iyi karışmış sıcak su (epilimniyon), karışamamış ve soğuk kalmış suyun (hipolimnion) üstünde yüzer. Sıcak su daha hafif olduğundan, sıcaklık farkı çok net görünür ve yaz sonuna kadar böyle kalır. Epilimniyon aerobik, hipolimnion çözünmüş oksijeni az, anaerobik ya da anoxiktir. Tabakalaşma esnasında suyun

sirkülasyonu, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar epilimniyonda olur. Kimyasallar tabana sınırlı iner. Çökebilenler hipolimniona gider. Mezolimniyon (Termoklin) 1°C/m 'den fazla sıcaklık değişiminin buna bağlı özgül kütle değişiminin olduğu epilimniyon ve hipolimnion arasındaki geçiş tabakasıdır. (Davis ve Masten, 2004; Karpuzcu, 1988).

Tabakalaşmanın oluşmasıyla göl sadece şiddetli fırtınalarla bozulabilecek kararlı bir yapı gösterir. Yaz boyu epilimniyonun ısınmaya devam etmesi ve hipolimnionun sabit sıcaklıkta kalmasıyla bu kararlılık artar. (Davis ve Masten, 2004)



Şekil 2.4 : Sıcaklığın mevsimlere bağlı olarak derinlikle değişmesi ve buna bağlı sıcaklık tabakalaşması – göl karışımı (Karpuzcu, 1988; Davis ve Masten, 2004).

Sonbaharda sıcaklığın düşmesiyle epilimniyon tabakası soğur ve özgül kütlesi hipolimnion tabakasının özgül kütlesinden fazla olur ve tabana doğru iner. Batarken de kendinden daha sıcak bir suyla karşılaştığından sıcaklığı biraz artar. Hipolimnion tabakası da yukarı çıkar, yukarıda soğur ve özgül kütlesi attaki sudan daha fazla olunca bu da batar. Bu şekilde bir sirkülasyon meydana gelir ve suyun sıcaklığı tüm

göl genelinde sirkülasyonla birlikte gittikçe azalır (Davis ve Masten, 2004; Karpuzcu, 1988). Yüzey ile dip kısımlardaki sıcaklık farkı azaldığı için tabakalaşmaların etkisini kaybettiği ilkbahar ve sonbaharda en küçük bir rüzgar hareketi ya da günlük sıcaklık değişimleri suyu karıştırmaya yetmektedir (Ünlü ve diğ., 2008). Kışın suyun sıcaklığı 4°C'ye gelince suyun yoğunluğu 4°C'de maksimum olduğundan sirkülasyon durur. Yüzeydeki su soğumaya devam eder. İlkbaharda su yeniden ısınınca yeniden bir karışım olur. Bu durum Şekil 2.3 ve Şekil 2.4 gösterilmiştir. Ilıman iklimlerde göllerde bir ya da iki kez tabakalaşma ve sirkülasyon meydana gelir (Davis ve Masten, 2004; Karpuzcu, 1988).

2.1.4 Kökene göre göller

Kökenlerine ya da oluşumlarına göre Türkiye'deki bazı göller aşağıda belirtilmiştir.

a) Tektonik Göller: Eğridir, Manyas, Tuz ve İznik Gölü

b) Krater Göller : Nemrut ve Acı Göl

c) Buzul Göller: Deli Göl, Camiligöl

d) Karstik Göller: Karagöl

e) Lav Set Gölü: Van Gölü

f) Heyelan Gölleri : Abant ve Yedi Göller

g) Alüvyal Set Gölleri: Bafa ve Köyceğiz

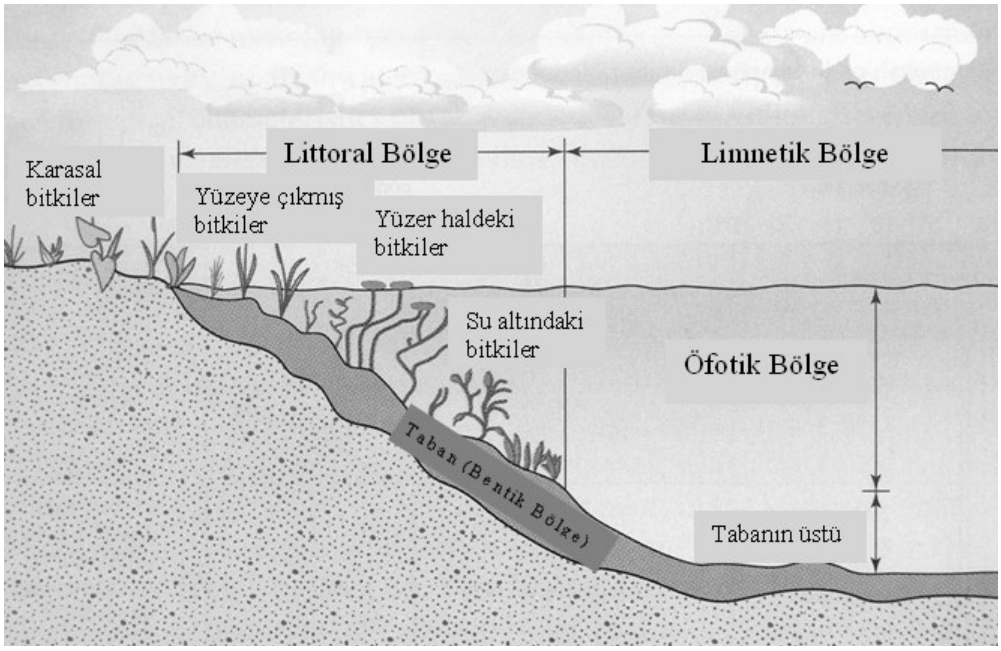
h) Lagün, denizle bağlantılı göller : Küçükçekmece, Büyükçekmece, Akyatan ve Akyayan Gölleri (Türkiye Çevre Atlası, 2004)

Tektonik göllerin yüzey alanları 0.1 - 105 km^2 arası değişir. Dünyadaki 249,349 tektonik gölden 155'inin yüzey alanı 102 – 103 km^2 arasındadır. İznik gölü ise yüzey alanı 100 – 500 km^2 arasında olan büyük göller kategorisindedir. Tektonik göller: kalıntı denizler, ters yükselmiş drenajlar, tektonik graben, rif şeklinde olabilir. Volkanik ve buzul göller arası fark belirgin, tektonik ve diğer göller arası fark belirsizdir. Dünyadaki 1000 – 10,000 km^2'lik 11 gölün kökeni ise saplanamadığından miscellaneous denen yeni bir gruba dâhil edilmiştir (Budakoğlu, 2000).

2.1.5 Göllerin ekolojik koşulları

2.1.5.1 Biyolojik alanlar

Göllerin ekolojik koşullarında önemli bir yere sahip olan Şekil 2.5'da gösterilen biyolojik alanlar aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 2.5 : Gölde biyolojik faaliyetler için oksijene ve ışığa bağlı birçok farklı alan bulunabilir.

Limnetik alan: Gölün üstünde ısı, ışık, yüksek oksijen ve besin akıntılar ile düzgün dağıtıldığından çeşitli türde alg ve plankton olabilir. (Doğan ve Soylak, 2000) Planktonik alglerin fotosentez yaparak üretici, kabuklular ve rotatorlar (tatlı su ve denizlerdeki en küçük çok hücreli hayvan) gibi zooplanktonların birinci tüketici, balıkların ve yüzebilen böceklerin ikinci tüketici olduğu atmosfere açık tabakalardır. (Davis ve Masten, 2004).

Öfotik alan: Üst tabakadaki güneş ışığı seviyesinin % 0.5 – 1'den daha fazla geçebildiği derinliğe kadar olan bölümdür. Bu alglerin ve macrophytes'lerin yaşayabileceği minimum ışık seviyesidir. Öfotik alan epilimniyon tabakasında oluşur ama çok temiz göllerde hipolimnion tabakasına kadar genişler. Mesela Superior Gölünde yazın alg gelişimi 25 m'de Thao Gölünde de 100 m'de olurken epilimniyon tabakaları sadece 10'ar metredir. Öfotik alanda kıyıya yakın sığ sularda köklü bitkilerin, derin sularda alglerin fotosentezle ürettiği oksijen solunumla tükettiklerinden daha fazladır. Öfotik alanın altında profundal alan vardır. Bu ikisi

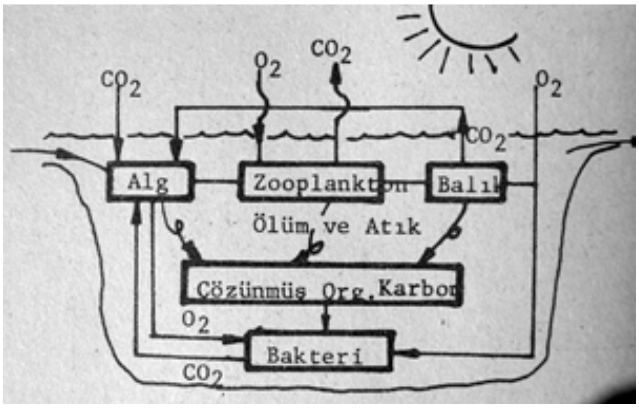
arasındaki derinlikte fotosentezle glikoza çevrilen CO_2, solunumla dışarı atılan CO_2'e kabaca eşittir. (Davis ve Masten, 2004).

Littoral alan: Kıyıya yakın sığ sularda kökü su tabanında olan kimi yukarı doğru çıkmış, kimi suda yüzen, kimi suyun dibindeki su bitkilerinin gelişebildiği alanlardır. Genişlik = Öfotik alan derinliği / gölün taban eğimi. (Davis ve Masten, 2004).

Bentik alan: Dip sedimanlardır. Üst suda yaşayan ve öldükten sonra tabana çöken organizmalar burada bulunan bakteri ve mantarlar tarafından parçalanırlar. Bentik alanda birbirlerine tutunmuş algler de bulunabilir. Oksijenin varlığına göre kurtlar, suda yaşayan böcekler, kabuklular ve yumuşakçalar da olabilir. (Davis ve Masten, 2004).

Zooplanktonlar algleri yer, balıklarda bunları yer. Her biri diğerinden daha yüksek besin kademesindedir. Bu esnada oluşan organik C'lu atıkları kullanan bakteriler CO_2 oluştururlar. Zooplankton ve balık solunumlarından da CO_2 çıkar. Atmosferden de CO_2 girişi olur. Bu CO_2'leri algler kullanır. Algler güneşi enerji kaynağı olarak kullanarak C, N, P alır ve daha yüksek enerjili moleküller yapar. Bu oluşumlar Şekil 2.6 gösterilmiştir. Alg: $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P_1$ (1 molekül alg için 106 C atomu vs.) C:N:P – 106:16:1 bu elemanlardan birinin az olması alg oluşumunu önler (Karpuzcu, 1988).

Fotosentezde enerji kaynağı olan ışık derinlikle birlikte logaritmik olarak azalır: $I(z) = Io.e^{-kz}$ (Io: yüzeydeki ışık şiddeti z: yüzeyden itibaren derinlik k: ışığın azalma sabiti) (Karpuzcu, 1988). Sığ göllerde, güneş dibe kadar indiği için organizmalar dipte temizleme yaparlar. Derinlerde anaerobik organizmalar etkilidir ve H_2S gazı çıkar (Mutluay ve Demirak, 1996).



Şekil 2.6 : Göldeki biyokimyasal reaksiyonlar (Karpuzcu, 1988).

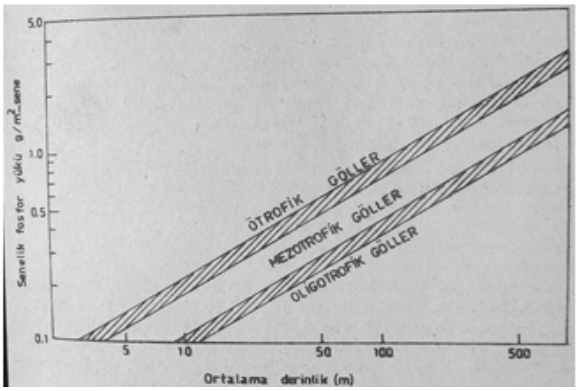
2.1.5.2 Göl üretkenliği

Deniz ve göl sularının üretkenlik seviyeleri, bu ortamların çeşitli özelliklerinin bir sonucu olup, ondan yararlanılma biçimini etkilerler. Brüt (gros) birincil üretkenlik, deniz ve göl gibi su kütlelerinde anorganik karbonun birim zaman ve yüzey alanı başına organik ürünlere dönüştürülerek, organizma bünyesine alınan miktarını; net birincil üretkenlik ise iç solunum ve diğer enerji kayıpları düşüldükten sonra kalan birincil üretkenlik miktarını temsil eder (su kalitesi kontrolü yönetmeliği).

Biokütle konsantrasyonu fazlalığından dolayı üretken olan göllerdeki problemler:

1. Tat ve koku problemi
2. Özellikle geceleri düşük çözünmüş oksijen seviyesi
3. Suyun berraklığını kaybetmesi
4. Aşırı macrophyte, çamur kurtları ve besin maddelerini hızla tüketen balıkların üremesi (Davis ve Masten, 2004).

Üretkenlik, sınırlayıcı faktörler (fosfor, nitrojen, güneş ışığı) tarafından kontrol edilir. Fosfor genelde atmosferde ve doğal su kaynaklarında kolay bulunabilen bir madde değildir. Bunun için alg üreme miktarını kontrol eder. Alg patlamasını önlemek için fosfor 0.010 – 0.015 mg/L'in altında olmalıdır. (Davis ve Masten, 2004). İnorganik - N < 0.3 mg/L ve ortha fosfat – P < 0.02 mg/L ise algler fazla üremez. Senelik ortalama toplam N < 0.2 mg/L ve P < 0.03 mg/L ise Ötrofikasyon tehlikesi yoktur (Karpuzcu, 1988). Thoman ve Mueller'e göre toplam fosfor < 10 µg/L ise göl oligotrofik, 10-20 µg/L ise mezotrofik ve >20 µg/L ise ötrofiktir (Ünlü ve diğ., 2008). Şekil 2.7'de göl derinliğine (m) göre fosfor yükleri (g/m^3.yıl) müsaade edilen değerleri geçmezse göl oligotrofik, tehlikeli yükte olursa ötrofik olur (Karpuzcu, 1988).

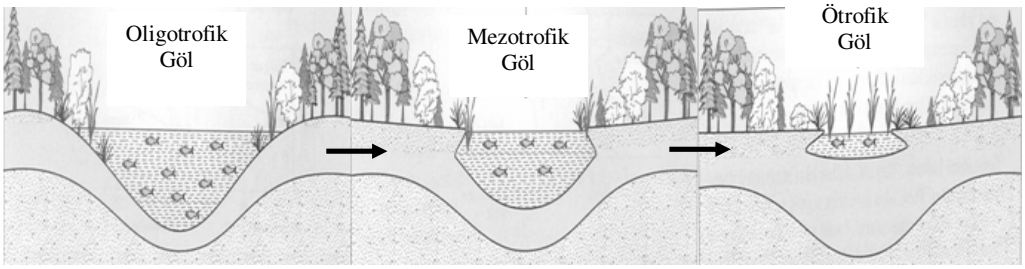


Ortalama Derinlik (m)	Müsaade edilebilir yük gr/m^2 göl yüzeyi-sene		Tehlike arzeden yük gr/m^2 gölyüzeyi-sene	
	N	P	N	P
5	1,0	0,07	2,0	0,13
10	1,5	0,10	3,0	0,20
50	4,0	0,25	8,0	0,50
100	6,0	0,40	12,0	0,80
150	7,5	0,50	15,0	1,00
200	9,0	0,60	18,0	1,20

Şekil 2.7 : Göl derinliğine göre fosfor yükleri (Karpuzcu, 1988).

2.1.5.3 Göllerin doğal hayat döngüleri

Göllerin doğal hayat döngüleri zamanla değişerek genç, orta yaşlı ve yaşlı göller oluştururlar. Öncelikle gölün kıyısındaki ağaçlar ve diğer bitkiler organik artıkları göle bırakırlar. Bunlar göldeki organizmalar için karbon kaynağı olurlar. Bu da kökü gölün tabanında olan su bitkilerini geliştirir. Bunlar parçalandıkça kamışlar, sazlıklar, çimlikler, hasırotları, kofa, kilis için yeni bir habitat oluştururlar. Göl küçüldükçe ve üretkenliği arttıkça anaerobik ya da anoksik olur ve göl ekosisteminde önemli değişiklik meydana gelir. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi göller yaşlandıkça suları çekilir ve kıyıları karaya dönüşür. Göl önce sulak bir çayırlığa sonra bir bataklığa ardından ağaçlık ve çimlik bir alana dönüşür. (Davis ve Masten, 2004).



Şekil 2.8 : Göllerin hayat döngüleri.

Oligotrofik göller: Alg gelişimini destekleyen besi maddeleri kaynağının sınırlı olması nedeniyle bu göllerde üretkenlik düşük seviyededir. Genelde derin ve büyük derinliklere kadar taban gözükecek kadar temizdir. Öfotik alan hipolimnion tabakasına kadar genişler. Jeolojik olarak genç göllerdir. Bu göllerde canlı türü fazla ama popülasyonu azdır ve amatörce avlanılmasına izin verilen soğuk su balıkları bulunur. (Davis ve Masten, 2004; Budakoğlu, 2000).

Ötrofik göller: Fazla miktarlardaki besi maddesinden dolayı yüksek bir üretkenliğe sahiptir. Algler suda fazlaca bulanıklığa sebep olduğundan Öfotik alan epilimniyon tabakasının içinde sadece bir kısma kadar genişleyebilir. Algler öldükleri zaman gölün tabanına çökerler ve burada bentik organizmalar tarafından parçalanırlar. Bu parçalanma yazın tabakalaşma sırasında hipolimnion tabakasındaki oksijeni tüketir. Böylece yaz boyu hipolimnion tabakası anaerobik olduğundan sadece sıcak su balıkları gölde bulunabilir. Zaten hipolimnion tabakası anaerobik olmadan çok önce soğuk su balıkları gölden gitmiştir. Çünkü bunlar en az 5 – 6 mg/L çözünmüş oksijene ihtiyaç duyarlar. Ötrotrofik göllerde yüzen geniş alg yığınları suya hoş olmayan tat ve koku verirler. (Davis ve Masten, 2004).

Mezotrofik göller: Ötrotrofik göllerle oligotrofik göller arasında kalan ve hipolimnion tabakasında büyük miktarda oksijen tüketimi olmasına rağmen aerobik kalan göllerdir. Alg patlaması görülmez. Su kalitesi bozuktur (Davis ve Masten, 2004; Budakoğlu, 2000).

Mezooligotrofik göller: Üretkenlik seviyesi oligotrofik göllerden daha fazla ama mezotrofik göller kadar çok değildir. (Davis ve Masten, 2004).

Distrofik göller: Etrafı genelde iğne yapraklı ağaçlarla çevrili, bu iğne yaprakların göle düşmesi ve ayrışması sonucu asitik olan, sarımsı bir kahvelikte, orta derecede temiz, yüksek miktarda çözünmüş organik madde ve tanin içeren küçük göllerdir. Göle dışarıdan çok büyük miktarda organik madde ulaşır fakat düşük besi maddesi seviyesinden dolayı üretkenlik azdır. Bu göllerde kendine has alg, böcek ve balıklar bulunur. Sphagnum moss su yüzeyinde kalın bir tabaka olarak oluşur. Ayrıca özellikle göllerin kenarlarında fazla miktarda su bitkisi bulunur. Gölün derin tabanında hiç oksijen bulunmaz dolayısıyla hiç balık yaşayamaz. Yazın sadece sığ bölgelerde aerobik hayat olabilir. (Davis ve Masten, 2004).

Hiperötrofik göller: Şiddetli alg patlamalarının olduğu, fazla miktarda organik sedimanın biriktiği sığ göllerdir. Sık ve çok miktarda zararlı ot yatakları ve filement alg birikimleri vardır. Su berraklığı düşüktür. Klorofil ve yüksek fosfor vardır. Balıklar ve diğer su canlıları oksijen konsantrasyonunda bazen çok artışa bazen tamamen tükenişe varan büyük değişimlere maruz kalırlar. Kışın hatta yazın bile bu oksijen azalması balıkları bazen de diğer organizmaları öldürebilir. Suyun eğlence amaçlı kullanımı bu göllerde azdır. (Davis ve Masten, 2004).

Yaşlı göller: Ötrofikasyonun çok ileri bir basamağında bulunan çok yaşlı, ölmüş bitkilerin ve su bitkilerinin birikmesi sonucu kalın organik sedimanlara sahip sığ göllerdir. Kökü su tabanında olan bitkileri çok fazladır. Bunlar bir süre sonra sulak bir çayırlığa dönüşürler. (Davis ve Masten, 2004).

2.1.6 Göl suyu kalite parametreleri

2.1.6.1 Toplam katı madde (TKM)

Katı madde, organik ve ya inorganik, parçacıklar yani çökebilen, çözünmüş ve ya ikisi arasında kalan ışık geçirgenliğini azaltarak bulanıklığa sebep olan askıda (koloidal) madde olabilir. Bağlı olduğu parametreler: toprak örtüsünün yok olması ile

verimli toprak üst tabakaların su ortamlarına taşınması sonucu ortaya çıkan toprak erozyonu, akarsu kanallarındaki erozyon, göl akıntısı, derinlik, evsel ve endüstriyel atık sulardır. Sığ göllerde rüzgâr dip çökeltileri harekete geçirir bunun için ölçümler rüzgârsız havada yapılır (Budakoğlu, 2000). Göllerin uzun zaman akmadan durması askıda maddelerin yer çekiminden dolayı çökmesine ve nehirlere göre daha berrak bir görünümde olmalarına sebep olur (Mutluay ve Demirak, 1996). Yüksek askıda katı madde (AKM) akarsuların göle bağlandığı bölgelerde aynı zamanda evsel atık suların göle sızdığı bölgelerde görülebilir (Ünlü ve diğ., 2008).

Doğal sulardaki toplam çözünmüş madde inorganik tuzlardan kaynaklanır. TÇM mevsimlerden, jeolojik koşullardan, iklimden ve atık deşarjından etkilenir. Sularda bulunan toplam çözünmüş katı madde içinde klorür iyonlarının genellikle en önemli bileşeni oluşturduğu söylenebilir. Klorür değerlerinin yüksek oluşu, tuzluluğun ve buna bağlı olarak Eİ'nin de yüksek değerde olduğunun göstergesidir (Ünlü ve diğ., 2008). Suların tatlı, hafif tuzlu (brackish), tuzlu (saline) ve deniz suyu olarak sınıflandırılma temeli toplam çözünmüş maddeye (TÇM) dayanır. Estetik bir standart olan, suyun güvenilirliği ya da zararı konusunda bir ölçüt olmayan TÇM göl ve nehirlerde genelde 200 mg/L'den azdır. EPA (Environmental Protection Agency) içme sularında 500 mg/L'ye kadar TÇM'ye izin verir. Bunun yukarısında suyun tadı tuzlu olur. Sulama suyunda ise üst limit 1500 mg/L'dir (Qasım ve diğ., 2000).

TKM'nin önemi: Toksik parçacıklar (< 63µm) fitoplanktonların ve balıkların oluşumunu etkiler. Gün ışığını absorblar ve suyun sıcaklığını arttırır (Budakoğlu, 2000). Güneş ışınlarının su bitkilerine ulaşmasını engelleyerek fotosentezi etkileyerek sudaki ÇO'nun azalmasına neden olurlar. Ayrıca dibe çökerek tabanda yaşayan bentik canlıların yaşam ortamlarını olumsuz etkilerler (Ünlü ve diğ., 2008).

2.1.6.2 Elektriksel İletkenlik (Eİ)

Toplam çözünmüş madde (TÇM) ile ilgili olan ve sulardaki iyon sayısı hakkında bilgi veren iletkenlik suyun elektriği iletebilme kabiliyetidir. Santimetre başına microsiemens ya da micromhos ile ifade edilen elektriksel iletkenlik (Eİ) sudaki çözünmüş madde yani iyonlar artıkça artar. Toplam çözünmüş madde ile iletkenlik arasındaki ilişki doğrusallığa çok yakın olduğu için TÇM = k . Eİ ile formülize edilebilir. Burada k sabiti suyun sıcaklığının çözünmüş madde üzerindeki etkisini

temsil eder. TÇM'in konsantrasyonuna göre değişik değerler alan k sabiti 0.5 ile 0.9 arasında değişir. (Ünlü ve diğ., 2008; Qasım ve diğ., 2000).

2.1.6.3 pH

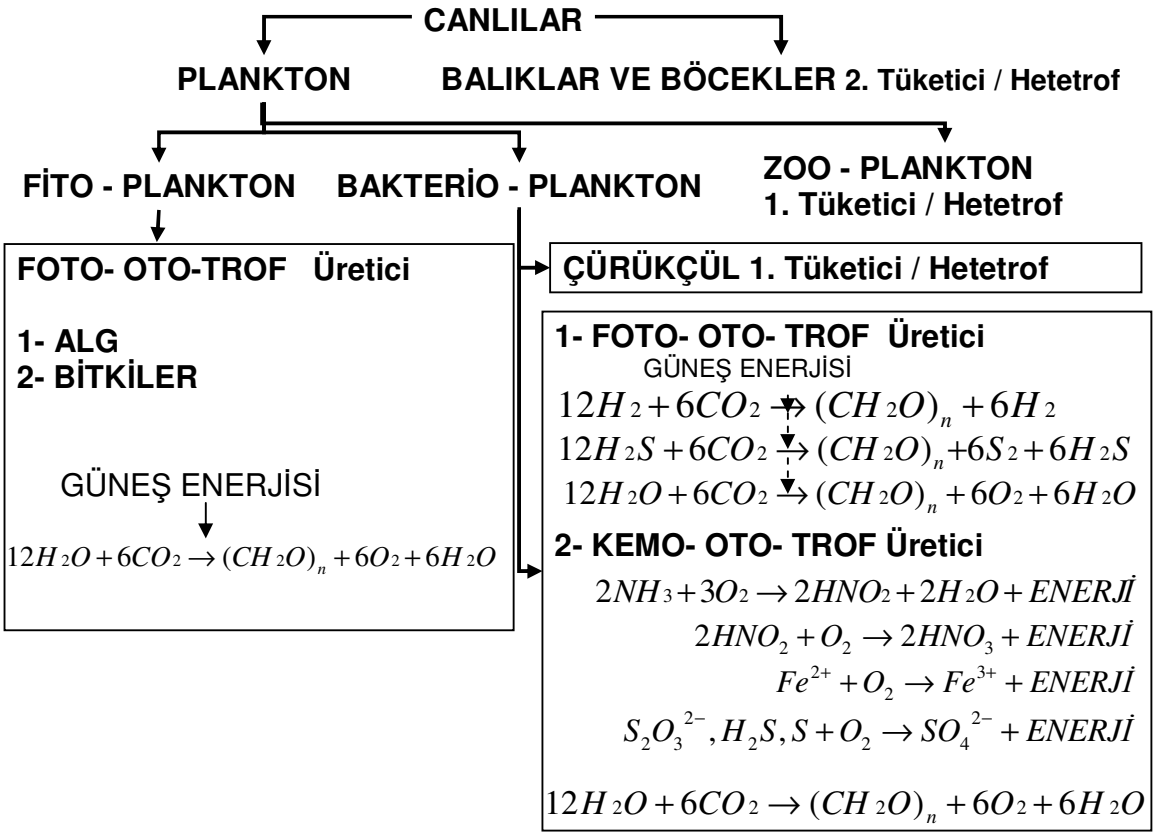
Hidrojen iyonu (H^+) ve hidroksit iyonunun (OH^-) aktivasyonunu belirten ve suyun kimyasındaki değişimlerden hemen etkilenen pH, H^+ artıkça asidik, OH^- artıkça bazik olur (Sawyer, 1994). pH 5 pH 6'dan 10 kez daha asidiktir. pH metal iyonların duyarlılığını ve tabandaki sedimanlarda minerallerin oluşumunu denetlemesi bakımından önemlidir. Birçok organizma için pH 9.5 – 4.5 arası olmalıdır (Budakoğlu, 2000). pH'ın sucul yaşam için gerekli optimum sınırları ise 8.5 – 9.0 arasındadır (Çil ve Alaş, 2002).

2.1.6.4 Çözünmüş oksijen (ÇO)

Matematiksel modellerle tanımlanması zor olan, su sıcaklığı, atmosferdeki oksijen basıncı, gölde oksijen üretici ya da tüketici kaynaklar, oksijenin çözünebilirliği, mevsimler, gün içinde ölçülme zamanı – pozisyonu – derinliği, gölün yüzey alanı ve derinliğine bağlı olan çözünmüş oksijenin (Deng ve diğ., 2006) kaynağı atmosfer ve fotosentezdir. Yeşil bitkilerin ürettiği oksijenin % 88.9'u su bitkilerindendir. Derin göllerde, m^2 yüzey/m^3 su hacmi oranı düşük olduğundan alınan oksijen ihtiyaçtan azdır (Mutluay ve Demirak, 1996).

Fiziksel kaynağı atmosfer olan oksijenin biyo – kimyasal kaynağı incelendiğinde sudaki O_2 üreten ve tüketen kaynakları gözden geçirmek gerekir. Şekil 2.9'da göllerde oksijen üreten ve tüketen kaynaklar genel olarak görülmektedir. Suda birçok organizma bulunur. Bunlar planktonlar ve diğer yüksek yapılı canlılardır. Yüksek yapılılar O_2'ni tüketirler. Planktonlar fito – bacterio – zoo olarak 3'e ayrılır. Zoo – planktonlarda balıklar ve böcekler gibi kendi besinlerini üretemeyen ve dışardan besin alan canlılardır. Bitkisel kökenli olan fito – planktonlar bitkisel organizmalardan oluşur. Bunlar içinde en önemlisi alglerdir. Bunlar güneş enerjisini kimyasal forma dönüştürür. Bu esnada O_2 üretir. Bakterio – planktonlar besin maddesi üretenler ve üretemeyenler olarak 2'ye ayrılır. Üretemeyenler çürükçüllerdir. Bunlar dışardan aldıkları besin maddesini oksitleyerek ihtiyaç duydukları enerjiyi üretirler. Oksitleme işini serbest O_2, bağlı O_2, ve ya oksijensiz yapabilirler. Diğerleri güneş enerjisini kimyasal forma dönüştüren canlılardır. Bunlardan hidrojen kaynağı olarak suyu kullananlar O_2 açığa çıkarırlar ve başka

kimyasal reaksiyonlar sonucunda elde ettikleri enerjiyi besi maddesine dönüştüren canlılardır. Bunlar amonyağı, nitrik asiti, demiri, sülfatı, hidrojen sülfürü, hidrojeni O_2 ile oksitleyerek elde edilen enerjiyi kimyasal forma dönüştürürüler ve açığa O2 çıkar. Genelde kemosentez ve fotosentez yapan bakterilerden ziyade fotosentez yapan algler sudaki O2in büyük bölümünü üretir. Bu sebepten algleri etkileyen faktörler göldeki ÇO'ide etkiler. Yaptıkları fotosentez ki amaç besin üretmektir ve bir çok faktöre bağlıdır.



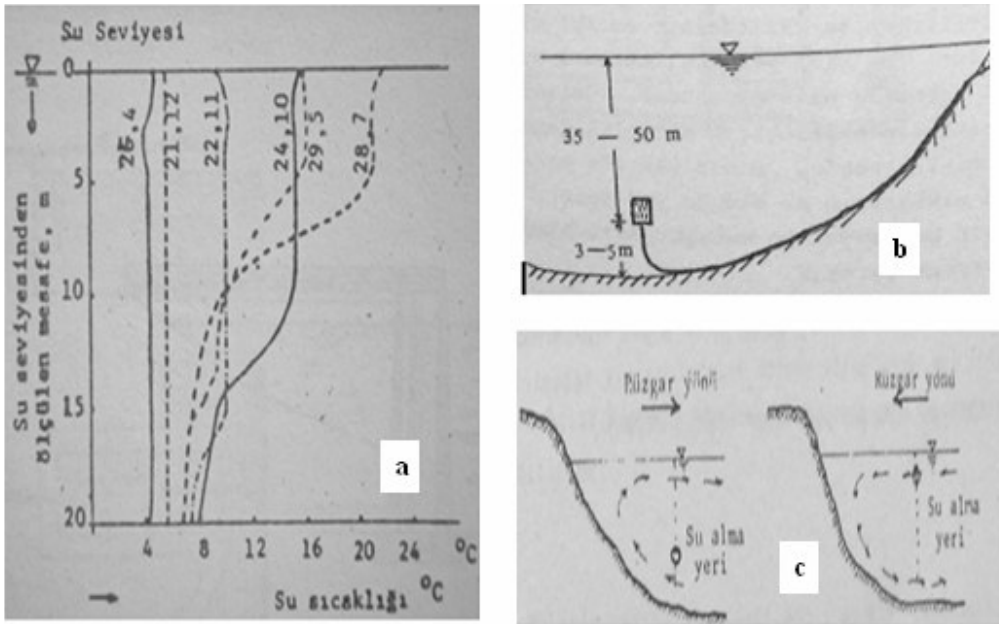
Şekil 2.9 : Göllerde oksijen üretici ve tüketici biyo – kimyasal kaynaklar.

Çözünmüş oksijenin önemi: Ötrofik gölleri belirlemek için yazınki tabakalaşmada hipolimniondaki oksijen azalması kullanılır. Ama bunun göl morfolojisiyle ilgili birçok faktöre bağlı olması problem yaratır (Karpuzcu, 1988). Çözünmüş oksijen (ÇO) konsantrasyonu suyun kirlenme derecesini, sudaki organik madde konsantrasyonunu ve suyun kendi kendini ne derece temizleyebileceğini ifade eder (Ünlü ve diğ., 2008).

2.1.6.5 Sıcaklık

Göllerde tabakalaşmanın belirlenmesinde ölçülmesi gereken en önemli parametre olan sıcaklık, su kaynağındaki biyolojik ve kimyasal işlemleri etkilediğinden parametrelerin konsantrasyonu değişir. Sıcaklık aylara ve derinliğe göre değişimler gösterir (Ünlü ve diğ., 2008).

Gölden su almada sıcaklık, derinlik ve oksijenin önemi



Şekil 2.10 : (a) Gölün sıcaklık ve derinlik profili. (b) Taban ve yüzey mesafeleri. (c) Rüzgar yönü etkisi (Sümer, 1992).

Su alma yeri;

1. Atık su mansabından uzak, oksijenin fazla - planktonun az olduğu yer olmalı
2. Gölün sıcaklık ve derinlik profili olmalı. Şekil 2.10 (a)'da 15 – 20 m'de sıcaklık yıl boyunca fazla değişmediğinden (7 – 15°C) bu derinlik arasında olmalı.
3. Şekil 2.10 (b)'de gösterildiği gibi taban çökeltileri dalga hareketleriyle su alma ağzına girmesin diye tabandan 3 – 5 m yukarıda olmalı
4. Yüzeyden itibaren küçük gölde en az 5 m büyük gölde en az 15 m mesafede olmalı
5. Hakim rüzgar yönünün tersinde olmalı (Şekil 2.10 (c)) olmalı (Sümer, 1992).

2.1.6.6 Göllerin inorganik bileşimi

Bir gölün drenaj alanındaki kaya tipi, göl suyunun inorganik bileşimini belirleyen en önemli unsurdur (Ünlü ve diğ., 2008). Çizelge 2.1'de Gölde bulunan kimyasallar, kaynakları ve etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Gölde bulunan kimyasallar, kaynakları ve etkileri (Mutluay ve Demirak, 1996; Karpuzcu, 1988).

Kimyasal	Kaynak	Etkisi
$CaCO_3$ ve $MgCO_3$	Kireç taşı ve dolomit	
Sülfür ve $H_2S(g)$	Volkanik yerler	
$H_2S(g)$	Anaerobiklerin etkin olduğu dip kısım	
K, P, N	Gübre, atık su deşarjından	Zaralı otlara sebep olur. 0.01 ppm P yosunlanmaya sebep olur.
$FeCO_3$	Kuyu ve ya madenler	Suyun kırmızı olması $FeCO_3$'ın suda az çözünmesindendir.
Hg, Pb, Cd tuzları		Toksiktir.
Saf olamayan Al_2O_3 $xSiO_2$ (kil)	Suyun kaya ve toprağı aşındırması sonucu oluşur	Suda bulanıklık yapar.
CN, Fe^{2+}, PO_4^{3-}, Hg^{2+}, Cu^{2+}, Mn^{2+}, CO_3^-		CN zehirlidir; Fe^{2+}, PO_4^{3-}, Hg^{2+}, Cu^{2+}, Mn^{2+} tat bozar.
NO_3^-	Baklagillerin köklerindeki bakteriler havadaki N'tan NO_3^- oluşturur ya da Canlılar ölüp çürüyünce yapılarındaki N, NO_3^- olarak toprağa geçer. Toprak tarafından absoplanan bu NO_3^- sonra suda çözünür.	Yosun büyüme hızını artırır. 50 ppm bebeklerde hastalık yapar.
$CuSO_4$	Göle yosun üremesini önlemede $CuSO_4$ atarlar.	

Klorür: Suyun temasta olduğu jeolojik formasyonlardan kaynaklanan klorür endüstriyel ve evsel atıklardan kaynaklanan kirliliğin göstergesi de olabilir ya da tuzlu suların tatlı sulara, akiferlere karışması sonucu da ortaya çıkabilir. Yüksek klorür konsantrasyonu metal boru ve yapılara, ağaç ve bitkilerin çoğuna zararlıdır. Klorür içeriği sularda mineral içeriğinin fazla olması anlamına gelir ve 250 mg/L'den yüksek konsantrasyonlarda tuz tadı oluşturur. Yağışın az buharlaşmanın çok olduğu aylarda klorür konsantrasyonunda artış görülebilir (Ünlü ve diğ., 2008).

Toplam alkalinite: Birçok madde suyun alkalinitesine katkıda bulunmakla beraber, doğal sularda alkalinitenin en önemli kısmı; hidroksitler, karbonatlar ve bikarbonatlardan ileri gelmektedir. İlkbahar ve sonbahar karışımlarında dip karışımının yüzeye çıkmasıyla bu alkali değerlerin arttığı söylenebilir. Alkalinite ve pH'nın yüksek olması halinde sıcaklığın da artışıyla birlikte amonyum iyonu amonyağa dönüşeceğinden su ortamı özellikle balık ve diğer organizmalar için toksik hale gelecektir. Bu nedenle alkali göllere evsel atık suların deşarjı daha tehlikeli hale gelmektedir. Amonyum azotu suda yaşayan organizmalar için önemli ölçüde toksik değildir. Ülkemizde balık yaşayan sularda amonyum için tolerans sınırı 0.10 mg/L'dir (Ünlü ve diğ., 2008).

Tuzluluk

Çoğu göl tatlı sudur. Derin göllerin yüzeyi yağmur suyu ile karıştığından burada tuz miktarı azdır. Tuzlu göller eski deniz kalıntısı olabilir. Tuzun cinsi deniz tuzunun cinsine bağlıdır ama yoğunluğu gölde daha fazladır. Tuzluluk ayrıca jeolojik yapı, buharlaşma (çöl iklimlerinde fazladır) ve akarsu karışmasına da bağlıdır. Suyunu tuzlu membadan alırsa ya da tuz yatakları üzerinde bulunursa da göl tuzlu olabilir. Örnek: Ölü Deniz, Hazar Denizi, Aral Gölü (Mutluay ve Demirak, 1996). Kurak bölge göllerinde tuz ve alkali bileşikler fazladır. Tuz çevre kayaçlardan suda çözünerek gelir. Kapalı havza göllerinde buharlaşma fazla olduğundan tuz oranı fazladır (Doğan ve Soylak, 2000).

2.1.7 Gölleri tehdit edici faktörler

1) Kirlilik
    a. Yerleşimle birlikte gelen tarımsal faaliyetler sonucu akışa geçen yüzey suyunun kimyasalları kirlilik oluşturur.
    b. Gene yerleşimin sonucu sanayiden gelen toksik kimyasallar kirlilik yaratır.
    c. Yerleşimin bir başka sonucu kentsel atıklarında göllere deşarjı kirliliğe sebep olur.
    d. Taşımacılık esnasında yağ ve muhtelif atıklarını göllere bırakan gemilerde kirliliğe sebep olur.
    e. Hava kirliliği yüklü yağmurlar da göl suyunu kirletir.
2) Sulama maksadı göllerin su seviyelerinde önemli salınımlara sebep olur.

3) Ormanların tahribatı erozyonu tetikler ve bunun sonucunda göller sedimanlarla dolar buda göllerin yaşam sürelerini kısaltır.

4) Asit yağmurları da göllerdeki canlı hayata zarar verir. Özellikle Kuzey Amerika ve kuzey doğu Avrupa'da.

5) Farklı türde bitki ve hayvanların göllere girmesiyle ekosistemlerinde tahribat meydana gelir

(UNEP, 1994; Ünlü ve diğ., 2008; Doğan ve Soylak, 2000).

Bu tehdit edici faktörlerden kaçınmak için su kalitesi ve miktarının gözlemleme istasyonları yaygınlaştırılmalı ve sadece göl suyu değil etrafındaki havzada kontrol edilmelidir (UNEP, 1994).

2.1.8 Göllerde su kalitesi bozulması

Suyun aylarca ya da yıllarca durduğu göller suyun akıp gittiği nehirlere göre daha kolay kirlenirler (Kor, 1974). Göllerde ışık ve sıcaklığın kirlenmedeki önemi nehre göre daha çoktur (Karpuzcu, 1988).

Başlıca kirleticiler organik ve inorganik maddeler, tuzlar, mikroorganizmalar, deterjanlar, pestisitler (haşereleri uzaklaştıran ya da yok eden ilaçlar), ağır metaller, askıda katı maddeler, radyoaktivite, yağlar, petrol ürünleri, atık ısı vb'dir. Bunlar göllere boşaltıldıklarında suyunun fizikokimyasal ve biyolojik yapısını ve suyun dip yapısını değiştirmektedir (Ünlü ve diğ., 2008).

Göl kirlenmesinde temel taşınım yolları yüzey ve yüzey altı akışları ve drenajlardır. Akarsularla taşınan çözünmüş ve askıdaki maddelerin miktarının önemli bir bölümü erozyon ve kimyasal çözünme sonucu oluşur. Bu girişlerde arazi kullanımındaki değişim ve yağmurun asitlenmesi gibi nedenlerle artış olabilir. Özellikle dışarıya akışı olmayan göllerde ağır metaller, zor parçalanabilen pestisitler gibi bozunmayan kirleticilerin giderek kirlilik potansiyelini arttırmaları, yüzeysel sular arasında kirlenmeye karşı en hassas su grubunu oluşturan göllerin korunmasında ne denli hassas olunması gerektiğini ortaya koymaktadır (Ünlü ve diğ., 2008).

Mevsimlik sıcaklık değişimleri su kalitesinde de mevsimlik değişimler meydana getirir. İlkbahar ve sonbahar karışımları ile bütün derinliklerde su kalitesi aynı olur (Ünlü ve diğ., 2008). Bahar sonlarına doğru alg faaliyeti yüzeyde kısmen başlar. Hava şartlarına göre bu oluşum hızlanır veya yavaşlar dolayısıyla yüzeydeki pH'ta

artmaya başlar. Tabakalaşma belirgin hale geldiği yaz ayında yüzeye yaklaştıkça pH ve Oksijen değerlerinde yukarıya doğru sıçramalar başlar. Yaz boyunca algler hızla çoğalmaya devam eder. Suda belirgin bir yeşil renk egemen olur. Bu alg ve beraberinde pH probleminden kaçınmak için su alma kulelerinde aşağı kotlardan su almaya çalışılır. Çünkü alglerin 10'a kadar çıkartabildikleri pH arıtma tesislerinde çöktürmeyi olumsuz etkiler ve filtreleri hızla tıkarlar. Algler o kadar hızlı ürerler ki, sudaki konsantrasyonları yaşayabilmeleri için gerekli olan oksijeni yetiremez. Yaşamaları için gerekli ortam kalmayınca, bu kontrolsüz çoğalma ölümlerini hızlandırır. Alglerin ölümüyle beraber, bu tabaka hızlı bir şekilde tabana çökelmeye başlar. Göl yüzeyi bulanıklığını ve her tarafına hakim olan yeşil rengini kaybeder. Gölün tabanına çöken algler, hızla ölüm sürecine girerek organik yapıları ile çürümeye ve tabanda parçalanmaya başlar. Bu esnada zaten kıt olan oksijeni bitirirler. Tabandaki ağır metallerde (Mn ve Fe) oksijensiz ortamda ve uygun pH da indirgenerek suda çözünür hale gelir. Göl tabanında oluşan anaerobik ortam $NH_{3(g)}$, $H_2S_{(g)}$, $CH_{4(g)}$ oluşmasına sebep olur. Sonbahar gelince yukarıdaki yüksek oksijen ve pH ve aşağıdaki Mn, Fe ve kötü kokulu gazlarda tüm göle yayılır. Mangan (+2) arıtma tesisinde, klor ile yükseltgenerek (+3) uygun pH ve zamanda suya renk verir. Bu renk oluşumu tesislerde gözükmez ve saatler geçtikten sonra oluşur. Suda bulunan amonyakta kendi konsantrasyonunun yaklaşık 9 katı kadar kloru bağlayarak serbest klor oluşumunu engellediği için suda istenmez.

2.1.8.1 Termal kirlilik

Sanayide soğutma işlemlerinden çıkan ve göllere verilen sıcak sular göllerdeki oksijeni azaltır ve biyolojik faaliyetleri durdurabilir. Bunu engellemek için sular sıcaklıkları azalıncaya kadar borularda devri daim yaptırılır ve ısılarından faydalanılır böylece yakıttan da tasarruf yapılmış olur (Kor, 1974).

2.1.8.2 Toprak kaynaklı kirlilik

Toprağın kirlenmesinin sebepleri tarım koruma ilaçları, gübreler, endüstri atıkları, radyoaktif izotoplar, beton, asfalt, kurşun, demir, alüminyum, polietilen ve petroldür (Kor, 1974).

Gübreler: Esas maddesi amonyum, nitrat, fosfor, amonyak, potasyum tuzları, fosfat, az miktarda demir, bakır, manganez, molibden, kobalttır. Süper fosfat gübrelerinde arsenik, bor, florür, uranyum ve bunların radyoakfit artıkları izlenebilecek miktarda

bulunur. Gübreler drenaj suyuna sızdıkları için zararlıdır. Mavi – yeşil alglerin, yabani otların, istenmeyen organizmaların geliştiği suların kullanımını kontrol etmek için özellikle fosforu kontrol etmek gerekir. Birkaç saatte zemindeki fosfat gübreleri suda çözünmeyen fosfata dönüşür dolayısıyla yeraltı suyunda etkisi olmaz. Zeminde birikmiş fosfat bileşikleri erozyonla toprağın sürüklenmesi sonucu yüzeysel sulara gelerek kirliliğe sebep olur. (Kor, 1974).

2.1.8.3 Ötrofikasyon

Göllere özgü en tipik kalite bozulmalarının bir çeşidi de ötrifikasyondur. Ötrofikasyon önceleri besi maddelerinin göle girmesi ve gölde çevirime uğraması sonucu göllerin daha sığ ve üretken olduğu doğal ve kaçınılmaz bir süreç olarak düşünülüyordu. Fakat birçok oligotrofik göl son buzul çağından beri olduğu gibi kalmıştır. Ultraoligotrofik göllerde milyonlarca yıldır üretken değildir. Paleolimnolojideki çalışmalarda da göllerin üretkenliğinde doğal değişimler olabileceği söylenir.

Yüksek seviyede özellikle nitrojen ve fosfor gibi besi maddelerinin göle girmesiyle ötrofikasyon meydana gelir. Havzanın iyi yönetilememesinden ve insan ve hayvan atıklarının girmesinden dolayı oluşur. Oligotrofik göllerden yaşlı göllere dönüşme on yıllar süren bir periodda oluşur ama içeri giren besi maddesi değiştiğinde ve ya azaldığında bu süreç durur. Ötrofikasyon suyun kullanılma potansiyelini azaltır.

Ötrofikasyonun hızını artırmasındaki öneminden dolayı, fosfor konsantrasyonunu tahmin etmek önemlidir. Kararlı durumdaki tam karışımlı gölde kütle dengesiyle tahmin edilen fosfor ötrofikasyon sürecini değiştirmede alınan önlemleri belirlemek için kullanılır. (Karpuzcu, 1988; Davis ve Masten, 2004).

Evsel ve bazı endüstriyel atık sular ile tarımsal drenaj suları azot ve fosforca zengindir. Bu nütrient maddelerin belirli sınırların üzerine çıkması halinde göllerde fotosentezle aşırı alg üremesine ve organik madde miktarının artmasına yol açarlar. Üreyen algler dışarıdan atık sularla göle verilen organik kirleticilere çok benzeyen davranışlara girerler ve sudaki oksijen bilançosunu etkilerler. Ötrofikasyon olayı bir defa başladıktan sonra göle giren besin maddelerinin girişi tamamen önlense bile ötrofikasyonun olumsuzlukları (alg patlaması, bulanıklığın artması, organik madde ve buna bağlı olarak oksijen ihtiyacının artması, dipte oksijensiz koşullar nedeniyle H_2S, CH_4, NH_3, vb. gazların açığa çıkması, vb.) uzun bir süre daha devam eder. Sadece dip çamurundaki fosforun geri çözünmesi bile alglerin birkaç yıl kitlesel üremelerine yol açar (Ünlü ve diğ., 2008). Çizelge 2.2'de Göller, Göletler, Bataklıklar ve Baraj Haznelerinin Ötrofikasyon Kontrolü İçin Sınır Değerleri gösterilmiştir (su kirliliği kontrolü yönetmeliği).

Çizelge 2.2 : Göller, Göletler, Bataklıklar ve Baraj Haznelerinin Ötrofikasyon Kontrolü İçin Sınır Değerleri (su kirliliği kontrolü yönetmeliği).

İstenen Özellikler	Kullanım Alanı	
	Doğal Koruma Alanı ve Rekreasyon	Çeşitli Kullanımlar için (doğal olarak tuzlu, sodalı ve acı göller dahil)
pH	6.5 – 8.5	6 – 10.5
KOI (mg/l)	3	8
ÇO (mg/l)	7.5	5
AKM (mg/l)	5	15
Toplam Koliform Sayısı (EMS)/100 ml	1000	1000
Toplam Azot (mg/l)	0.1	1
Toplam Fosfor (mg/l)	0.005	0.1
Klorofil-a (mg/L)	0.008	0.025

Göllerde fosfor kontrolü

Fosfor miktarı göldeki sedimanlara gömülerek, gölden dışarı akan suyla birlikte çıkarak, geçici bir çözüm olarak göle alum ($Al_2(SO_4)_3$) eklenerek ya da gölün dibindeki fosfor zengini sedimanları tarakla temizleyerek azaltılabilir. Eğer fosfor

girişi engellenmezse ötrofikasyon devam eder. Azaltılmış fosfor girişi ile birlikte bu önlemler fosfor giderimini hızlandırmaya yardımcı olacaktır.

Fosfor girişini azaltabilmek için kaynağını ve muhtemel azaltma yollarını bilmek gerekir. Fosforun doğal kaynağı kayaların aşınmasıdır. Kayalardan gelen fosfor suya direkt karışır ama genelde önce bitkiler tarafından alınıp suya da bitkilerin ölmesiyle karışır. Fosforun doğal girişini engellemek çok zordur. Eğer bu kaynaklar büyükse göl de doğal olarak ötrofiktir. Birçok göl için temel fosfor kaynağı insan aktiviteleridir. En önemli kaynaklar evsel ve endüstriyel atık sular, septik tanklardan gelen sızıntılar ve tarım alanlarından gelen üst sularla taşınan fosfor gübresidir. (Davis ve Masten, 2004).

Evsel ve endüstriyel atık sular: Bütün evsel atıklar insan dışkılarından gelen fosfor içerir. Ayrıca birçok endüstriyel atıkta bu besi maddeleri yüksektir. Böyle durumda fosforu azaltmanın en etkili yolu ileri atık arıtma teknikleridir. 90'lardan önce evsel atık su polifosfat (birbirine zincirlenmiş üç fosfat iyonu) içeren deterjanlardan dolayı fazla miktarda fosfor içeriyordu. Bu polifosfatlar deterjanı daha etkili bir temizleme maddesi yapabilmek için sudaki minerallere bağlanır. 70'lere kadar deterjanlardan gelen fosfor yükü insan dışkısından gelen fosfor yükünün iki katıydı. Üreticiler yerine başka bir madde koydukları için bu gün deterjanlar fosfat içermez. (Davis ve Masten, 2004).

Septik tank sızıntıları: Atık su bir lağım kanalıyla toplanıp arıtmaya gönderilmek yerine kendi septik sistemleri olan evler bulunmaktaysa ve bunlar gölün kıyısındaysa arıtılmış atık suları toprağın içinden göle doğru ilerlerken, fosfor toprak parçaları özelliklede kil tarafından adsorbe edilir. Bu yüzden septik sistemler yeniyse çok az fosfor göle karışır. Ama zaman geçtikçe toprağın fosfor adsorblama kapasitesi aşılır ve fosfor göle karışır ve ötrofikasyonun oluşumunda etkili olur. Fosforun göle ulaşma zamanı toprak çeşidine, deşarjın göle uzaklığına, oluşan atık su miktarına, atık suda fosforun konsantrasyonuna bağlıdır. Fosforun göle ulaşımını engellemek için septik sistem toprağın absorblama kapasitesi aşılmayacak kadar uzağa yapılmalıdır (Davis ve Masten, 2004).

Tarım alanlarından gelen yüzeysel akış: Fosfor bitki için bir besin olduğundan gübrenin en önemli içeriğidir. Yağmur gübreli toprağa yağdıktan sonra fosforun bir kısmı akarsulara oradan da göllere karışır. Gelişmekte olan bitkiler tarafından

alınmayan fosforun çoğu toprak parçalarına bağlanır. Bağlı fosfor toprak erozyonuyla birlikte akarsulara ve göllere taşınır. Sık aralıklarla ama küçük miktarlarda toprağı gübrelemek ve erozyona karşı önlem almak tarlalardan göllere gelen fosfor yükünü kontrol eder (Davis ve Masten, 2004).

2.1.8.4 Göllerdeki asitlenme

Karbonik asit ($H_2CO_3(aq)$) denge konsantrasyonunda olunca ($CO_2(g) + H_2O(s) \Leftrightarrow H_2CO_3(aq)$) yağmurun pH'ı 5.6 civarındadır. Asit yağmurunun pH'ı 5.6'dan küçüktür. Atmosfer çeşitli maddelerin (kükürt ve azot oksitleri, hidrokarbonlar, endüstri gaz atıkları, vb) uzun mesafelere taşınımını sağlar (Ünlü ve diğ., 2008). Fosil yakıtlarının yanmasıyla oluşan sülfür ve azot oksitler havadaki suyla temas ederek sülfürik asit (H_2SO_4) ve nitrik asiti (HNO_3) oluşturur. Bunlarda yağmur, duman ve kar şeklinde ıslak ve ya kuru birikim oluşturarak göllerde asit birikimi meydana getirir. Balıkların yaşamları pH 5.5'ten az ise güçleşir. pH 5.0'ten sonra sadece bir kısmı hayatta kalabilir. pH 4'ün altındaysa kurbağaların % 85'i ölür. Asiditenin artması sudaki organizmaların üremesine, solunum sistemlerine, yavrularının yumurtadan çıkmasına ve Ca almalarına engel olur.

Yüksek alüminyum (Al) balıkları öldürür. Al toprakta fazlaca bulunur. Normal pH da Al suda az bulunmasına karşın asitli bir suda toksik olan alüminyum III iyonu (Al^{3+}) miktarı yükselir.

Göllerin karbonat iyonu (CO_3^{2-}) ile asitliği tamponlama kapasitesi vardır. Kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) içeren topraklardan oluşmuş göller asitlenmeye karşı daha fazla direnç gösterir. Asiditeye karşı duyarlılık toprağın geçirgenliği, derinliği, ana kayanın birleşimi, havzanın boyutu, eğimi, bitki çeşitleri ile ilgilidir. Örneğin granitin tamponlama kapasitesi düşüktür. İnce ve geçirgen toprak ya da küçük ve basamaklı havza toprağın yağmurla az bir süre temas etmesine sebep olacağından toprağın asit yağmuruna karşı tampon kapasitesini azaltır. Her yıl yapraklarının döken ağaçlar asiditeyi azaltırken, iğne yapraklılar yağmurdan daha asidik yüzey akışları oluştururlar. Volkanik ya da başkalaşmış ana kayalardan oluşmuş göllerde kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) içeren ya da tortulu ana kaya birleşimine sahip göllere nazaran asidite daha yüksektir. (Davis ve Masten, 2004).

2.2 Göl Suyu Kalite Parametrelerinin Tahmini İle İlgili Çalışmalar

Hem pahalı olup, hem de zaman ve yoğun iş gücünü gerektiren laboratuar teknikleri gibi geleneksel ölçüm tekniklerinin yanında su kalitesini belirlemek için kullanılan metotlardan olan nümerik modeller, uzaktan algılama teknikleri, bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, istatistiksel yöntemler yaygınlaşmaya devam etmektedir.

Ichiki (2007) ve diğerleri çalışmalarında su kalitesinin heterojen olduğu Japonya'nın en büyük gölü olan Biwa mekansal su kalitesi dağlımını anlamak için kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) dağlımını hesaplayan bir simülasyon sistemi geliştirilmiştir.

Deng, Wei, ve Guo'nun (2006) çalışmasında bulanık sinir ağları Çin'deki bir balık çiftliğinde ÇO'ni tahmin için kullanılmıştır. Bulanık sinir ağlarında, YSA parçacık kümelerinin optimizasyonuyla (Particle Swarm Optimization - PSO) eğitilir. Bu metodun geri yayılımlı YSA'dan daha hızlı olduğu görülmüştür. Giriş olarak su sıcaklığı, nitrit nitrojen (NO_2-N), amonyak nitrojen (NH_3 – N), ve toplam nitrojen kullanılmıştır.

90'ların sonlarında, su ekosistemi araştırmaları ve çevresel yönetim amacıyla kullanılan matematiksel modellerin sayısının 4000 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Kullanılan yazılımlar; matematiksel modelleme yazılımları (hidrolojik, hidrodinamik, su kalitesi ve havza modelleme yazılımları), matematiksel modellemeye yardımcı yazılımlar (senaryo üreticiler, model parametre tahmin yazılımları, genel amaçlı duyarlılık analizi yapan yazılımlar, vb.), Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımları, diğer yazılımlardır (program geliştirme araçları, elektronik tablolama yazılımları, veri tabanı yazılımları, vb.) (Ertürk, A., 2005).

Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (USEPA) tarafından geliştirilmiş, çok boyutlu ve dinamik bir su kalitesi simülasyonu programıdır. Kaynak kodunun erişilebilir olduğu için programın kullanıcı ihtiyaçlarına göre yeniden derlenip uygulamaya özel uyarlamalarının geliştirilmesi mümkündür. Muhammetoğlu (1998) tarafından sığ göllerde köklü su bitkilerinin su kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen bir uyarlama vardır. Kıyı alanlarında ekosistem modellenmesinde

kullanılmak üzere diğer bir uyarlamanın geliştirilmesine Ertürk (2004) tarafından başlanmıştır.

Program su kalitesi hesabı yapan 4 modül içermektedir. "EUTROPHICATION" modülü, besi maddesi ve çözünmüş oksijen döngülerinin simülasyonunu yapan modüldür. Bu modülde, organik azot, amonyum azotu, nitrat azotu, organik fosfor, fosfat fosforu, tuzluluk, üç adet farklı özellikte biyokimyasal oksijen ihtiyacı, çözünmüş oksijen, fitoplankton ve bentik alg su kalitesi değişkenlerinin hesabı yapılmaktadır. "TOXI" modülü, zehirli kimyasalların simülasyonunu yapmak üzere tasarlanıp geliştirilmiştir. WASP tarafından basit yapılı zehirli kimyasallar, iyonlaşmayan zehirli kimyasallar ve organik zehirli kimyasalların simülasyonu yapılması gerektiğinde çağırılmaktadır. TOXI modülünün özel bir sürümü, "MERCURY" modülü, cıva kirliliğinin modellenmesi amacıyla tasarlanıp geliştirilmiştir. "HEAT" modülü, sıcaklık ve koliform bakterilerim modellemesi için geliştirilmiştir (Ertürk, A., 2005).

CE-QUAL-W2, US Army Corps of Engineers ve Portland Üniversitesi tarafından geliştirilmekte olan iki boyutlu hidrodinamik ve su kalitesi modelidir. Bir yatay (ana akım yönünde) ve bir düşey (derinlik boyunca) boyutta simülasyon yapabilmektedir. Bu nedenle dar veya yanal olarak tam karışım kabulü yapılabilecek, derinlik boyunca önemli değişimler (sıcaklık, tuzluluk tabakalaşması, vb.) olan sistemlerde kullanılması uygundur. Model aslında baraj gölleri için geliştirilmiş olmakla birlikte, akarsular, doğal göller ve haliçlerde de kullanılabilmektedir. İki boyutlu türbülanslı Navier-Stokes denklemlerini çözerek hidrodinamik simülasyon yapmaktadır. Ayrıca akarsu-rezervuar sistemleri üzerinde bulunabilecek hidrolik yapıların (dolu savak, batmış savak, kapaklar vb.) çoğunun hidrodinamik etkilerini modelleyebilmektedir. CE-QUAL-W2, su kalitesi hesaplarını çok ayrıntılı olarak ele alabilmektedir. Modelde; organik azot ve organik fosfor (organik maddeye bağlı olarak çözünmüş-hızlı ayrışan, çözünmüş-yavaş ayrışan, partiküller-hızlı ayrışan, partiküller-yavaş ayrışan olmak üzere dörder tür), amonyum azotu, nitrat azotu, fosfat fosforu, silisyum (çözünmüş ve partiküller) tuzluluk, biyokimyasal oksijen ihtiyacı grupları (sınırsız sayıda), çözünmüş oksijen, fitoplankton ve bentik alg grupları (sınırsız sayıda) su kalitesi değişkenlerinin hesabı yapılmaktadır (Ertürk, A., 2005).

Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources (BASINS), USEPA tarafından geliştirilmiş bir bütünsel havza modelleme ara yüzüdür.

Kendisine entegre edilmiş modellere giriş verisi sağlayıp onları uzaktan yöneten ve birbirleriyle veri alışverişi yapmalarını sağlar. Modeller ile verileri CBS yardımıyla birleştirmekte ve birçok modelin bir havzasının modellenmesi için birbirleriyle uyumlu çalışmalarını sağlamaktadır. BASINS 3.1, sayısal arazi modellerini kullanarak akarsu ağlarını ve alt havza sınırlarını belirleyebilmektedir. Yağış-akış gibi diğer hesaplar, birlikte çalıştığı modeller tarafından yapılmaktadır. Bu modellerden HSPF ve SWAT, hidrolojik hesapları çok ayrıntılı olarak ele alabilmektedir. BASINS su kalitesi ile ilgili herhangi bir hesap yapmamakla birlikte, birlikte çalıştığı modeller su kalitesi hesapları yapabilmektedir. Örneğin SWAT yayılı yük hesabı yapmaktadır. HSPF hem yayılı yük hesabı yapmakta hem de akarsu modülleriyle WASP ötrofikasyon modülüne yakın bir ayrıntıda dinamik su kalitesi hesabı yapabilmektedir. AQUATOX ise çok ayrıntılı su kalitesi hesapları yapabilmektedir (Ertürk, A., 2005).

Örmeci ve Ekercin (2005) çalışmasında evsel atık sular, çevrede yapılan tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan tarımsal atıkların dökülmesinin kontrol edilemediği Türkiye'nin ikinci büyük gölü olan Tuz Gölünün yüzeysel su kalitesi değişimi açısından zamansal (Landsat 1975–1987) analizi yapılmıştır. Uzaktan algılama teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen uygulamada, Göl'deki güncel durum Terra Aster (2004) uydu verisi yardımıyla incelenmiştir. İşlenen ve yorumlanan uydu görüntülerinden elde edilen sonuçlar, göldeki su kalitesinin düşmekte olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak, su kirliliğinin yersel ölçmelere ilave olarak gölün tamamını kapsayan güncel uydu verileri yardımıyla izlenmesi önerilmiştir.

Uzaktan algılama teknikleri, geniş alanlarda kısa ve tekrarlanabilen zaman aralıklarında, bilgi ve veri toplanmasına elverişli ve kullanışlı bir metot olarak ortaya çıkmıştır. Bu verilerin sürekli ve kesintisiz güncelleştirilmesi hem çok kolay hem de çok ucuzdur. Güneş ışınları su yüzeyinden sediment yoğunluğuna bağlı olarak daha fazla yansır. Sediment parçacık boyutları, organik madde miktarı, renk ve mineralojik yapıları ile ışınların yansıma miktarları arasında anlamlı ilişkiler vardır. Partikül boyutu küçüldükçe yansıma miktarının artar. Karabulut (2004) çalışmasında yakın mesafe uzaktan algılama tekniklerini kullanarak su içerisinde asılı bulunan farklı sedimentlerin ayırt edilebilirliklerinin belirlenmesi için en uygun dalga boyunun tespit edilmesi ve yakın mesafe multispektral uzaktan algılama teknikleri

yoluyla geniş alanlı çalışmalar için yer gerçeklerinin hazırlanması neticesinde su içerisindeki sediment yoğunluğunun artışına bağlı olarak yansıma değerlerinde belirgin artışın var olup olmadığının tespitinin yapılmıştır. Sediment içeriği arttıkça yansıma düzeyi değişeceği ve farklı renk özellikleri toplam reflektans miktarı üzerinde etkili olacağı test edilmiştir.

Lukin ve Sharova (2004) çalışmasında su kalitesi balıklarda yapılan dokusal araştırma ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Balıkların morfolojisinde değişime sebep olan Kenozero Gölündeki hidrolojik ve hidro – kimyasal durumlar solunum, sindirim ve boşaltım sistemini etkiler. Patojoli derecesi balıkların ekolojik özelliklerine bağlıdır.

Reinarta ve diğerlerinin (2003) çalışmasında Estonya ve Güney Fillanda'da göllerin ve kıyı sularının optik sınıflandırmasını yapmışlardır. Sınıflandırmada difüzyon azalması ve difüzyon yansıması ve rutin olarak yapılan seki disk, klorofil a, toplam katı madde gibi yer ölçümleri kullanılmıştır. Kümeleme analizi ile bulunan 5 optik su sınıfı ile difüzyon azalması ve difüzyon yansıması arasında uygunluk bulunmuştur.

Uçaner ve Özdemir'in (2002) çalışmasında, su arıtma tesislerinde yapılan klorlama, şebekenin belli bölgeleri veya uzak noktaları için yeterli olmadığı ve şebekeye ilave klorlama istasyonu kurulması ihtiyacı olduğunda, ek klorlamanın yapılacağı yerler, klor miktarı ve düzeninin bulunmasında Genetik Algoritmalar kullanılmıştır. Darwin'in en iyi olan yaşar prensibine dayalı olarak biyolojik sistemlerin gelişim sürecini modelleyen genetik algoritmalar (GA) stokastik bir arama yöntemidir. Üç temel işlemden ((1) Seçim, (2) Çaprazlama ve (3) Mutasyon) meydana gelen GA'da her çözüm bir dizi (birey) olarak kodlanmakta ve dizilerin bir yığını ile çözüme ulaşılmaktadır. Problemde karar değişkenleri; ikinci klorlama istasyonlarının yeri (düğüm noktaları) ve bu yerlerden yapılacak klor enjeksiyon miktarlarıdır. GA'da bu değişkenler birey içinde tanımlanmaktadır. Geliştirilen GA modeli ve bilgisayar programının örnek bir şebeke üzerinde uygulanması sonucu mevcut klorlama stratejisinin geliştirilebileceği görülmüştür.

Doğan ve diğerlerinin çalışmasında YSA ve BM yöntemleri Aşağı Sakarya Nehrinde askı maddesi miktarının tahmini için kullanılmıştır. Bu modellemeler içerisinde YSA yönteminin en iyi sonucu verdiği bulunmuştur. Çalışmada, saklı tabakalar için farklı değerler alınarak YSA modelleri oluşturulmuştur. Transfer fonksiyonu olarak

sigmoid fonksiyonu, eğitimi için de genelleştirilmiş delta kuralına dayalı olan geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Giriş su debisi ve çıktı askı maddesi miktarı kullanılmıştır.

Brodnjak-Voncina ve diğerlerinin yaptığı çalışmada (2002) Slovenya'nın Mula Nehrinde yapılan debi, su ve hava sıcaklığı, çözünmüş oksijen, oksijen açığı, oksijen doyma indeksi, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, pH, iletkenlik, amonyum, nitrit, nitrat, fosfat konsantrasyonları, adsorblanabilen organik halojenler, çözünmüş organik karbon, askıda madde ölçümleri kümelemek için Kohonen sinir ağları kullanılmıştır.

Hedger (2001) ve diğerlerinin çalışmasında uzaktan algılama ile jeo – istatistiksel teknikleri kullanarak göllerde ortalama su kalitesi tahmini yapmak için numuneleme metotlarını optimize etmişlerdir.

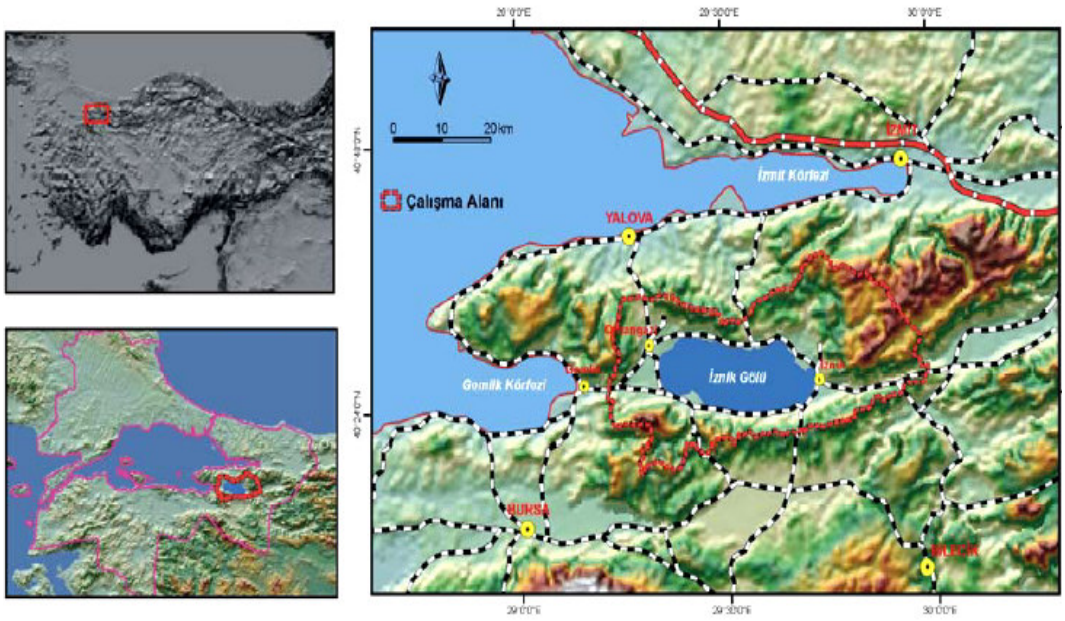
Kutser (1998) ve diğerlerinin çalışmasında Baltık Denizi, Estonya ve Finlandiya'daki göllerde pasif optik uzaktan algılama ile su kalitesi tahmini yapmışlardır. Aynı anda seki diski, klorofil – a ve askıda madde ölçümlerinde yerden yapılmıştır. Sonuç olarak metodun diğer aktif maddeler çok fazla olursa çok küçük miktarlara karar vermede uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Recknagel çalışmasında (1997) Japonya'daki Kasumigaura Gölünde mavi yeşil algleri tahmin etmede ileri beslemeli geri yayılımlı YSA'yı kullanmıştır. Çalışmada hiperbolik trasfer fonksiyonu uygulanmıştır. Giriş tabakasında suyun saydamlığı, besi maddesi konsantrasyonu ve zooplakton yoğunluğu dikkate alınmıştır. 5 mavi – yeşil alg türünü tahmin etmede başarılı olan modelin alg patlamalarını kontrol etmede kullanılabilir olduğu bulunmuştur.

3. VERİ ANALİZİ

3.1 İznik Gölünün Hidro – Jeo - Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

Türkiye'de 200 göl bulunur. Bunların toplam yüz ölçümü 9000 km^2'dir. Bunun % 75'ni Van, Tuz, Beyşehir; Eğridir ve İznik Gölü oluşturur (Türkiye Çevre Atlası, 2004). Eskiçağda Askania adıyla anılan ve bugünkü adını kıyısındaki İznik kasabasından alan İznik Gölü (Şekil 3.1) Marmara Bölgesinin en büyük, Türkiye'nin ise beşinci büyük doğal gölüdür (http://www.cevreorman.gov.tr).



Şekil 3.1 : İznik Gölü lokasyon haritası (Akbulak, 2007).

3.1.1 Coğrafi yapısı ve konumu

Koordinatlar : Kuzey enlemleri: 40 30 00 – 40 23 30

Doğu boylamları: 29 20 30 – 29 42 50 (Budakoğlu, 2000).

Doğu – Batı ekseninde uzunluğu: 40 km (Budakoğlu, 2000).

Kuzey – Güney eksenindeki genişliği: 12 km (Budakoğlu, 2000).

Şekli: Elips (Budakoğlu, M., 2000).

En derin yeri: Güney doğusundaki aktif fay hattına bağlı oluşan 67 m (Budakoğlu, 2000).

Yüzey alanı: 298 km^2 (Türkiye Çevre Atlası, 2004).

Yüzey rakımı: Gölün su yüzeyinin denizden yüksekliği 85 m'dir. (http://tr.wikipedia.org; http://www.bursacevreorman.gov.tr).

Konumu: Marmara Bölgesinin güney doğusunda, Bursa'da Orhangazi ve İznik ilçelerinde konumlanmış, Gemlik Körfezinin doğusunda, kuzeyde İzmit kıyı dağları, güneyde Katırlı Dağları, güneydoğuda Avdan dağları ile Kirazlı yayla, batıda Samanlı Dağları, doğuda bir eşikle ayrılan Pamukova ile çevrili İzmit çukurluğundadır. (Budakoğlu, 2000; http://tr.wikipedia.org; http://www.bursacevreorman.gov.tr).

3.1.2 Kulanım maksadı

Çevre halkının gölden faydalanışı su ürünleri, sulama suyu ve sanayi suyu temini şeklindedir. Sulama suyu temini iki şekilde olmaktadır: DSİ sulama projeleri kanalı ile sulama ve çiftçinin kendi imkanları ile yaptığı sulama. DSİ projeleri ile sulanan arazi büyüklüğü 7720 ha'dır. 6235 ha daha arazinin sulanması için planlama çalışmaları devam etmektedir. Gölden sanayi suyu kullanımı Gemlik Körfezindeki sanayi kuruluşları için su temini şeklinde olmaktadır. Göl potansiyeli olmasına rağmen içme suyu olarak kullanılmamaktadır. (http://www.bursacevreorman.gov.tr; Budakoğlu, 2000).

3.1.3 Hidrolojik özellikler

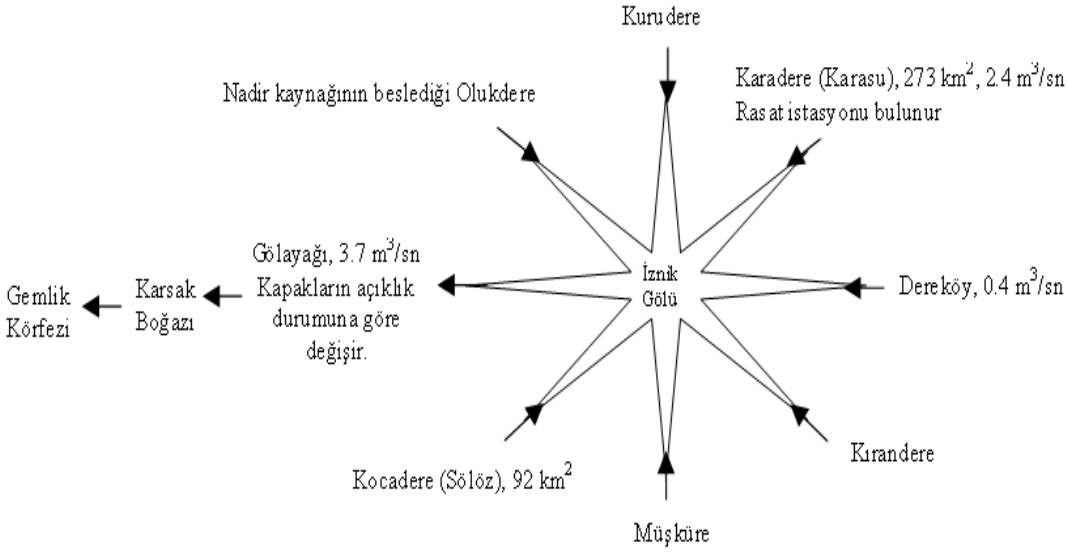
3.1.3.1 Su toplama alanı

Su Toplama Alanı 1246 km^2'dir (http://tr.wikipedia.org; http://www.bursacevreorman.gov.tr).

3.1.3.2 Akarsular

- Derelerin göle girdiği noktalarda küçük deltalar ve geniş sazlıklar oluşmuştur. (http://www.bursacevreorman.gov.tr)
- Gölün yağış havzası çok küçük olduğundan besleyici su kaynakları da o derece küçük ve sayıca azdır. (http://www.bursacevreorman.gov.tr).

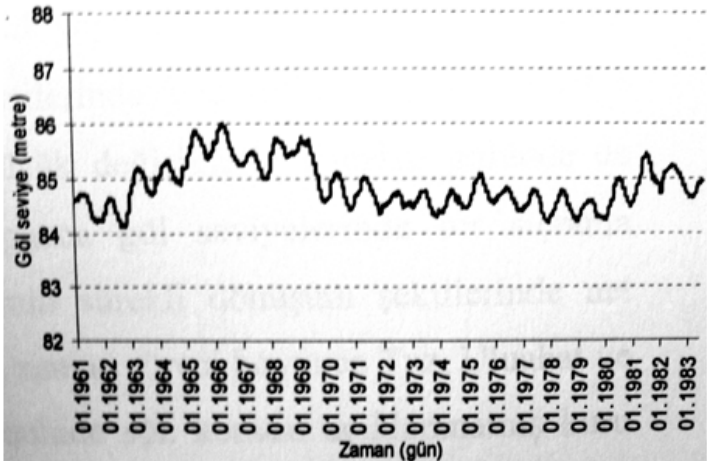
- Akarsular İzmit çukurluğunun etrafındaki dağ ve platolardan kaynaklanır. (Budakoğlu, 2000).
- En büyükleri kuzeydoğudaki Karasu ve güneybatıdaki Sölözdür. (http://www.bursacevreorman.gov.tr)
- Su taşıyan dereler yazın kurur. (Budakoğlu, 2000).
- Göl bundan başka dipteki karstik kaynaklar ve yağmur suları ile de beslenir. (http://www.bursacevreorman.gov.tr).
- 4. jeolojik zamanın başında kapalı havza iken suların boşalmasıyla boğaz oluşmuştur. Güney Marmara gölleri genelde dışarı akışlıdır. (Türkiye Çevre Atlası, 2004; Budakoğlu, 2000).
- Batıdaki Karsak Boğazı Gemlik körfezine kadar Gölayağının devamıdır. Göl artık sularını batı kenarındaki kum ve çakıl yığınları arasından sızarak Karsak Boğazı'yla Gemlik Körfezi'ne boşaltır. (http://www.bursacevreorman.gov.tr; Budakoğlu, 2000). Şekil 3.2 İznik Gölünün su taşıyan ve uzaklaştıran akarsuları, drenaj alanları ve ortalama akımları göstermektedir.



Şekil 3.2 : İznik Gölünün su taşıyan ve uzaklaştıran akarsuları, drenaj alanları ve ortalama akımları. (http://www.bursacevreorman.gov.tr; Budakoğlu, 2000).

3.1.3.3 Su seviyesi

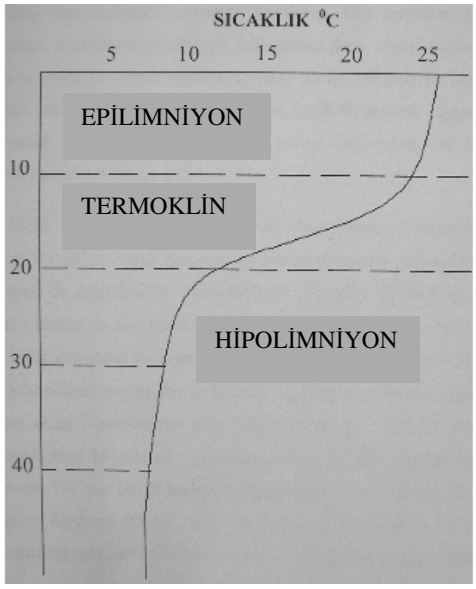
- Göl suyu havzadaki yağışlar, yüzeysel akıntılar ve yeraltı suyunun göle doğru akmasıyla dengededir. (Budakoğlu, 2000). İznik surları gölün hala kıyısında olduğuna göre su seviyesi geçen yüz yıllarda korunmuştur. Gölün su yüzeyinin denizden yüksekliğinin zamanla değişimi Şekil 3.3'de gösterilmiştir (Budakoğlu, 2000; Cengiz, M., T., 2005).
- Kış ve ilkbahar mevsimlerinde yükselen suları yaza doğru alçalır ve sonbaharda en düşük düzeyine ulaşır. (http://www.bursacevreorman.gov.tr)
- 1963'te gölün batısında su tutma amacı da olan seddenin yapımı gölü kısmen bir rezervuara dönüştürmüştür. Su düzenine müdahale edilmeden önce, gölün ornitolojik açıdan daha önemli olduğu tahmin edilmektedir. Seddelemelerin su seviyesini yükseltmesi sonucu sazlık ve bataklık alanlarda azalma olmuştur. Sonucunda 416 ha sulak alan kurutulmuştur. (http://www.cevreorman.gov.tr)
- Eylül 2007'de İznik Gölü'nün yaklaşık 2 metre çekildiği tespit edilmiştir ve daha önce su altında kalan kıyıdaki kayalar ortaya çıkmıştır. Su seviyesinde yaşanan değişikliğin kurak aylarda yağmur yağmadığı için olduğu belirtilmiştir (http://www.tumgazeteler.com).



Şekil 3.3 : Gölün su yüzeyinin denizden yüksekliğinin zamanla değişimi (Budakoğlu, 2000; Cengiz, M., T., 2005).

3.1.3.4 Tabakalaşma

1996 Ağustos, İznik Gölü sıcaklık – derinlik profili ve İznik Gölündeki belirgin tabakalaşma Şekil 3.4'de görülmektedir (Budakoğlu, 2000).

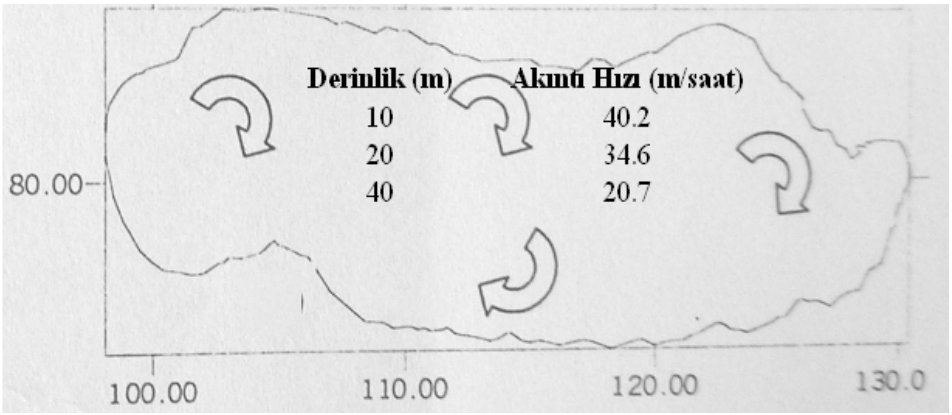


Derinlik (m)	Sıcaklık (^{0}C)
Yüzey	25.4
10	25
20	11.3
30	9.6
40	8.9
50	8.7
60	8.4

Şekil 3.4 : 1996 Ağustos, İznik Gölü Sıcaklık – Derinlik Profili. (Budakoğlu, 2000).

3.1.3.5 Suların hareketi

İznik Gölünde akıntıların genel yönü Şekil 3.5'de görülen hakim rüzgar yönü olan ve öğleden sonra başlayan poyrazdır (KD-GB). (Budakoğlu, 2000).



Şekil 3.5 : Akıntıların genel yönü ve hızı (Budakoğlu, 2000).

3.1.3.6 Yenilenme zamanı

Yenilenme zamanı: Toplam su hacmi / (akarsu + yüzeysel yağış + yer altı suyu) girişi

toplam su hacmi = 12480 . 10^6 m^3

akarsu: kocadere + sölöz = 132 . 10^6 m^3/yıl

Yüzeysel yağış: 765 mm (İznik + Orhangazi ovaları) x göl yüzeyi 312 km^2 = 202.6 .10^6 m^3/yıl

Yeraltı suyu: İznik – 10 .10^6 + Orhangazi – 7.1 . 10^6 = 17.1 . 10^6/yıl

Yenilenme zamanı = 35 yıl (Budakoğlu, 2000).

3.1.3.7 İklim

Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasında bir geçiş iklimi tipine sahiptir. Kışların çok sert geçmediği yaz dönemlerinde de kuraklık görülmektedir. Marmara denizinin etkisi ile ılımanlık kazanan Bursanın sayısal sıcaklık değerleri de, deniz etkilerinin il iklimine kazandırdığı bu niteliği açıkça ortaya koymaktadır. 36 yıllık ölçümlerde Bursa'da ortalama sıcaklık: 5.3°C (en düşük), 24.2°C (en yüksek). 33 yıllık ölçümlerde ortalama yağış: 15 mm (ağustos), 96.6 mm (aralık). (Bursa il çevre durum raporu, 2004; Budakoğlu, 2000).

3.1.4 Su kalitesi

3.1.4.1 Koruma statüsü

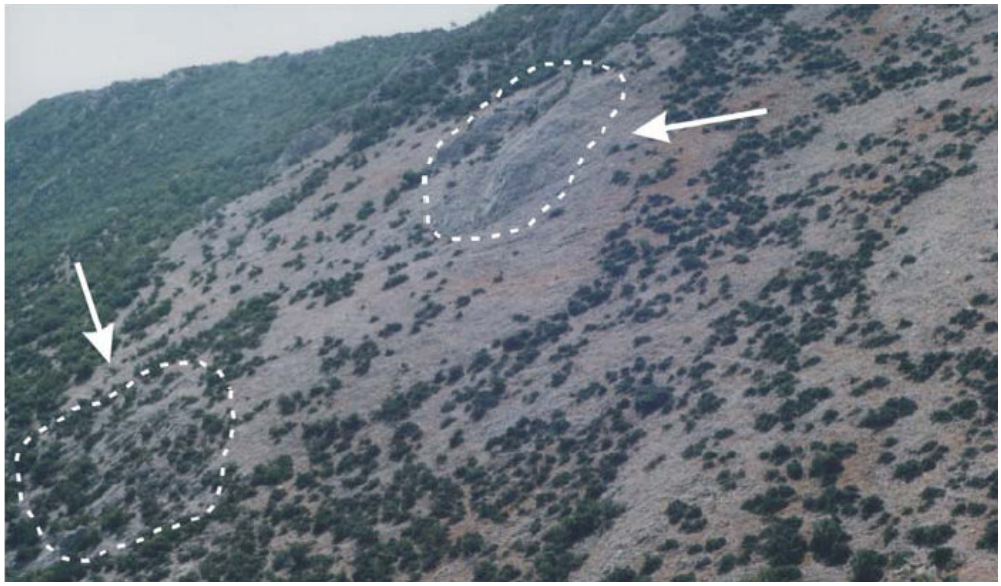
İznik Gölü 1990 yılında Sit Alanı ilan edilmiştir. (http://www.cevreorman.gov.tr)

3.1.4.2 Balıkçılık

- Gölde ekonomik değere haiz balık türleri; ilik, sazan, akbalık, gördek ve yayındır. (http://www.bursacevreorman.gov.tr; (Budakoğlu, 2000).
- Tutulan deniz ürünlerinin başında bir tür mantar hastalığı nedeniyle 1980'lerden beri büyük azalma gösteren kerevit gelir. Dünya kerevit üretiminin % 20 - 30 karşılamaktadır. (http://www.bursacevreorman.gov.tr; Budakoğlu, 2000).
- İznik, Çakırca, Boyalıca ve Gölyaka'da balıkçı kooperatifleri bulunur. 160 balıkçılık kooperatifi üyesi bulunmaktadır. (http://www.bursacevreorman.gov.tr; Budakoğlu, 2000).

3.1.4.3 Canlı habitatı

- Bitki örtüsü az, İznik ve Orhangazi'ye yakın kıyılar sazlıktır. Güneyinde fay hattından dolayı sazlık azdır. (Budakoğlu, 2000).
- İznik Gölü havzasında özellikle yüksek eğime sahip yamaçlarda, şiddetli erozyon sonucunda toprak örtüsü hemen hemen tamamıyla aşındırılmış ve yer yer ana kaya yüzeye çıkmıştır (Akbulak, 2007). Şekil 3.6'da gösterilen Dereköy'ün kuzeyi buna örnektir.



Şekil 3.6 : Dereköy kuzeyi (Akbulak, 2007).

- Alan sık sazlıkların arasında karışık koloniler kuran küçük karabatak ve gece balıkçılı ile önem kazanmıştır. Nedeni tam bilinmemekle birlikte, İznik Gölü kış aylarında önemli sayıda su kuşu barındırmamaktadır. Yine de, İç Anadolu gölleri donduğunda kuşlar için önemli bir sığınak oluşturduğu söylenebilir. (http://www.bursacevreorman.gov.tr)

3.1.4.4 Sanayi

- En büyük sanayi Gemliktedir. (Budakoğlu, 2000).
- Orhangazi'de Asil Çelik, azot sanayi, suni ipek fabrikası, zeytin işletme tesisi bulunur. (Budakoğlu, 2000).

3.1.4.5 Kirletici kaynaklar

- Türkiye Çevre Atlasına (2004) göre İznik Gölü su kirliliği görülen göllerdendir. İznik ve Orhangazi'deki sanayilerden ve gölün etrafındaki tarımda kullanılan zirai ilaç ve gübrelerden gelen kimyasallar kıyı bitkileri ve canlıları öldürmektedir. İznik'ten ve Orhangazi'den gelen azot yükü fazladır. (Budakoğlu, 2000).
- DSİ Genel Müdürlüğü göl içinde belirlenen 9 gözlem noktasında ve Olukludere, Karadere ve Kocadere'de kalite izleme çalışmaları yapılmaktadır.

Olukludere Orhangazi kasabasına doğrudan sınır olan deredir. Deredeki suyun kalitesi Yalova yolu köprüsüne gelinceye kadar temizdir. Fakat bu noktada bağlanan Orhangazi ve civarındaki yakın yerleşimlerinin kanalizasyonları, Orhangazi Belediyesi Mezbahasının ve Orhangazi'deki sanayi tesislerinin, küçük zeytinyağı fabrikalarının atık suları kaliteyi önemli ölçüde etkilemektedir.
Karaderede kirlilik, zirai mücadele ilaçlarından kaynaklanmaktadır.
Kocadere sölözden akıp göle mansap olur ve yağış havzası en büyük olan deredir. Sölöz beldesinin kanalizasyonu buraya deşarj edilmekte olup, Kocadere'nin suyundan yaz sezonu boyunca sulama yapıldığından göle pek fazla su ulaşmamıştır.
Göle karışan atıklardan kaynaklanan aşırı yosunlaşma ve toplu balık ölümleri dikkat çekmektedir. (http://www.cevreorman.gov.tr ; http://www.bursacevreorman.gov.tr)

3.1.4.6 Ekolojik koşul

İznik Gölü derindir, 40 m'de çözünmüş oksijen 6.2 mg/L'dir; 60 m'de sıcaklık 8.4°C ve çözünmüş oksijen 1.53 mg/L'dir. Derinlik arttıkça oksijen azalmasına rağmen hiçbir derinlikte 1– 0.1 mg/L arası bir oksijen değerine rastlanmamıştır. Yazın sakin zamanlarda 7 – 8 metreye kadar saydamlığını korur. Bu yönden göl oligotrofiktir ama ortalama yüzey suyu sıcaklığı 25°C olduğundan ve kıyı kesimlerdeki organik zenginlikten dolayı oluşan mevsimsel alg artışlarından dolayı mezotofik karakter taşır. Alg patlamaları önemli ölçülerde olmadığından ötrofik değildir. (Budakoğlu, 2000).

3.1.4.7 Su kalitesi parametreleri

Toplam katı madde

- Göldeki katı madde çeşitleri: Kil > Silt > Kalsit > Mika
- Yoğun bir transfer yoktur.
- Kuzeydeki kıyılar daha sığ olduğundan toplam katı madde miktarı 3 m'de güneye göre daha fazladır.
- Güneyde derinlik daha fazla olduğundan toplam katı madde miktarı 10 m'de kuzeye göre daha azdır (Budakoğlu, 2000).

pH

- Çevre litolojisi, magmatik kayaçlardan oluşan göller (andezit, trakit vs.) düşük tampon kapasitesi, düşük alkalinite ve düşük pH özelliğindedir.
- Çevre litolojisi, çamurtaşı, kumtaşı, şeyl, çakıl, konglomera, aglomera, slate, fillit, şist'ten oluşan göllerde (magmatik kayaçlarla karbonatlı kayaçlar arası tampon kapasitesinde) geniş aralıklı alkalinite ve pH özelliğindedir.
- Çevre litolojisi, metamorfize kireçtaşları yakınlarında çakıl, kum, kil, kireçtaşı, alüvyon zonları arasındaki göllerde alkalinite 1 meq/L'den fazla ve pH 7 – 9 arasındadır.
- İznik gölü çevresinde bu grupların hepsini temsil eden litolojik birimlerle zengin bir jeoloji bulunmaktadır.
- Genelde alkalen özelliğini (8.5 – 9) her kademede korumuştur. Yüzeyde sadece atmosferik basınç vardır. Suyun içinde derinlik arttıkça basınçta artacağından CO_2 kaybı azalır ve asidik özellik gösteren CO_2 miktarı arttığından pH derinlik arttıkça azalır.
- Sahip olduğu ortalama yüksek pH etraftaki alüvyon düzlüklerle kuzeydeki metamorfik kireçtaşları oluşumlarıyla dengededir.
- Kuzeyde fazlaca bulunan alg gündüz CO_2 tüketir ve pH'ı yükseltir.
- Orhangazi ve İznik kıyılarında evsel atıklardan dolayı pH düşüktür.
- Batıda ve kuzey batıda çok bulunan su bitkilerinin çürümesiyle ortaya çıkan hümik asitten dolayı pH 20 ve 40 m'de düşüktür.

- Güneyde 40 m'de pH düşüktür. Güneydeki magmatik kayaçlar pH'ı düşürür. (Budakoğlu, 2000).

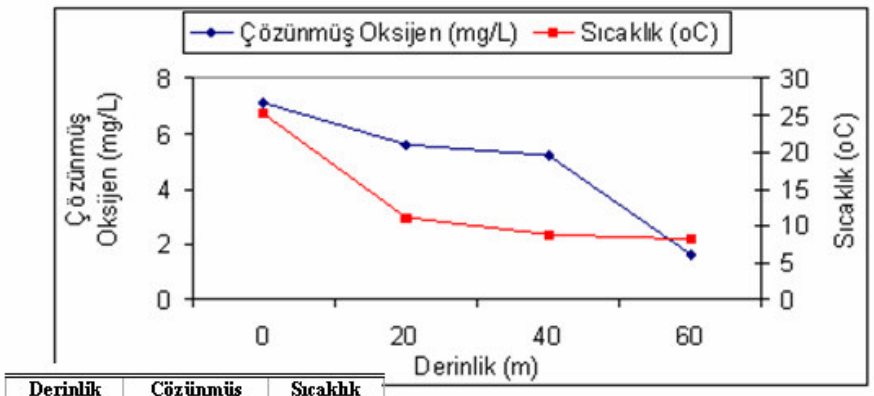
Elektriksel İletkenlik

- Yüzeyde elektriksel iletkenlik düşük ve kuzeydeki tarımsal faaliyetlerle gelen organik maddeler ile Orhangazi ve İznik'teki evsel atık kaynaklı çözünmüş maddelerin elektriksel iletkenliğe etkisi olmadığından gölün yüzeyinde homojendir.
- Askıda katı maddeden dolayı derinlikle birlikte elektriksel iletkenlik de artar. 20 ve 40 m'lerde birbirine yakındır.
- Oksijendeki gibi 20 ve 40 m'de güneyde ve kuzey doğuda elektriksel iletkenlik yüksektir.
- Güneyde 20 m'den sonraki anormalliklerin sebebi; Güney en derin noktaların birleşmesiyle oluşan fay hattına yakın olduğu için derinlik arttıkça durgunluğunda artması ve askıda katı madde toplanmasıdır. Güneyde askıda katı maddenin düşey olarak artması bir sebep değildir çünkü burada su bitkileri ve organik atıklar azdır.
- Kuzeyde su bitkilerinin organik atıkları toplandığından 40 m'de elektriksel iletkenlik fazladır. (Budakoğlu, 2000).

Çözünmüş Oksijen

- Kuzeydeki tarımsal faaliyetler ve gübreleme sonucu yüzey ve yeraltı sularıyla göle karışan organik maddeler su bitkilerine besin kaynağı oluşturur ve bu sebeple bitkiler gölde homojen dağılamaz. Kuzeydeki su bitkileri gündüz ürettikleri oksijeni gece tükettiklerinden dolayı yüzeyde çözünmüş oksijen düşüktür. Kuzey doğuda da yüzeydeki çözünmüş oksijen düşüktür. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi sıcaklıkla çözünmüş oksijen arasındaki ilişki doğrusal değildir.
- Fitoplanktonlar besleyici tuzlarla birlikte yüksek sıcaklıkta sayıca artarlar ve geceleri oksijen tüketimini artırırlar. Bu sebeple kaya balığı ölümlerine bile rastlanmıştır.

- Güneyde fay hattından dolayı dik yamaçlar ve az su bitkisi olduğundan ve poyrazdan dolayı akıntı ve dalga yüzünden çalkantılı olduğundan çözünmüş oksijen daha fazladır.
- Derinlik artıkça sıcaklık azalır ve basınç artar düşük sıcaklıkta ve yüksek basınçta oksijenin fazla çözünmesi beklenirken dipte ölü organizmaların ayrışması nedeniyle çözünmüş oksijen de sıcaklık gibi azalır. Ama güneyde 20 m derinlikte çözünmüş oksijen derinlikle birlikte artar. 40 m'de tüm gölde azalan çözünmüş oksijen en yüksek değerini gene güneyde alır. Burada arada bir su kabarcıkları da görülmüştür ayrıca buradan fay hattının geçtiği düşünülürse burada bir su kaynağı olabilir. Kaynağın çözünmüş oksijeni de gölün oradaki çözünmüş oksijeninden fazladır. Ayrıca kuzeyde 40 m'den sonra daha da düşmesi beklenen çözünmüş oksijenin düşmemesi güneyde bir hat üzerinden kaynaklanan yeraltı suyu kaynağına işaret olabilir.
- Tamamen oksijensiz hipolimnion tabakası yoktur (Budakoğlu, 2000).



Derinlik	Çözünmüş Oksijen (mg/l)	Sıcaklık °C
Yüzey	7.1	25.1
20 m	5.6	11.2
40 m	5.2	8.9
60 m	1.6	8.1

Şekil 3.7 : Sıcaklık ile ÇO arasındaki ilişki (Budakoğlu, 2000).

Parametreler arasındaki ilişki: En yüksek korelasyon elektriksel iletkenlik ile pH arasında olurken (0.83), pH ve çözünmüş oksijenin ortak artışlarındaki korelasyon da yüksektir (0.73). Elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde arasında yüksek pozitif korelasyon bulunmuştur (0.54). Asitik özellikteki CO_2, Cl^-, SO_4^{2-}`unun artması pH'ı azaltır bu da elektriksel iletkenliği arttırır ve sonuç alarak çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin negatif korelasyonu yükselir (0.74). (Budakoğlu,

2000). Göl Tarımsal yönden her türlü toprağı sulamaya uygun orta tuzlulukta ve orta sodyumlu bir sudur. (Budakoğlu, 2000).

3.1.5 Jeolojik özellikler

3.1.5.1 Gölün türü

Tektonik bir tatlı su gölü (http://tr.wikipedia.org; http://www.bursacevreorman.gov.tr).

3.1.5.2 Gölün topraklarının pH'sı

7.8 – 8.5 (http://tr.wikipedia.org; http://www.bursacevreorman.gov.tr).

3.1.5.3 Gölün toprak potansiyeli

6674 ha (http://tr.wikipedia.org; http://www.bursacevreorman.gov.tr).

3.1.5.4 Ovalar

Akarsular alüvyonlardan oluşan geniş düzlükler olan gölün kıyı ovalarını oluşturur. Bunlar drenaj alanı 660 km2 olan su taşıyan alüvyonlardır. Çizelge 3.1'de İznik Gölü etrafındaki ovalar gösterilmiştir (Budakoğlu, 2000).

Çizelge 3.1 : İznik Gölün kıyı ovaları (Budakoğlu, 2000; Bursa il çevre durum raporu, 2004).

Ova	Konum	Yüzölçümü
İznik Ovası	Gölün Doğusunda	100 km^2
Orhangazi Ovası	Gölün Batısında	170 km^2
Gemlik Ovası	Körfezin doğusunda	6 km^2

3.1.5.5 Yerleşim

İznik Gölü etrafındaki önemli ilçeler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

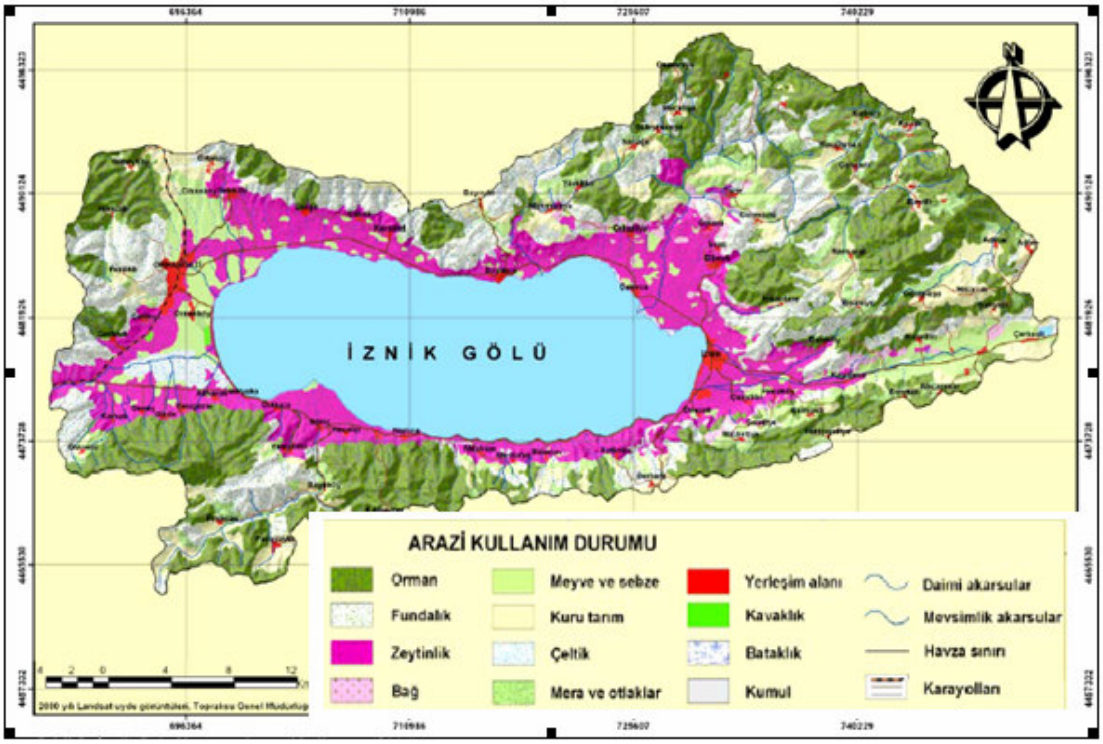
Çizelge 3.2 : İznik Gölü etrafındaki ilçeler (Budakoğlu, 2000).

Yer	Konum
İznik İlçesi	Gölün Doğusunda
Orhangazi İlçesi	Gölün Batısında
Çakırca, Boyalıca, Keramet	Gölün Kuzeyinde
Akharem, Mamure, Müslümölüz, Paşapınar, Narlıca, Müşküre, Balarım	Gölün Güneyinde

3.1.5.6 Kökeni

- Tektonik kökenli bir çukurun dolması sonucu oluşmuştur.
- İznik Gölü tektoniktir: Çöküntü havzalarında oluşmuş, dislokasyonlarla sınırlandırılmış,
- Tektonik hareketlerle hidrolojik sistemler dağılmış bozulmuş ve su boşalma sistemlerinin tabanında kalan tektonik küvetler suyla dolmuş ve bu göller oluşmuştur.
- İznik Gölü önce kapalı havzaymış su seviyesi çok yükselince buna bağlı çökmeler sonucu Karsak Boğazı (yeraltı drenaj sistemi) oluşmuştur. Tektonik küvetler kapalı kalırsa zamanla tuz göllerine dönüşürler. (Budakoğlu, 2000).

3.1.5.7 Sulak alanın kullanım durumu



Şekil 3.8 : İznik çevresi arazi kullanım durumu (Akbulak, 2007).

- Göl bütünüyle tarım alanları ve zeytinliklerle çevrilidir. (http://www.cevreorman.gov.tr). İznik Gölü'nün çevresindeki düzlüklerin büyük bir bölümünü kaplayan zeytinlikler Şekil 3.9'de de görüldüğü gibi gölün kuzey batısındaki düzlüklerde de yer almaktadır (Akbulak, 2007). Gölün güneyindeki Gürle – Avdan Dağlarının kuzey yamaçlarında da Şekil

3.10'da görüldüğü üzere zeytin yetiştiriciliğin göle bakan yamaçlarda 300 – 350 m'ye kadar egemen faaliyet durumunda olduğu gözlemlenir (Akbulak, 2007).

- İznik gölünün güney sahili göl kotundan orman sınırına kadar zeytin bahçeleri ile kaplanmış durumdadır. Gölün güney batısında Bursa- İznik karayolundan, batısında ise Bursa- Yalova karayolundan orman sınırlarına kadar zeytin bahçeleri devam etmektedir. Bu arazide zeytin bahçelerinin yanı sıra, çeltik ekim sahaları, meyve bahçeleri , bağlar ve sebze bahçeleri yer almaktadır. Şekil 3.8 2000 yılı uydu görüntüleri, Toprak su Genel Müdürlüğü haritaları ve arazi gözlemlerine dayanılarak hazırlanmış İznik kıyı bölgesi arazi kullanım durumunu göstermektedir. (http://www.bursacevreorman.gov.tr)
- Tarım ürünleri: Zeytin, üzüm, tütün (Budakoğlu, 2000).
- Sulu tarım İznik Gölünden ve yeraltı suyundan pompalarla sağlanır. Orhangazi Ovasının 12 km^2'si gölden pompalarla sulanır. (Budakoğlu, 2000).
- Bitki örtüsünün tahrip edilmesiyle ziraata açılan ve bir süre kullanıldıktan sonra terkedilmiş olan eğimli araziler örneğin Çınardere Vadisi Şekil 3.11'de görülmektedir (Akbulak, 2007).



Şekil 3.9 : Gölün kuzey batısındaki zeytinlik düzlükleri (Akbulak, 2007).



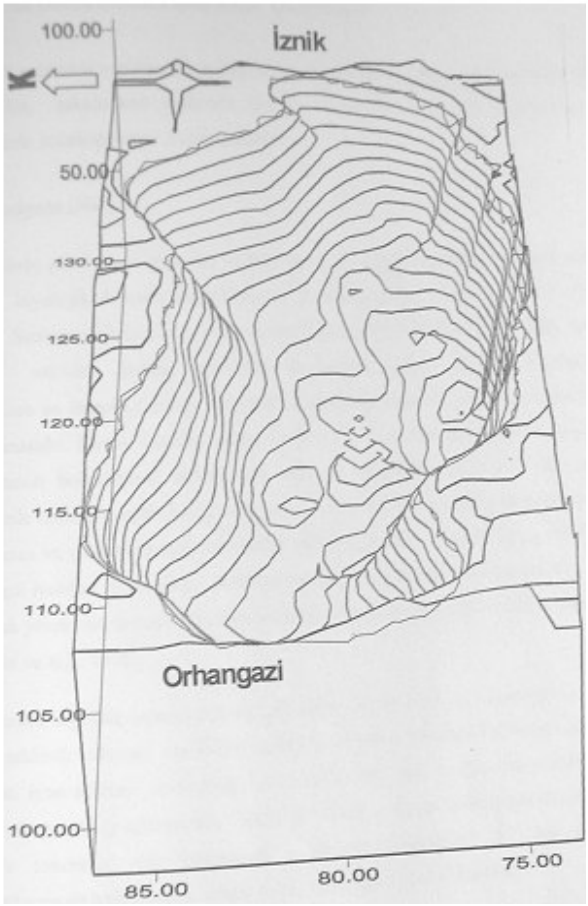
Şekil 3.10 : Zeytin yetiştiriciliği gölün güneyindeki göle bakan Gürle – Avdan Dağlarının kuzey yamaçlarında da yaygındır (Akbulak, 2007).



Şekil 3.11 : Bir süre ziraat için kullanılan ve eğimli arazilerden olan Çınardere Vadisi (Akbulak, 2007).

3.1.5.8 Batimetrik ölçümler

Gölün merkezinde 40 m derinlikte bir çanak vardır. Bu kuzeye doğru sığlaşır. Güney kıyıları boyunca derinlik fazladır. Güneyde önce 67m'ye düşer sonra aniden dar alanda 85 m kıyı kotuna çıkar. Bu yüzden gölün derinliği kuzeyden güneye doğru artar. Gölün batimetri haritası Şekil 3.12'de görülmektedir. (Budakoğlu, 2000; http://www.bursacevreorman.gov.tr)



Şekil 3.12 : Sonar ölçümle çıkan batimetri haritası (Budakoğlu, 2000).

3.1.5.9 Jeolojik özellikleri

- İznik Gölü kırıntılı – klastik göldür.
- Kıyıdaki çökeller: kaba taneli, deltasal, sahil kumu, konglomera çökeltileridir. Kuzey kıyıları az miktarda kum – silt içerir. Bazı kesimler kayalıktır.
- Gelen malzemeler nehir kıyı aşınması ve ya erozyon kaynaklı olabilir.
- Derinlik arttıkça su kolonu durgunlaşmasıyla çökelme yavaşlar ve silt – kil boyutlu malzeme depolanır.
- Yüzey alanı arttıkça merkezdeki ince sedimanlar ince – paralel laminasyon gösterebilir. Ama derin gölde kilsi çamurlar tabakalaşmaz.

- Sedimanlar kırıntılıdır ve ana karanın birleşimini yansıtırlar. Sediman bileşenleri detritik malzemedendir. Harici lakustrin Sediman değildir.

- İznik Gölünde dip çamur (merkezde ya da derinde): kuvarsın hakim olduğu ağır mineraller, karbonat, kil mineralleri (smektit, illit, klorit), organik malzeme. Dip çamuru (tortullar): kalın malzeme tabakasının olmadığı kuzeyde açık kahve, derinliğin fazla ve kalın çamur tabakasının olduğu güneyde gri – siyahtır.

3.1.5.10 Fay hattı

- İznik göl havzası kuzey anadolu fayı üstündedir. Kuzey anadolu fayı anadolu ve Karadeniz blokları arasında sismik aktiviteye neden olur. (Budakoğlu, 2000).

- 2007 yılı içinde İznik Gölü'nde meydana gelen 4,2 şiddetindeki deprem sonrasında harekete geçen yetkililer, gölde bulunan fay hattının 17 Ağustos 1999 depreminden sonra faaliyete geçtiğini tespit etmiştir. Marmara Denizi Gemlik kıyısında yaşanan 5,1 şiddetindeki depremin Gürle Dağı'nın bulunduğu yerden geçen fay hattını tetiklediği ve Gölyaka Köyü'nün alt tabakasını dağ ile birbirinden ayırdığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca Gölkaya Köyü'nü İznik Gölü'ne ittiği ve giderek köyün alt tabakasının göle doğru ilerlediği belirlenmiştir. (http://www.tumgazeteler.com).

3.2 Verilerinin İncelenmesi ve İstatistik Parametrelerinin Bulunması

3.2.1 Kullanılan gözlem noktalarının konumları

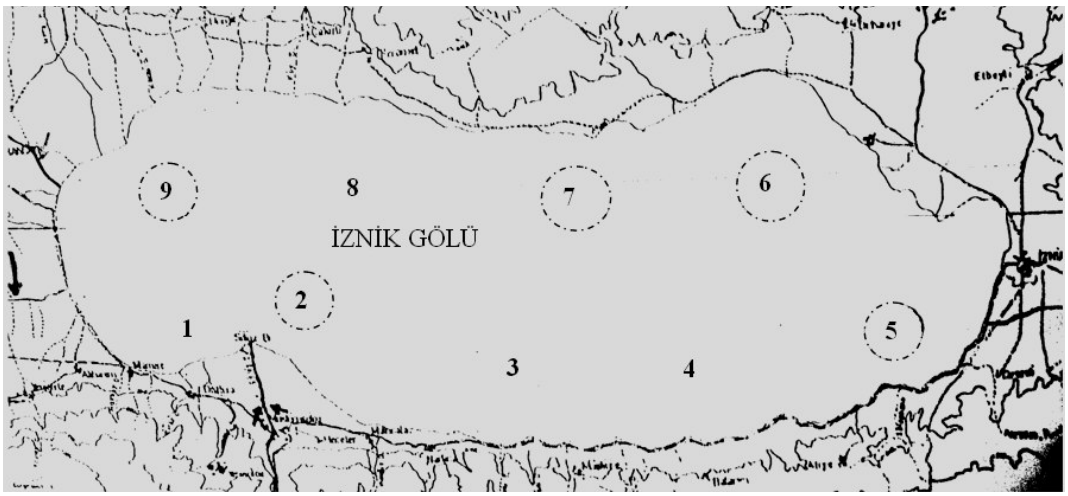
İznik gölünde bulunan 9 gözlem noktasından 5'in verileri kullanılarak yapılan çalışmada gözlem noktalarının konumları Çizelge 3.3'deki ve Şekil 3.13'deki gibidir.

Çizelge 3.3 : Gözlem noktalarının konumları (DSİ I. Bölge Müdürlüğü).

Gözlem Noktası	Düşey (Y)	Yatay (X)
2	4480050	704750
5	4482700	704060
6	4481850	716925
7	4482460	721863
9	4477519	726372

Gözlem noktaları değerlendirilirken yerleşim birimlerindeki azot ve sanayi yoğunluğu, yeraltı ve yüzey suyu özellikleri, atık suların verildiği kanallar, tarım alanları dikkate alınmalıdır. (Türkiye Çevre Atlası, 2004)

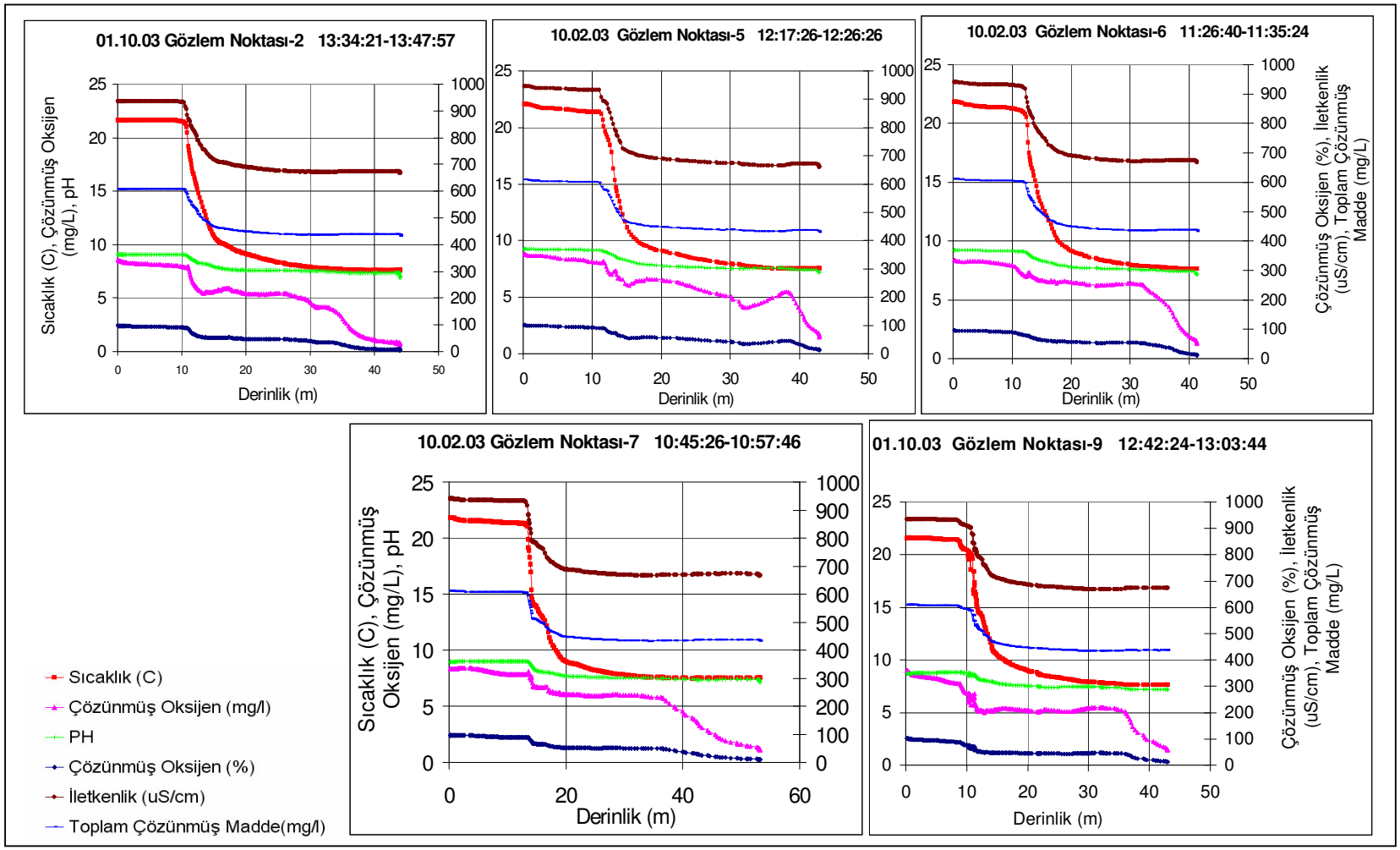
İznik Gölündeki 2. gözlem noktasından 1 Ekim 2003 tarihinde saat 13.34:21'den itibaren 4 saniye arayla alınan 207 adet, 5. gözlem noktasından 10 Şubat 2003 tarihinde saat 12.17:26'dan itibaren 4 saniye arayla alınmış 137 adet, 6. gözlem noktasından 10 Şubat 2003 tarihinde saat 11.26:40'dan itibaren 4 saniye arayla alınmış 132 adet, 7. gözlem noktasından 10 Şubat 2003 tarihinde saat 10.45:26'den itibaren 4 saniye arayla alınmış 186 adet, 9. gözlem noktasından 1 Ekim 2003 tarihinde saat 12.42:24'dan itibaren 4 saniye arayla alınmış 202 adet 5 farklı su kalitesi verisi mevcuttur.



Şekil 3.13 : İznik Göl'ündeki gözlem noktalarının konumları.

3.2.2 Verilerin analizi

Beş gözlem noktasından farklı aylarda değişik adetlerde alınan ölçümler her 4 saniyede bir biraz daha derine inerek oradaki parametreleri hesaplamaktır. Zaman değiştikçe derinlikte değişmektedir. Fakat zaman düzenli olarak 4 saniyede bir artarken derinlikte yüzeyden itibaren aşağı doğru düzenli bir artış yoktur. Bu her 4 saniyede bir ölçüm yapmaya programlanmış ölçüm aletinin sabit bir hızla hareket edememesinden kaynaklanabilir. Gözlem noktalarından belirtilen günlerde ve zaman aralıklarında alınmış su kalitesi parametreleri Şekil 3.15'da gösterilmiştir. Yılın farklı aylarında farklı gözlem noktalarındaki ölçümlerde sıcaklık parametresi ilk 10 metrede durağandır. Yaklaşık 20 metreye kadar bir geçiş tabakası bulunmakta ardından $7^{o}C$ civarında sabitlenmektedir. Çözünmüş oksijen ilk 10 metreye kadar



Şekil 3.15 : Gözlem noktalarından belirtilen günlerde ve zaman aralıklarında alınmış su kalitesi parametreleri (DSİ I. Bölge Müdürlüğü, 2003).

yavaş bir düşüş gösterir. 10 – 15 metre arası hızlı bir şekilde azalır ve sonra 30 metreye kadar kararlı bir durum izler, daha sonra da çok yüksek bir hızla düşmeye başlar. Fakat 5. gözlem noktasında 30 metreye kadar kararlı bir durum gözlenmez, biraz artış ve sonra azalış şeklinde bir dalgalanma göze çarpar. Güney batıda bulunan 5. gözlem noktasındaki bu verilere göre ayrıca çözünmüş oksijen 30 metreden sonra bir miktar artar ve sonra azalmaya başlar. 40 m'de tüm gölde azalan çözünmüş oksijenin en yüksek değerini güneyde alması ve daha önceki araştırmalardaki bulgular ışığında arada bir su kabarcıklarının da görülmüş olması ayrıca fay hattının da geçtiği düşünülürse burada bir su kaynağı olabileceğine işaret olabilir. Kaynağın çözünmüş oksijeni de gölün oradaki çözünmüş oksijeninden fazladır. Ayrıca kuzeyde 40 m'den sonra daha da düşmesi beklenen çözünmüş oksijenin düşmemesi güneyde bir hat üzerinden kaynaklanan yeraltı suyu kaynağına işaret olabilir. pH değerlerine bakıldığında göl her gözlem noktasında alkali özelliğini korur. İlk 10 metrede sabit değerler gözlenirken 20 metreye kadar hızlı sonrasında yavaş devam eden bir düşüş olur. Çözünmüş madde iletkenliğin 0.65 katı olarak hesaplanmıştır ve aynı karakteristikleri gösterir. Atmosferdeki bütün gazlar suyun içinde bi dereceye kadar çözünür. Oksijenin çözünürlüğü kısmi basıncıyla orantılıdır. Gazların sudaki çözünürlüğü sıcaklık arttıkça azalır basınç artıkça artar. Herhangi bir sıcaklıkta gazın doyma noktasındaki miktarı Henry'nin kanunuyla hesaplanır. Basınç ve sıcaklığın yanında oksijen miktarını etkileyen bio-kimyasal süreçlerden dolayı doyma noktasının altında kalan çözünmüş oksijen grafiklerde % ile gösterilmiştir. Yüzeyde %100'e yakın olan bu değer tüm noktalarda alt derinliklere doğru düşmektedir.

3.2.2.1 İstatistiksel analiz

Gözlem noktalarındaki verilerin, istatistiksel incelemesi Çizelge 3.4'te belirtilmiştir. Buna göre, ortalama sıcaklık en yüksek 9. gözlem noktasında, en düşük ortalama çözünmüş oksijen 2. gözlem noktasında, en yüksek ortalama iletkenlik 7.gözlem noktasında ve çözünmüş madde iletkenliğin 0.65 katı olarak hesaplandığı için gene 7. gözlem noktasında en yüksek ortalamayı vermiştir. pH ise en düşük ortalamasını 2. gözlem noktasında vermiştir. Çözünmüş oksijen sadece 2. noktada 1mg/L'nin altına düşmüştür. Tüm parametreler için en düşük ortalama değerler 2. noktada gözlemlenmiştir. Verilerin çarpıklığı 2'nin altında olup genelde -1 ile +1 arasında toplanmıştır.

Çizelge 3.4 : Gözlem noktalarındaki su kalitesi parametrelerinin istatistiksel değerleri.

GÖZLEM NOKTASI 2						
	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Ortalama	22.68	12.13	751.73	7.60	488.63	4.94
Standart Hata	0.96	0.39	7.43	0.05	4.83	0.18
Orta Değer	21.011	8.97	687.9	7.61	447.1	5.44
Mod	44.033	7.62	674.4	9.06	438.4	0.75
Standart Sapma	13.83	5.65	106.92	0.69	69.50	2.56
Varyans	191.40	31.92	11432.78	0.47	4830.29	6.55
Basıklık	-1.24	-1.01	-0.89	-1.09	-0.89	-1.02
Çarpıklık	0.08	0.88	0.95	0.66	0.95	-0.37
Aralık	44.03	14.02	268.8	2.14	174.7	7.93
Minimum	0.013	7.61	668	6.93	434.2	0.63
Maksimum	44.043	21.63	936.8	9.07	608.9	8.56
Adet	207	207	207	207	207	207
GÖZLEM NOKTASI 5						
	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Ortalama	21.76	12.79	763.37	7.77	496.19	6.08
Standart Hata	1.15	0.52	9.93	0.06	6.45	0.17
Orta Değer	20.402	9.05	689.1	7.76	447.9	6.23
Mod	42.884	7.56	672	7.46	436.8	6.4
Standart Sapma	13.48	6.07	116.18	0.74	75.52	2.01
Varyans	181.59	36.86	13497.97	0.55	5703.19	4.04
Basıklık	-1.30	-1.46	-1.38	-1.53	-1.38	-0.45
Çarpıklık	0.08	0.63	0.70	0.46	0.70	-0.52
Aralık	42.75	14.53	284.8	2.02	185.1	7.38
Minimum	0.134	7.54	662.1	7.23	430.4	1.45
Maksimum	42.884	22.07	946.9	9.25	615.5	8.83
Adet	137	137	137	137	137	137
GÖZLEM NOKTASI 6						
	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Ortalama	21.16	12.97	767.40	7.77	498.81	6.15
Standart Hata	1.08	0.51	9.76	0.06	6.34	0.17
Orta Değer	19.4325	9.345	693.4	7.845	450.7	6.48
Mod	#YOK	7.63	674.9	7.43	438.6	8.27
Standart Sapma	12.37	5.86	112.08	0.73	72.85	1.93
Varyans	152.90	34.32	12562.79	0.53	5306.84	3.72

Çizelge 3.4 : (devam) Gözlem noktalarındaki su kalitesi parametrelerinin istatistiksel değerleri.

Basıklık	-1.20	-1.49	-1.42	-1.53	-1.42	0.74
Çarpıklık	0.11	0.56	0.64	0.38	0.64	-1.24
Aralık	41.168	14.23	273.4	2.07	177.7	7.14
Minimum	0.158	7.63	668.9	7.16	434.8	1.27
Maksimum	41.326	21.86	942.3	9.23	612.5	8.41
Adet	132	132	132	132	132	132

GÖZLEM NOKTASI 7

	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Ortalama	21.26	13.99	788.45	7.78	512.49	6.26
Standart Hata	1.12	0.46	8.81	0.05	5.73	0.15
Orta Değer	16.5795	12.38	738.5	8.025	480.05	6.65
Mod	#YOK	7.53	932.6	8.99	606.2	7.84
Standart Sapma	15.28	6.25	120.13	0.70	78.08	2.10
Varyans	233.34	39.07	14432.33	0.49	6097.14	4.39
Basıklık	-0.66	-1.80	-1.79	-1.79	-1.79	0.50
Çarpıklık	0.66	0.22	0.27	0.10	0.27	-1.18
Aralık	52.967	14.31	275	1.82	178.8	7.31
Minimum	0.204	7.5	666.5	7.18	433.2	1.1
Maksimum	53.171	21.81	941.5	9	612	8.41
Adet	186	186	186	186	186	186

GÖZLEM NOKTASI 9

	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Ortalama	17.07	14.09	788.09	7.71	512.22	6.03
Standart Hata	0.85	0.42	8.06	0.04	5.24	0.12
Orta Değer	13.592	12.2	738.3	7.995	479.9	5.41
Mod	#YOK	21.61	936.2	7.45	608.5	5.08
Standart Sapma	12.03	5.92	114.55	0.61	74.50	1.73
Varyans	144.64	35.07	13121.62	0.38	5550.27	2.99
Basıklık	-0.82	-1.76	-1.75	-1.74	-1.75	0.05
Çarpıklık	0.51	0.21	0.27	0.05	0.27	-0.20
Aralık	42.795	14	268.2	1.63	174.3	7.6
Minimum	0.184	7.62	668.1	7.18	434.3	1.41
Maksimum	42.979	21.62	936.3	8.81	608.6	9.01
Adet	202	202	202	202	202	202

3.2.2.2 Korelasyon analizi

Saçılım(scatterplot) grafikleri iki değişken arasındaki ilişki hakkında genel bir bilgi edinmemizi sağlar. Ancak, ilişkinin miktarı konusunda yorum yapabilmek için korelasyon katsayısının hesaplanması gerekmektedir. Literatürde çeşitli korelasyon sayıları bulunmaktadır (Köse, S. K.). Bu çalışmada Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır.

Aralık ve rasyo seviyesinde ölçülmüş iki değişken arasındaki ilişkinin şiddetini ve yönünü belirlemeye yönelik bu analizin güvenilir sonuçlar verebilmesi için, verinin metrik özellikler taşıması gerekmektedir. (htpp://www.sakarya.edu.tr) Korelasyon katsayısı, örneklem büyüklüğünden etkilenmektedir. Küçük hacimli örneklerde, elde edilen korelasyon katsayısı büyük bile olsa istatistiksel olarak önemli bir değer olmayabilir. Dolayısıyla, elde edilen değerin hipotez testinin yapılması gereklidir. (Köse, S. K.) Ölçülmeye çalışılan ilişki, değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal (lineer) olan kısmı ile ilgilidir. Eğer değişkenler arasındaki ilişki doğrusal değilse (karesi, karekökü, vb.) bunun korelasyon analiz ile tespiti mümkün olamamaktadır. Bu durumda, var olan ilişkinin sadece doğrusal kısmı tespit edilir. Korelasyon analizi neticesinde hesaplanan korelasyon katsayısı r ile gösterilir ve –1 ile +1 arası değerler alabilir. Katsayının +1 olması x değeri 1 birim artarken, y değeri de bir birim artmaktadır, katsayının –1 olması x değeri artarken y değeri azalmaktadır. (htpp://www.sakarya.edu.tr)

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n\sum X^2 - (\sum X)^2}\ \sqrt{n\sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Korelasyonun katsayısının gücü

0.00 - 0.25 Çok zayıf ilişki

0.26 - 0.49 Zayıf ilişki

0.50 - 0.69 Orta ilişki

0.70 - 0.89 Yüksek ilişki

0.90 - 1.0 Çok yüksek ilişki (Köse, S. K.).

Çapraz Korelasyon Değerleri (Çapraz Bağımlılık)

İki değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen çapraz korelasyon değerlerine göre tüm gözlem noktalarında tüm parametrelerin birbirleriyle olan doğrusal ilişkisi yüksek

çıkmıştır. En yüksek korelasyon katsayıları iletkenlik ile çözünmüş madde arasında bulunurken en düşük ilişki iletkenlik ve TÇM ile çözünmüş oksijen arasında çıkmıştır. İznik Gölünde 5 gözlem noktasındaki 6 farklı su kalitesi parametresinin çapraz korelasyon değerleri Çizelge 3.5'da gösterilmiştir. Derinlik ve derinlikle birlikte değişen veriler tüm derinlik boyunca alınmıştır.

Çizelge 3.5 : İznik Gölünde 5 gözlem noktasındaki tüm derinlikte 6 farklı su kalitesi parametresinin çapraz korelasyon değerleri.

Gözlem Noktası 2						
	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Derinlik (m)	1					
Sıcaklık (C)	-0.86	1				
İletkenlik (uS/cm)	-0.84	0.998	1			
pH	-0.91	0.98	0.978	1		
TÇM (mg/L)	-0.84	0.998	0.9999999	0.98	1	
ÇO (mg/L)	-0.97	0.82	0.80	0.87	0.80	1
Gözlem Noktası 5						
	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Derinlik (m)	1					
Sıcaklık (C)	-0.89	1				
İletkenlik (uS/cm)	-0.87	0.998	1			
pH	-0.93	0.99	0.982	1		
TÇM (mg/L)	-0.87	0.998	0.9999999	0.98	1	
ÇO (mg/L)	-0.95	0.85	0.83	0.89	0.83	1
Gözlem Noktası 6						
	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Derinlik (m)	1					
Sıcaklık (C)	-0.89	1				
İletkenlik (uS/cm)	-0.87	0.998	1			
pH	-0.94	0.99	0.981	1		
TÇM (mg/L)	-0.87	0.998	0.9999999	0.98	1	
ÇO (mg/L)	-0.89	0.72	0.69	0.79	0.69	1
Gözlem Noktası 7						
	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Derinlik (m)	1					
Sıcaklık (C)	-0.85	1				

Çizelge 3.5 : (devam) İznik Gölünde 5 gözlem noktasındaki 6 farklı su kalitesi parametresinin çapraz korelasyon değerleri.

İletkenlik (uS/cm)	-0.83	0.999	1			
pH	-0.89	0.99	0.986	1		
TÇM (mg/L)	-0.83	0.999	0.9999999	0.99	1	
ÇO (mg/L)	-0.96	0.79	0.78	0.84	0.78	1

Gözlem Noktası 9

	Derinlik (m)	**Sıcaklık (C)**	**İletkenlik (uS/cm)**	**pH**	**TÇM (mg/L)**	**ÇO (mg/L)**
Derinlik (m)	1					
Sıcaklık (C)	-0.89	1				
İletkenlik (uS/cm)	-0.87	0.997	1			
pH	-0.92	0.99	0.979	1		
TÇM (mg/L)	-0.87	0.997	0.9999856	0.98	1	
ÇO (mg/L)	-0.87	0.85	0.84	0.85	0.84	1

Otokorelasyon Değerleri (Ardışık Bağımlılık)

Zaman içerisinde sıralanmış seri aynı zamanda derinlik değişimiyle mekansal farklılık da gösterir. Ardaşık bağımlılık, verini kendi elemanları arasındaki zaman ve ya mekândan herhangi biri sabit olduğu durumlarda diğerini geriye doğru kaydırarak mekan içinde ya da zaman içinde değişen verilerin birbirleriyle olan içsel ilgisini hesaplar. 4'er saniye arayla farklı derinliklerde alınan verinin toplam ölçüm zamanı 9.noktada 20 diğerlerinde 10 dk sürmüştür. Verinin zamanda gösterdiği değişim ihmal edilerek mekansal değişimine göre çözünmüş oksijen için otokorelasyon değerleri hesaplanmıştır. Bölüm 5.3'daki eksik değer hesaplanmalarında bir önceki çözünmüş oksijen değeri giriş olarak kullanılmıştır. Otokorelasyon hesabında zamanda 4 saniyede bir geriye gidilerek toplam 40 saniye geriye gidilmiştir. Çizelge 3.6'da görülen sonuçlara göre çözünmüş oksijenin derinliğe göre otokorelasyon değerleri genel olarak çapraz korelasyon değerlerinden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 3.6 : Çözünmüş oksijenin tüm gözlem noktalarındaki derinliğe göre otokorelasyon değerleri.

2.Gözlem Noktası	x	x-1	x-2	x-3	x-4	x-5
x	1					
x-1	0.99951	1				
x-2	0.99854	0.99952	1			
x-3	0.99699	0.99856	0.99952	1		
x-4	0.99503	0.99702	0.99857	0.99952	1	
x-5	0.99268	0.99507	0.99703	0.99857	0.99952	1
5. Gözlem Noktası	x	x-1	x-2	x-3	x-4	x-5
x	1					
x-1	0.99754	1				
x-2	0.99148	0.99733	1			
x-3	0.98242	0.99066	0.99713	1		
x-4	0.97171	0.98083	0.99002	0.99701	1	
x-5	0.95919	0.96921	0.97959	0.98960	0.99694	1
6. Gözlem Noktası	x	x-1	x-2	x-3	x-4	x-5
x	1					
x-1	0.99748	1				
x-2	0.99248	0.99757	1			
x-3	0.98539	0.99279	0.99771	1		
x-4	0.97668	0.98611	0.99324	0.99788	1	
x-5	0.96738	0.97802	0.98707	0.99376	0.99805	1
7. Gözlem Noktası	x	x-1	x-2	x-3	x-4	x-5
x	1					
x-1	0.99832	1				
x-2	0.99562	0.99841	1			
x-3	0.99261	0.99586	0.99849	1		
x-4	0.98952	0.99300	0.99607	0.99857	1	
x-5	0.98618	0.99004	0.99333	0.99626	0.99864	1
9. Gözlem Noktası	x	x-1	x-2	x-3	x-4	x-5
x	1					
x-1	0.98607	1				
x-2	0.99175	0.98581	1			
x-3	0.98521	0.99138	0.98554	1		
x-4	0.98220	0.98426	0.99084	0.98525	1	
x-5	0.97940	0.98037	0.98296	0.99016	0.98499	1

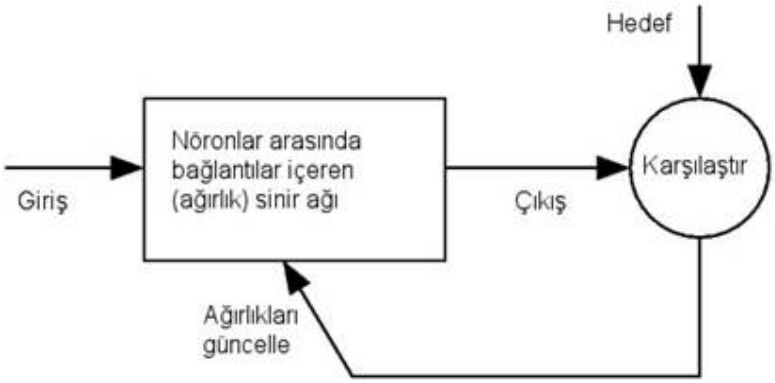
4. MODELLERİN TANITILMASI

4.1 Çalışmada Kullanılan Yapay Sinir Ağı Metodları

4.1.1 Genel bilgi

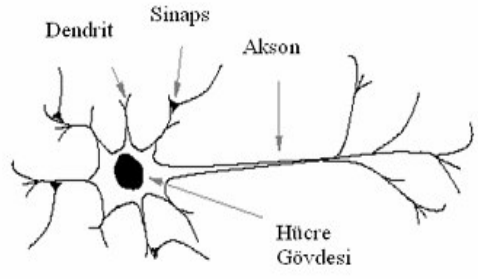
İnsanın düşünebilme, anlayabilme, öğrenebilme ve yorumlayabilme yeteneklerinin yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışarak yani bunu programlamayla taklit ederek problem çözümüne kullanan ve programlanmış bir bilgisayarın düşünme girişimi olarak özetlenebilecek olan bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekasına özgü kapasitelerle donatılmış tekniklere yapay zeka (YZ) teknikleri adı verilir.

İnsan beyninin fonksiyonlarını modellerle anlamaya çalışmayı, insanın zihinsel yeteneklerini, bilgi kazanma, öğrenme ve buluş yapmada uyguladıkları strateji ve metotları araştırmayı, bu metotları formel hale getirip bilgisayarlarda uygulamayı, bilgisayar kullanımını kolaylaştıracak arayüzler, uzman sistemler, genel bilgi sistemleri, YZ iş yardımcıları ve zeki robot timleri ile bilimsel araştırma ve buluşlar için araştırma yardımcıları geliştirmeyi amaçlayan yapay zeka tekniklerinden bazıları yapay sinir ağları, bulanık mantık, sezgisel algoritmalar (genetik algoritmalar, tabu arama, tavlama benzetimi, karınca Algoritması), uzman sistemlerdir (Saraç, 2004).



Şekil 4.1 : Yapay sinir ağı genel akış şeması.

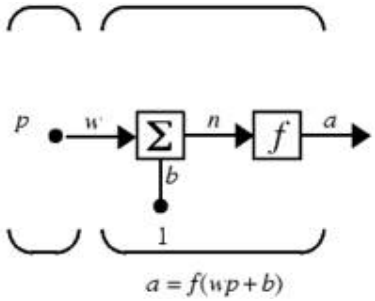
Yapay sinir ağları, "biyolojik sinir sisteminde olduğu gibi, gerçek yaşam nesneleriyle etkileşmeyi amaçlayan basit elemanların ve onların hiyerarşik düzenlemelerinin paralel, içice bağlantılı ağları" olarak tanımlanabilir (Kohonen, 1987). Başka bir tanıma göre Yapay sinir ağı dışarıdan gelen girişlere dinamik olarak yanıt oluşturma yoluyla bilgi işleyen, birbiriyle bağlantılı basit elemanlardan oluşan bilgi işlem sistemidir (Caudill, M., 1987). Yapay sinir ağı genel akış şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



SİNİR SİSTEMİ	YSA SİSTEMİ
Nöron	İşlem Elemanı
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Transfer Fonksiyonu
Aksonlar	Eleman Çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Şekil 4.2 : Biyolojik sinir sistemi ile YSA arasındaki benzerlikler.

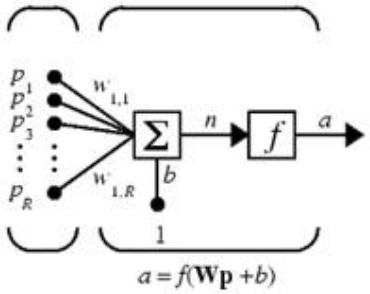
Nano saniyeler bazındaki işlem hızları ile YSA'lar, mili saniyeler mertebesindeki hızları ile işlem yapan insan beyninin işlevselliğinin çok uzağındadır. İnsan beynindeki yaklaşık 10^{11} sinir hücresini bilgisayar ortamında modellenmesi şu an için mümkün görünmemektedir. Fakat karar hızı açısından insan beyni ile yarışamasalar bile, yapısallıkları ve hassas eşleştirmeleri başarı ile gerçekleştirebilmeleri ile gün geçtikçe daha fazla uygulama alanı bulmaktadır (www.uzerine.com). Biyolojik sinir sistemi ile YSA arasındaki benzerlikler Şekil 4.2'de gösrterilmiştir.



Şekil 4.3 : Tek girişli hücre modeli.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilen hücre modeli bir ya da birden çok skaler girişe ve bir çıkışa sahip olan bir hesaplama elemanıdır.

p: hücrenin girişi olan skaler değeri, w: p girişi ile hücre arasındaki ağırlık değerini, b: hücrenin bias değerini, f: transfer fonksiyonunu, a: hücrenin çıkışını belirtmektedir. p girişi önce w ağırlığı ile çarpılır. Ardından b bias değeri ile toplanır ve transfer fonksiyonundan geçirilerek a çıkışı hesaplanır. Transfer fonksiyonu doğrusal ya da doğrusal olmayan türevlenebilir bir fonksiyondur. Fakat hücrenin arzu edilen çıkışı verebilmesi için w ve b ağırlık değerlerinin optimum olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.



Şekil 4.4 : Çok girişli hücre modeli.

R hücrenin giriş sayısıdır. Görüleceği üzere giriş sayısı kadar da w ağırlık değeri vardır. Bu durumda modelin matematiksel ifadesi şu şekilde olur:

$$a = f\left(\sum_{i=1}^{R} w_i p_i + b\right) \qquad \textbf{(3.2)}$$

(H. Demuth, M. Beale, M. Hagan, User Guide Version 5)

Saklı tabaka sayısı

Saklı tabakalar, lineer olmayan ya da değişkenler arasında etkileşim var ise kullanılır. Bu etkileşim ne kadar karmaşıksa, o kadar çok saklı tabakaya ihtiyaç duyulur. Eğer az sayıda saklı tabaka kullanılırsa ağ öğrenmeyi başarmaz. Gereğinden fazla sayıda saklı tabaka bulunması halinde ise, ağ ezberler. Bu da ağın, yeni örnekler için genelleme yeteneğini azaltır. Amaç, ağın genelleme yeteneğini optimum yapabilecek en az sayıda tabakayı kullanmaktır. Gizili tabaka sayısını belirlemenin yolu benzer veri seti kullanılmış tecrübelerden faydalanmaktır (Saraç, 2004).

4.1.1.1 YSA'nın gelişim süreci

- **1890-** İnsan beyninin yapısı ve fonksiyonları ile ilgili ilk yayının yazılması
- **1911-** İnsan beyninin sinir hücrelerinden oluştuğu fikrinin benimsenmesi
- **1943-** İlk yapay sinir ağı modeli 1943 yılında, bir sinir hekimi olan **Warren McCulloch** ile bir matematikçi olan **Walter Pitts** tarafından

gerçekleştirilmesi. **McCulloch** ve **Pitts**, insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, elektrik devreleriyle basit bir sinir ağı modellenmesi.

- 1948- **Wiener "Cybernetics"** isimi kitabında, sinirlerin çalışması ve davranış özelliklerine değinmesi
- 1949- **Hebb'in "Organization of Behavior"** adlı eserinde öğrenme ile ilgili temel teoriyi ele alması. **Hebb** kitabında öğrenebilen ve uyum sağlayabilen sinir ağları modeli için temel oluşturacak **"Hebb kuralı"**nı ortaya koymuştur. **Hebb kuralı**; sinir ağının bağlantı sayısı değiştirilirse, öğrenebileceğini ön görmekteydi.
- 1958- **Frank Rosenblatt'**ın **Perceptron**'u geliştirmesinden sonra, YSA'lar ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. **Perceptron**; beyin işlevlerini modelleyebilmek amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan tek tabakalı eğitilebilen ve tek çıkışa sahip bir ağ modelidir.
- 1959- **Bernand Widrow** ve **Marcian Hoff (Stanford Üniversitesi) ADALINE (Adaptive Linear Neuron)** modelini geliştirmişler ve bu model YSA'ların mühendislik uygulamaları için başlangıç kabul edilmiştir. Bu model Rosenblatt'ın Perceptron'una benzemekle birlikte, öğrenme algoritması daha gelişmiştir. Bu model uzun mesafelerdeki telefon hatlarındaki yankıları ve gürültüleri yok eden bir adaptif filtre olarak kullanılmış ve gerçek dünya problemlerine uygulanan ilk YSA olma özelliğini kazanmıştır. Ayrıca eğitim boyunca toplam hatayı en aza indirmeyi amaçlayan **Widrow – Hoff öğrenme kuralı** ortaya atıldı.
- 1969- YSA çalışmaları durma noktasına gelmiştir. Buna en önemli etki; **Minsky** ve **Pappert** tarafından yazılan **Perceptrons** adlı kitaptır. Burada YSA'ların doğrusal olmayan problemleri çözemediği meşhur **XOR problemi** ile ispatlanmış ve YSA çalışmaları kesilmiştir.
- Tüm bunlara rağmen **Anderson, Amari, Cooper, Fukushima, Grossberg, Kohonen, Hopfield** gibi bilim adamları çalışmalarını sürdürmüşler,
- **1978- Grosberg Carpenter** ile birlikte **Adaptif Rezonans Teorisini (ART)** geliştirmiştir.
- **1982- Hopfield** tarafından eğrisel YSA'ların geliştirilmiş ve geleneksel gezgin satıcı problemini çözmüştür.

- **1982- Kohonen Kendi kendine Öğrenme Nitelik Haritaları (Self Organizing Feature Maps SOM)** konusundaki çalışmasını yayınlamıştır.
- **1984-** Bu çalışmaların neticesi **Hinton ve arkadaşları**'nın geliştirdiği **Boltzman Makinesi'**nin doğmasına yol açmıştır.
- **1986**- **Rumelhalt ve arkadaşları** çok tabakalı algılayıcı tipi ağlar için **geriye yayılma** eğitme algoritmasını geliştirdi.
- **1988- Broomhead** ve **Lowe radyal tabanlı fonksiyonlar modelini (Radial Basis Functions RBF)** geliştirmişler ve özellikle filtreleme konusunda başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.
- **1991- Spect**, **RBF** ağların daha gelişmiş şekli olan **Probabilistik ağlar (PNN)** ve **Genel Regresyon Ağlarını (GRNN)** geliştirmiştir.
  (Şen, 2004; www.uzerine.com)

4.1.1.2 YSA ile hesaplamanın özellikleri

Doğrusal Olmama: YSA' nın temel işlem elemanı olan hücre, doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde önemli bir araç olmuştur (Ergezer ve diğ., 2003).

Öğrenme: YSA' nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Yani, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerekir. Fakat bağlantılar ve ağırlıklar önceden tasarlanamaz. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemden aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenir (Ergezer ve diğ., 2003).

Genelleme: YSA'nın eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretmesidir. Örneğin, karakter tanıma amacıyla eğitilmiş bir YSA, bozuk karakter girişlerinde de doğru karakterleri verebilir (Ergezer ve diğ., 2003).

Uyarlanabilirlik: Belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen YSA, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir ve değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir (Ergezer ve diğ., 2003).

Dağıtılmış birleşik hafıza: Ağırlıklar ağın o andaki uygulanan örneklerden öğrenmiş olduğu davranışı verir. Bilgi ağırlıklar üzerine dağıtılmıştır. Ağırlıklar ağın hafıza birimidir.

Gerçeklenme Kolaylığı: Basit işlemler gerçekleyen türden hücrelerden oluşması ve bağlantıların düzgün olması,ağların gerçeklenmesi ki açısından büyük kolaylık sağlamaktadır (Saraç, 2004).

Yerel Bilgi İşleme: Yapay sinir ağlarında her bir işlem birimi ,çözülecek problemin tümü ile ilgilenmek yerine, sadece problemin gerekli parçası ile ilgilenmektedir ve problemin bir parçası işlemektedir.Hücrelerin çok basit işlem yapmalarına rağmen , sağlanan görev paylaşımı sayesinde, çok karmaşık problemler çözülebilmektedir (Saraç, 2004).

Hata Toleransı: YSA paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir YSA'nın bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir (Ergezer ve diğ., 2003).

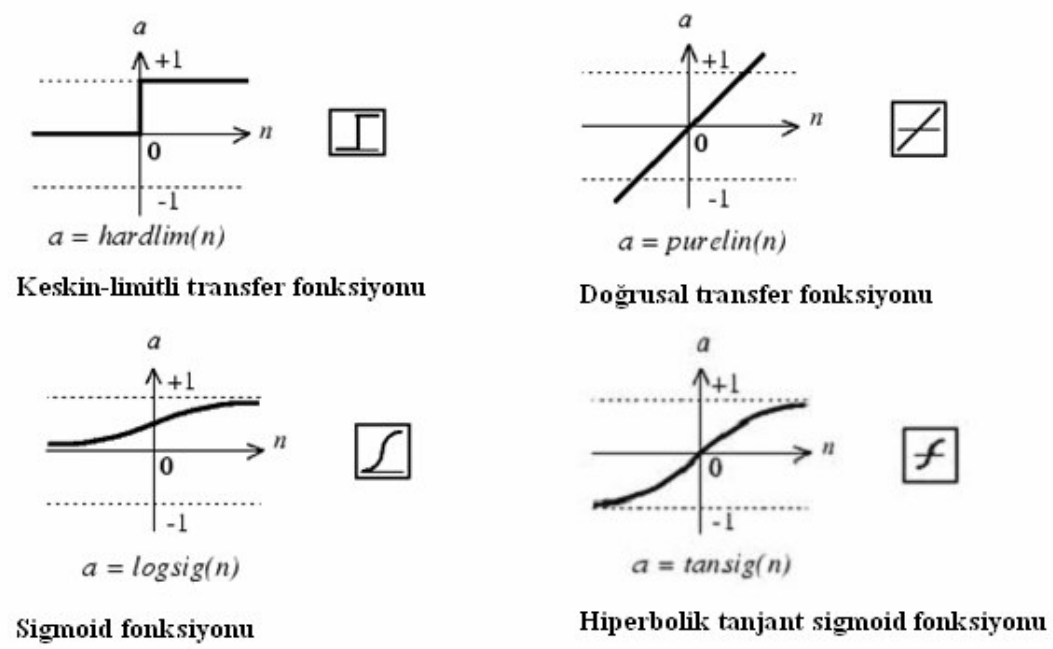
Donanım ve Hız: YSA, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (VLSI) teknolojisi ile gerçeklenebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir (Saraç, 2004).

Analiz ve Tasarım Kolaylığı: YSA' nın temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, bütün YSA yapılarında yaklaşık aynıdır. Dolayısıyla, YSA' nın farklı uygulama alanlarındaki yapıları da standart yapıdaki bu hücrelerden oluşacaktır. Bu nedenle, farklı uygulama alanlarında kullanılan YSA' ları benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bu özellik, problemlerin YSA ile çözümünde önemli bir kolaylık getirecektir (Saraç, 2004).

4.1.1.3 Transfer fonksiyonları

YSA'da en sık kullanılan trasfer fonksiyonlarıda Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Keskin-limitli transfer fonksiyonu: n fonksiyonun girişi, a ise çıkışıdır. Bu fonksiyonda, giriş değeri 0 (sıfır)'dan büyükse çıkış değeri 1 (bir), giriş değeri 0 (sıfır)'dan küçükse çıkış değeri 0 (sıfır) olmaktadır. Sınıflandırma uygulamalarında kullanılmaktadır.



Şekil 4.5 : En sık kullanılan trasfer fonksiyonları.

Doğrusal transfer fonksiyonu: Giriş hiçbir değişikliğe uğramadan aynen çıkmaktadır (a=n).

Sigmoid fonksiyonu: (Logaritmik sigmoid) Doğrusal olmayan logaritmik bir fonksiyon. Giriş değerleri hangi aralıkta olursa olsun, çıkış 0 ile 1 arasında olmaktadır. Türevlenebilir olduğu için geriye yayılım algoritmaları ile kullanılabilir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde tercih edilmektedir.

Matematiksel ifadesi: a = logsig (n) = 1 / (1 + exp(-n))

Hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu: a = tansig (n) = (2 / (1+exp (-2*n))) -1

(H. Demuth ve diğ., User Guide Version 5)

4.1.1.4 Ağ fonksiyonları

Bir ağ nesnesi oluşturmak için ağ fonksiyonları kullanılır. YSA'nın tasarımı sürecinde ağ yapısı uygulama problemine bağlı olarak seçilmelidir. Hangi problem için hangi ağın daha uygun olduğunun bilinmesi önemlidir. Ağ türleri ve başarılı oldukları alanlar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada ileri beslemeli geri yayılım ağı, radyal tabanlı ağ, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 : Ağ Türleri ve Başarılı Oldukları Alanlar (Saraç, 2004).

Kullanım Amacı	Ağ Türü	Ağın Kullanımı
Tahmin	ÇKA	Girişlerden çıktının tahmini
Sınıflandırma	Öğrenme vektörü nicellemesi Adaptif rezonans teorisi Geri yayılım Olasılıklı sinir ağları	Girişlerin ait oldukları sınıfın belirlenmesi
Veri İlişkilendirme	Hopfield Boltzman Makinesi İki yönlü çarşımlı bellek	Girişlerdeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması

4.1.1.5 Performans fonksiyonları

Çıktıların tatmin edici olup olmadığını anlamak için performans değerlendirme fonksiyonları kullanır. Ortalama mutlak hata, ortalama karesel hata, toplam karesel hata Matlabta bulunan performans fonksiyonlarından bazılarıdır. Bu çalışmada ortalama karesel hata fonksiyonu kullanılmıştır.

4.1.1.6 Öğrenme fonksiyonu

Bu çalışmada ileri beslemeli ağ çalışırken öğrenme fonksiyonu olarak geri yayılım fonksiyonu kullanılmıştır. Yapay sinir ağları en çok tahmin amacıyla kullanılmaktadır. Tahmin için kullanılan yapay sinir ağları içinde de en yaygın olarak kullanılan öğrenme algoritması geri yayılımdır. Geri yayılım algoritması (Genelleştirilmiş Delta Algoritması) ileri beslemeli ve çok tabakalı bir ağ mimarisini gerektirmektedir. Bu algoritma, hataları çıkıştan girişe geriye doğru azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Örnekler ağa öğretilir ve ağa hedef değeri verilir. Öğrenme, her örnek için ağın çıktı değeri ile hedef değerinin ile karşılaştırılır. Hata, ağdaki ağırlıkların bir fonksiyonu olarak görülür; bu da hesaplanan çıkış ile eldeki çıkış arasındaki farktır:

$$\text{Hata} = v_i - z_k \qquad \textbf{(3.3)}$$

v_i: gerçek değer

z_k: hesaplanan değer

$$z_k = f\left(\sum y_i\, w_{ij}\right) \qquad \textbf{(3.4)}$$

f: transfer fonksiyonu

w_{ij}: çıkış ile bir önceki saklı tabaka arasındaki ağırlık

y_i: bir önceki saklı tabakanın çıkışı

Hataların kareleri ortalaması dereceli azaltma (gradient descent) yöntemi kullanılarak, minimize edilmeye çalışılır.

$$\text{Hataların kareleri ortalaması} = \sum (v_i - z_k)2 / 2 \qquad \textbf{(3.5)}$$

Hata değeri, ağa tekrar geri besleme şeklinde verilir. Hataların kareleri ortalamasının ij. ağırlığına göre türevi alınır.

$$\frac{j\left[\sum (v_i - z_k)2 / 2\right]}{j\, w_{ij}} = \left[\sum (v_i - z_k)2 / 2\right]' \,.\, z_k' \qquad \textbf{(3.6)}$$

$$z_k' = f'\left(\sum y_i\, w_{ij}\right) \,.\, \left(\sum y_i\, w_{ij}\right)' \qquad \textbf{(3.7)}$$

eğer f sigmoid fonksiyonu denklem (3.8) gibi ise;

$$z_k = 1 / (1 + \exp(-\sum y_i\, w_{ij})) \qquad \textbf{(3.8)}$$

$$z_k' = [1 / (1 + \exp(-\sum y_i\, w_{ij}))] \,.\, 1 - [1 / (1 + \exp(-\sum y_i\, w_{ij}))]$$
$$z_k' = z_k \,.\, (1 - z_k) \qquad \textbf{(3.9)}$$

$$\frac{j\left[\sum (v_i - z_k)2 / 2\right]}{j\, w_{ij}} = -(v_i - z_k) \,.\, z_k \,.\, (1 - z_k) \,.\, y_i \qquad \textbf{(3.10)}$$

Örnek setindeki hata kareleri toplamını azaltmak için hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları hatanın negatif eğiminin (türevinin) belli bir oranda eski ağırlığa eklenmesi ile değiştirilir. Bias değerleri güncellenirken yi 1 olur.

$$w_{ij}\ \text{yeni} = w_{ij}\ \text{eski} - lr \,.\, Dw_{ij}(t) \qquad \textbf{(3.11)}$$

lr: öğrenme hızı (learning rate)

$$Dw_{ij}(t) = (v_i - z_k) \cdot z_k \cdot (1 - z_k) \cdot y_i \quad \textbf{(3.12)}$$

lr: Öğrenme hızı, ağırlıkların bir sonraki düzeltmede hangi oranda değiştirileceğini göstermektedir. Küçük öğrenme katsayıları, ağın sonuca ulaşmasını yavaşlatır. Büyük öğrenme katsayıları, ağın sonuca daha kısa sürede ulaşmasını sağlar. Bununla birlikte çok yüksek oranlar ağın hesaplamalarında büyük salınımlara neden olur ve ağın dip noktayı bulmasını engelleyebilir. Öğrenme katsayısı için tipik değerler 0,01 ile 0,9 arasında değişir.

Ağırlık değeri aynı yönde yeterince kaymış ve belli bir hız kazanmışsa yerel bölgeler sistemin sadece hızının azalmasına sebep olabilir. Bu temele dayanılarak oluşturulan momentum terimi ağırlık vektörlerinin değişimi ile çarpılır ve böylece bir önceki ağırlık değişim yönü yardımıyla bir sonraki ağırlık değişim yönü saplanır.

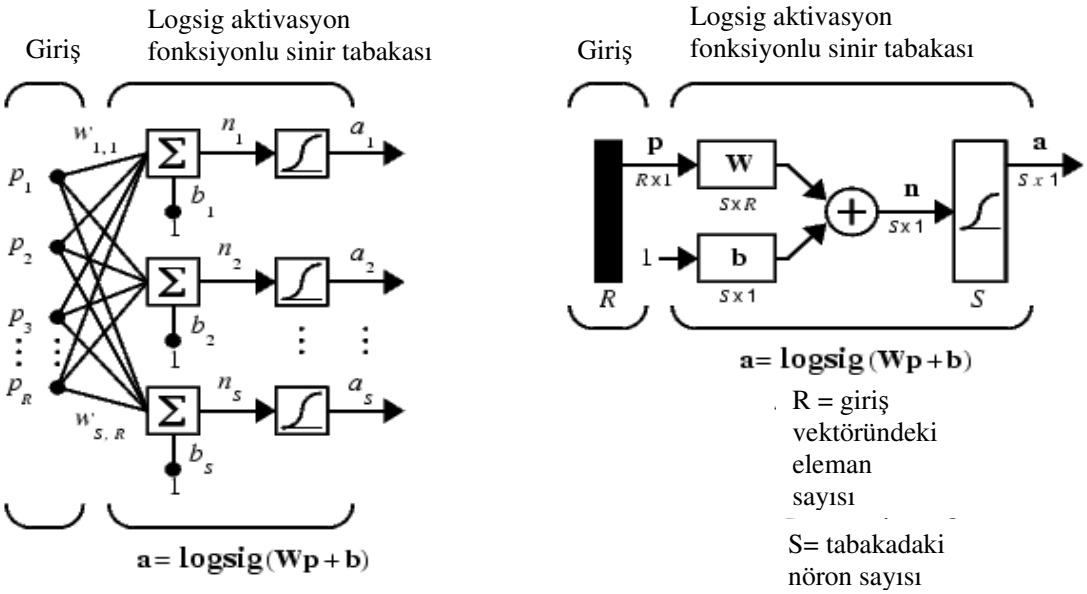
$$Dw_{ij}(t) = lr \cdot Dw_{ij}(t) + aDw_{ij}(t-1) \quad \textbf{(3.13)}$$

a : Momentum katsayısı

Optimal öğrenme oranı ve momentum teriminin belirlenmesi büyük ölçüde deneysel ve sezgisel bir özellik taşır. Ayrıca bu parametreler büyük ölçüde ilgilenilen sorun alanına bağlı olarak değişiklik gösterir. (Elmas, 2003; Şen, 2004; Saraç, 2004).

4.1.2 İleriye beslemeli geriye yayınımlı yapay sinir ağları (İBGYSA)

Bilginin akışı ileri yönlüdür. Her bir tabakada en az bir hücre bulunmak şartıyla tabakalar şeklinde organize edilen hücrelerde bir önceki tabakadaki tüm hücreler bir sonraki tabakadaki hücrelere bağlantı içermektedir. Bu şekilde arzu edildiği kadar tabaka oluşturulabilir. Bu ağın akış şeması Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Öğrenme algoritması olarak momentum katsayısı/bias ile dereceli azaltma öğrenme fonksiyonu (Gardient descent with momentum weight/bias learning function). Eğitim fonksiyonu olarak Levenberg-Marquardt geri yayılım (backpropagation) kullanılmıştır.



Şekil 4.6 : İleriye beslemeli geriye yayınımlı yapay sinir ağlarının akış şeması (www.mathworks.com).

net = newff (PR,[S1 S2…SNl],{TF1 TF2…TFNl},BTF,BLF,PF)

PR - R elemanlı giriş vektörünün minimum ve maksimum değerlerini içeren Rx2 'lik matris.

Si - i'nci tabakada bulunan hücre sayısı.

TFi - i'nci tabakaın transfer fonksiyonu.

BTF - Geriye yayılım ağ eğitim fonksiyonu, kullanılan = 'trainlm'.

BLF - Geriye yayılım ağırlık/bias öğrenme fonksiyonu, kullanılan = 'learngdm'.

PF - Performans fonksiyonu, kullanılan = 'mse' dir.

4.1.3 Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA)

İki tabakadan oluşan radyal tabanlı sinir ağlarının ilk tabakasında bulunan hücreler radyal tabanlı fonksiyonunu temsil eder ve çıkışları giriş verisi ile fonksiyonun merkezi arasındaki mesafeye göre belirlenir. Giriş merkezden uzakta ise çıkış hızlı bir şekilde sıfıra düşer. Lineer olan ikinci tabakada ilk tabakanın çıkışlarının ağırlıklandırılmış toplamları hesaplanır. Akış şeması Şekil 4.9'da verilmiştir.

1. tabaka: radbas fonksiyonlu hücreler, ağırlıklı girişleri öklit mesafelerini bularak hesaplar, net girişi net girişleri çarparak hesaplar.

2.tabaka: purelin fonksiyonlu hücreler, ağırlıklı girişleri matris elemanlarını birebir çarparak hesaplar, net girişi net girişleri toplayarak hesaplar.

İki tabakada da bias bulunur.

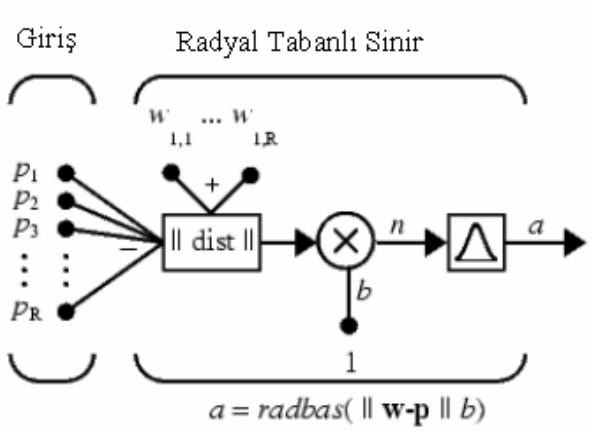
1. tabakada başlangıçta hücre yoktur.

Ağa girişler verilir ve çıkışlar elde edilir.

En yüksek hatalı giriş vektörü bulunur.

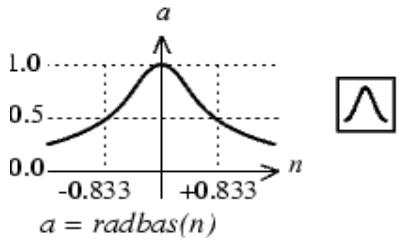
1. tabakaya en yüksek hatalı giriş vektörüne eşit ağırlıkta hücre eklenir

2. tabakadaki ağırlıklar hatayı düşürecek şekilde tekrar ayarlanır (www.mathworks.com).



Şekil 4.7 : Radyal tabanlı hücre modeli.

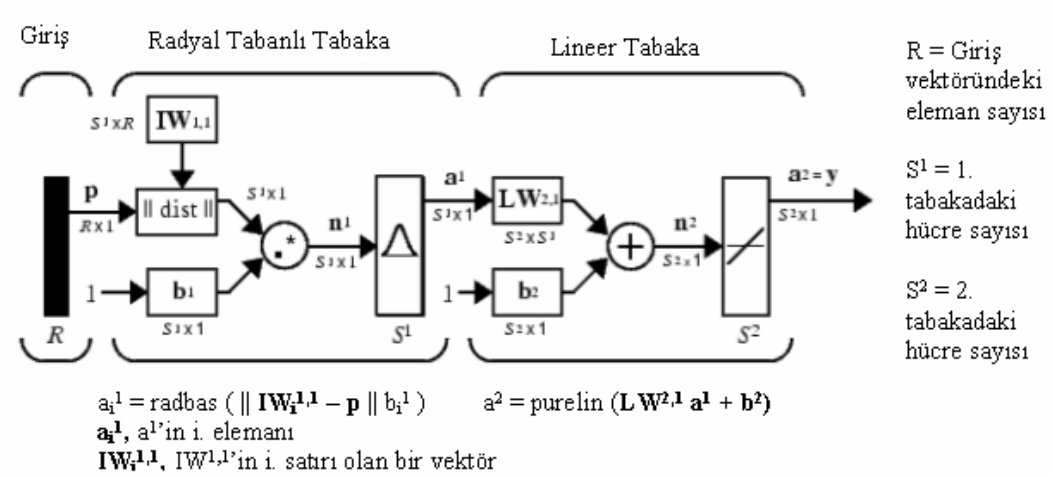
Radyal tabanlı fonksiyona (radbas(n) = e^{-n2}) giren değer, ağırlık vektörüyle giriş vektörü arasındaki mesafeyi gösteren bir vektörün bir bias değeriyle çarpılmış halidir. || dist || giriş vektörüyle tek satırlık ağırlık vektörünün birebir çarpımlarını yapar (www.mathworks.com). Radyal tabanlı hücre modeli Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.8 : Radyal tabanlı fonksiyon.

Şekil 4.9'da gösterilen radyal tabanlı fonsiyona göre w ve p arasındaki mesafe azalırsa çıkış yükselir. Mesafe (giriş) 0 ➔ çıkış 1 (maksimum).

bias b, radbas fonksiyonunun duyarlılığını ayarlar. bias = 0.1 mesafe = 8.326 sonuç = 0.5 bias = 1 mesafe = 8.326 sonuç = 7.8×10^{-31} (www.mathworks.com)



Şekil 4.9 : Radyal tabanlı yapay sinir ağlarının akış şeması (www.mathworks.com).

|| dist || giriş (p) ve giriş ağırlığını (IW1,1) alır ve S1'i (girişle giriş ağırlığı arasındaki mesafe) üretir. b1 ve || dist ||'in çıkışı (S1i) birebir çarpılır (.*).

Fonksiyon newrb (P,T,goal,spread,MN,DF)'dir. Amaca ulaşıncaya kadar saklı tabakaya hücre eklenir.

P - Giriş Vektörü

T - Çıkış Vektörü

goal - Hedeflenen ortalama kare hata (varsayılan = 0.0)

spread - Radyal tabanlı fonksiyonun yayılım parametresi (varsayılan = 1.0)

MN - Saklı tabaka Hücresinin maksimum değeri (varsayılan = Q) (www.mathworks.com)

4.1.4 Genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağı (GRYSA)

GRYSA'ları 2 tabakadan oluşur. İlk tabakada bir çok hücre bulunabilir. İlk tabakadaki ilk ağırlıklar giriş vektörünün trasposesine göre ayarlanır. ilk tabakadaki ilk eşik değer sütün vektörü ise - log (0.5)'in karekökünün yayılım parametresine

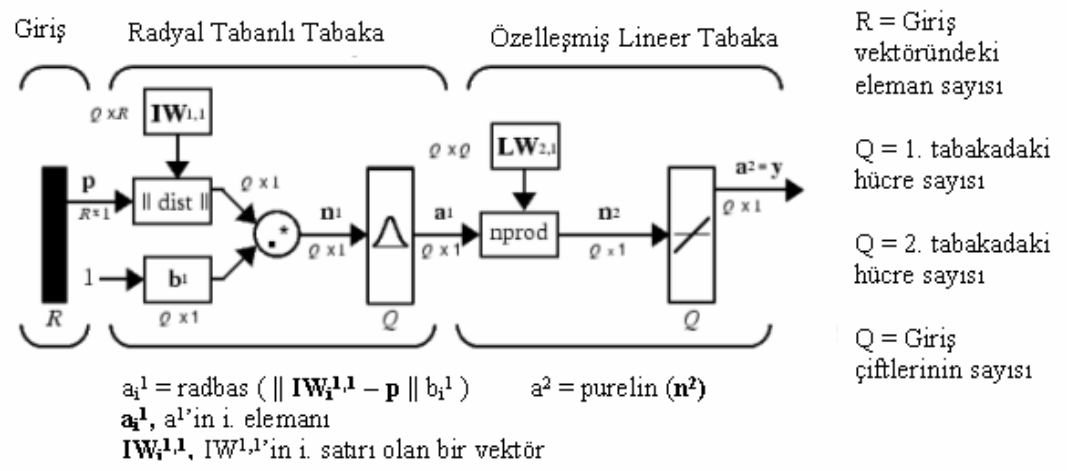
bölünmesiyle hesaplanır. Ağırlıklı girişlerin + ve – yayılımlarında fonksiyon y = 0.5 ten geçer. İkinci tabakadaki ilk ağırlık değerleri gerçek çıkış verilerine göre atanır.

1. tabaka: radbas fonksiyonlu hücreler, ağırlıklı girişleri öklit mesafelerini bularak hesaplar, net girişi net girişleri çarparak hesaplar.

2.tabaka: purelin fonksiyonlu hücreler, ağırlıklı girişleri matris elemanlarını normal çarparak hesaplar, net girişi net girişleri toplayarak hesaplar.

Sadece 1. tabakada da eşik değer bulunur. Akış şeması Şekil 4.10'da görülmektedir.

(www.mathworks.com).



Şekil 4.10 : Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağının akış şeması (www.mathworks.com).

newgrnn(P,T,spread)

P - Giriş Vektörü

T - Çıkış Vektörü

spread - Radyal tabanlı fonksiyonun yayılım parametresi (default = 1.0)

Hedeflenen ortalama kare hata değeri sıfırdır.

4.1.5 Su kaynakları ve su kalitesi konularında YSA kullanımı ile ilgili çalışmalar

Toprak ve Cığızoğlu'nun çalışmasında (2008) İBGYSA, RTYSA ve GRYSA ile Amerika'daki 30 farklı nehirdeki boyuna yayılma katsayısı hesaplanmıştır. Böylece katsayının davranışı incelenerek nehirlerdeki yayılmanın davranışı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu modeller nehirlerin yayılma özelliklerini açıklamada mevcut denklemlere göre üstünlük göstermiştir.

Partal ve Cığızoğlu'nun çalışmasında (2008) hidrolik yapıların ömürlerinin bağlı olduğu askıda katı madde yükü birleştirilmiş wavelet – YSA metodu ile tahmin edilmiştir. Veri önce parçalara ayrılmış ve seçilmiş parçaları içeren yeni seri YSA için giriş olmuştur. Geçmiş askıda katı madde ve günlük akım verilerine dayalı askıda katı madde tahminleri yapılmıştır. Klasik grafik metod ile ve klasik YSA karşılaştırıldığında wavelet–YSA modeli daha üstün bulunmuştur. Özellikle uç değerler iyi yakalanmıştır.

Sertel ve diğerleri (2008) Newlyn'deki günlük ortalama deniz seviyesini en küçük kareler metodu, ÇDDR, İBGYSA, RTYSA, GRYSA kullanarak tahmin etmişlerdir. Aynı istasyondaki önceki 8 günlük ortalama deniz seviyesi, 15 yılda her gün için ortalama ve standart sapma ve gel-gitteki 6 aylık ve yıllık periodiklikler kullanılmıştır. En küçük kareler metodu, İBGYSA, RTYSA ve ÇDDR GRYSA'dan daha iyi sonuçlar vermiştir. En iyi performansı İBGYSA göstermiştir.

Elhatip ve Kömür (2008) Aksaray'daki Mamasin Barajındaki ÇO ve elektriksel iletkenliğin arazi ölçümleriyle YSA sonuçlarını kıyaslamışlardır. Giriş parametresi olarak AKM, toplam azot, sıcaklık ve yağış datalarının kullanıldığı İBGYSA'da çıkışlar ölçümlere yakın sonuçlar vermiştir.

YSA'nın yüksek nonlineerlik içeren ilişkileri modelleme kabiliyeti sayesinde su kalitesinin kestirimi alanında oldukça uyguluma yapılmıştır. Biyokimyasal oksijen talebi ve oksijen talebi su kalitesini belirleyen önemli göstergelerdir. İlgili sudan toplanan bu veriler ile bir ÇKP ağı eğitilerek su kalitesinin doğru bir şekilde kestirimi sağlanabilmektedir. CBS entegrasyonu ile daha güçlü bir karar destek sistemi oluşturulabilmektedir (Aslantaş ve Kurban, 2007).

Tüzün ve diğerlerinin (2007) çalışmasında YSA'nın Kaplukaya Barajında zamana ve mekana bağlı çözünmüş oksijen konsantrasyonunun modellenmesinde başarılı olduğu görülmüştür. Saklı tabaka sayısını ve tabakadaki hücre sayısını değiştirerek en iyi model bulunmuştur. Eğitim için Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Veri miktarının modelin performansını etkilediği sonucuna varılmıştır.

Alp ve Cığızoğlu'nun çalışmsında (2007) İBGYSA ve RTYSA ile Amerika Juniata'nadaki nehirlerde günlük toplam sediment yükünü tahmin etmişlerdir. Eğitim için yağış debisi ve sediment yükü kullanılmıştır. ÇDDR ile kıyaslandığında YSA metotlarının performansları daha iyi bulunmuştur.

Schmid ve diğerlerinin (2006) çalışmasında Fillandiyada, Hovi'deki sulak alanda bulunan küçük bir gölün dibindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu çok tabakalı yapay sinir ağlarıyla modellenmiştir.

Terzi'nin (2006) çalışmasında Eğirdir Gölü'nün günlük su sıcaklığını tahmin etmek için günlük hava sıcaklığı, güneş ışınımı ve nisbi nem parametreleri kullanılarak bir, iki ve üç girişli yedi farklı Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli geliştirilmiştir. Eğitim verileri 2000-1-2 yıllarına ait günlük verileri içerirken test verileri ise 2003 yılına ait günlük verilerden oluşmaktadır. Tek girişli (hava sıcaklığı; güneş ışınımı; nisbi nem), iki girişli (hava sıcaklığı güneş ışınımı; hava sıcaklığı nisbi nem; güneş ışınımı nisbi nem) ve üç girişli (hava sıcaklığı güneş ışınımı nisbi nem) olmak üzere yedi farklı model geliştirilmiştir. Farklı saklı tabaka hücre sayıları denenerek su sıcaklığı tahminini en iyi temsil eden saklı tabaka hücre sayıları belirlenmiştir. Çalışmada, çok tabakalı ileri beslemeli YSA modeli ve ağırlıkların ayarlanmasında hatanın geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu ve geriye yayılma algoritmasının yakınsama hızını etkileyen parametreler olan öğrenme oranı 0,001 ve momentum 0,1 olarak sabit alınmıştır. Geliştirilen modellerin performansları irdelendiğinde, hava sıcaklığına bağlı olan bir, iki ve üç girişli modellerin uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

Özkan, Kınacı, ve Sağıroğlu'nun (2006) yaptığı çalışmada, Kızılırmak Nehri üzerindeki su kalitesi değerleri kullanılılarak nehirdeki ÇO değişiminin nasıl gerçekleştiğini YSA modelliyle tahmin etmişlerdir. Çizelge 4.2'te görüldüğü gibi 27, 7, 6, 5 ve 4 girişli farklı veri kümeleri oluşturulmuştur.

Çizelge 4.2 : Farklı veri kümeleri girişleri.

Veri Kümesi İsmi	Girişler	Çıkış
K#27	Sıcaklık, pH, KOİ, TÇKM, AKM, Ay, Ölçüm Noktası, TC, FC, $BOİ_5$, Cl^-, SO_4, NH_4-N, NO_3-N, TKN, PO_4, Yağ, Fenol, Bor, Na^+, Mg^{++}, Cu, Cr, Zn, Fe, Mn, S,	ÇO
K#7	Sıcaklık, pH, KOİ, TÇKM, AKM, Ay, Ölçüm Noktası	ÇO
K#6	Sıcaklık, pH, TÇKM, AKM, Ay, Ölçüm Noktası (Ö.N.)	ÇO
K#5	Sıcaklık, pH, TÇKM, Ay, Ölçüm Noktası	ÇO
K#4	Sıcaklık, pH, Ay, Ölçüm Noktası	ÇO

Bu yapılarda Genişletilmiş Delta-Bar-Delta (EDBD) ve Standart Geriyayılım (BP) olmak üzere iki farklı öğrenme algoritması ile tanh ve sigmoid olmak üzere iki ayrı transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Verilerin içerisinden seçilen 10 adet rasgele test verisi ile her bir YSA test edilmiş. Ayrıca farklı test kümeleri için performansı görmek amacı ile rasgele seçilen 10 20, ve 40 adet test verisi ile de YSA test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, YSA'nın çözünmüş oksijen konsantrasyonunu belirlemede başarılı bulunmuştur. Ayrıca yapılan bu çalışmada yapay sinir ağ yapısı olarak ileri beslemeli sinir ağı, denetimli öğrenme tipi, hatayı geriye yayma algoritması kullanılmıştır. öğrenme derecesi (0,4), momentum katsayısı (0,7) ve iterasyon sayısı 7800 alınmıştır. Hata değerinin iterasyon sayısına göre değişiminin grafiği çıkarılmıştır. Eğitimde istenen hata sınırına ulaşıldıktan sonra yapılan test işleminde görüldüğü gibi yapay sinir ağları aynı modelin regresyon analizine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Şengörür ve diğerlerinin (2005) çalışmasında, nehir su kalite kontrol çalışmalarında kritik bir parametre olarak bilinen çözünmüş oksijen değerleri NO_2-N, NO_3-N, BOI, debi ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sakarya'daki bir nehirde belirlenen noktalardan her ay alınan numunelerin ortalama değerleri alınarak elde edilmiş veriler kullanılmış ve her bir nokta için değişkenlere bağlı olarak çözünmüş oksijen tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yapay sinir ağlarını eğitmek için geriye yayılma algoritması ve sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Performans fonksiyonu olarak da Ortalama Karesel Hata (OKH) seçilmiştir. Uygulamada kullanılacak yapay sinir ağı farklı tabaka ve hücreler için denenmiştir. Nehirdeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu ölçüm değerlerinin 12 tanesi yapay sinir ağını eğitmek için kullanılmış ve ölçüm değerlerine ait eğitilmeyen 10 değer sorgulanmıştır. ÇO için gerçek (deneysel) değerler ile yapay sinir ağları metodu kullanılarak hesaplanmış değerler arasındaki ilişkinin regresyon değeri % 91.86 olarak hesaplanmıştır.

Fırat ve Güngör tarafından (2004) yapılan çalışmada, Büyük Menderes Havzasıdaki ölçümler kullanılarak askı maddesi konsantrasyonu ve askı maddesi miktarı tahmin edilmiştir. Giriş veri değeri olarak akarsu debisi kullanılmıştır. Eğitim için 90 adet veriden 85 adeti kullanılmıştır. Model oluşturulurken 1 giriş ve 1 adet çıkış düğümü arasında en uygun sonucu elde etmek için saklı tabaka sayısı ve düğüm sayısı deneme yanılma ile bulunmuştur. Transfer fonksiyonu olarak sigmoid kullanılmıştır.

Yapılan diğer bir çalışmada Akkkaya (Niğde) barajını besleyen Niğde deresindeki istasyonlarda hidrokimyasal özellikler kullanılarak suyun sınıfı İBYSA ile tespit edilmiştir. Suyun sınıfı su kirliliği Kontrolü Yönetmeliğindeki kıta içi yüzeysel suların sınıflandırılması temel alınarak yapılmıştır. Giriş olarak pH, Cu, Zn, CN, Fe, Ni, Pb, Cd, F kullanılmış.

Wang ve diğerlerinin (2005) çalışmasında Çin'deki Taihu Gölünde su kalitesinin mekansal dağılımı incelenmiştir. Genelleştirilmiş regresyon sinir ağının kullanıldığı çalışmada 2 boyutlu giriş vektörünü alan giriş tabakası, verilen bir X için, X'ten her eğitim giriş Xi'sine kadar olan mesafeye dayalı üssü ve üs ile eğitim çıkış Yi'sinin çarpımını hesaplayan tabaka, biri mesafelerin üssünü toplayan pay, diğeri çıkış Yi'si ile ağırlıklandırılmış üsleri toplayan payda olmak üzere iki çeşit toplama tabakası ve payı paydaya bölerek tahmini hesaplayan çıkış tabakası olmak üzere 4 tabakadan oluşan GRYSA kullanılmıştır.

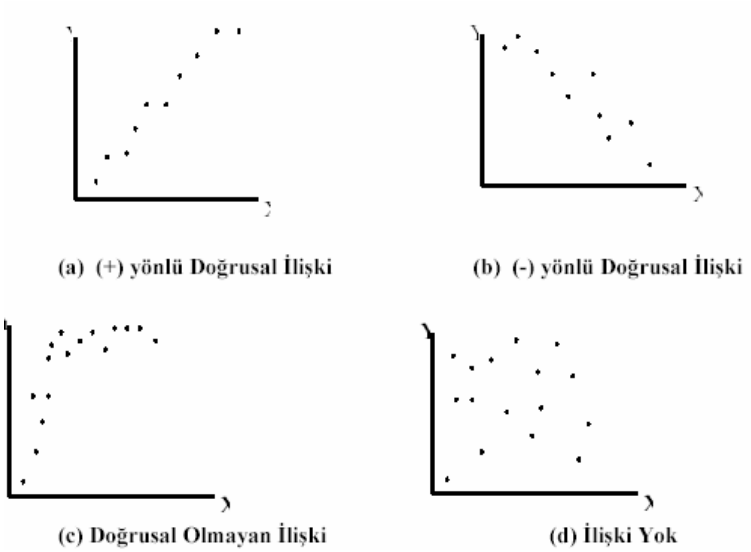
Soyupak ve diğerlerinin (2003) çalışmasında YSA ile Keban, Doğancı ve Kuzgun barajlarında ÇO tahmini yapmışlardır. Keban'daki aylık değişimler fazla olmadığı için mevsimlik veriler kullanılmıştır. Kuzgun ve Doğancı için ise aylık veriler kullanılmıştır. Giriş parametresi olarak Keban'da ve Doğancı'da ana kaynaktan uzaklık mesafesi, derinlik ve sıcaklık, Kuzgun'da derinlik ve sıcaklık kullanılmıştır. Giriş vektörü ve saklı tabaka arasında hiperbolik tanjant sigmoid transfer fonksiyonu, saklı ve çıkış tabakası arasında doğrusal transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Eğitim için Levenberg–Marquardt algoritması kullanılmıştır.

4.2 Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon (ÇDDR) ve Uygulamaları

Metrik bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla sayıda bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla kullanılır. Bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişkenlerce açıklanabileceğini, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin matematiksel ifadesi vererek ortaya koyar (htpp://www.sakarya.edu.tr).

Regresyon analizi değişkenlerden birisi belirli bir birim değiştiğinde diğerinin nasıl bir değişim gösterdiğini inceler ve bilinen bulgulardan, bilinmeyen gelecekteki olaylarla ilgili tahminler yapılmasına izin verir. Regresyon, bağımlı ve bağımsız değişken(ler) arasındaki ilişkiyi ve doğrusal eğri kavramını kullanarak, bir tahmin eşitliği geliştirir. Değişkenler arasındaki ilişki belirlendikten sonra, bağımsız değişken(ler)in skoru bilindiğinde bağımlı değişkenin skoru tahmin edilebilir.

Değişkenler arasında doğrusal ilişki olabileceği gibi, doğrusal olmayan bir ilişki de olabilir. Bu nedenle, Şekil 4.11'de gösterildiği gibi saçılım grafiği yapılmadan (ilişki yok/doğrusal ilişki var/doğrusal olmayan ilişki var) ve değişkenler arasında korelasyon varlığına rastlanmadan regresyon analizine karar verilmemesi gerekir (Köse, S., K.,) .



Şekil 4.11 : Değişkenler arasındaki ilişki.

Regresyon analizi

1. Basit doğrusal regresyon analizi (Tek bir bağımsız değişken➔ tek değişkenli regresyon analizi).

2. Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi (Birden fazla bağımsız değişken➔ çok değişkenli regresyon analizi.)

3.Doğrusal olmayan (nonlineer) regresyon analizi olmak üzere sınıflandırılabilmektedir (Yurtçu ve İçağa, 2005; http://www.sakarya.edu.tr) .

Tek Değişkenli Regresyon Analizi

Bir bağımlı değişken ve bir bağımsız değişken arasındaki doğrusal (lineer) ilişkiyi temsil eden bir doğru denklemi formüle edilmektedir. Bu doğrunun hesaplanması ise en küçük kareler metodu yardımıyla yapılmaktadır.

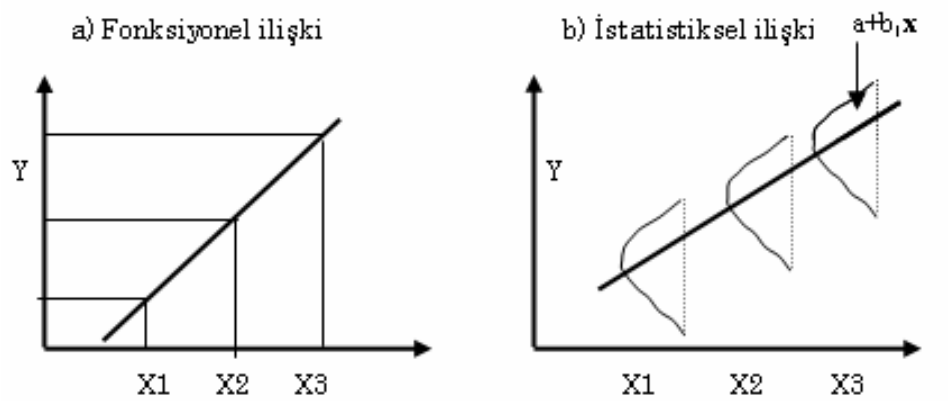
$$Y_i = a + b\,X_1 + \varepsilon \qquad \textbf{(3.14)}$$

a bağımsız değişkene ait değerin sıfır olması durumunda bağımlı değişkenin aldığı değeri göstermektedir.

$$b = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \qquad a = \frac{\sum Y}{n} - \frac{b\sum X}{n} \qquad \textbf{(3.15)}$$

Formülde yer alan b katsayısı ise X1 değişkeninin nispi etkisini veya bağımlı değişkeni açıklama kabiliyetini göstermektedir. Aynı zamanda b katsayısı tek değişkenli regresyon analizinde regresyon eğrisinin eğimini de göstermektedir.

X bağımsız değişkeninin Y bağımlı değişkenine sebep olduğunu düşünmek hatalıdır. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişimi açıklıyor olması sebepselliği gerekli kılmaz. İki değişken arasında bir ilişkinin olabilmesi için sebepsellik şart değildir. Sebepsellik ile ilişkiselliğin aynı şeyler olmadığı unutulmamalıdır. Regresyon analizi değişkenler arasındaki ilişkinin yapısı ve derecesi ile ilgilenmektedir.



Şekil 4.12 : Fonksiyonel ve istatistiksel ilişkilerin karşılaştırılması.

Hesaplanan modeldeki ilişki Şekil 4.12'de gösterildiği gibi fonksiyonel bir ilişki değil, istatistiksel bir ilişkidir. Fonksiyonel ilişkide her bir X değerine karşılık gelen bir Y değeri vardır. İstatistiksel ilişkide ise her X değerine karşılık gelebilecek olan Y değerinin tek bir değer olmayıp regresyon formülü ile hesaplanan değer etrafında yer alan (normal dağılıma benzer dağılım sergileyen) değerleri içerebilmektedir. Bu sebeple, regresyon analizi neticesinde ortaya çıkan formülün geçerli olduğu belirli bir aralık söz konusudur. Bu aralığa güven aralığı denmektedir. Aralık dışındaki bölge için yeni regresyon katsayılarının hesaplanması, yani yeni bir model, gerekmektedir. Dolayısıyla regresyon analizi sonuçları verilirken anlamlılık düzeyi veya güven aralığı ile birlikte verilmektedir. Tipik güven aralıkları % 95 ve % 99'dur.

Regresyon modelinin performans değerlendirme kriterleri

R: Bağımlı değişkenle bağımsız değişken arasındaki korelasyonu temsil etmektedir. Bu değerin yüksek olması bağımsız değişkenle bağımlı değişken arasında sıkı bir ilişkinin olduğunun veya bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki değişimin önemli bir kısmını açıkladığını göstermektedir.

R^2 (R Squared): (Belirleme katsayısı) Bağımlı değişkendeki varyansın (değişimin) % kaçının bağımsız değişken tarafından açıklandığını ifade etmektedir.

F Testi : (Analysis of Variance) ANOVA testi sonucunda ortaya çıkan F değerine karşılık gelen anlamlılık seviyesi, oluşturulan modelin uygun olup olmadığının kararında yardımcı olmaktadır. F testinin sonucunun anlamlı olması (yani %5 seviyesinde 0.05'ten küçük olması) söz konusu modelin bağımlı değişkeni açıklamada önemli katkı sağladığı yorumu yapılmaktadır.

B (Beta) değeri: Tek değişkenli regresyon analizlerinde, bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki korelasyona eşittir. Beta katsayısı özellikle çok değişkenli regresyon analizlerinden daha da önemli olmaktadır. Eğer çok değişkenli regresyon modelinde yer alan bağımsız değişkenlerin hepsi aynı veya benzer ölçeklerle ölçülmemiş ise, modelde yer alan değişkenler arasında açıklayıcılık açısından sağlıklı bir karşılaştırma yapmak mümkün olmamaktadır. B değerlerine bakarak yapılan bir karşılaştırma yanıltıcı olabilmektedir. Bu durumda Beta katsayıları üzerinden mukayeseler yapılmalıdır. Çünkü modelde yer alan tüm değişkenler standart sapmalar şeklinde ifade edildiklerinden karşılaştırmaya imkan tanımaktadır.

Anlamlılık seviyesi: %5 seviyesinde 0.05'ten küçük olması durumunda söz konusu değişkenin modelin açıklayıcılığına önemli (istatistiki açıdan anlamlı) bir katkı sağladığı kanaatine varılmaktadır.

Çok Değişkenli Regresyon Analizi

Bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişkenin yer aldığı regresyon modellerine çok değişkenli regresyon analizi denir. Çok değişkenli regresyon analizinde bağımsız değişkenler eşzamanlı olarak (aynı anda) bağımlı değişkendeki değişimi açıklamaya çalışmaktadır. Genel formülü:

$$Y_i = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + ... + b_n X_n + \varepsilon \qquad \textbf{(3.16)}$$

Buradaki katsayılar her bir değişkenin bağımlı değişkeni açıklamadaki nisbi paylarını göstermektedir.

Çoklu Korelasyon Katsayısı R (Multiple R): Bir bağımlı değişkendeki değişim ile eşzamanlı (aynı anda) olarak ele alınan birden fazla bağımsız değişkendeki değişim arasındaki ilişkinin derecesini göstermektedir. Daha basit bir ifade ile, bağımlı değişken ile birlikte ele alınan bir grup bağımsız değişkendeki değişimin ilişkisinin (korelasyonunun) bir göstergesidir.

R^2: Birlikte ele alınan bir grup bağımsız değişkenlerdeki değişimin bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarını (%) açıkladığının bir ölçüsüdür.

Uyarlanmış R^2 (Adjusted R^2): Bağımlı değişkeni açıklama yeteneği olsun veya olmasın, regresyon modeline ilave edilen her yeni bağımsız değişken, R^2 değerinin büyümesine sebep olarak sanki modelin açıklayıcılığının iyileştiği izlenimi vermektedir. Bu sebeple modele görece katkısı az olan veya katkısı olmayan değişkenlerin sebep olduğu R^2 değerindeki suni artışın dikkate alınarak modelin açıklayıcılığının belirlenmesi gerekmektedir. Uyarlanmış R^2 değeri bu düzeltme sonucunda ortaya çıkan R^2 değeri olup, regresyon modelinin gerçek açıklama gücünü göstermektedir. Böylece, daha gerçekçi bir regresyon modelinin oluşturulması ve R^2 değerinin hesaplanması mümkün olacaktır. Adjusted R^2 genellikle R^2 değerinden biraz daha küçük olma eğilimindedir (http://www.sakarya.edu.tr).

B (Beta) katsayıları: Her bir bağımsız değişkene ait B katsayısı, diğer bağımsız değişkenlerin etkisi sabit tutularak, söz konusu değişkenin bağımlı değişkeni belirleme etkisidir. Başka bir ifadeyle, spesifik bir bağımsız değişkenin, diğer

bağımsız değişkenlerin etkisini sabit tutarak, bağımlı değişken üzerine olan etkisidir (http://www.sakarya.edu.tr). B parametreleri bağımsız değişkenin kısmi etkisini tanımladığından genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak tanımlanmaktadır. Çok değişkenli doğrusal regresyon denkleminin katsayılarını tahmin edebilmek için en küçük kareler metodu kullanılmaktadır (Yurtçu, Ş., İçağa Y., 2005). B katsayısının işareti söz konusu bağımsız değişkenle bağımlı değişken arasındaki ilişkinin yönünü de göstermektedir. Negatif işaretli bir B katsayısı, söz konusu değişkenle bağımlı değişken arasında ters yönlü bir ilişkisinin olduğunu göstermektedir (http://www.sakarya.edu.tr).

Modelin Anlamlılık Testi : Bj model parametreleri olmak üzere modelin test edilmesinde hipotezler şu şekildedir.

$H_o : \beta_1 = \beta_2 = \ldots\ldots\ldots \beta_k = 0$

$H_1 :$ en az bir j için $\beta_j \neq 0$

Ho'ın reddedilmesi modeldeki x_1, x_2,....., xn bağımsız değişkenlerinden en az birinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin hesaplanan test istatistiği (Fisher) kritik değerden küçük ise Ho hipotezi kabul edilmektedir (Yurtçu, Ş., İçağa Y., 2005).

Hidrolojik olaylarda iki ya da daha çok sayıda değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden istatistik bakımdan bağımsız olmadığını, dolayısıyla değişkenler arasında bir ilişki olduğu görülür. Değişkenler arasında bir ilişki bulunması bunlardan birinin diğerinden etkilenmesinden kaynaklanır. Yurtçu ve İçağa'nın (2005) bir çalışmasında yeraltı suyu davranışının modellenmesi amacıyla yeraltı su seviyesi gözlem verileri ile yeraltı su seviyesinin değişiminde etken olan yağış, yüzeysel akış ve buharlaşma kayıpları üzerinde periyodogram analizleri yapılmış ve bu değişkenler arasındaki ilişkileri tanımlayabilmek için çok değişkenli regresyon ve korelasyon analizi yapılarak model kurulmuştur.

Bağımlı değişken (y)		Bağımsız değişken (x_i)
Kuyu suyu seviyesi	=	$\beta_o + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4$

xi; akım, yağış, buharlaşma değişkenleri, Bo, B_1, B_2, B_3, B_4 bilinmeyen parametrelerdir.

Smith (1997) ve diğerleri kirleticilerin taşınımlarının regresyonunu yaparak su kalitesi gözlem verilerinin bölgesel değerlendirmesini çalışmışlardır. Bu metot

seyrek veriden ağdaki relatif hatalardan ve havzanın heterojen olmasından dolayı çıkan problemleri azaltmak için dizayn edilmiştir. Regresyonla toplam fosfor ve nitrojen transferi modellemesi yapılmıştır.

5. MODEL UYGULAMALARI

İznik Gölündeki 5 gözlem noktasından farklı tarihlerde ve farklı adetlerle alınan verilerde yapılan çözünmüş oksijen verisini tahmin modellemesinde yapay sinir ağları ve çok değişkenli lineer regresyon yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada Matlab 7'de YSA ve regresyon yöntemi için programlar yazılmış ve hesaplamalar bu programlar ile gerçekleştirilmiştir. Gözlem noktalarından alınan derinlik, sıcaklık, pH, TÇM ve iletkenlik giriş verileri olarak, çözünmüş oksijen ise tahmin amaçlı çıkış verisi olarak kullanılmıştır. Verilerin Çizelge 5.1'de gösterildiği gibi ilk %80'i eğitim amaçlı, son % 20'si test amaçlı değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.1 : Çalışmada kullanılan toplam veri adetleri, test verisi adetleri ve eğitim verisi adetleri.

Gözlem Noktası	2	5	6	7	9
Veri Adeti	207	137	132	186	202
Eğitim Verisi Adeti	166	110	106	149	162
Test Verisi Adeti	41	27	26	37	40

5.1 Göl Genelinde İBGYSA, RTYSA, GRYSA ve ÇDDR ile Derinliğe Dayalı Çözünmüş Oksijen (ÇO) Tahmin Uygulamaları

Çalışmada giriş tabakası, çıkış tabakası ve bunların arasında bulunan gizli ya da saklı tabaka olarak adlandırılan tabakadan olmak üzere üç bölümden meydana gelen YSA'lar kullanılmıştır. Fakat giriş hücrelerinde işlem yapılmadığı için giriş tabakası Matlab 7'de tabaka olarak değil giriş vektörü olarak isimlendirilir. Dolayısıyla 1. tabaka 1. saklı tabaka, 2. tabaka çıkış tabakasıdır.

YSA'da bulunan ağırlık ve eşik değerleri aşağıdaki gibi isimlendirilir.

net.IW{1,1} girişleri 1. saklı tabakaya bağlıyan ağırlıklardır.

net.IW{1,1}(1,1): 1.girişi 1. saklı tabakanın 1. hücresine bağlayan ağırlık

net.IW{1,1}(2,1): 1.girişi 1. saklı tabakanın 2. hücresine bağlayan ağırlık

net.IW{1,1}(3,1): 1.girişi 1. saklı tabakanın 3. hücresine bağlayan ağırlık

net.IW{1,1}(4,1): 1.girişi 1. saklı tabakanın 4. hücresine bağlayan ağırlık şeklinde geriye doğru okunur. Bunlar sütün vektörleri şeklinde programa girilir.

net.LW{2,1} 1. tabaka (1. saklı tabaka) hücrelerini 2. tabaka (çıkış tabakası) hücrelerine bağlayan ağırlıklardır. Burada da geriye doğru okunur.

net.LW{2,1}(1,1): 1.saklı tabaka hücresini çıkışın 1. hücresine bağlayan ağırlık.

net.LW{2,1}(1,2): 2.saklı tabaka hücresini çıkışın 1. hücresine bağlayan ağırlık.

net.LW{2,1}(1,3): 3.saklı tabaka hücresini çıkışın 1. hücresine bağlayan ağırlık şeklinde geriye doğru okunur. Bunlar satır vektörleri şeklinde programa girilir.

net.b{1} 1. tabaka (1. saklı tabaka) hücrelerine bağlanan eşik (bias) değerleridir.

net.b{2} 2. tabaka (çıkış tabakası) hücrelerine bağlanan eşik (bias) değerleridir. Bunlar sütün vektörüdür.

net.b{1}(1,1): 1. satır 1. sütun (1.saklı tabakanın 1. hücresine bağlı eşik değeri)

net.b{1}(2,1): 2. satır 1. sütun (1.saklı tabakanın 2. hücresine bağlı eşik değeri)

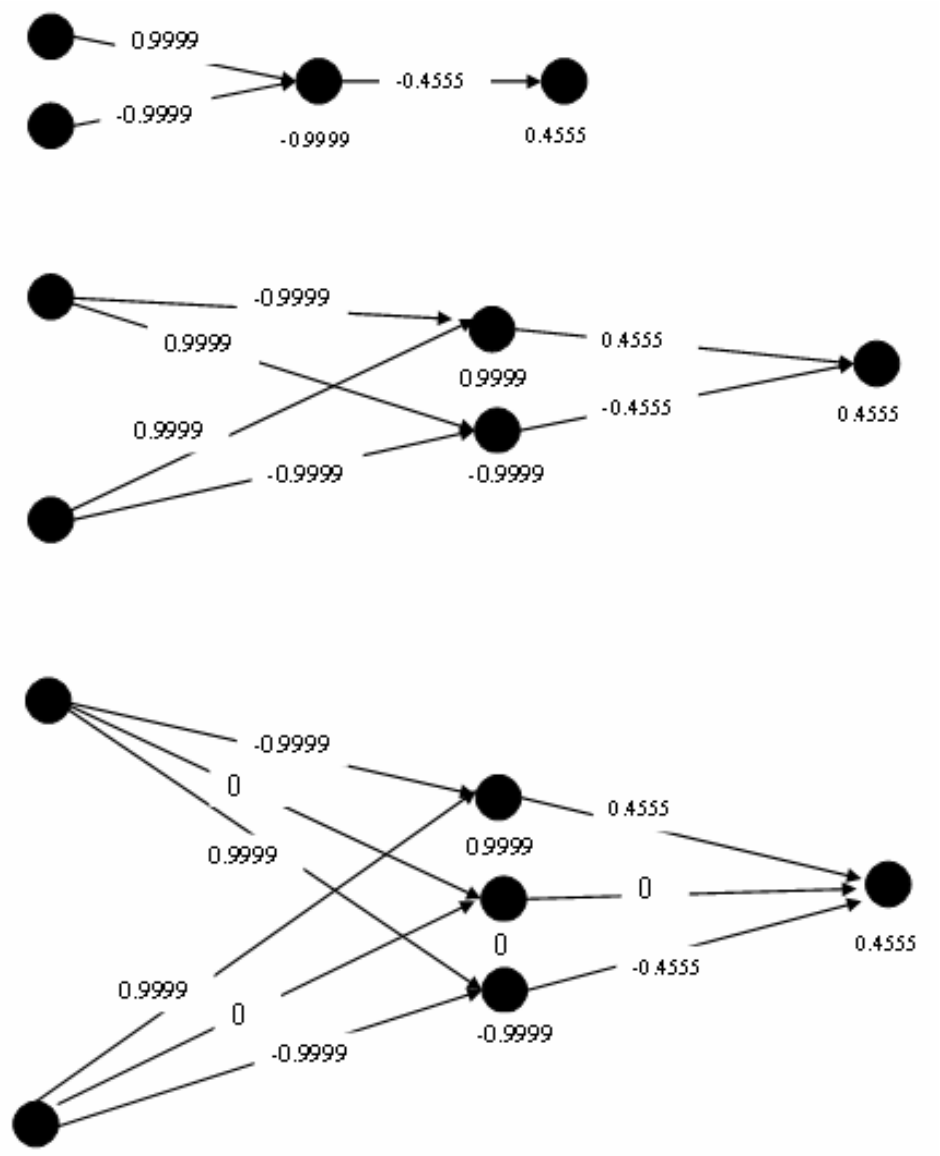
net.b{2}(1,1): 1. satır 1. sütun (çıkışın 1. hücresine bağlı eşik değeri) bunlarda geriye doğru okuma yoktur.

5.1.1 İleri beslemeli geri yayılımlı yapay sinir ağı (İBGYSA) ile tahmin uygulamaları

Kurulacak modelin karmaşıklığı ve eğriselliği arttıkça YSA'daki saklı tabaka sayısı da artmaktadır (Şen, 2004). Çizelge 3.5'daki yüksek korelasyon değerleri, veriler arasında doğrusal ilişkinin yüksek olduğuna işaret eder. Bunun yanında su kaynaklarında genelde tek saklı tabakanın kullanılmış olması (Cığızoğlu, 2003 b; Kisi ve Cığızoğlu, 2007) ve parsimoni ilkesine göre en basit mimariye sahip modeli seçmenin daha iyi performans göstereceği göz önüne alınarak İBGYSA'ları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada tek saklı tabakalı bir mimari seçilmiştir. Saklı tabakadaki hücre sayıları değiştirilerek o yapı için optimum hücre sayısı bulunmaya çalışılmıştır. Başlangıç ağırlık ve eşik değerleri her iterasyon başında sabit alınmıştır. Buna göre ağırlıklar ve eşik değerleri -1 ile +1 arasında ve her girişe eşit başlangıç koşulu tanıyacak şeklide atanmıştır. Bunun için Matlab 7'de iki sayı arasında istenildiği kadar eleman atayan ve bu elemanları birbirine eşit mesafede ayarlayan bir satır vektörü üretebilen linspace komutu kullanılmıştır. Şekil 5.1'de İBGYSA'da

saklı tabakadaki hücre sayısı 1, 2 ve 3 olduğunda ağırlıkların ve eşik değerlerinin nasıl değiştiği şematik olarak gösterilmiştir.

Çizelge A.1'de 2 giriş için saklı tabaka hücre sayıları ile değişen, girişi saklı tabakaya, saklı tabakayı çıkışa bağlayan başlangıç ağırlıkları ve saklı tabaka ile çıkış tabakasına bağlanan başlangıç eşik değerleri gösterilmiştir. Çizelge A.2'de ise 5 giriş için saklı tabaka hücre sayıları ile değişen, girişi saklı tabakaya bağlayan başlangıç ağırlıkları gösterilmiştir. Burada saklı tabakayı çıkışa bağlayan başlangıç ağırlıkları ve saklı tabaka ile çıkış tabakasına bağlanan başlangıç eşik değerleri 2 girişli modelle aynı olduğu için verilmemiştir.



Şekil 5.1 : Farklı saklı tabaka hücre sayısı için ağırlıklar ve eşik değerleri.

net.b{2}(1,1) = 0.4555 tek çıkış olduğundan bu değer saklı tabaka hücre sayısından etkilenmez ve hep sabit olarak 0.4555 alınmıştır.

İBGYSA uygulamasında ilk olarak başlangıç ağırlıkları ve eşik değerleri yukarıda anlatıldığı gibi atanmıştır. Ardından verilerin ilk %80'i kullanılarak eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitimde ağa girişler verilir. Ağ her çıkışı tahmin ettiğinde bunun gerçek veri ile arasındaki farkı minimum yapacak şekilde çalışan geri yayılım algoritması kullanılarak tüm ağırlıklar ve eşik değerleri yeniden ayarlanır. Dolayısıyla eğitim verileri için ağa gerçek çıkışlarda gösterilir. Bu eğitim işlemi hedeflenen hata değeri ya da iterasyon sayısından birisi sağlandığında durur. Bu çalışmada bir eğitim parametresi olan hedeflenen hata değeri 0.0007 olarak çok küçük bir değer alınmıştır. Eğitim hataları gerçek çıkış değeri ağa gösterilse bile sıfıra bu kadar yaklaşmaz. Böylece sadece iterasyon sayısının etkisi gözlemlenebilmiştir. Ağırlıkların ve eşik değerlerinin güncellenmesi bittikten sonra eğitim verilerinin simülasyonu yapılarak ağın ne kadar iyi eğitildiği gözlemlenmiştir. Simülasyonda ağa aynı girişler tekrar verilmiş ve çıkış hesaplanmıştır. Eğitim verilerinin simülasyon çıkışları gerçek değerlerle karşılaştırılarak eğitim çıkışları için ortalama karesel hata hesaplanmıştır. Eğitim çıkışlarının OKH'sının hesaplanmasının nedeni eğitim hataları arasındaki fark durağan hale geldikten sonra test çıkış verisinin değerlendirilmesinin yapılacak olmasıdır. Eğitim hatalarının durağan hale gelmesi art arda gelen iki eğitim hatası arasındaki farkın 0.005'ten küçük olması olarak düşünülmüştür. Bundan sonra bir simülasyonda test verileri için yapılmıştır. Test verilerinin simülasyonunda verilerin eğitimde kullanılmayan diğer %20'lik kısmı girişler olarak ağa verilmiş ve ağın kendine hiç tanıtılmayan bu yüzdelik kısım içindeki çözünmüş oksijen değerini tahmin etmesi istenmiştir. Daha sonra bu tahmin gerçek veriyle kıyaslanmış ve test verisi için gerçek değer ile YSA çıkışı arasında OKH ve determinasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların hepsi her saklı tabaka hücre sayısı için 1'den 91'e kadar 10'ar 10'ar artırılan iterasyon sayıları için denenmiştir. 9 tane saklı tabaka hücre sayısı göz önüne alındığında ve her hücre sayısı için 10 adet iterasyon yapıldığında toplam 90 iterasyon bir optimum hücre sayısı ve iterasyon sayısı bulmak için yapılmıştır. Programın çıkış sayfasında görülenler Çizelge 5.2'te verilmiştir. Burada gözlem noktası 2'nin 5 girişli verilerinin 0.1 ile 0.9 arasında ölçeklendirilmesiyle çalışan bir model gösterilmiştir. Çizelgede önemli olan en sondaki optimum saklı tabaka hücre sayısı ve optimum iterasyon

sayısıdır. Diğerleri bunları bulmak için yapılmış iterasyonlardır. Eğitim hatasının durağan hale gelmesi dikkate alınarak, her saklı tabaka hücre sayısı için hesaplanan ortalama karesel hataların en düşük olduğu iterasyon o saklı tabaka hücre sayısı için optimum iterasyon olmuştur. Daha sonra bu optimum iterasyonlar içinde en küçük OKH'ya sahip olan iterasyonun saklı tabaka hücresi, optimum saklı tabaka hücre sayısı onun iterasyonuda, optimum iterasyon sayısı olarak kabul edilmiştir. Çalışmada toplam 15,300 adet iterasyon yapılmıştır.

Çizelge 5.2 : Test verisi için 2. gözlem noktasında 5 girişli 0.1 - 0.9 arası ölçeklenmiş verilerle saklı tabaka hücre sayısına göre değişen iterasyon sayısı ile ortalama karesel hata ve determinasyon kat sayısı sonuçları.

SAKLI TABAKA HÜCRE SAYISI: 1			SAKLI TABAKA HÜCRE SAYISI: 2			SAKLI TABAKA HÜCRE SAYISI: 3		
İterasyon Sayısı	Ortalama karesel hata	Determinasyon Katsayısı	İterasyon Sayısı	Ortalama karesel hata	Determinasyon Katsayısı	İterasyon Sayısı	Ortalama karesel hata	Determinasyon Katsayısı
1	0.06857	0.35	1	0.08844	0.612	1	0.08881	0.612
11	0.1256	0.328	11	0.04074	0.6	11	0.03185	0.737
21	0.29323	0.316	21	0.1033	0.42	21	0.06746	0.764
31	0.56493	0.294	31	0.20878	0.459	31	0.07363	0.787
41	0.57013	0.292	41	0.20878	0.459	41	0.07363	0.787
51	0.5691	0.29	51	0.20878	0.459	51	0.07363	0.787
61	0.56941	0.29	61	0.20878	0.459	61	0.07363	0.787
71	0.57009	0.29	71	0.20878	0.459	71	0.07363	0.787
81	0.57054	0.29	81	0.20878	0.459	81	0.07363	0.787
91	0.57088	0.29	91	0.20878	0.459	91	0.07363	0.787
Optimum iterasyon			Optimum iterasyon			Optimum iterasyon		
31	0.56493		31	0.20878		31	0.07363	

SAKLI TABAKA HÜCRE SAYISI: 4			SAKLI TABAKA HÜCRE SAYISI: 5			SAKLI TABAKA HÜCRE SAYISI: 6		
İterasyon Sayısı	Ortalama karesel hata	Determinasyon Katsayısı	İterasyon Sayısı	Ortalama karesel hata	Determinasyon Katsayısı	İterasyon Sayısı	Ortalama karesel hata	Determinasyon Katsayısı
1	0.07938	0.585	1	0.07066	0.545	1	0.06367	0.5
11	0.02855	0.721	11	0.0344	0.717	11	0.03436	0.671
21	0.07951	0.695	21	0.10483	0.733	21	0.09321	0.741
31	0.07951	0.695	31	0.10483	0.733	31	0.09321	0.741
41	0.07951	0.695	41	0.10483	0.733	41	0.09321	0.741
51	0.07951	0.695	51	0.10483	0.733	51	0.09321	0.741
61	0.07951	0.695	61	0.10483	0.733	61	0.09321	0.741
71	0.07951	0.695	71	0.10483	0.733	71	0.09321	0.741
81	0.07951	0.695	81	0.10483	0.733	81	0.09321	0.741
91	0.07951	0.695	91	0.10483	0.733	91	0.09321	0.741
Optimum iterasyon			Optimum iterasyon			Optimum iterasyon		

Çizelge 5.2 : (devam) Test verisi için 2. gözlem noktasında 5 girişli 0.1 - 0.9 arası ölçeklenmiş verilerle saklı tabaka hücre sayısına göre değişen iterasyon sayısı ile ortalama karesel hata ve determinasyon kat sayısı sonuçları.

21	0.07951		21	0.10483		21	0.09321	
SAKLI TABAKA HÜCRE SAYISI: 7			SAKLI TABAKA HÜCRE SAYISI: 8			SAKLI TABAKA HÜCRE SAYISI: 9		
İterasyon Sayısı	Ortalama karesel hata	Determinasyon Katsayısı	İterasyon Sayısı	Ortalama karesel hata	Determinasyon Katsayısı	İterasyon Sayısı	Ortalama karesel hata	Determinasyon Katsayısı
1	0.05809	0.457	1	0.05356	0.417	1	0.04982	0.382
11	0.03544	0.634	11	0.03616	0.614	11	0.03702	0.585
21	0.20904	0.628	21	0.1135	0.748	21	0.11507	0.739
31	0.20904	0.628	31	0.10385	0.715	31	0.11507	0.739
41	0.20904	0.628	41	0.10385	0.715	41	0.11507	0.739
51	0.20904	0.628	51	0.10385	0.715	51	0.11507	0.739
61	0.20904	0.628	61	0.10385	0.715	61	0.11507	0.739
71	0.20904	0.628	71	0.10385	0.715	71	0.11507	0.739
81	0.20904	0.628	81	0.10385	0.715	81	0.11507	0.739
91	0.20904	0.628	91	0.10385	0.715	91	0.11507	0.739
Optimum iterasyon			Optimum iterasyon			Optimum iterasyon		
21	0.20904		31	0.10385		21	0.11507	

Optimum	hücre sayısı	3
Optimum	iterasyon sayısı	31

İBGYSA ile yapılan tahmin uygulamalarında ölçeklemenin, giriş hücre sayısının, çarpıklık katsayısı dönüşüm fonsiyonlarının tahmin performans kriterleri üzerindeki etkisi bundan sonraki alt bölümlerde incelenmiştir.

5.1.1.1 İBGYSA uygulamalarında ölçeklemenin etkisinin incelenmesi

Çalışmada veriler ağa giriş ve çıkış olarak verilmeden önce değişik aralıklarda normalizasyona tâbi tutulmuşlardır. Normalizasyon için Matlab 7'de bulunan premnmx komutu farklı aralıklar için amaca göre değiştirilerek kullanılmıştır. Ölçeklenmiş veri eğitim işleminden, eğitim ve test simülasyonlarından geçmiş OKH ve determinasyon katsayıları hesaplanmadan postmnmx komutuyla geri ölçeklendirilmiştir. En iyi ölçeklendirme aralığını bulmak amacıyla sırasıyla ~ 0 – 1, 0.1 - 0.9 ve 0.2 – 0.8 arasında birimsizleştirme gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.3'te aralıklar için kullanılan formüller verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Ölçeklendirme aralığı ve formülü.

ÖLÇEKLENDİRME	FORMÜL
~ 0 - 1	$y = \frac{x}{x_{max}}$
0.1 - 0.9	$y = \frac{0.8\,(x - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} + 0.1$
0.2 - 0.8	$y = \frac{0.6\,(x - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} + 0.2$

Derinlik, sıcaklık, pH, TÇM ve iletkenlik olarak 5 giriş ve çözünmüş oksijen tek çıkış olarak programa girilmiştir. Transfer fonksiyonu olarak 1. (1. saklı tabaka) ve 2. (çıkış tabakası) tabakadaki tüm hücrelerde logaritmik sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. 5 farklı gözlem noktası için tüm ölçekleme aralıkları değerlendirilerek tahminler yapılmıştır. Eğitim ve test tahmin hatalarının birbirlerine karşı çizilen ortalama karesel hata grafikleri art arda gelen eğitim hataları arasındaki fark 0.005'ten küçük olduktan sonra en düşük test hatalarını ve bunlara karşı gelen iterasyon sayılarını göstemektedir. 9 farklı saklı tabaka hücre sayısı için çizilen bu grafiklerde işaret edilen test hatalarından en küçük olanı en uygun saklı tabaka hücresi ona karşı gelen iterasyon sayısıda optimum iterasyon sayısı seçilmiştir. Her gözlem noktasındaki ÇO tahmininde değişen bu optimum değerler çalışma boyunca sürekli güncellenmiştir. Eğitim ve test verilerinin saçılım ve karşılaştırmalı grafiklerinde ise ÇO tahminleri ve performansları görülmektedir. Saçılım grafiklerinde noktasal olarak gösterilen verinin x bileşeni gerçek gözlem noktası verisi y bileşeni ağ çıkışı tahmin verisidir. Eğitim için ilk % 80 ÇO değeri, test için son % 20 ÇO değeri gösterilmiştir. Tahminlerin doğrusal eğilimini gösteren düz çizgi ise saçılım grafiği üzerinde denklemi verilen çizgidir. Doğrusal eğilim çizgisiyle yansıtılan bu denklem "YSA Tahmini" bağımlı değişkenini "Gerçek Veri" bağımsız değişkeninin 1. kuvvetiyle formülize eder. Gerçek veri değeri bu denklemde yerine yazıldığında ona karşı gelen YSA tahmini bulunur. Kesikli çizgi ise YSA tahmininin gerçek veriye eşit olduğu yani denklemdeki sabitin sıfır katsayının bir olduğu durumu gösterir. Bir başka ifadeyle yapılabilecek en iyi tahmindir. Düz çizgi kesikli çizgiye ne kadar yaklaşırsa ağ çıkışları o kadar gerçeğe yakın sonuçlar verir. Bunun bir başka göstergesi saçılım grafikleri üzerindeki ortalama karesel hata (OKH)

değerleridir. Gerçekle tahmin arasındaki farkın bir ölçütü olan OKH çıkışların ortalamasının gerçek verinin ortalamasına olan yakınlığını temsil eder. İki değişken arasındaki ilişki hakkında genel bir fikir sağlayan saçılım grafiklerinde R ile gösterilen korelasyon katsayısı tahmin ile gerçek arasındaki ilişkinin miktarını (şiddetini) ve yönünü yorumlar. Ağ çıkışlarıyla geçek gözlem noktası verileri arasında var olan ilişkinin sadece doğrusal kısmını ile ilgili olan R değerinin yüksek olması tahmin değerlerinin geçek değerlere yaklaştığını göstermektedir. Determinasyon katsayısı ise (R^2) ağ çıkışlarındaki değişimin gerçek verideki değişimle örtüşmesinin bir ölçütüdür. Başka bir ifadeyle tahminlerin gerçek değerlerdeki salınımı ne kadar yakaladığının bir göstergesidir. Gerçek veriyle tahmin verisi birbirinden değer olarak çok uzak olsalar bile aynı salınımları gösteriyorlarsa R^2 değeri yüksek çıkar. Alttaki çizgi grafiklerinde tahmin çıkışlarıyla gerçek verilerin derinlikle birlikte değişen karşılaştırılması yapılabilmekte ve salınımlarının birbirlerine ne kadar benzeyip benzemediği görülebilmektedir.

İBGYSA uygulamalarında ölçeklemenin etkisinin değerlendirilmesi

Tüm ölçekleme aralıkları için optimum değerler bulunmuş sonuçlar Çizelge 5.4'te verilmiştir. Derinlik, sıcaklık, pH, TÇM ve iletkenliğin giriş, ÇO'nin çıkış olarak kullanıldığı ve tüm hücrelerinde logaritmik sigmoid fonksiyonu bulunan İBGYSA modelinde 5 farklı gözlem noktası için tüm ölçekleme aralıkları değerlendirilerek yapılan tahminlerde ölçekleme için seçilen aralıkların YSA performansını doğrudan etkilediği görülmektedir. Şekil 3.15'de görüldüğü gibi ölçüm noktalarından alınan veri kalitesi aşırı salınımlar içermemektedir. Ölçekleme verilerin geçerli eksen sisteminde sıkıştırılması anlamı taşıdığından aşırı salınımlar içermeyen verinin YSA modellerini olumlu yönde etkilediği söylenebilir. Öncelikli olarak en düşük OKH'lar bazında bir değerlendirme yapılırsa 9. ölçüm noktası hariç tüm ölçüm noktalarında OKH'nın en düşük çıktığı aralık 0.2 ile 0.8 arası olmuştur. Karesel hata tahmin ile gerçek veri arasındaki değer yakınlığını gösterdiği için büyük önem taşımaktadır. Tahminin gerçek verideki salınımları ne kadar yakaladığının bir göstergesi olan determinasyon katsayılarında (R^2) ise en yüksek katsayıları göz önünde tutularak bir değerlendirme yapılmıştır. Buna göre, ~ 0 – 1 aralığının üç gözlem noktasında yüksek değerler verdiği görülmekle beraber 5. gözlem noktasındaki R^2 için bulunan çok düşük perfonmans bu aralığın tüm ölçüm noktaları için uygun olmadığı sonucuna götürmüştür. 0.2 ile 0.8 aralığı ise OKH değrelerinde olduğu gibi 9. ölçüm

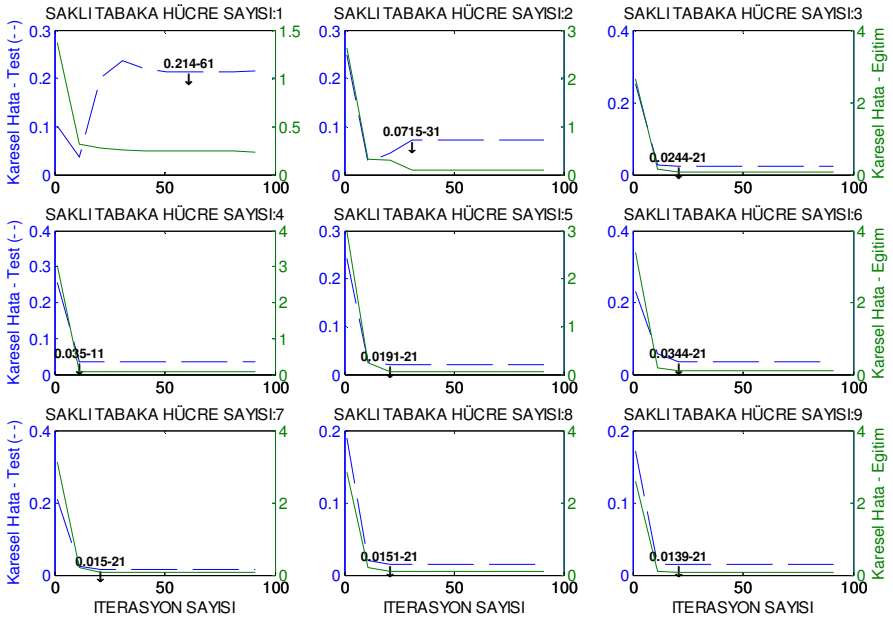
noktası hariç tüm ölçüm noktalarında yüksek R^2 değerleri vermiştir. 9. noktadaki tahminlerin de çok kötü olmadığı göz önünde tutulursa en iyi normalizasyon aralığının 0.2 ile 0.8 arası olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.4 : İBGYSA'da 5 girişli ölçeklendirme aralıklarının performansları.

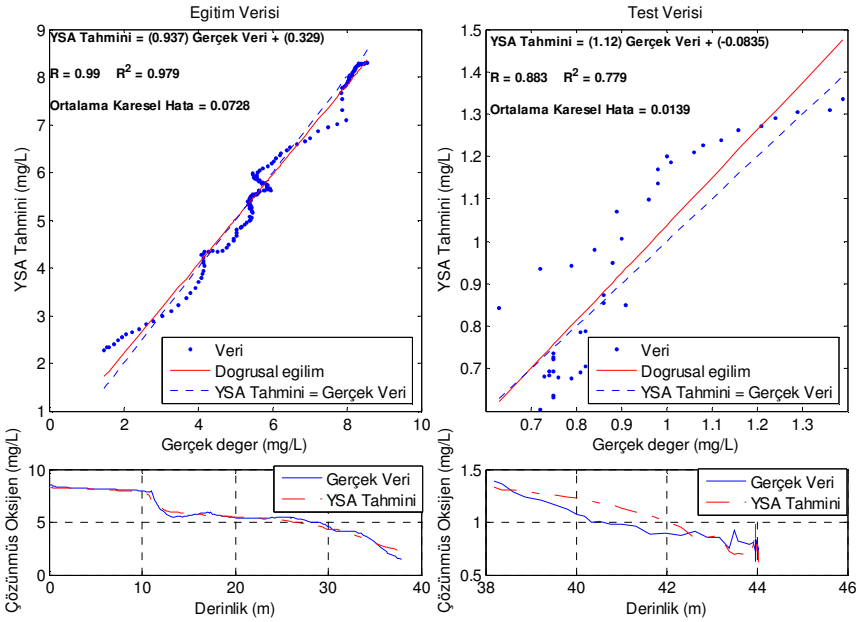
İLERİ BESLEMELİ GERİ YAYINIMLI AĞ - 5 GİRİŞ -
Transfer Fonksiyonu: LOGSIG, LOGSIG

Ölçekleme	~ 0 - 1					0.1 - 0.9					0.2 - 0.8				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R² %	**83**	14	97	**99**	**68**	74	65	92	83	59	78	**81**	**99**	89	45
OKH	0.06	2.38	2.06	5.58	3.00	0.026	0.988	0.397	0.405	**2.27**	**0.01**	**0.73**	**0.14**	**0.25**	3.19
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	2	6	4	7	1	8	4	5	6	3	9	2	3	3	2
Optimum iterasyon sayısı	31	11	11	11	11	11	41	21	11	21	21	71	31	11	11

Aşağıdaki şekillerde tüm gözlem noktaları için 5 girişte en iyi aralık olan 0.2 - 0.8 arası ölçeklendirme kullanılan 5 girişli tahminler gösterilmiştir.

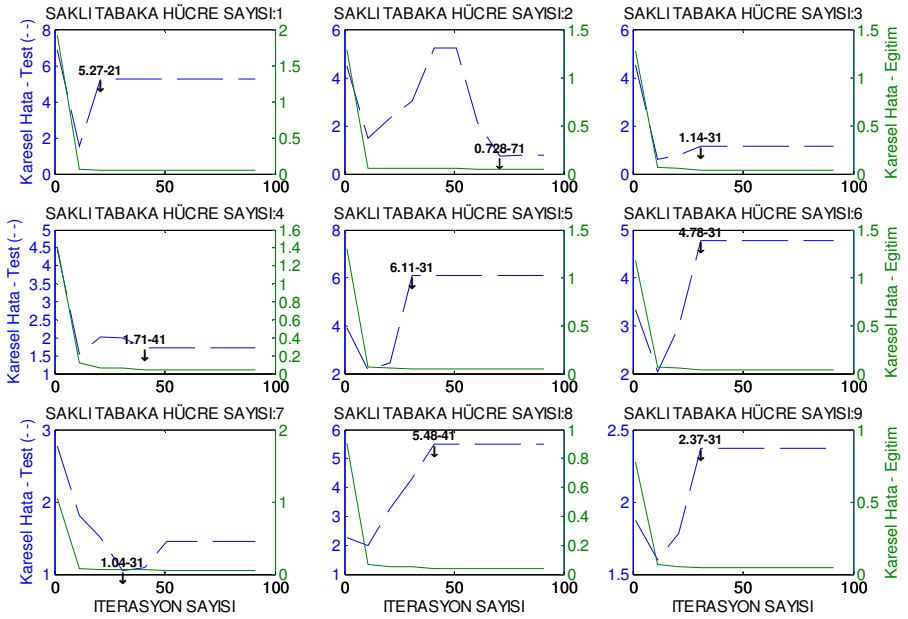


Şekil 5.2 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 2. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri.

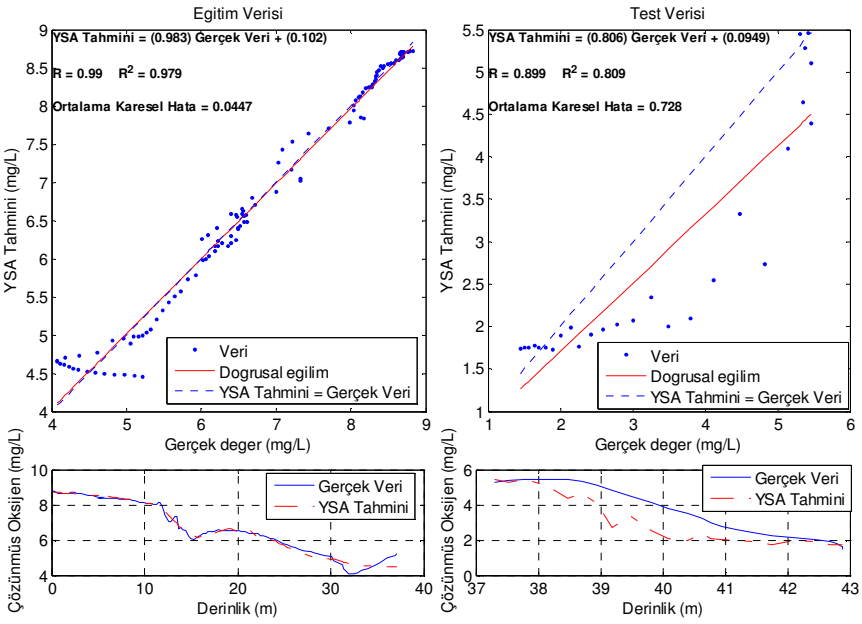


Şekil 5.3 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 2. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.2'ye göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 9, iterasyon sayısı 21 bulunmuştur. Şekil 5.3'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.

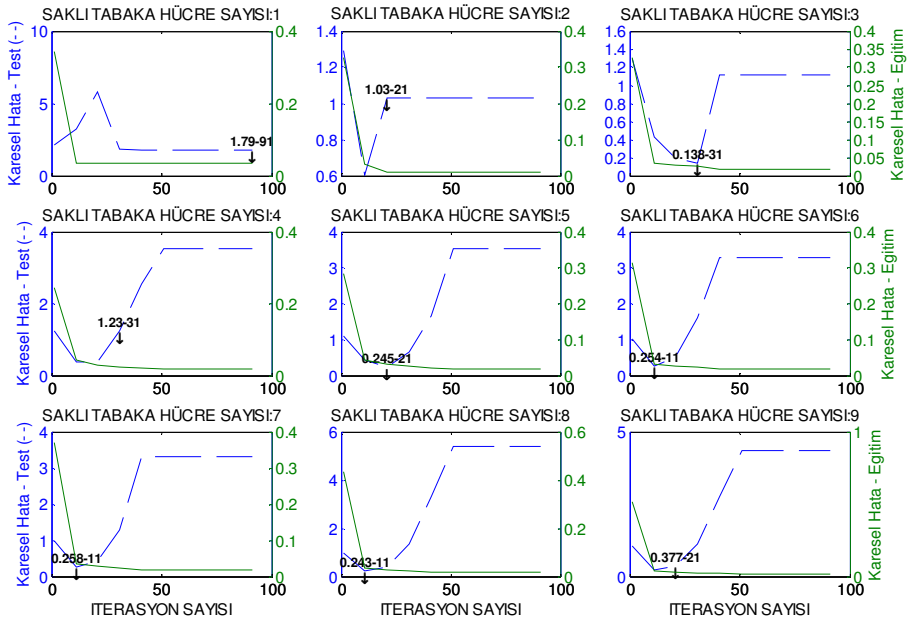


Şekil 5.4 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri.

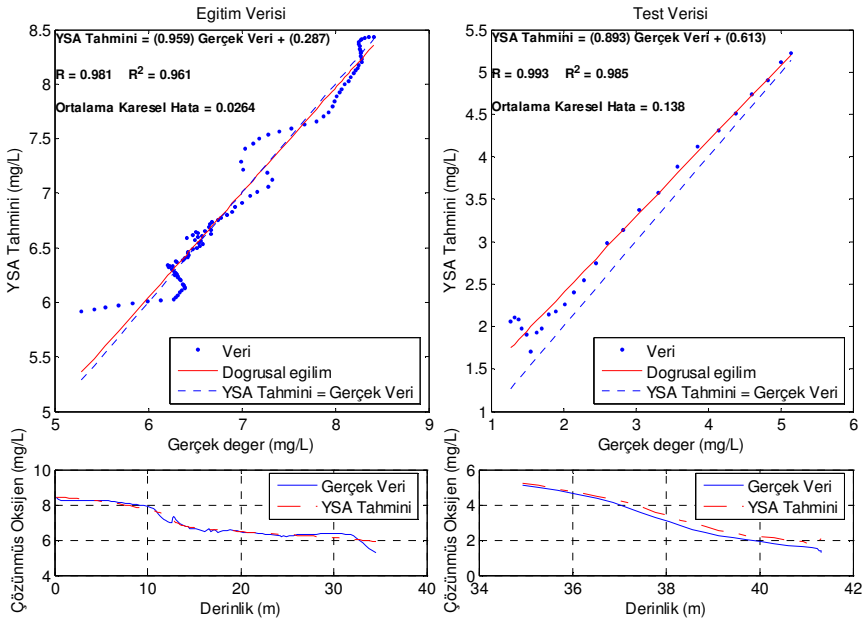


Şekil 5.5 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 5. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.4'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 2, iterasyon sayısı 71 bulunmuştur. Şekil 5.5'e göre test tahminleri gerçek veriye biraz yaklaşmış ve gerçek verideki salınımı iyi bir performansla yakalamıştır.

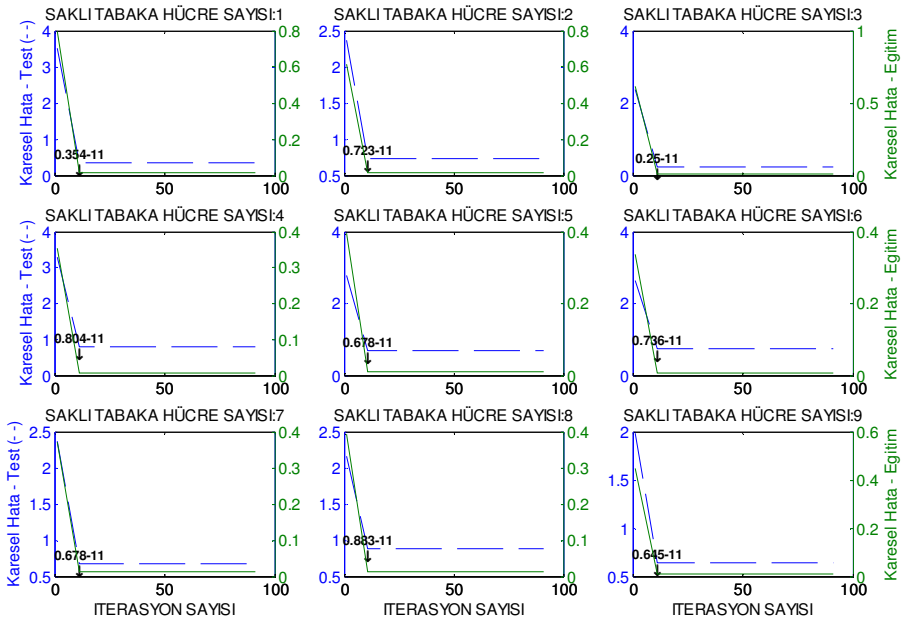


Şekil 5.6 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 6. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri.

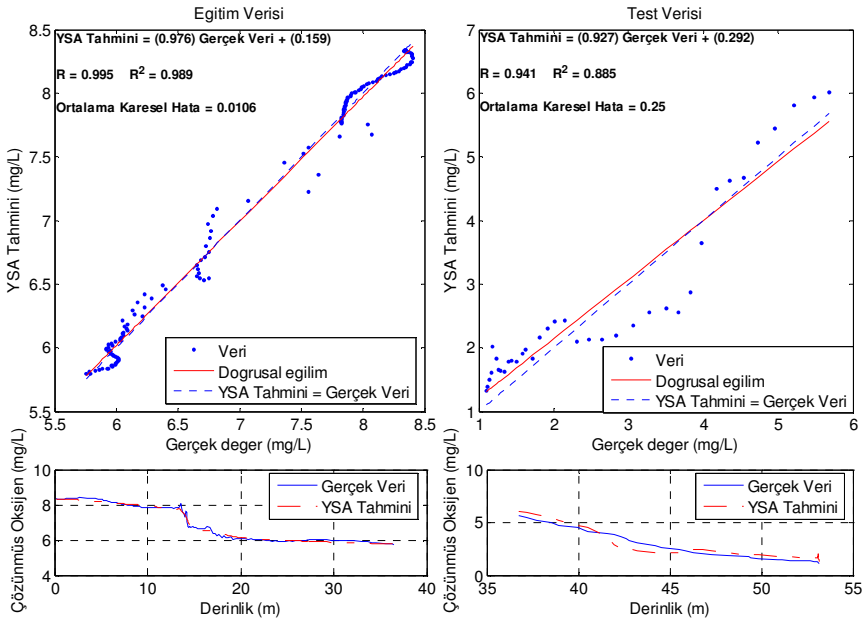


Şekil 5.7 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 6. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.6'ya göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 3, iterasyon sayısı 31 bulunmuştur. Şekil 5.7'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.

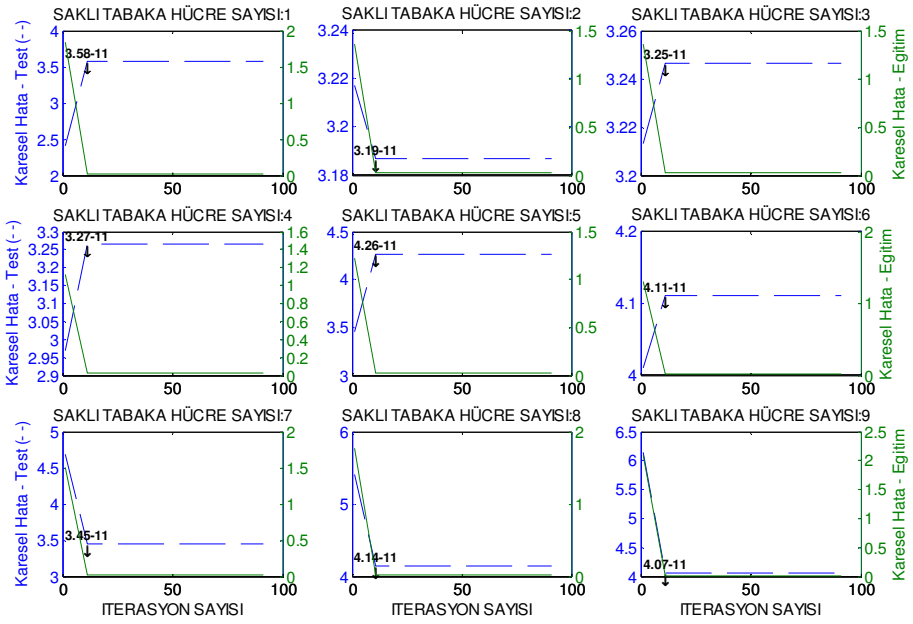


Şekil 5.8 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 7. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri.

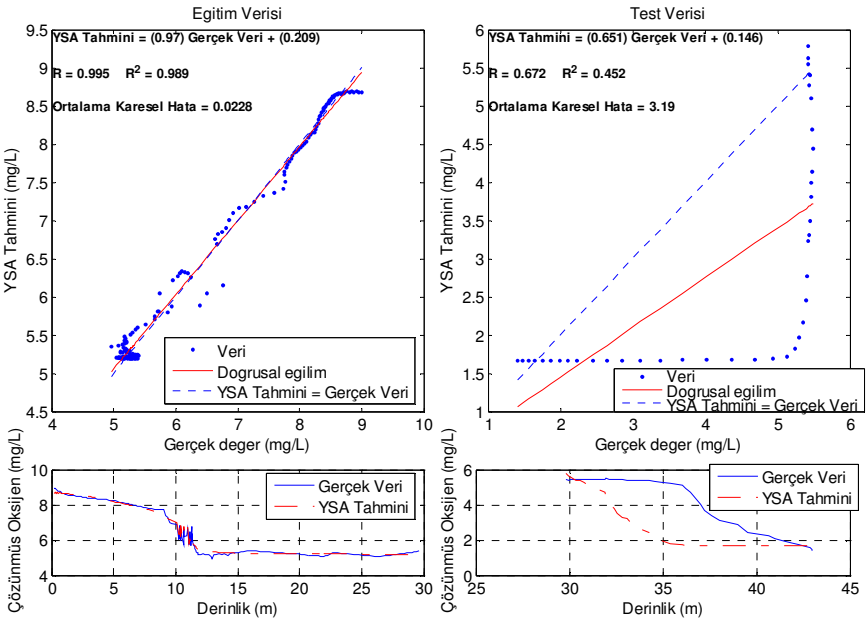


Şekil 5.9 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 7. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.8'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 3, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.9'a göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.



Şekil 5.10 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 9. gözlem noktasının 5 girişli karesel hata grafikleri.



Şekil 5.11 : 0.2 – 0.8 arası ölçeklendirilmiş 5 girişli 9. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.10'a göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 2, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.11'e göre test tahminleri gerçek veriye pek yaklaşamamış ve gerçek verideki salınımları yakalamakta kötü bir performans göstermiştir.

5.1.1.2 İBGYSA uygulamalarında farklı giriş hücre sayılarının kıyaslanması

Çözünmüş oksijen üzerinde derinlik ve sıcaklığın direkt etkisi vardır. Fakat literatür kısmında da açıklandığı gibi TÇM, pH ve iletkenlik çözünmüş madde üzerinde dolaylı yoldan etkilidir. Bu sebepten sıcaklık ve derinliğin giriş vektörünü oluşturduğu 2 girişli modeller denenmiştir. 2 girişli modelleri denemenin başka bir avantajı bağımsız değişken sayısını azaltarak modeli daha basit ve daha az hatalı bir hale getirmektir. Çıkış tabakasında ise 5 girişli de olduğu gibi çözünmüş oksijen kullanılmıştır. Ayrıca 5 girişli modellerdeki gibi transfer fonksiyonu olarak tüm hücrelerde logaritmik sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

İBGYSA ile kıyaslanan farklı giriş hücre sayılarının değerlendirilmesi

Tüm ölçeklendirme aralıkları için optimum değerler bulunup sonuçlar Çizelge 5.5'te verilmiştir. Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.4 karşılaştırıldığında ~ 0 – 1 ölçekleme aralığı için hem OKH hem de R^2 değerleri dikkate alınarak 2 girişli modeller tüm gözlem notalarında 5 girişli modellere göre daha iyi performans göstermiştir. 0.1 – 0.9

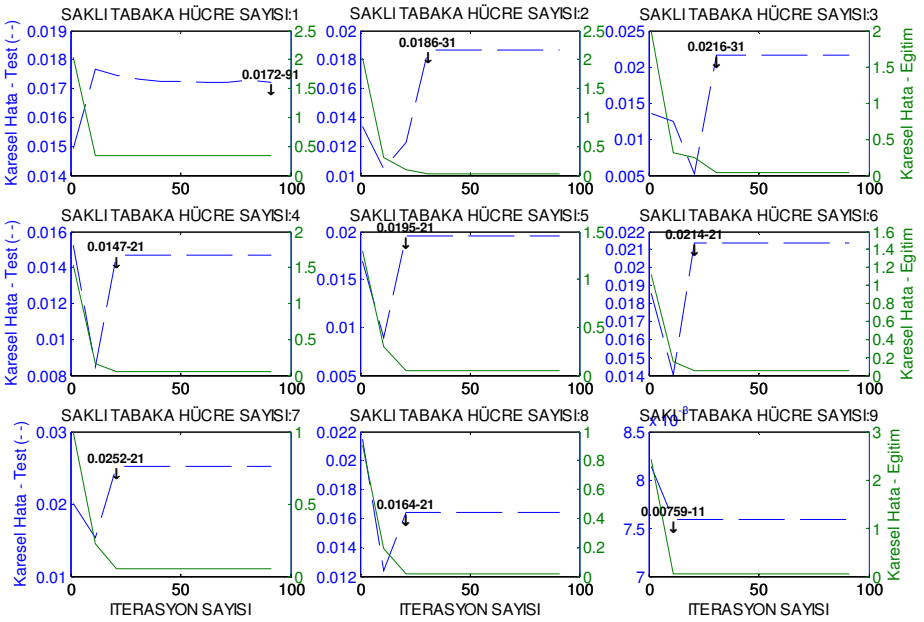
ölçekleme aralığı için hem OKH hem de R^2 değerleri dikkate alınarak 9. gözlem noktası hariç tüm gözlem notalarında 2 girişli modeller gene 5 girişli modellere göre daha iyi performans göstermiştir. 0.2 – 0.8 ölçekleme aralığı için OKH'da belirgin bir eğilim yoktur. 5. gözlem noktasında 2. girişli modeller 7. gözlem noktasında 5. grişli modeller iyi performans gösterirken diğer gözlem notalarında eşittirler. R^2 değerleri dikkate alındığında ise 5 girişli modeller 2., 6. ve 7. gözlem notalarında daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Sonuçta genel olarak bakıldığında giriş verisinin azalmasının YSA'nın performansı üzerinde olumlu etkisi olduğu söylenebilir. En iyi normalizasyon aralığı ise 5 girişli tahminlerin aksine, 2 girişli modellerde tüm gözlem noktaları için genel olarak 0.1 ile 0.9 arası olduğu gözlemlenmiştir. 0.2 – 0.8 aralığının OKH'sının 0.1 – 0.9 aralığına göre biraz daha fazla olması, ~ 0 – 1 aralığınında R^2 değerleri çok iyi olmasına karşın OKH değerlerinin çok yüksek olması 2 girişli modelde 0.1 - 0.9 aralığının en iyi aralık olarak seçilmesinde etkili olmuştur. Bundan sonraki tüm hesaplamalarda 2 giriş olan derinlik ve sıcaklık ile onun en iyi ölçekleme aralığı olan 0.1 – 0.9 kullanılmıştır.

Çizelge 5.5 : İBGYSA'da 2 girişli ölçeklendirme aralıklarının performansları.

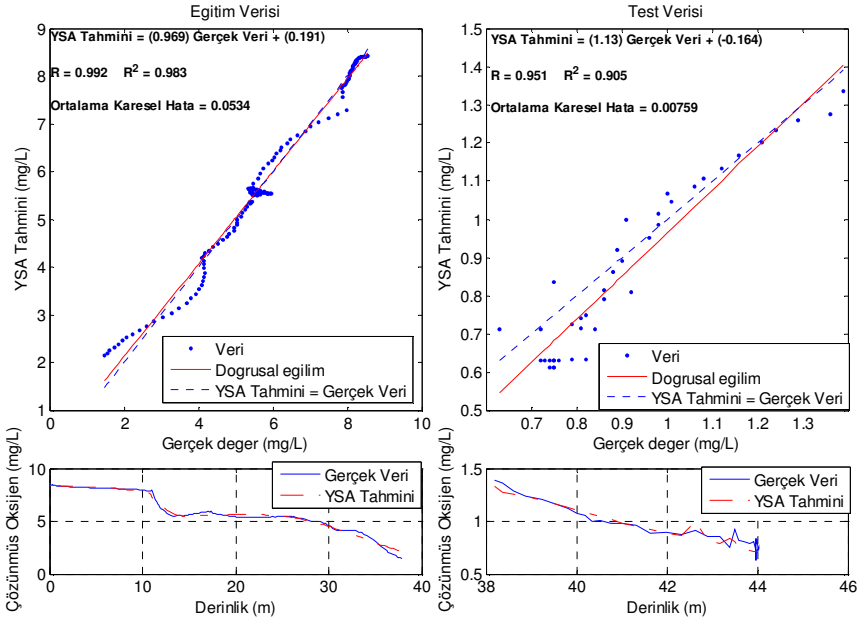
İLERİ BESLEMELİ GERİ YAYINIMLI AĞ - 2 GİRİŞ -
Transfer Fonksiyonu: LOGSIG, LOGSIG

Ölçekleme	~ 0 - 1					0.1 - 0.9					0.2 - 0.8				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	**92**	95	**99**	**99**	**69**	91	**97**	93	86	50	70	96	94	86	56
OKH	0.03	1.7	1.5	4	**3**	**0.008**	**0.3**	**0.1**	**0.4**	3.3	0.01	0.4	**0.1**	**0.4**	3.2
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	1	8	7	1	2	9	1	2	1	5	8	1	6	1	9
Optimum iterasyon sayısı	11	31	11	11	11	11	11	51	91	91	21	11	31	11	51

Aşağıdaki şekillerde tüm gözlem noktalarındaki veriler için en iyi aralık seçilen 0.1 - 0.9 arası ölçeklendirme yapılmış 2 girişli tahminler gösterilmiştir. Transfer fonksiyonu olarak tüm hücrelerde logaritmik sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır

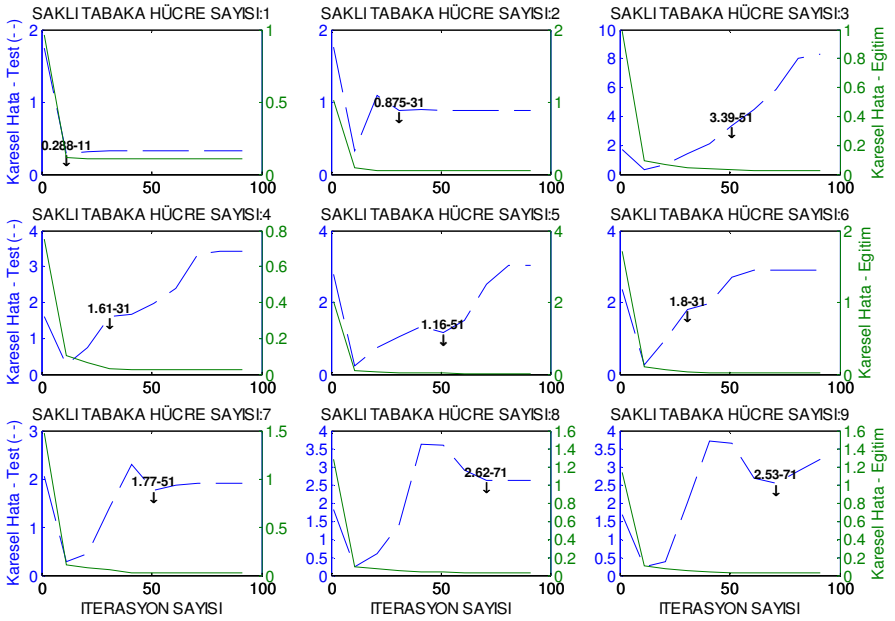


Şekil 5.12 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri.

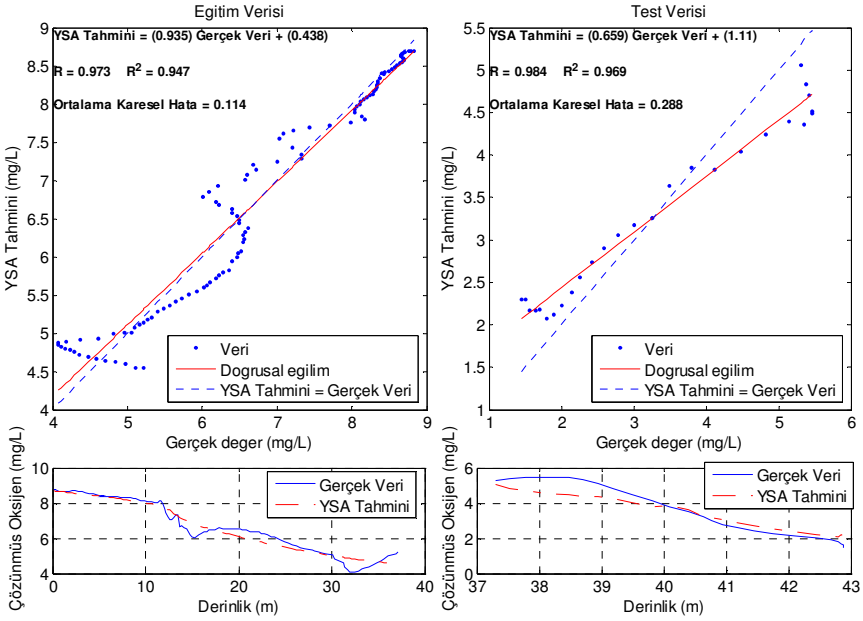


Şekil 5.13 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 2. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.12'ye göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 9, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.13'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

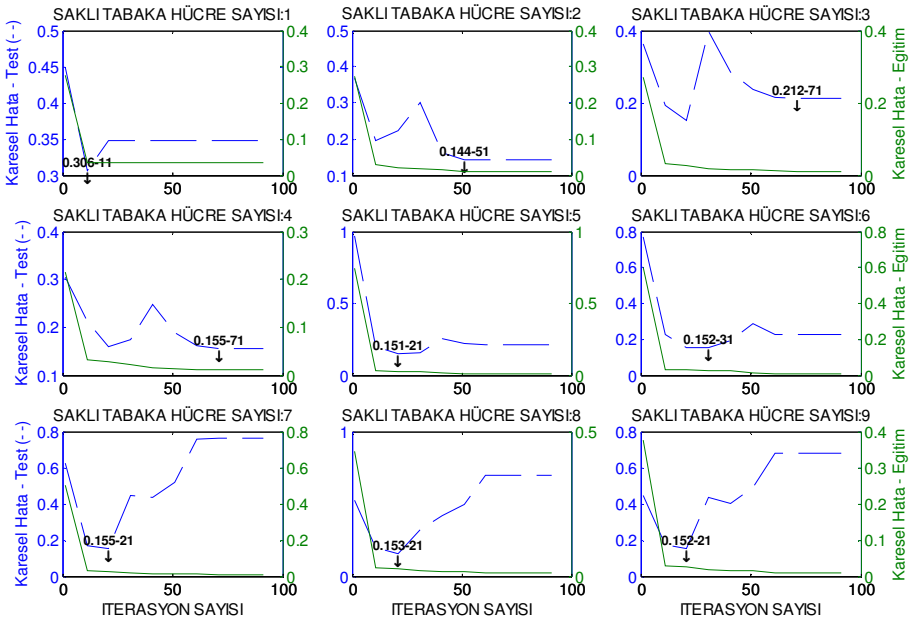


Şekil 5.14 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 5. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri.

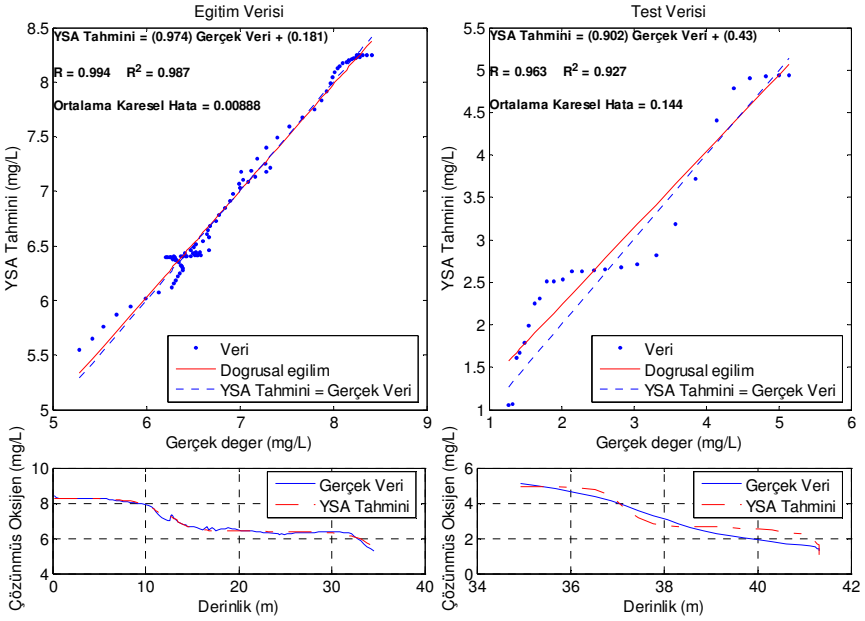


Şekil 5.15 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 5. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.14'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 1, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.15'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

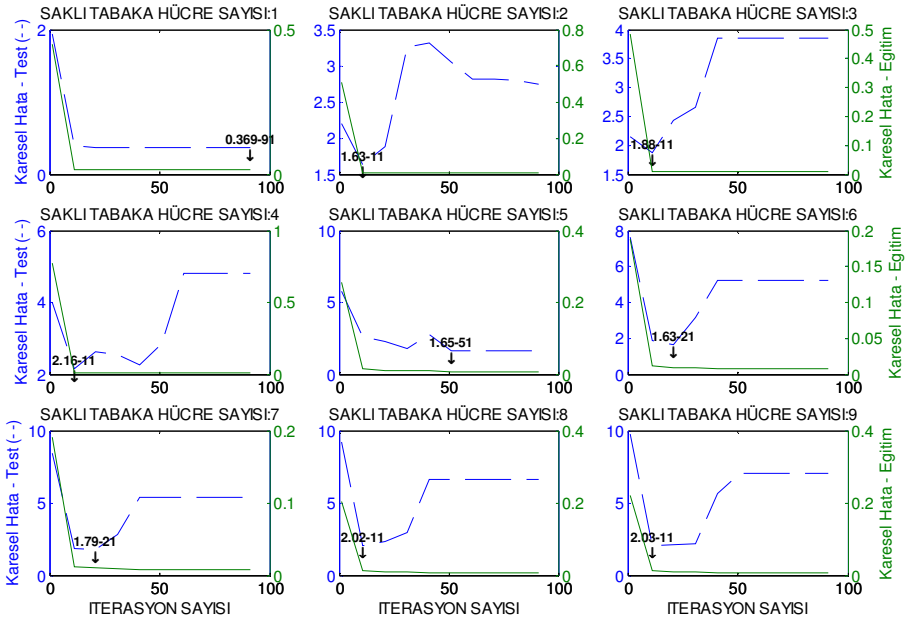


Şekil 5.16 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 6. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri.

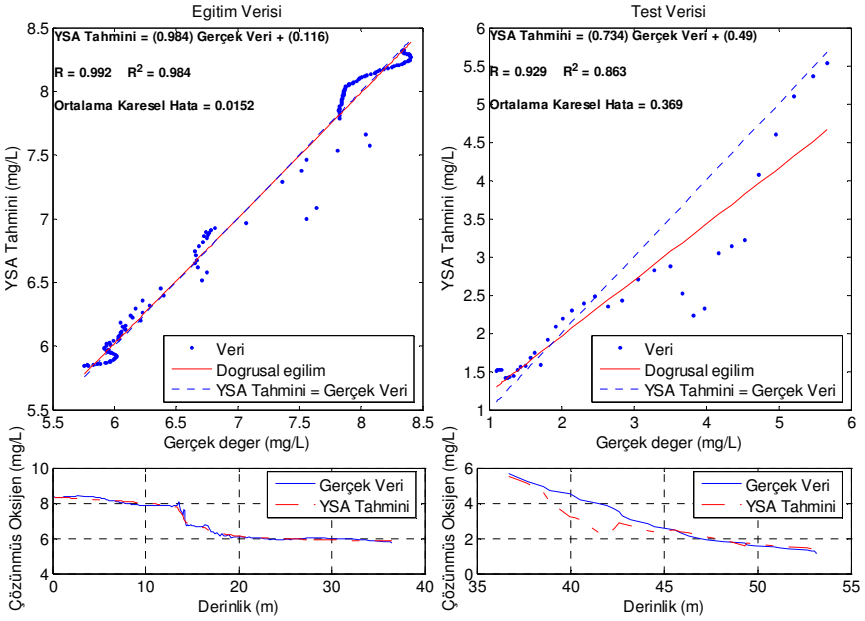


Şekil 5.17 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 6. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.16'ya göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 2, iterasyon sayısı 51 bulunmuştur. Şekil 5.17'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

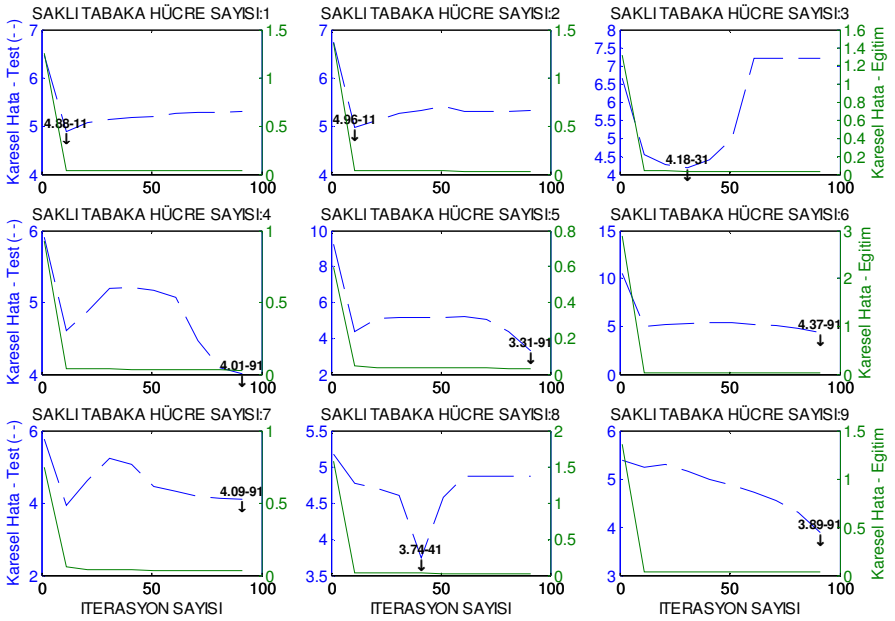


Şekil 5.18 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 7. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri.

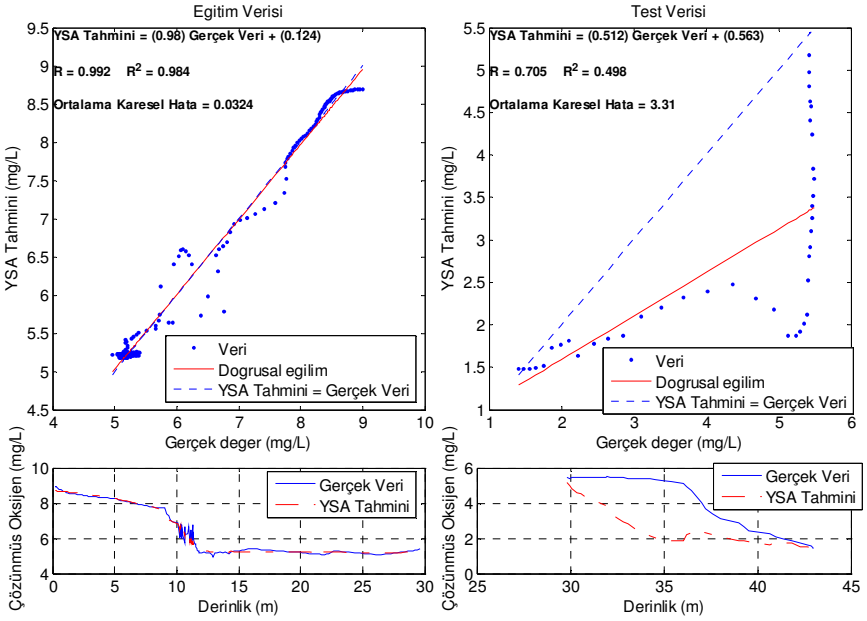


Şekil 5.19 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 7. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.18'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 1, iterasyon sayısı 91 bulunmuştur. Şekil 5.19'a göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.



Şekil 5.20 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 9. gözlem noktasının 2 girişli karesel hata grafikleri.



Şekil 5.21 : 0.1 – 0.9 arası ölçeklendirilmiş 2 girişli 9. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.20'ye göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 5, iterasyon sayısı 91 bulunmuştur. Şekil 5.21'e göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşamamış ve gerçek verideki salınımları yakalayamamıştır.

5.1.1.3 İBGYSA uygulamalarında çarpıklık katsayısının etkisinin incelenmesi

YSA'larda verilerin çarpıklığının etkisinin tahmin performansları üzerinde ne kadar etkili olduğunu gözlemlemek için verilere normalizasyondan önce farklı dönüşümler uygulanmıştır. Girişleri ve çıkışı normal dağılıma yaklaştırmak için kullanılan bu dört farklı dönüşüm; verilerin doğal logaritmasını (ln) alma, karekökünü alma, bir bölüsünü alma ve box-cox dönüşümüdür. Box-cox'ın formülü denklem (3.17) verilmiştir. Buradaki lamda değeri her veri sütunu için ayrı ayrı olmak üzere Matlab'daki fminsearch komutuyla hesaplanır.

$$data(\lambda) = \begin{cases} \dfrac{data^{\lambda} - 1}{\lambda} & \text{if } \lambda \neq 0 \\ \log(data) & \text{if } \lambda = 1 \end{cases} \qquad \textbf{(3.17)}$$

Böylece verilerin çarpıklık katsayılarında değişim gözlenmiştir. Bazı verilerde Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de gösterildiği gibi dönüşüm çarpıklığı azaltırken bazılarında artırmıştır.

Çizelge 5.6 : Eğitim Verilerinin Çarpıklık Katsayıları.

Eğitim Verilerinin Çarpıklık Katsayıları															
	Derinlik					Sıcaklık					ÇO				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	**0.13**	**0.19**	**0.15**	0.42	0.40	0.54	0.28	0.21	**-0.20**	**-0.19**	-0.31	-0.17	0.41	-0.11	0.46
ln dönüşümü	-2.35	-1.85	-2.11	-1.77	-1.47	0.39	0.16	0.06	-0.34	-0.35	-1.48	-0.46	0.25	-0.16	0.38
Karekök dönüşümü	-0.60	-0.49	-0.59	-0.39	-0.36	0.47	0.22	0.14	-0.27	-0.26	-0.83	-0.31	0.33	-0.13	0.42
1/y dönüşümü	12.42	5.99	6.32	5.34	5.07	**-0.21**	**-0.02**	0.10	0.51	0.52	2.95	0.79	-0.06	0.22	-0.30
box cox dönüşümü	-0.32	-0.27	-0.24	**-0.18**	**-0.21**	0.23	0.11	**0.04**	-0.22	-0.21	**-0.09**	**-0.12**	**0.03**	**-0.10**	**0.24**
	İletkenlik					pH					TÇM				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	0.61	0.35	0.28	-0.15	-0.14	0.48	0.16	0.10	-0.28	-0.34	0.61	0.35	0.28	-0.15	-0.14
ln dönüşümü	0.57	0.32	0.23	-0.19	-0.19	0.44	0.13	0.07	-0.30	-0.37	0.57	0.32	0.23	-0.19	-0.19
Karekök dönüşümü	0.59	0.33	0.25	-0.17	-0.16	0.46	0.15	0.09	-0.29	-0.35	0.59	0.33	0.25	-0.17	-0.16
1/y dönüşümü	-0.52	-0.28	-0.18	0.23	0.24	-0.41	-0.11	**-0.04**	0.33	0.39	-0.52	-0.28	-0.18	0.23	0.24
box cox dönüşümü	**0.38**	**0.23**	**0.15**	**-0.13**	**-0.12**	**0.26**	**0.09**	**0.04**	**-0.21**	**-0.21**	**0.37**	**0.23**	**0.15**	**-0.13**	**-0.12**

Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de tüm veriler gösterilmiş olsa da model bir önceki bölümde bahsedildiği gibi 2 girişli olarak hazırlanmıştır. 2 girişli modellerde

kullanılan derinlik sıcaklık ve ÇO eğitim ve test ham verilerin çarpıklık katsayısı +1.26 ile -0.75 arasında olup genelde +0.50 ile -0.50 civarında toplanmıştır. Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi derinlik için 7. ve 9. gözlem noktalarında box-cox çarpıklığı en iyi azaltan dönüşüm formülü olmuştur. Diğer noktalarda hiçbir dönüşüm çarpıklığı azaltmamıştır. Sıcaklık için 2. ve 5. gözlem noktalarında 1/y dönüşümü çarpıklığı en iyi azaltan dönüşüm formülü olmuştur. 6. gözlem noktasında box-cox dönüşümü çarpıklığı en iyi azaltan dönüşüm formülü olmuştur. Diğer noktalarda hiçbir dönüşüm çarpıklığı azaltmamıştır. Çözünmüş oksijen için tüm gözlem noktalarında box-cox çarpıklığı en iyi azaltan dönüşüm formülü olmuştur. İletenlik, TÇM ve pH verileri ise 2 girişli modellerde kullanılmamasına rağmen çarpıklıklarını azaltmada en iyi dönüşümün box-cox olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.7 : Test Verilerinin Çarpıklık Katsayıları. (- dönüşüm yapılamayan)

Test Verilerinin Çarpıklık Katsayıları															
	Derinlik					Sıcaklık					ÇO				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	-0.75	-0.28	-0.35	0.16	0.26	0.75	-0.22	1.26	-0.07	0.49	1.03	0.26	0.59	0.65	-0.66
ln dönüşümü	-0.79	-0.33	-0.41	-0.29	0.13	0.75	-0.23	1.26	-0.08	0.48	0.69	-0.08	0.16	0.18	-0.91
karekök dönüşümü	-0.77	-0.31	-0.38	-0.22	0.20	0.75	-0.23	1.26	-0.07	0.48	0.86	0.10	0.38	0.42	-0.77
1/y dönüşümü	0.83	0.38	0.48	0.42	**0.00**	-0.74	0.23	-1.25	0.08	-0.47	-0.35	0.47	0.28	0.26	1.26
box cox dönüşümü	**-0.39**	**-0.10**	**-0.12**	**-0.09**	0.04	**0.71**	**0.00**	**1.17**	**0.00**	**0.43**	**0.10**	**-0.03**	**0.06**	**0.07**	**-0.52**
	İletkenlik					pH					TÇM				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	-0.73	-0.90	-1.58	-0.40	-0.03	-1.18	-0.74	-1.27	-1.70	0.01	-0.73	-0.89	-1.58	-0.40	0.17
ln dönüşümü	-0.73	-0.90	-1.58	-0.40	-0.03	-1.18	-0.76	-1.28	-1.72	0.01	-0.73	-0.90	-1.58	-0.40	0.17
karekök dönüşümü	-0.73	-0.90	-1.58	-0.40	-0.03	-1.18	-0.75	-1.27	-1.71	0.01	-0.73	-0.90	-1.58	-0.40	0.17
1/y dönüşümü	0.73	0.90	1.58	0.40	0.03	1.19	0.78	1.28	1.74	**0.00**	0.73	0.90	1.58	0.40	-0.17
box cox dönüşümü	-	-	-	-	**-0.02**	**-0.82**	**-0.11**	**-0.40**	**-0.30**	0.01	-	-	-	-	**0.16**

Çizelge 5.7'de görüldüğü gibi derinlik için 9. gözlem noktasında 1/y çarpıklığı en iyi azaltan dönüşüm formülü olmuştur. Diğer noktalarda box-cox çarpıklığı en iyi azaltan dönüşüm formülü olmuştur. Sıcaklık ve çözünmüş oksijen için tüm gözlem noktalarında box-cox dönüşümü çarpıklığı en iyi azaltan dönüşüm formülü olmuştur. İletenlik, TÇM ve pH verileri ise 2 girişli modellerde kullanılmamasına rağmen çarpıklıklarını azaltmada pH için en iyi dönüşümün genel olarak box-cox olduğu görülmektedir. İletenlik ve TÇM'de ise box-cox'ta dönüşüm yapılmamış, diğer

dönüşüm formüleri de ham verinin çarpıklığında belirgin bir etki yaratmamıştır.

Eğitim işleminde, Çizelge 5.6'deki çarpıklığı azaltılmış veriler dönüştürülmüş olarak, çarpıklığı azaltılamamış veriler ham olarak kullanılmıştır. Verilere 4 faklı dönüşüm uygulandığında Eğitim verilerinin çarpıklık katsayılarını gösteren Çizelge 5.6'ya göre derinlik parametresi fazla dönüşüme uğramamıştır. Derinlik için sadece 9. gözlem noktasında box-cox ve karekök dönüşümü, 7. gözlem noktasında sadece box-cox dönüşümü uygulanmıştır. Sıcaklık için 7. ve 9. gözlem noktaları hariç tüm gözlem noktalarında 4 dönüşümün hepsi uygulanmıştır. ÇO için 9. gözlem noktasında 4 dönüşümün hepsi uygulanırken, 2, 5 ve 7'de sadece box cox dönüşümü, 6 ise hem box-cox hem de 1/y dönüşümü uygulanmıştır.

Bir ağın eğitildiği şekilde test edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden test simülasyonunda kullanılan veriler Çizelge 5.7'de hesaplanan test verilerinin çarpıklığına göre değil Çizelge 5.6'daki eğitim verilerinin çarpıklığına göre dönüştürülmüştür. Eğitimde, eğitim verileri için hangi dönüşümler uygulanmışsa testte de, test verilerinin çarpılığına bakılmaksızın aynı dönüşümler uygulanmıştır. Örneğin Çizelge 5.6'da 5.gözlem noktası için sıcaklık eğitim verisinin çarpıklığı ln dönüşümüyle azalmış ve 0.28'ten 0.16'a düşmüştür. Bu sebeple bu veri programda normalizasyondan önce dönüştürmüştür. Bu şekilde eğitim ve simülasyonlardan geçmiştir. Fakat Çizelge 5.7'e göre aynı parametrenin aynı gözlem noktasındaki test verisinin -0.22'den -0.23 doğru giderek negatif çarpıklığı artmıştır. Ama ağın eğitim ve test aşamasının homojen olması açısından, eğitim verisinin 0.28'ten 0.16'a düşmesi göz önünde tutularak bu veriye de test simülasyonuna girmeden önce 'In' dönüşümü yapılmıştır. Tahminler hesaplandıktan sonra sonuçlar önce geri ölçeklendirilmiş, sonra geri dönüşüm yapılmıştır. Geri ölçeklendirmede önceki bölümde bahsedildiği gibi 2 girişli modelin en iyi aralığı olan 0.1 - 0.9 aralığının formülünün tersi kullanılarak yapılmıştır. Geri dönüşümler ise dört faklı dönüşüm için yapılmıştır. Buna göre geri dönüşümlerde exponensiyelini alma, karesini alma, bir bölüsünü alma ve box-cox'ın tersidir. Box-cox'ın tersinde eğitimde bulunan lamda değeri kullanılmıştır. Box-cox dönüşümünün tersini almak için Matlab'da ana programın çağırdığı 'boxcox_d' adında bir fonksiyon yazılmıştır.

İBGYSA uygulamasında incelenen çarpıklık katsayısı etkisinin değerlendirilmesi

Tüm gözlem noktaları için 0.1 - 0.9 arası ölçeklendirme yapılan ve transfer fonksiyonu olarak tüm hücrelerde logaritmik sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı 2 girişli İBGYSA modellerinde verilerin çarpıklığının etkisinin tahmin performansları üzerinde ne kadar etkili olduğunu gözlemlemek için verilere normalizasyondan önce uygulanan farklı dönüşümlerin YSA performansını doğrudan etkilediği görülmüştür. Girişleri ve çıkışı normal dağılıma yaklaştırmak için kullanılan; doğal logaritmasını (ln) alma, karekökünü alma, bir bölüsünü alma ve box-cox dönüşümleri verilerin çarpıklık katsayılarında değişim yaratmıştır.

Çizelge 5.8 : Çarpıklık azaltma dönüşümleri yapılmış verilerin ve yapılmamış verinin performansları.

İLERİ BESLEMELİ GERİ YAYINIMLI AĞ - 2 GİRİŞ -
Transfer Fonksiyonu: LOGSIG, LOGSIG - Ölçekleme: 0.1 - 0.9

Dönüşüm	ln					1/y					box-cox				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	89	**97**	93	86	49	91	**97**	93	86	42	**93**	94	**94**	80	94*
OKH	0.01	**0.2**	**0.1**	**0.4**	2.5	**0.008**	**0.2**	**0.1**	**0.4**	2.3	0.01	0.65	**0.1**	0.6	0.18
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	1	1	3	1	8	1	1	3	1	2	1	1	3	1	8
Optimum iterasyon sayısı	91	11	31	91	61	61	11	81	91	71	91	11	31	11	71

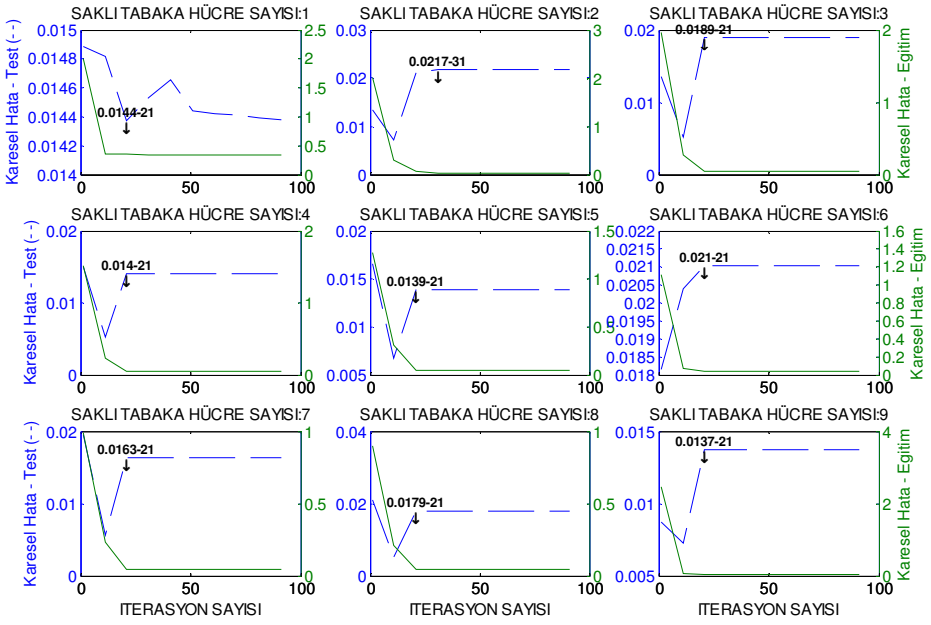
Dönüşüm	Dönüşümsüz					Karekök				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	91	**97**	93	86	50	90	**97**	**94**	**89**	**66**
OKH	**0.008**	0.3	**0.1**	**0.4**	3.3	0.01	0.3	**0.1**	**0.4**	**2.1**
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	9	1	2	1	5	9	1	7	1	9
Optimum iterasyon sayısı	11	11	51	91	91	21	11	21	11	81

* Çıkış değerleri karmaşık sayı olarak çıkmış ve sadece reel kısmı dikkate alındığı için bu değer kullanılmamıştır.

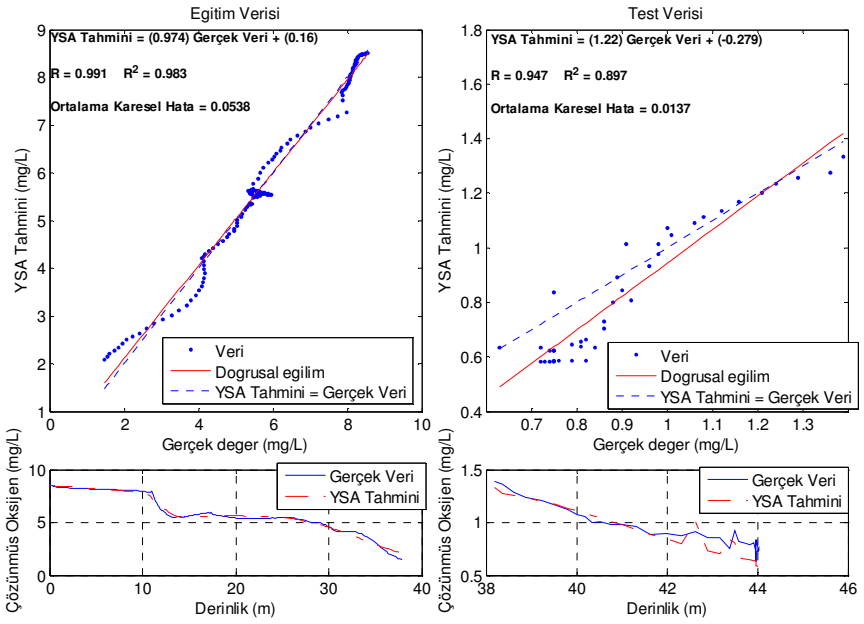
Çizelge 5.8'de gösterilen sonuçlara göre 'ln' dönüşümü, karekök dönüşümü ve bir bölüsünü alma dönüşümü arasında büyük bir fark olmamakla birlikte 9. gözlem noktası dikkate alındığında en iyi değeri karekök dönüşümü vermiştir. Burada tüm

gözlem noktaları göz önüne almak gerektiğinden karekök dönüşümünü seçmek daha doğru bulunmuştur. Box-cox'ın 5. ve 7. gözlem noktalarındaki OKH diğerlerine göre daha büyük çıkmıştır. Ayrıca Box-cox'ın 9. gözlem noktasındaki tahmini ise geri ölçeklendirmede verdiği negatif sonuçları, lamdanın çift olması durumunda çift kuvvetli bir kök içinde negatif değer hatası vermektedir. Dolayısıyla bu değer karekökün içinden karmaşık sayı olarak çıkmış bu sayının da sadece reel kısmı dikkate alınmıştır. Bu şekilde hesaplanan değer dikkate alınmamıştır. Bundan sonraki tüm hesaplamalarda 2 giriş, onun en iyi ölçeklendirme aralığı olan 0.1 – 0.9 ve onunda en iyi çarpıklık azaltma dönüşümü olarak karekökünü alma kullanılmıştır.

Aşağıdaki şekillerde tüm gözlem noktaları için 0.1 - 0.9 arası ölçeklendirme ve en iyi dönüşüm metodu seçilen karekök dönüşümü yapılmış verilerin kullanıldığı 2 girişli tahminler gösterilmiştir. Bunlarda da daha önceki modellerde olduğu gibi transfer fonksiyonu olarak tüm hücrelerde logaritmik sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

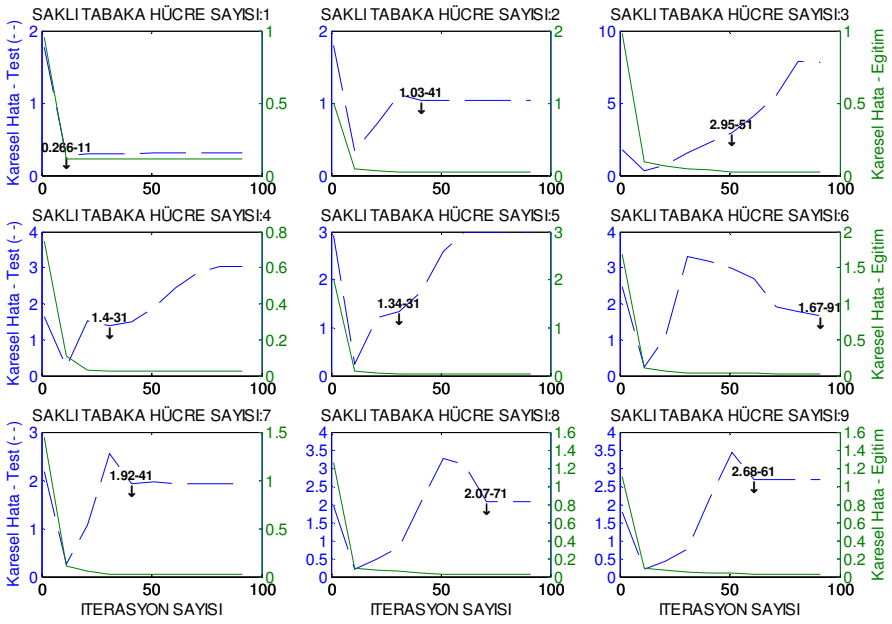


Şekil 5.22 : 2. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri.

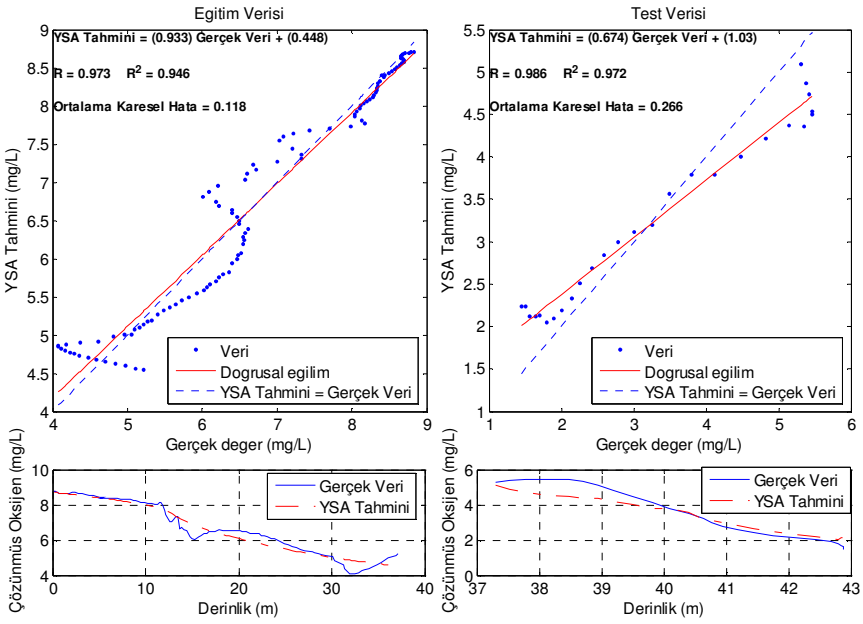


Şekil 5.23 : Karekök dönüşümlü 2. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.22'ye göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 9, iterasyon sayısı 21 bulunmuştur. Şekil 5.23'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.

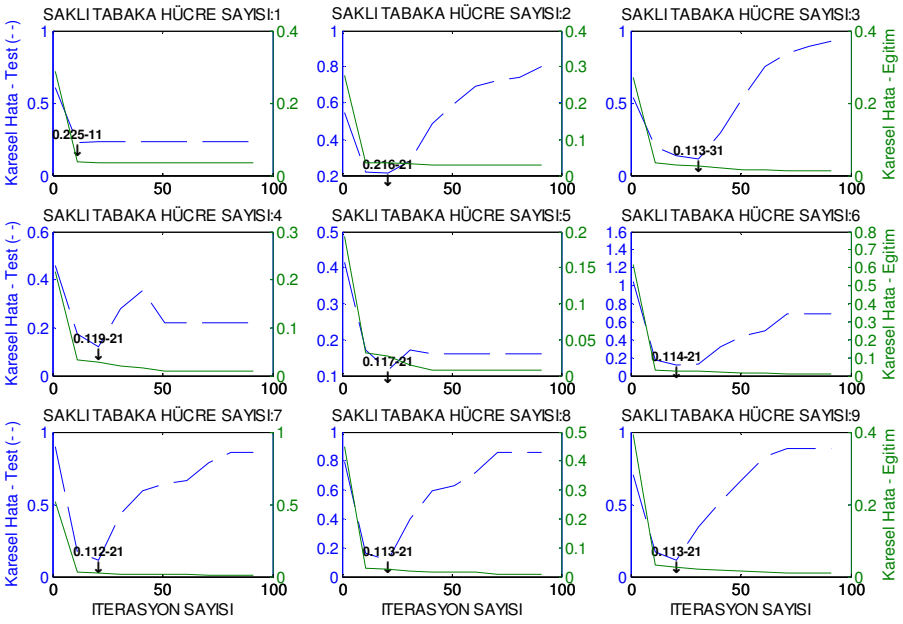


Şekil 5.24 : 5. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri.

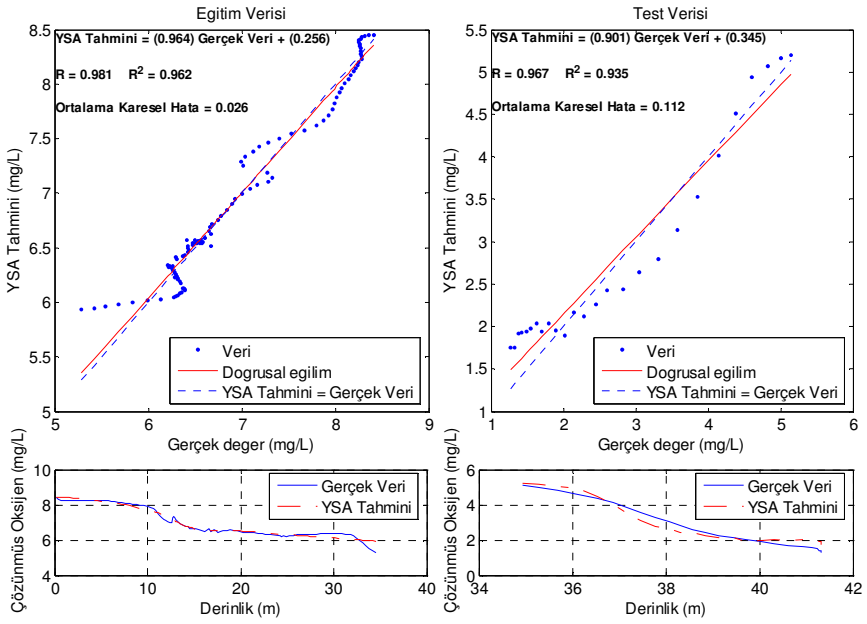


Şekil 5.25 : Karekök dönüşümlü 5. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.24'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 1, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.25'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

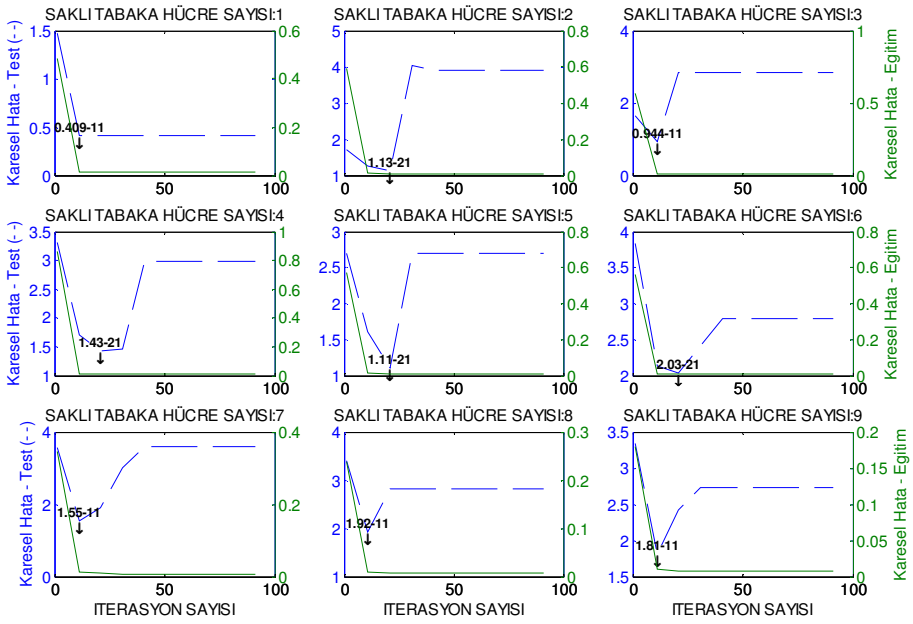


Şekil 5.26 : 6. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri.

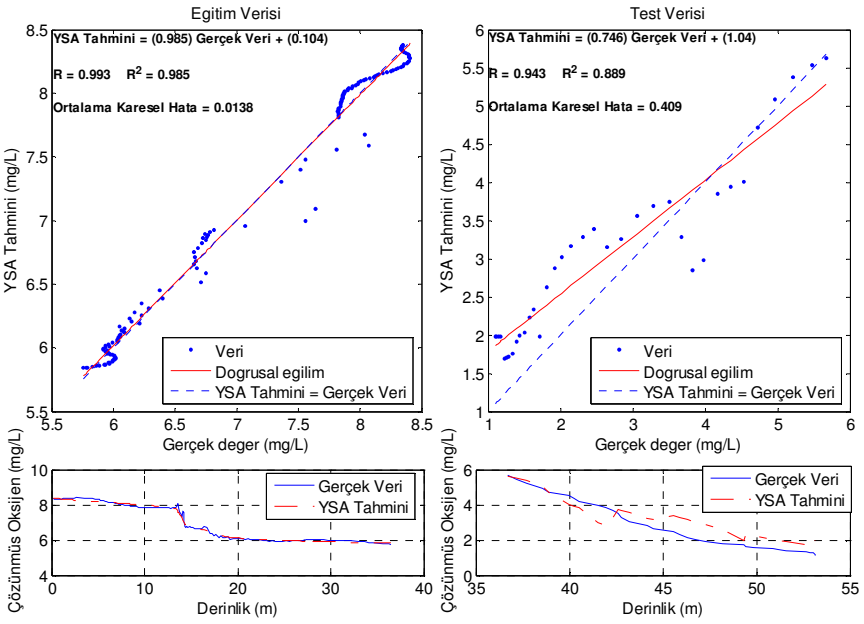


Şekil 5.27 : Karekök dönüşümlü 6. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.26'ya göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 7, iterasyon sayısı 21 bulunmuştur. Şekil 5.27'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

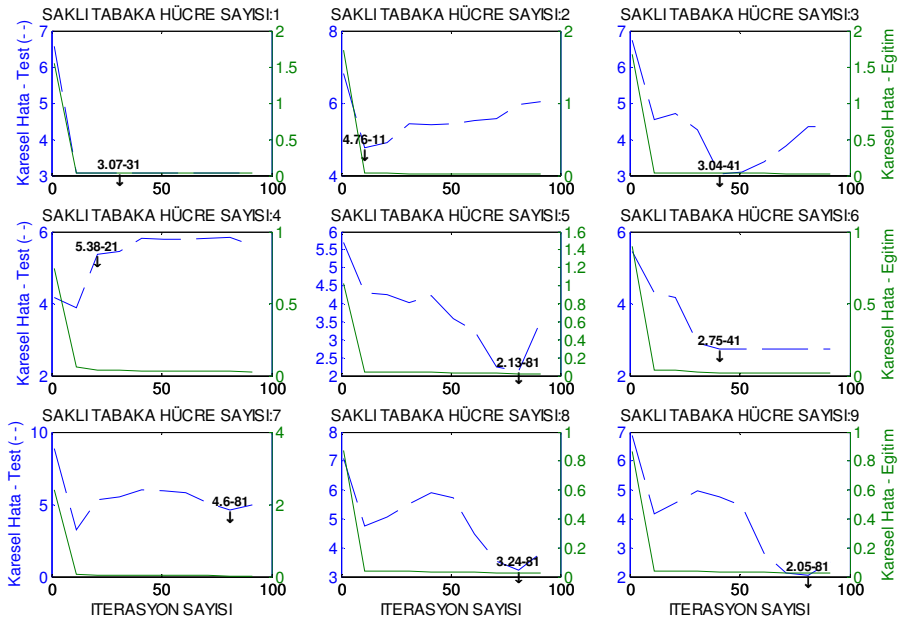


Şekil 5.28 : 7. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri.

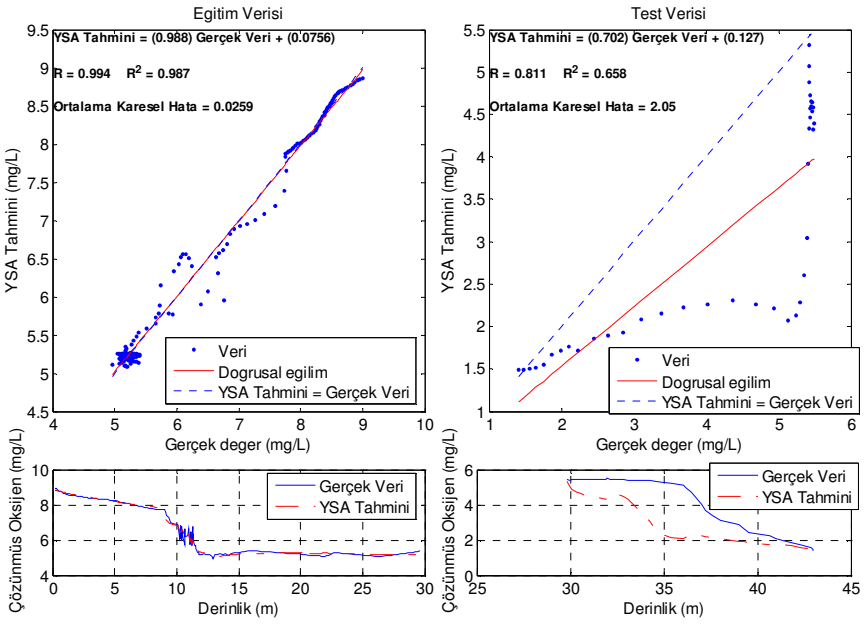


Şekil 5.29 : Karekök dönüşümlü 7. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.28'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 1, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.29'a göre test tahminleri gerçek veriye oldukça yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.



Şekil 5.30 : 9. gözlem noktasının karekök dönüşümlü karesel hata grafikleri.



Şekil 5.31 : Karekök dönüşümlü 9. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.30'a göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 9, iterasyon sayısı 81 bulunmuştur. Şekil 5.31'e göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşamamış ve gerçek verideki salınımları orta düzeyde yakalamıştır.

5.1.1.4 İBGYSA uygulamalarında farklı transfer fonksiyonlarının kıyaslanması

YSA'larda kullanılan transfer fonksiyonlarının ya da diğer bir adıyla transfer fonksiyonlarının etkisinin tahmin performansları üzerinde ne kadar etkili olduğunu gözlemlemek için verilere 3 değişik transfer fonksiyonu uygulanmıştır. Bunlar ağda kullanılan öğrenme algoritmasının türevlenebilir fonksiyonlar gerektirmesi dolayısıyla türevlenebilir transfer fonksiyonlarından seçilmiştir. Kullanılan fonksiyonlar doğrusal (purelin), hiperbolik tanjant sigmoid (tansig) ve yukarıdaki hesaplamalarda kullanılan logaritmik sigmoid (logsig)'dir. 1. saklı tabaka ve çıkış tabakası olmak üzere 2 tabakanın her birinde bir çeşit transfer fonksiyonu kullanmak üzere bu 3 fonksiyon 9 farklı kombinasyonla kullanılmıştır. Bunlar purelin-purelin, tansig-tansig, logsig-logsig, purelin-tansig, purelin-logsig, tansig-purelin, tansig-logsig, logsig-purelin, logsig-tansig'tir. İlk yazılan 1. tabakada, 2. yazılan 2. tabakada kullanılan fonksiyonlardır.

İBGYSA ile farklı transfer fonksiyonlarının kıyaslanmasının değerlendirilmesi

YSA'larda kullanılan transfer fonksiyonlarının etkisinin tahmin sonuçları üzerinde ne kadar etkili olduğunu gözlemlemek için verilere uygulanan 9 değişik transfer fonksiyonu çiftinin performansları Çizelge 5.9'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 : Farklı transfer fonksiyonlu verilerin performansları.

İLERİ BESLEMELİ GERİ YAYINIMLI AĞ - 2 GİRİŞ - KAREKÖK DÖNÜŞÜMLÜ - Ölçekleme: 0.1 - 0.9

Transfer Fonksiyonu	purelin purelin					tansig tansig					logsig logsig				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R² %	**91**	93	97	20	73	85	90	94	87	95	90	**97**	94	89	66
OKH	0.01	0.6	0.2	1.8	2.5	0.006	**0.3**	0.1	0.4	**0.3**	0.01	0.3	0.1	0.4	2.1
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	6	1	1	1	9	7	2	6	1	4	9	1	7	1	9
Optimum iterasyon sayısı	11	1	11	1	11	41	81	31	11	41	21	11	21	11	81
Transfer Fonksiyonu	purelin tansig					tansig purelin					logsig purelin				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R² %	80	69	**98**	2	82	**91**	93	96	87	77	84	89	92	87	88
OKH	0.02	1.3	0.2	2.7	2.4	0.01	0.5	**0.09**	0.5	1.4	0.007	0.5	0.1	0.5	1.2
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	8	2	9	9	9	6	8	8	1	9	2	5	7	1	8
Optimum iterasyon sayısı	11	11	11	11	11	21	51	51	31	91	41	51	31	61	91
Transfer Fonksiyonu	purelin logsig					tansig logsig					logsig tansig				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R² %	88	96	**98**	61	64	90	97	94	89	75	89	92	94	**90**	**96**
OKH	0.01	0.4	0.2	1.0	2.8	0.01	0.2	0.1	0.4	1.2	**0.005**	**0.3**	0.1	**0.3**	**0.3**
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	4	9	2	6	8	2	2	5	1	5	2	2	4	8	6
Optimum iterasyon sayısı	11	11	11	11	11	41	11	31	21	51	31	81	21	21	41

Sonuçlara göre seçilen her transfer çifti YSA performanlarını doğrudan etkilemiştir. Çizelge 5.9'a göre 5. gözlem noktası hariç tüm gözlem noktalarında en düşük ortalama karesel hatayı veren kombinasyon 1. tabakada (1. saklı tabakada) logaritmik sigmoid, 2. tabakada (çıkış tabakasında) hiperbolik tanjant sigmoidin kullanıldığı model olmuştur. 5. gözlem noktasında verdiği hatada oldukça düşüktür. Determinasyon katsayılarında ise aynı kombinasyon 7. ve 9. gözlem noktasında en iyi değeri vermiş diğerlerinde de yüksek değerlere ulaşmıştır. Bunlara dayanarak en iyi transfer çiftinin logsig – tansig olduğu söylenebilir. Her iki fonsiyonda Şekil 4.5'de görüldüğü gibi S-şekillidir, süreklidir, her bir y değeri diğerinden farklıdır. simetriktir ve asimptotik olarak doygun noktalara yaklaşır. İkisi arasındaki fark hiperbolik tanjant sigmpid fonsiyonunun etki aralığı daha geniştir. Bu özelliğinden dolayı çıkış hücresinde kullanılan tanjant sigmoid fonksiyonunun daha iyi sonuç verdiği düşünülebilir. Böylece çalışmanın bundan sonraki hesaplamalarında kullanılacak optimum transfer fonksiyonları logsig – tansig olmuştur.

Yeni transfer fonksiyonları dikkate alınarak daha önce logsig – logsig çiftiyle bulunmuş optimum dönüşüm olan karekök dönüşümü logsig – tansig çiftiyle kontrol edilmiş ve Çizelge 5.10'de gösterildiği gibi verilerin karekökünü alma yönteminin en iyi çarpıklık azaltma dönüşüm metodu olduğu tekrar görülmüştür.

Çizelge 5.10 : Çarpıklık azaltma dönüşümleri yapılmış verilerin logsig – tansig fonksiyonlu performansları.

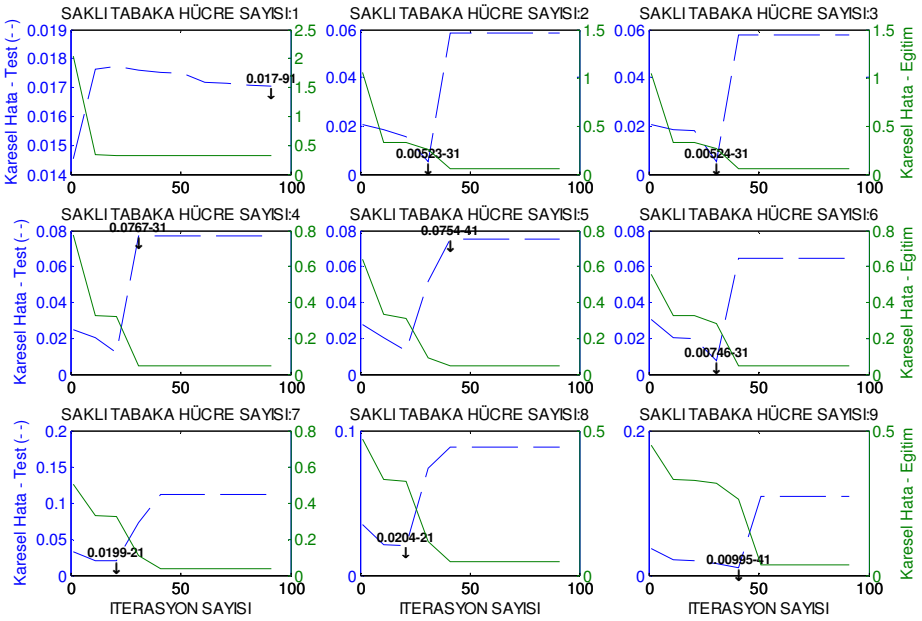
İLERİ BESLEMELİ GERİ YAYINIMLI AĞ - 2 GİRİŞ -
Transfer Fonksiyonu: LOGSIG, LOGSIG - Ölçekleme: 0.1 - 0.9

Dönüşüm	ln					1/y					box-cox				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	89	90	**94**	85	54	91	**97**	66	85	44	**94**	94	**94**	85	92
OKH	0.01	0.3	**0.1**	0.4	3.1	**0.007**	**0.2**	0.7	0.4	3.3	0.01	0.70	**0.1**	**0.3**	0.2*

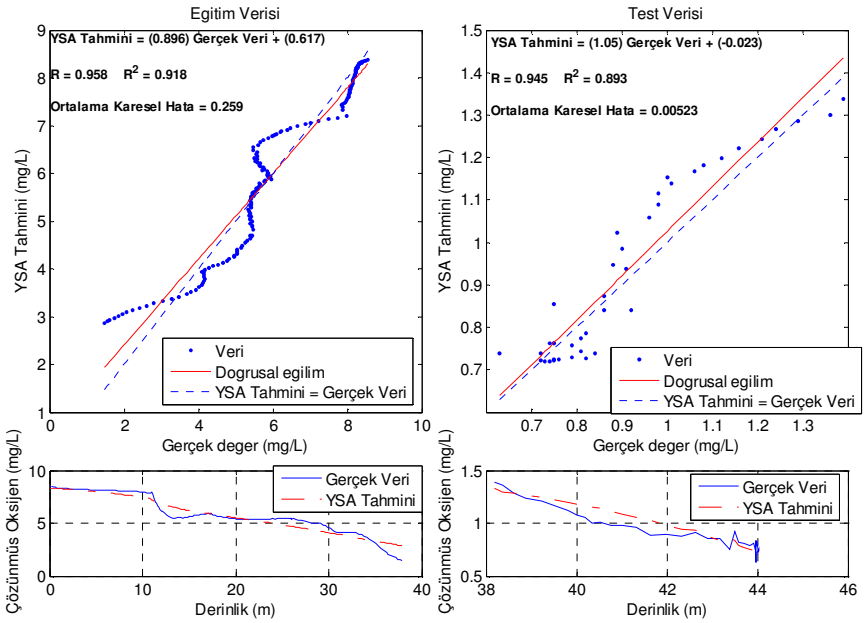
Dönüşüm	Dönüşümsüz					Karekök				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	91	**97**	93	86	50	89	92	**94**	**90**	**96**
OKH	0.008	0.3	**0.1**	0.4	3.3	0.01	0.3	**0.1**	**0.3**	**0.3**

* Çıkış değerleri karmaşık sayı olarak çıkmış ve sadece reel kısmı dikkate alındığı için bu değer kullanılmamıştır.

Aşağıdaki şekillerde tüm gözlem noktaları için 0.1 - 0.9 arası ölçeklendirme ve karekök dönüşümü yapılmış verilerin ve transfer fonksiyonu olarak en iyi transfer çifti seçilen 1.tabakada logaritmik sigmoid, 2. tabakada hiperbolik tanjant sigmoid'in kullanıldığı 2 girişli tahminler gösterilmiştir.

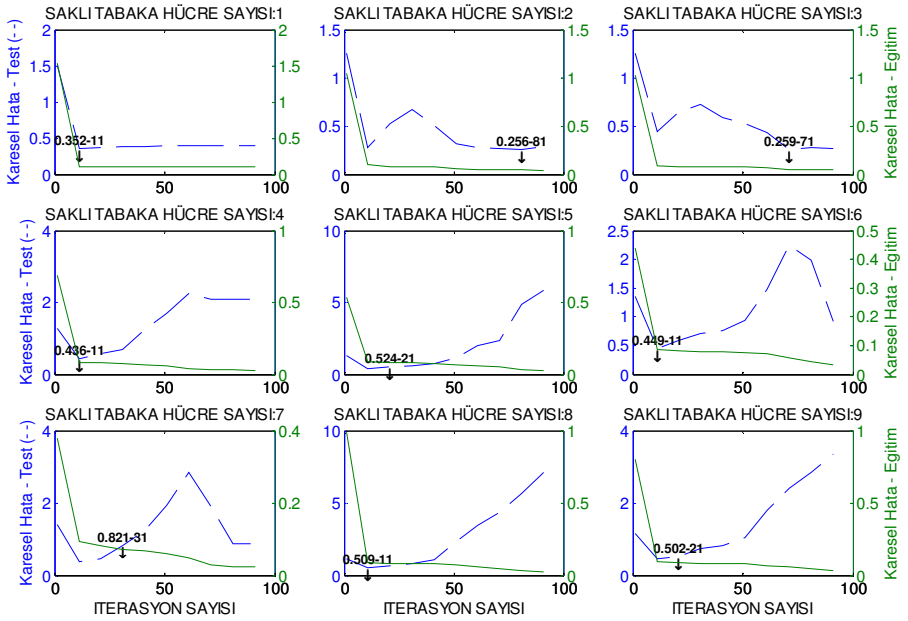


Şekil 5.32 : 2. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri.

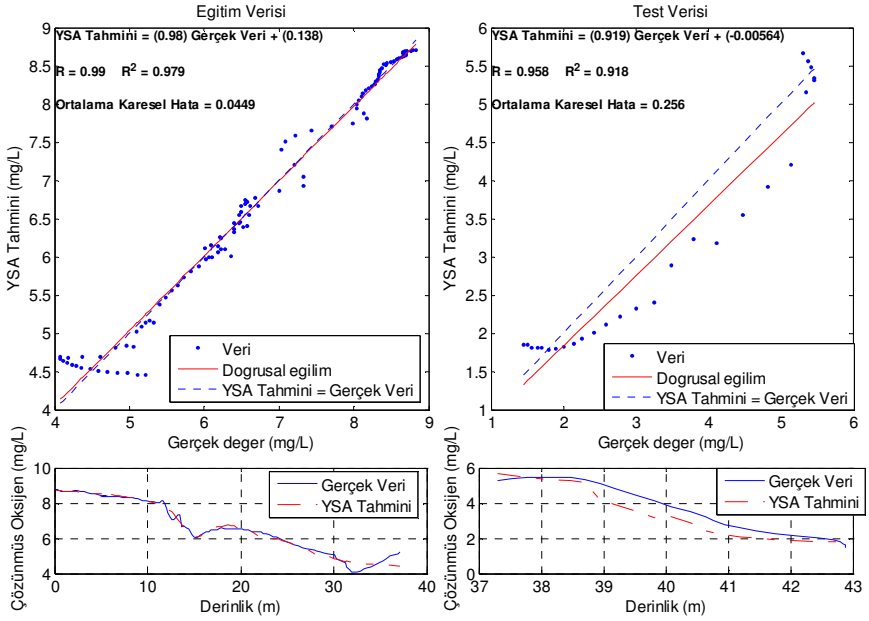


Şekil 5.33 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 2. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.32'ye göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 2, iterasyon sayısı 31 bulunmuştur. Şekil 5.33'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.

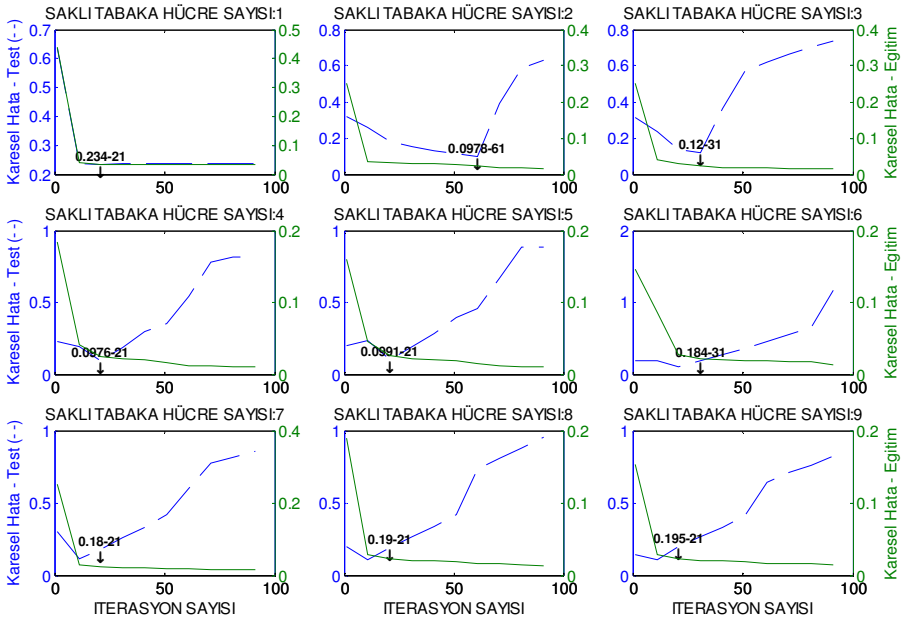


Şekil 5.34 : 5. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri.

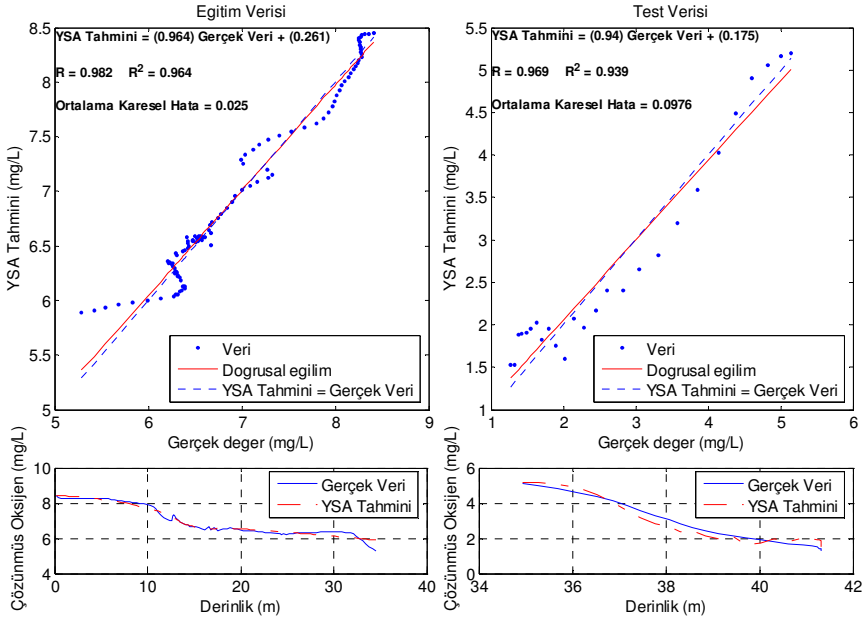


Şekil 5.35 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 5. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.34'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 2, iterasyon sayısı 81 ulunmuştur. Şekil 5.35'e göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.

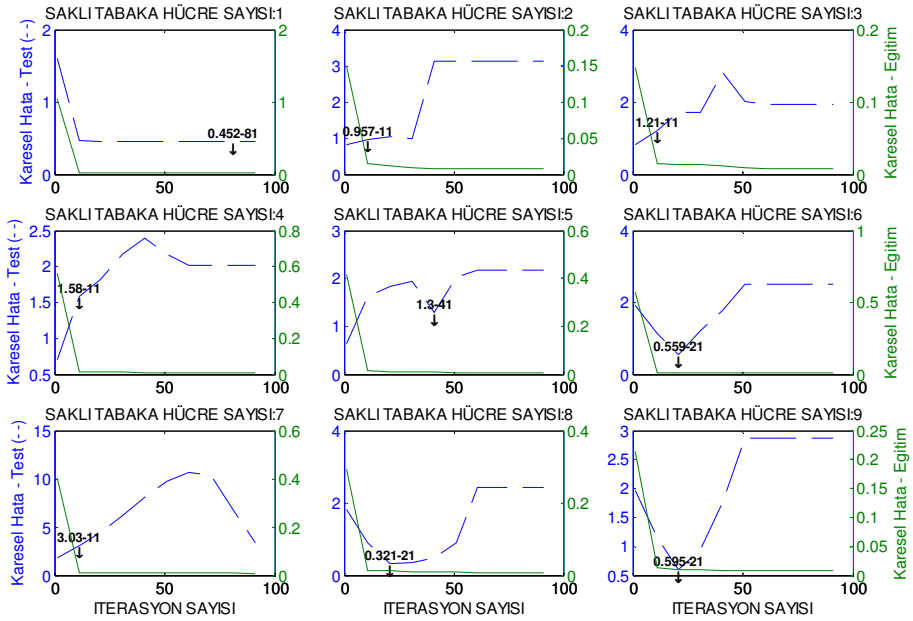


Şekil 5.36 : 6. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri.

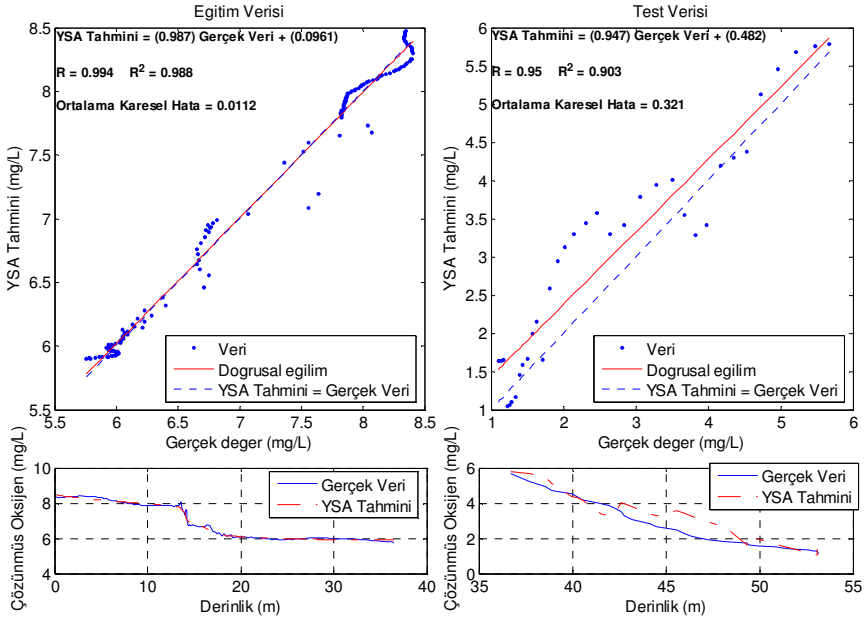


Şekil 5.37 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 6. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.36'ya göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 4, iterasyon sayısı 21 bulunmuştur. Şekil 5.37'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

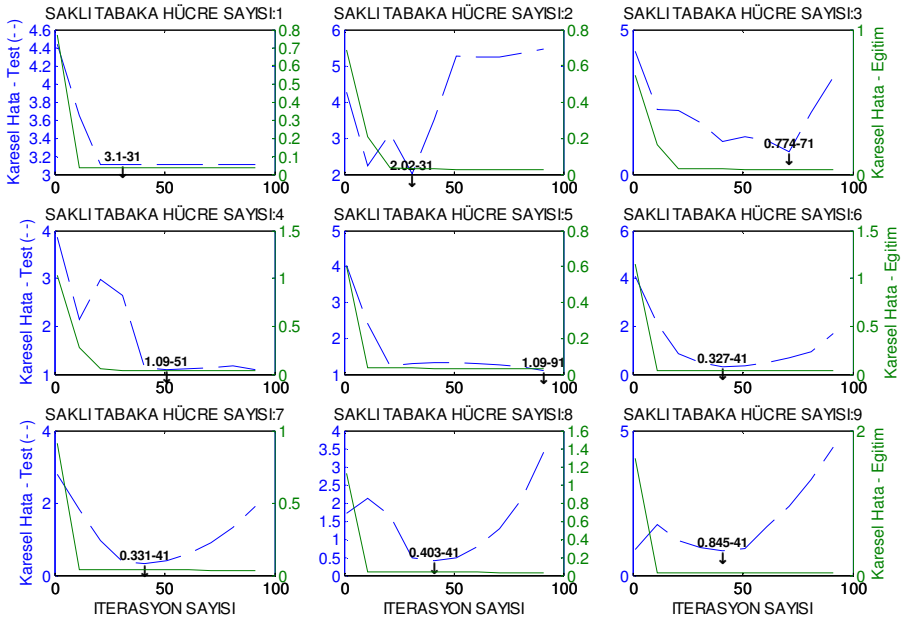


Şekil 5.38 : 7. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri.

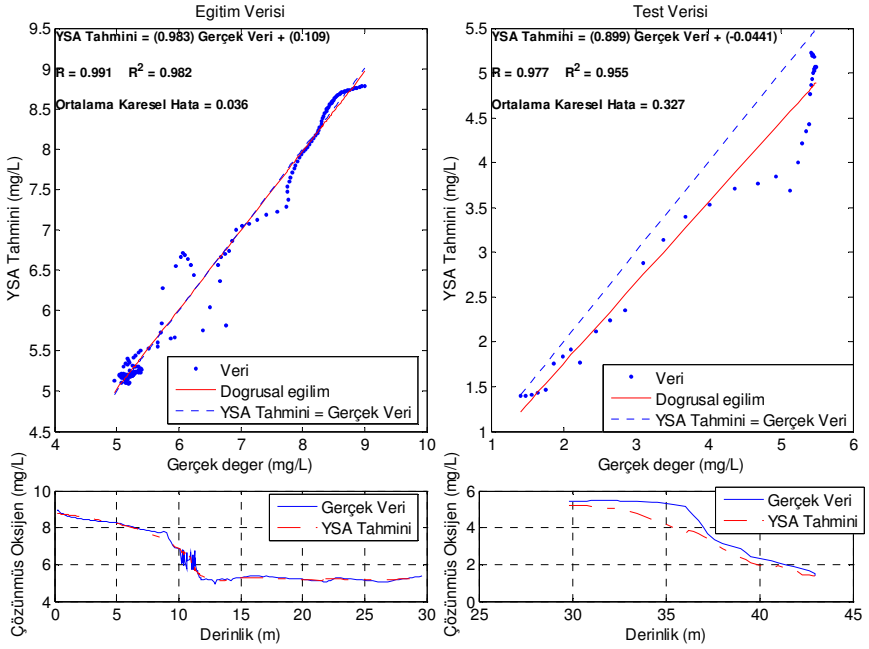


Şekil 5.39 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 7. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.38'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 8, iterasyon sayısı 21 bulunmuştur. Şekil 5.39'a göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.



Şekil 5.40 : 9. gözlem noktasının logsig – tansig transfer fonksiyonlu karesel hata grafikleri.



Şekil 5.41 : Logsig – tansig transfer fonksiyonlu 9. gözlem noktası verilerinin tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.40'a göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 6, iterasyon sayısı 41 bulunmuştur. Şekil 5.41'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

5.1.2 Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA) ile tahmin uygulamaları

Daha önceki bölümlerde bulunan en uygun ölçekleme ve çarpıklık giderim dönüşümü radyal tabanlı ağ uygulamalarında kullanımıştır. Buna göre veriler önce karekök dönüşümüne tabi tutulmuş daha sonra 0.1 -0.9 arasında ölçeklendirilmiştir. Yapay sinir ağlarının bir başka çeşidi olan radyal tabanlı ağlarda iterasyon sayısı yoktur. Eğitim işleminde radyal tabanlı YSA'larda saklı tabakaya önceden belirtilen maksimum hücre sayısına kadar birer hücreler eklenir. Önceden hedeflenen hata değerine ulaşıldığında hücre eklemesi durur. Burada hata 0.0001 olarak çok küçük alınmıştır. Böylece sadece saklı tabaka hücre sayılarının etkisi bulunmuştur. İlk başlangıçta ağırlıklar ve eşik değerleri ağ fonksiyonu tarafından atandığı için ağ her seferinde aynı başlangıç koşullarıyla başlar. Bu yüzden programa başlangıç değerleri ayrıca girilmez. Değişen sadece yayılım parametresi olur. Yayılım parametresinin değişim aralığı olarak 0 – 100, 0 – 10 ve 0 – 1 alınmıştır. Yapılan simülasyonlarda 1'den büyük yayılım değerleri ile elde edilen tahmin performans kriterleri tatmin edici çıkmamıştır. 0 – 1 aralığındakiler ise iyi sonuçlar vermiştir. Burada 0 ile 1 arasında her seferinde 0.01 artırılarak her saklı hücrede 20 farklı deneme yapılmıştır. Art arda gelen iki eğitim hatası arsındaki fark 0.005'ten küçük olunca hatanın durağanlaştığını kabul edilip o yayılım parametresinden sonra gelen tüm test hataları içindeki en küçük test hatasını seçme yoluna gidilmiştir. Önce her hücre için en düşük hata seçilmiş ve ona karşılık gelen yayılım parametresi o hücre için optimum yayılım olmuştur. Sonra bu optimum yayılımlı hücreler içinde hangisinin hatası en az ise o ağın genel optimum saklı tabaka hücre sayısı onun yayılımı da optimum yayılım olmuştur. Optimumları hesaplamak için İBGYSA'da izlenen yöntem kullanılmıştır. Önceki modellerde olduğu gibi verilerin %80'i kullanılarak eğitim % 20'sini kullanarak test gerçekleştirilmiştir. Eğitim işleminden sonra eğitim ve test verilerinin simülasyonu yapılmış, eğitim ve test çıkışlarının ortalama karesel hataları ve test çıkışlarının determinasyon katsayısı hesaplanmıştır. Programın çıkış sayfasında görülenler Çizelge 5.2'tekine benzemektedir. İterasyon sayısı yerine yayılım parametresi kullanılmıştır.

5.1.2.1 RTYSA uygulamalarının değerlendirilmesi

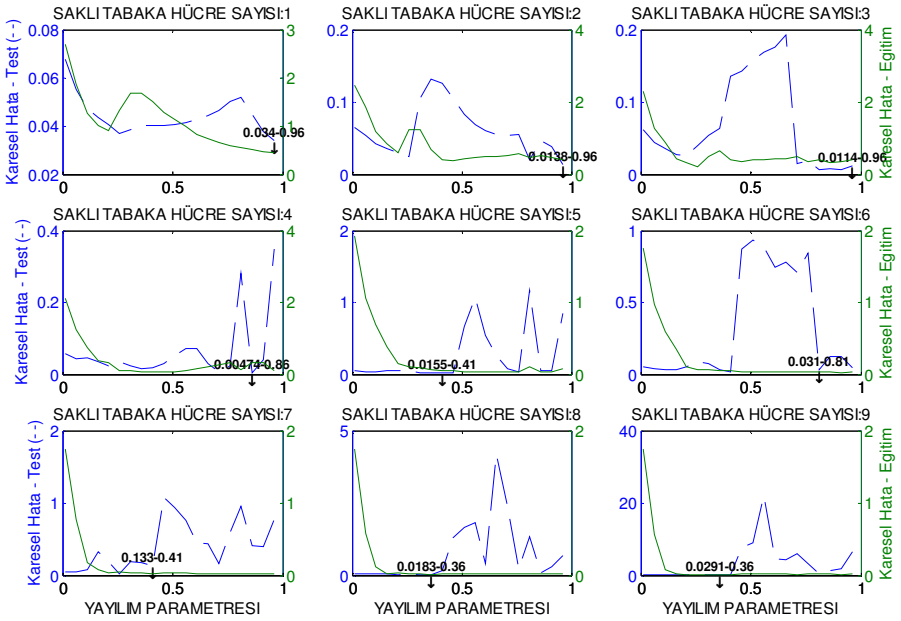
Çizelge 5.11'te RTYSA modellerinin performans değerleri toplu olarak görülmektedir. Tüm gözlem noktaları için 0.1 - 0.9 arası ölçekleme yapılmış 2 girişli

modellerin performansları üzerinde radyal tabanlı sinir ağının etkisi incelendiğinde genel olarak tahminlerin gerçek sonuçlara çok yaklaşmış ve gerçek verilerdeki değişimleri iyi yakalamış olduğu görülmektedir. Karekök dönüşümü yapılmamış sonuçlarda 2., 5. ve 6. gözlem noktalarındaki performanslar, 7. ve 9. gözlem noktalarındaki performanslardan R^2 ve OKH bazında daha iyi çıkmıştır. Radyal tabanlı sinir ağlarında 0 ile 1 arasında denenen yayılım parametresi genelde 1'e yakın çıkmıştır. Saklı tabaka hücre sayılarında belirli bir eğilim yoktur. Çizelge 5.11'e göre karekök dönüşümü yapılmış verilerin yapılmamışlara oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Tüm ölçüm noktalarında karekök dönüşümü R^2'de yükseliş, OKH'da düşüş meydana getirmiştir. Ayrıca yayılım parametreleri karekök dönüşümü yapılmış RTYSA'da dönüşüm yapılmamış modellere göre daha düşük çıkmıştır. Genel olarak karekök dönüşümlü RTYSA modelinin tüm çıkışları gerçek sonuçlara çok yaklaşmış ve gerçek verilerdeki değişimleri iyi yakalamıştır.

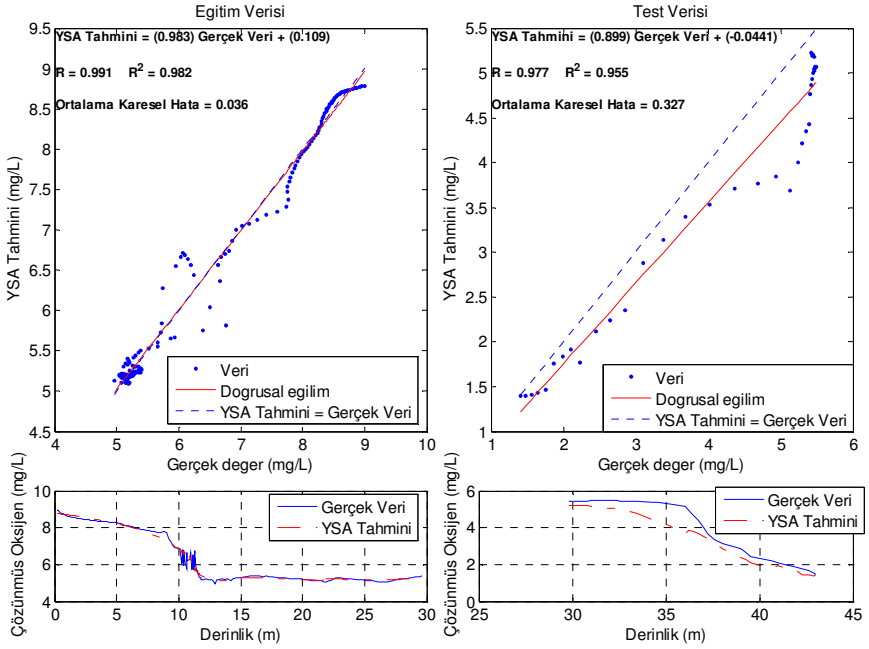
Çizelge 5.11 : Çarpıklık dönüşümü yapılmamış ve karekök dönüşümü yapılmış RTYSA performansları.

	RADYAL TABANLI AĞ - 2 GİRİŞ - Ölçekleme: 0.1 - 0.9									
	DÖNÜŞÜMSÜZ					KAREKÖK DÖNÜŞÜMLÜ				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	**91**	95	96	76	64	**91**	**96**	**97**	**79**	**96**
OKH	0.01	**0.4**	**0.08**	**0.5**	1.9	**0.005**	**0.4**	0.1	**0.5**	**0.1**
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	3	3	8	2	6	4	3	2	6	9
Optimum yayılım parametresi	0.96	0.96	0.41	0.76	0.56	0.86	0.96	0.41	0.61	0.41

Aşağıdaki şekillerde tüm gözlem noktaları için 0.1 - 0.9 arası ölçeklendirme kullanılan 2 girişli ve verilere karekök dönüşümü yapılmış tahminler gösterilmiştir.

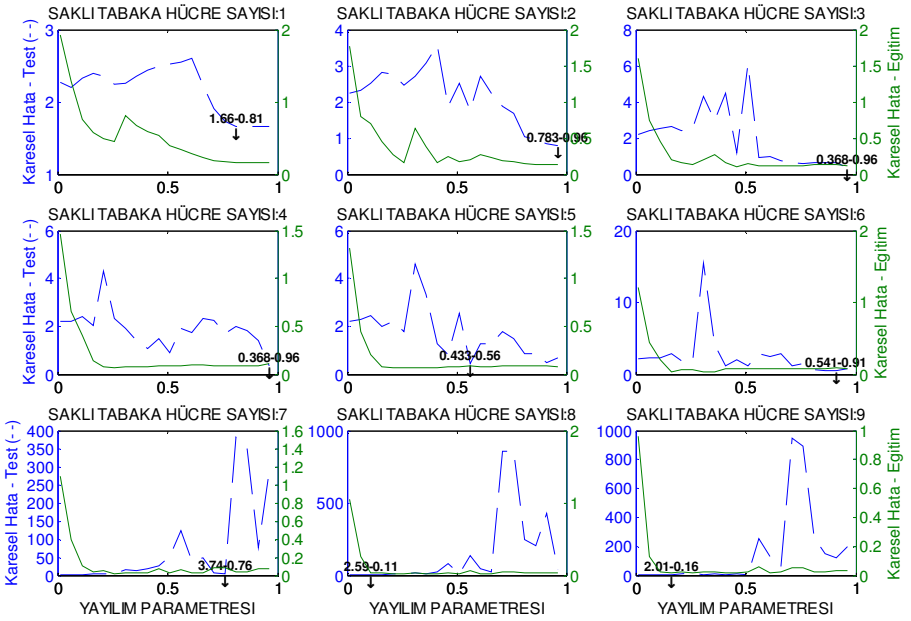


Şekil 5.42 : RTYSA'da 2. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri.

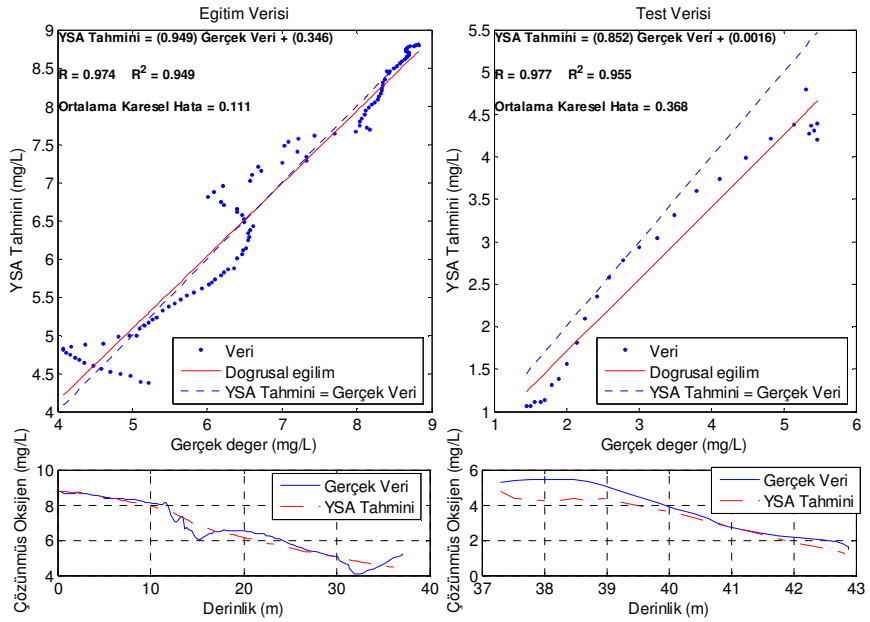


Şekil 5.43 : RTYSA'da 2. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.42'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 4, yayılım parametresi 0.86 bulunmuştur. Şekil 5.43'a göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

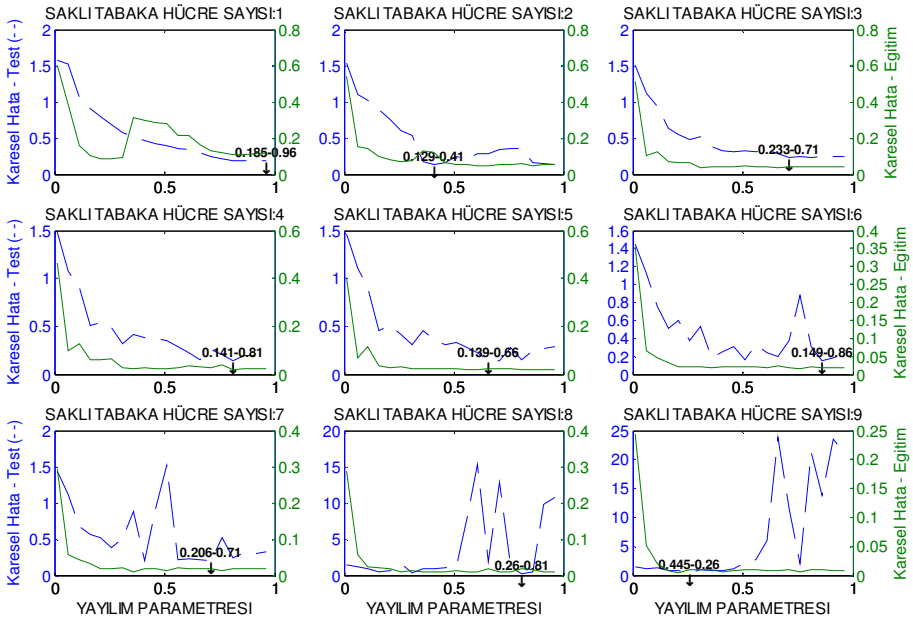


Şekil 5.44 : RTYSA'da 5. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri.

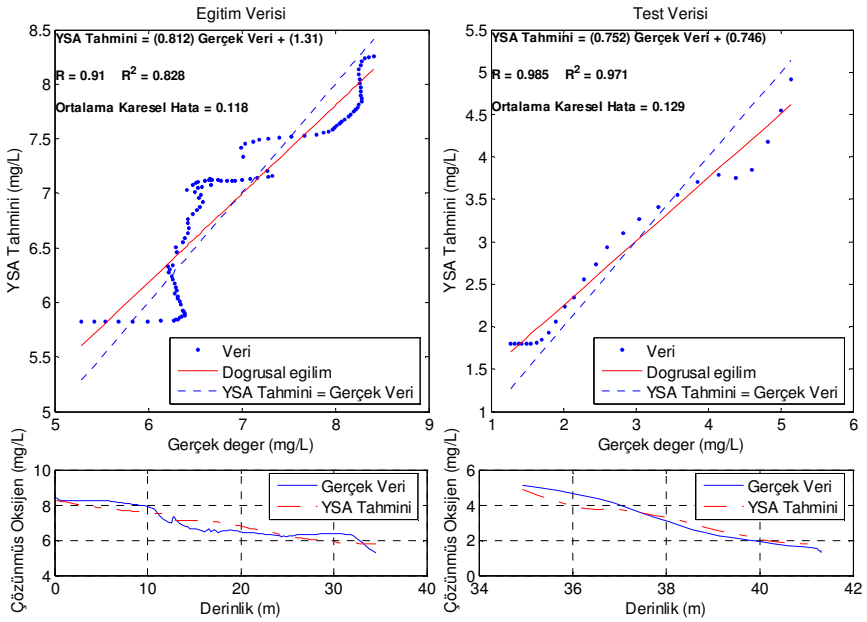


Şekil 5.45 : RTYSA'da 5. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.44'a göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 3, yayılım parametresi 0.96 bulunmuştur. Şekil 5.45'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

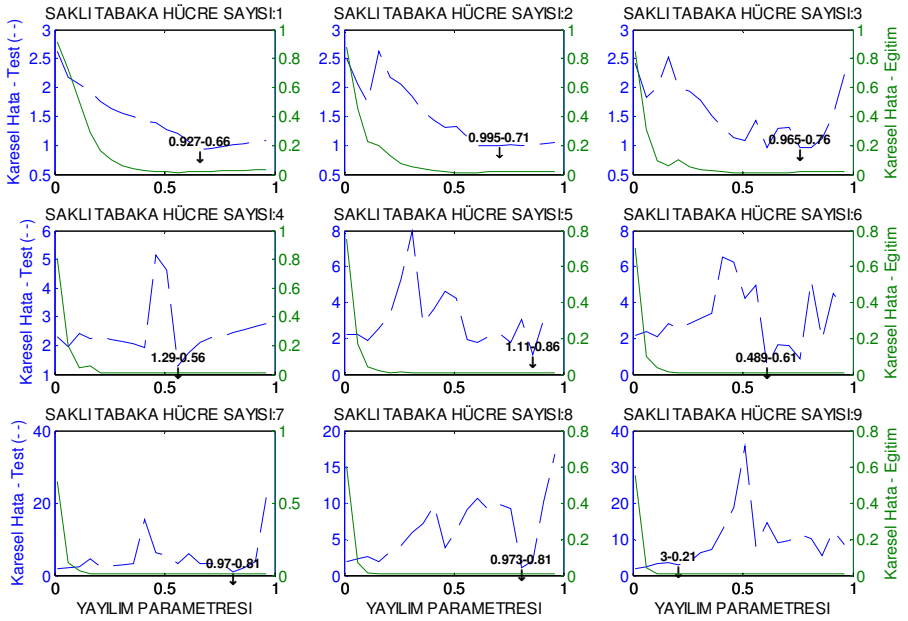


Şekil 5.46 : RTYSA'da 6. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri.

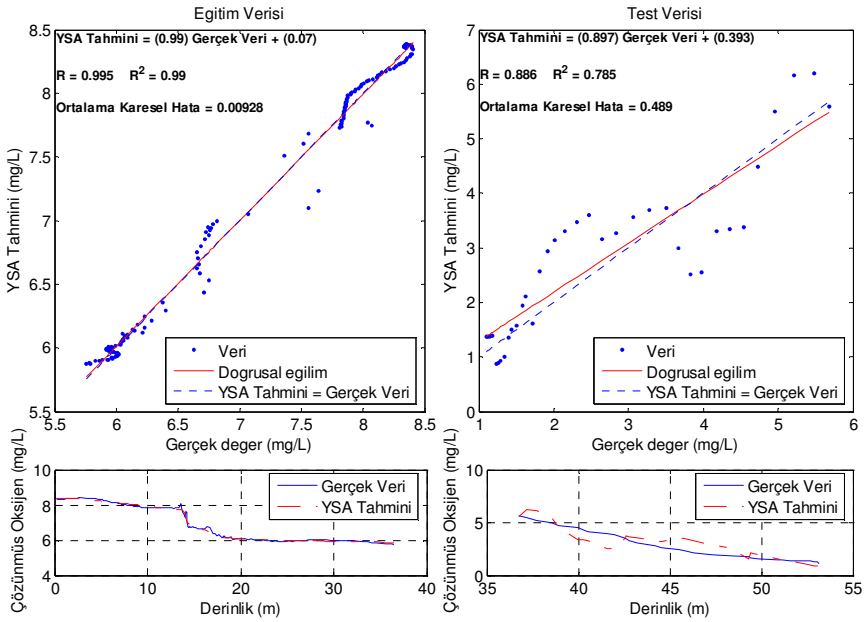


Şekil 5.47 : RTYSA'da 6. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.46'ye göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 2, yayılım parametresi 0.41 bulunmuştur. Şekil 5.47'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

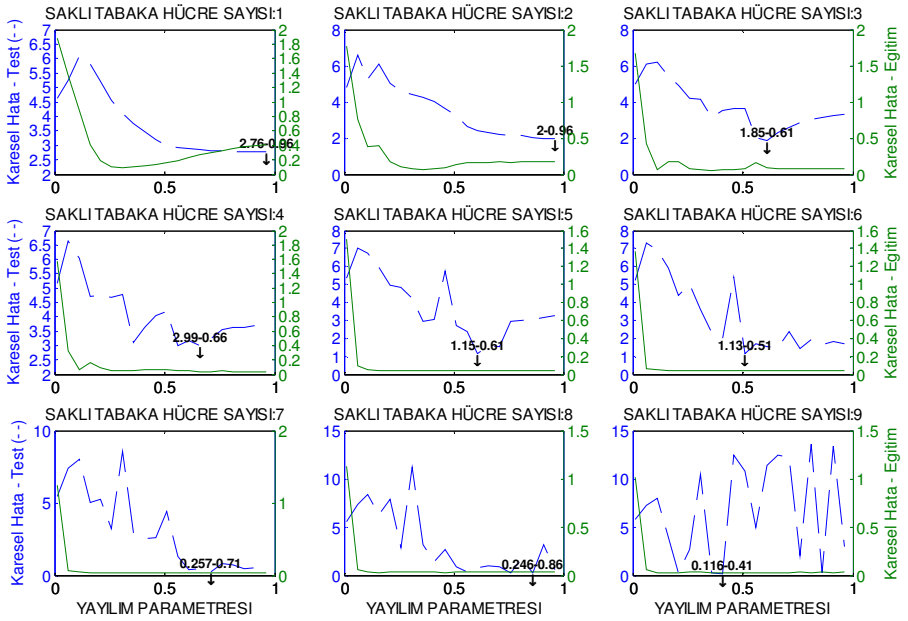


Şekil 5.48 : RTYSA'da 7. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri.

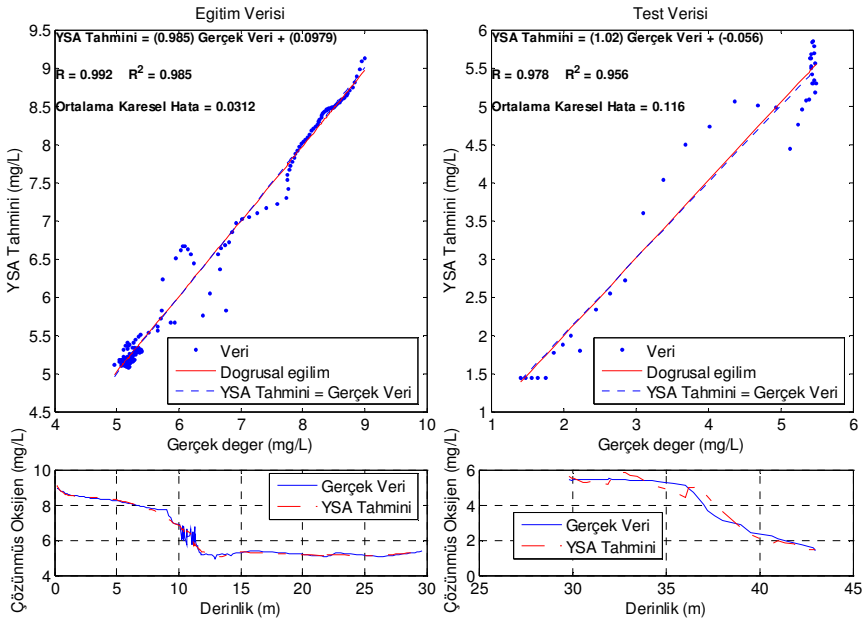


Şekil 5.49 : RTYSA'da 7. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.48'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 6, yayılım parametresi 0.61 bulunmuştur. Şekil 5.49'e göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.



Şekil 5.50 : RTYSA'da 9. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin karesel hata grafikleri.



Şekil 5.51 : RTYSA'da 9. gözlem noktasının 2 girişli karekök dönüşümlü tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.50'ya göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 9, yayılım parametresi 0.41 bulunmuştur. Şekil 5.51'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

5.1.3 Geneleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları (GRYSA) ile tahmin uygulamaları

GRYSA RTYSA ile benzerlik gösterir. Burada değişik olan saklı tabaka hücre sayısının sisteme girilemiyor olmasıdır. GRYSA fonksiyonu (newgrnn) sadece yayılım parametresini giriş olarak kabul eder. Saklı tabaka hücre sayısını kendisi ayarlar. Yayılım parametresi 0 ile 1 arasında artarken diğer ağlardan faklı olarak eğitim hatası da sürekli artmaktadır. Bu sebepten minimum test hatası eğitim hatasını dikkate almadan en küçük test hatasını seçme yoluna giderek hesaplanmıştır. Önceki modellerdeki gibi çalışma Çizelge 5.1'deki değerlere göre yapılmıştır. Eğitim işleminden sonra eğitim ve test verilerinin simülasyonu yapılmış, eğitim ve test çıkışlarının ortalama karesel hataları ve test çıkışlarının determinasyon katsayısı hesaplanmıştır.

5.1.3.1 GRYSA uygulamalarının değerlendirilmesi

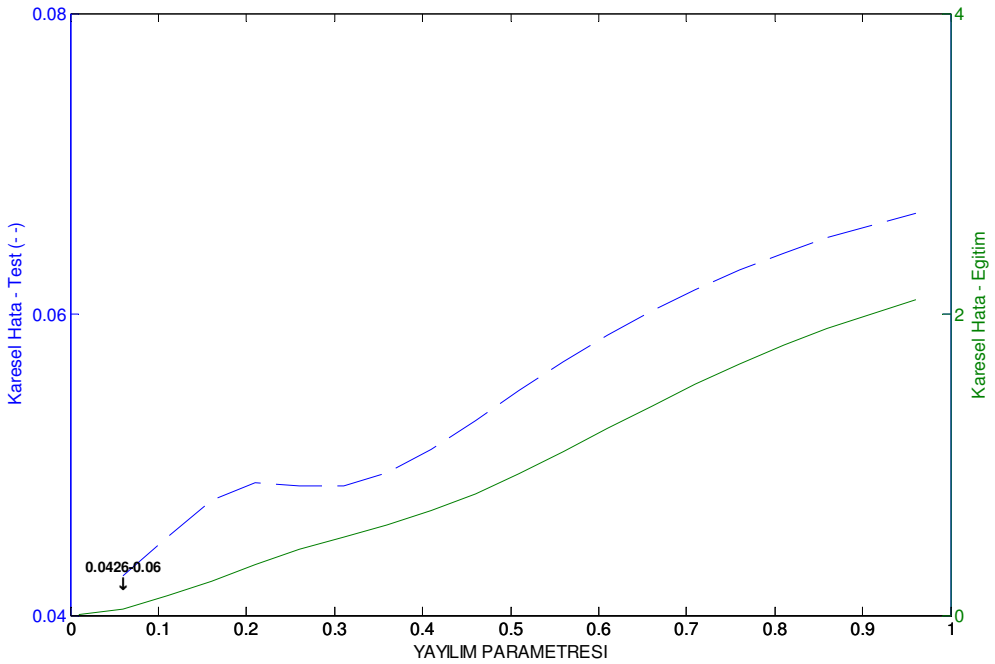
Tüm gözlem noktaları için 0.1 - 0.9 arası ölçekleme yapılmış 2 girişli modellerin performansları üzerinde genelleştirilmiş regresyon sinir ağının etkisi incelendiğinde genel olarak tahminlerin Çizelge 5.12'de de gösterildiği gibi R^2 ve OKH bazında belli bir eğilim yakalayamadığı görülmektedir. Karekök dönüşümü yapılmamış sonuçlarda sadece 6. gözlem noktası yüksek R^2, düşük OKH değerlendirmesinde iyi performanslar göstermiştir. Genelleştirilmiş regresyon sinir ağlarında 0 ile 1 arasında optimize edilen yayılım parametresi RTYSA tersine 1'e değil 0'a yakın çıkmıştır. GRYSA'da yayılım parametresi verinin uyduğu marjinal olasılık dağlımı hakkında bilgi vermektedir. Yayılım parametresi büyüdükçe (1'e yaklaştıkça) veri normal dağılıma o kadar yaklaşır. Yayılım parametresi 0'a ne kadar yaklaşırsa dağılım o kadar çarpıktır (Specht, 1991). Saklı tabaka hücre sayısını kendisi ayarlayan GRYSA bu modeller için giriş vektörünün adeti kadar saklı tabaka hücre sayısı atamıştır. R^2 için belli bir performans değeri yakalanamamış olmasında modellerdeki saklı tabaka hücre sayılarının çok yüksek olmasıda etkili olmuş olabilir. Çizelge 5.12'ye göre karekök dönüşümü yapılmış verilerin yapılmamışlara oranla daha kötü sonuçlar verdiği görülmüştür. Genel olarak karekök dönüşümü R^2'de düşüş, OKH'da artış meydana getirerek modellerin performansını azaltmıştır. Buna karşın GRYSA'da karekök dönüşümünün yayılım parametreleri üzerinde net bir etki yaratmadığı söylenebilir. Genel olarak modelin tüm çıkışları gerçek sonuçlara çok fazla yaklaşmamıştır ve gerçek verilerdeki değişimleri iyi yakalamamıştır.

Performanslardaki bu düşüşün sebebi ağ tarafından otomatik olarak atanan ve her gözlem noktası için kendi giriş vektörü sayısı kadar olan yüksek adette saklı tabaka hücre sayısı olabilir.

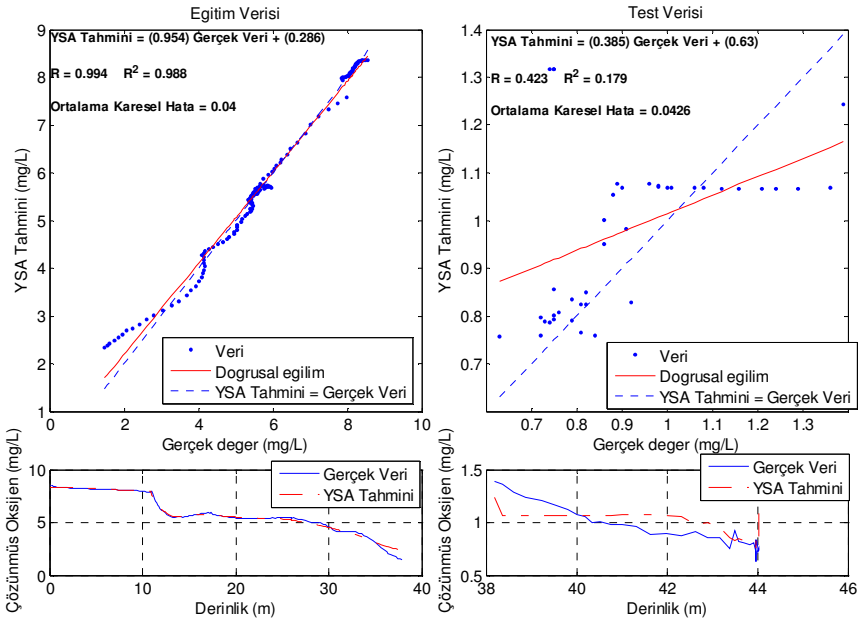
Çizelge 5.12 : Çarpıklık dönüşümü yapılmamış ve karekök dönüşümü yapılmış GRYSA performansları.

	GENELLEŞTİRİLMİŞ REGRESYON AĞI 2 GİRİŞ - Ölçekleme: 0.1 - 0.9									
	DÖNÜŞÜMSÜZ					KAREKÖK DÖNÜŞÜMLÜ				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	**18**	**5**	**84**	**35**	**70**	15	**5**	80	20	48
OKH	**0.04**	**2.2**	**0.3**	**1.4**	**3.3**	**0.04**	**2.2**	0.4	1.8	3.6
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	166	110	106	149	162	166	110	106	149	162
Optimum yayılım parametresi	0.06	0.41	0.01	0.21	0.61	0.06	0.41	0.01	0.31	0.26

Aşağıdaki şekillerde tüm gözlem noktaları için 0.1 - 0.9 arası ölçeklendirme kullanılan 2 girişli ve verilere dönüşüm yapılmamış tahminler gösterilmiştir.

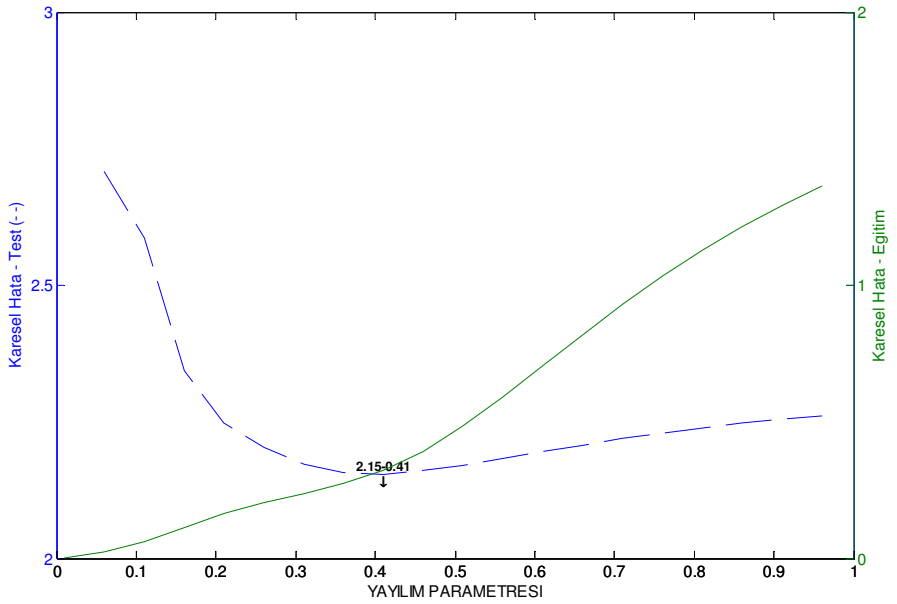


Şekil 5.52 : GRYSA'da 2. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri.

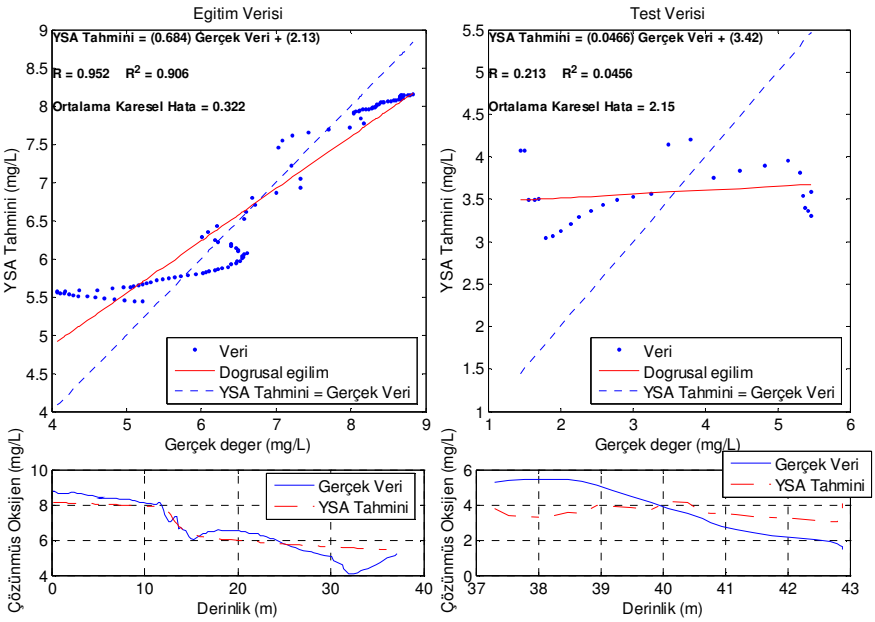


Şekil 5.53 : GRYSA'da 2. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.52'e göre optimum yayılım parametresi 0.06 bulunmuştur. Saklı tabaka hücre sayısı 166'dır. Şekil 5.53'a göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşmış ama gerçek verideki salınımları yakalayamamıştır.

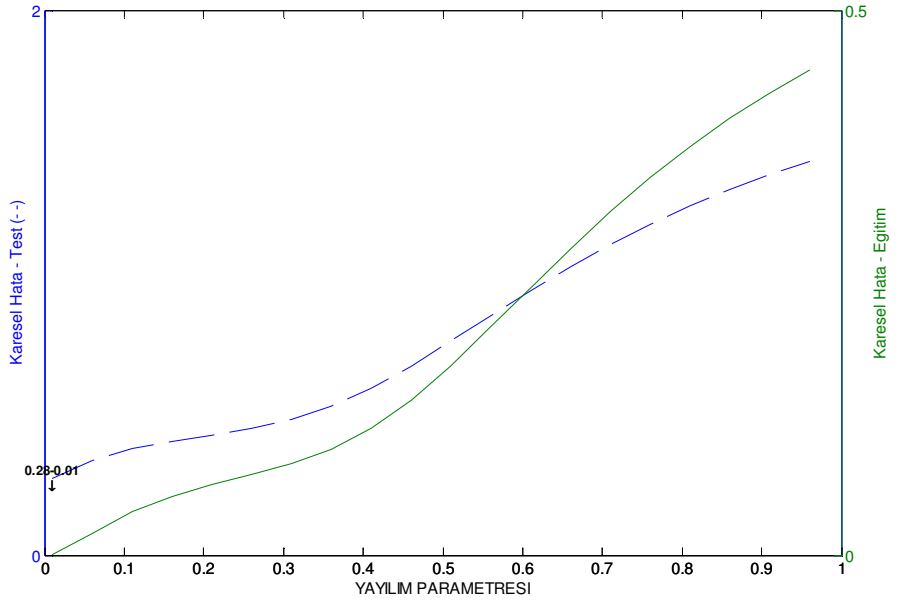


Şekil 5.54 : GRYSA'da 5. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri.

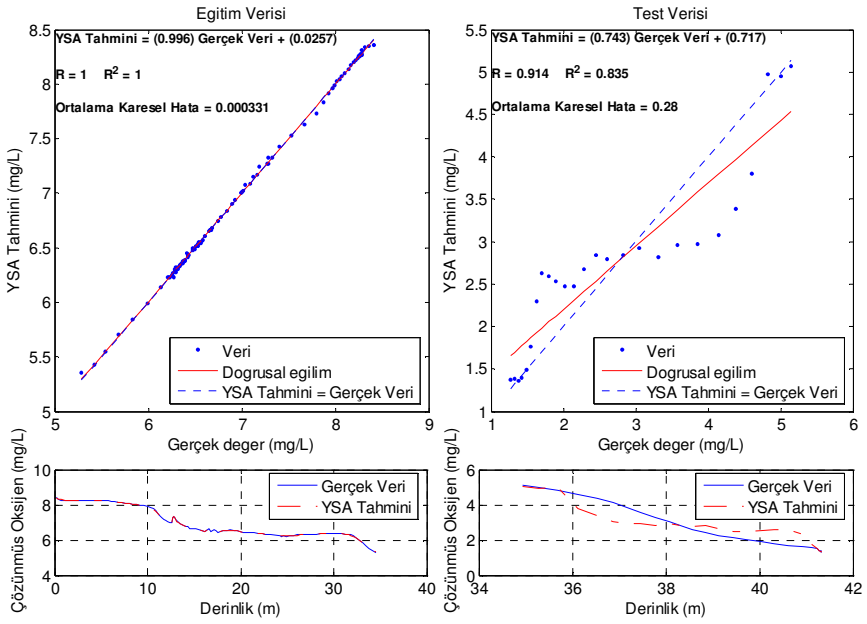


Şekil 5.55 : GRYSA'da 5. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.54'e göre optimum yayılım parametresi 0.41 bulunmuştur. Saklı tabaka hücre sayısı 110'dır. Şekil 5.55'e göre test tahminleri gerçek veriye pek yaklaşamamış ve gerçek verideki salınımları yakalayamamıştır.

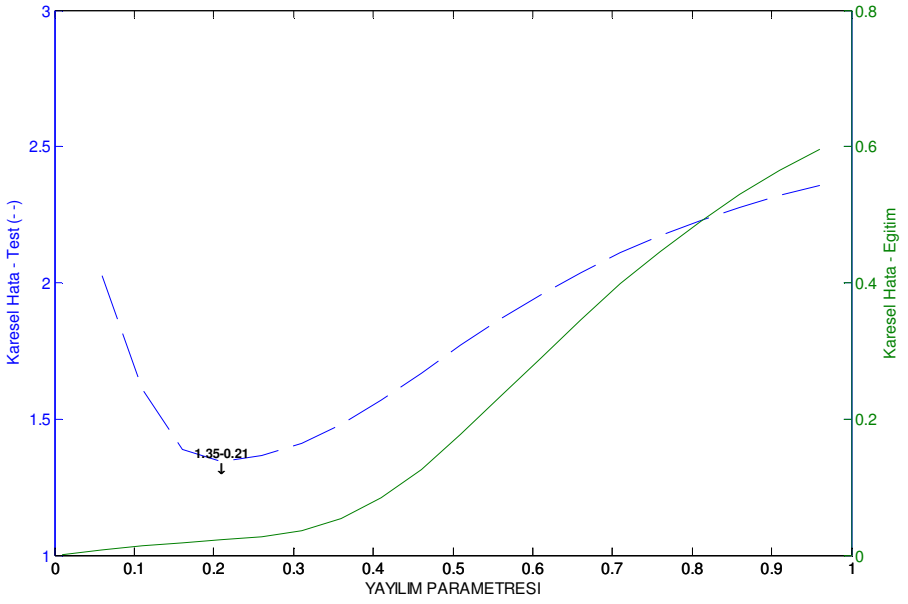


Şekil 5.56 : GRYSA'da 6. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri.

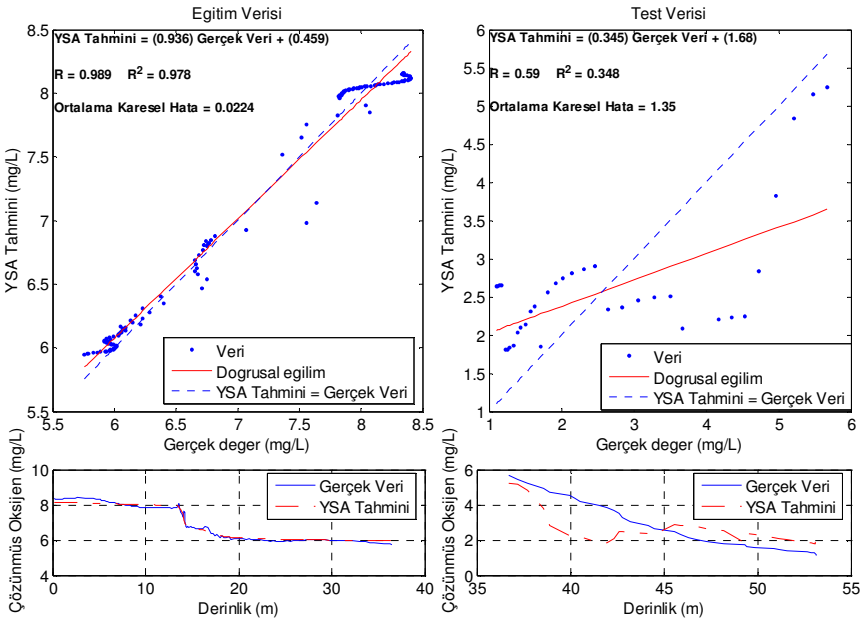


Şekil 5.57 : GRYSA'da 6. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.56'ye göre optimum yayılım parametresi 0.01 bulunmuştur. Saklı tabaka hücre sayısı 106'dır. Şekil 5.57'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.

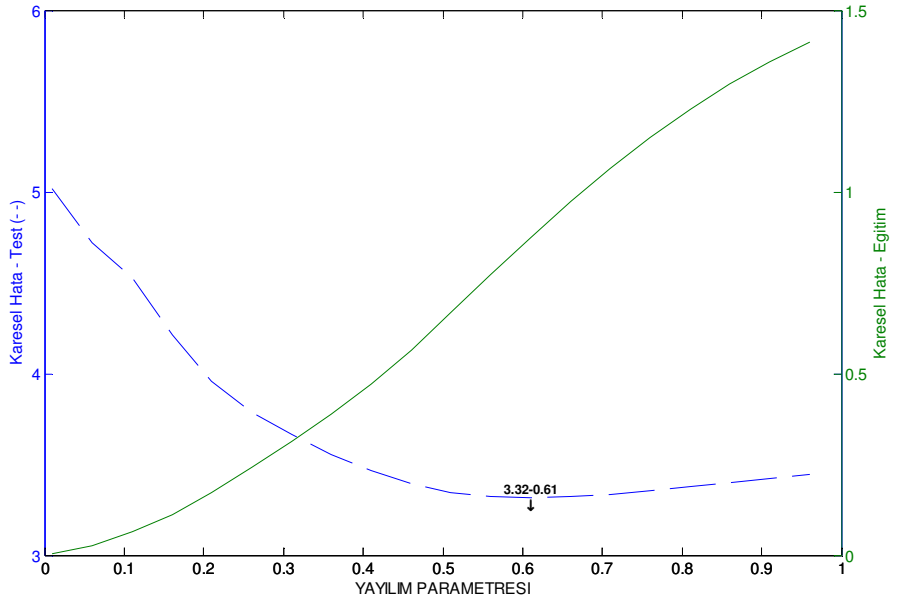


Şekil 5.58 : GRYSA'da 7. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri.

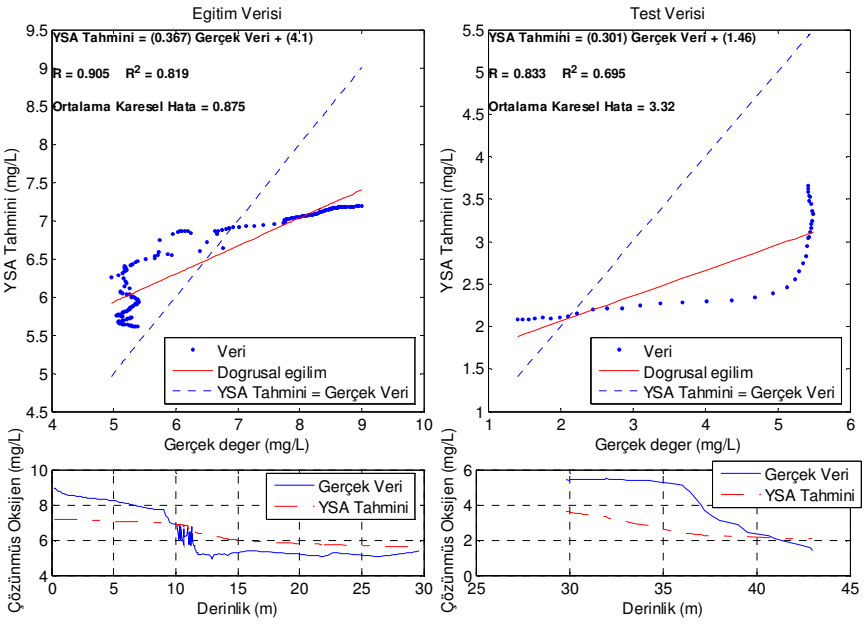


Şekil 5.59 : GRYSA'da 7. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.58'e göre optimum yayılım parametresi 0.21 bulunmuştur. Saklı tabaka hücre sayısı 149'dır. Şekil 5.59'e göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşamamış ve gerçek verideki salınımları yakalayamamıştır.



Şekil 5.60 : GRYSA'da 9. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin karesel hata grafikleri.

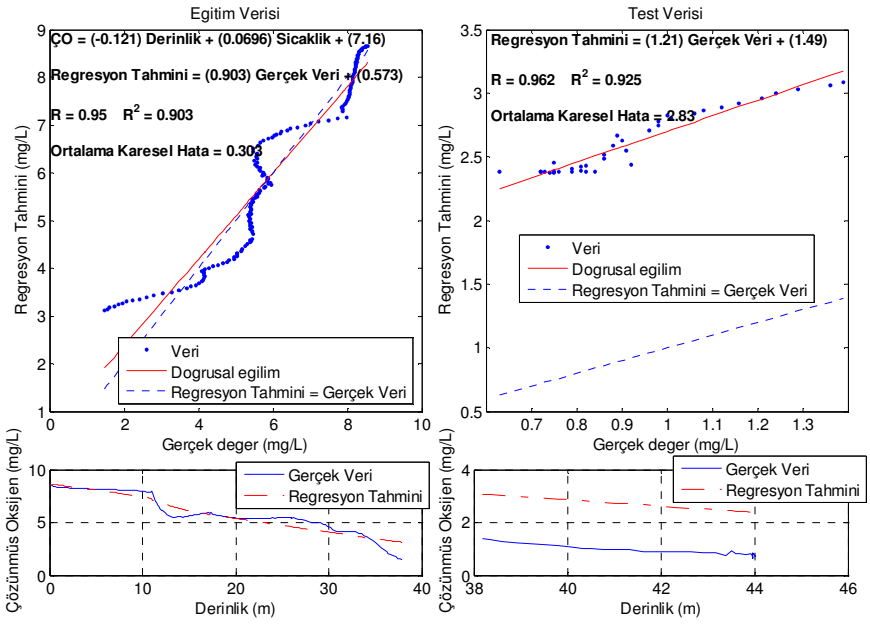


Şekil 5.61 : GRYSA'da 9. gözlem noktasının 2 girişli dönüşümsüz tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.60'ya göre optimum yayılım parametresi 0.61 bulunmuştur. Saklı tabaka hücre sayısı 162'dır. Şekil 5.61'e göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşamamış ve gerçek verideki salınımları yakalayamamıştır.

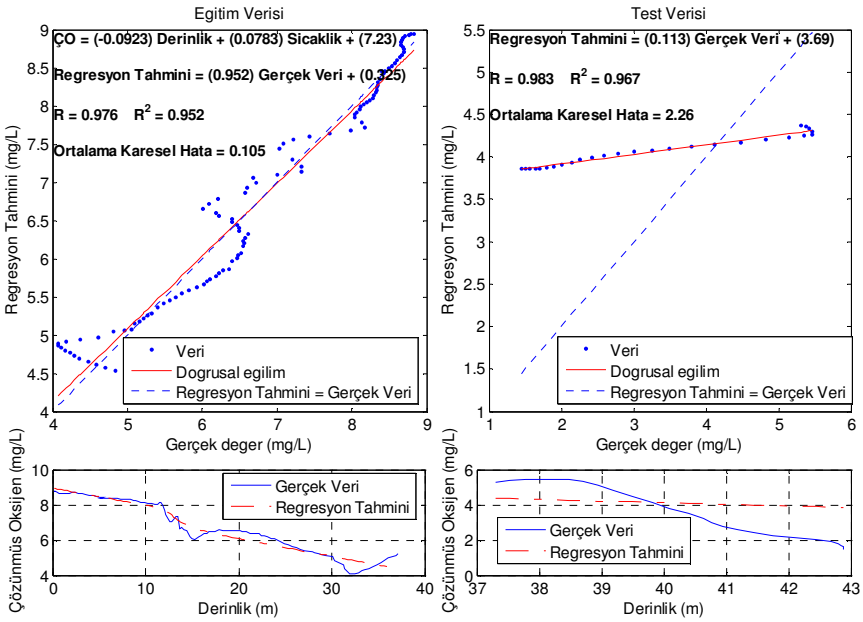
5.1.4 Çok değişkenli doğrusal regresyon uygulaması

Yapay sinir ağlarını bir istatistiksel yöntem olan çok değişkenli doğrusal regresyonla kıyaslamak için tüm gözlem noktası verileri Çizelge 5.1'deki adetlere göre eğitim ve test işlemlerinden geçirilmiştir. Eğitim verileriyle bir regresyon denklemi bulunmuştur. Bu denklem bağımsız değişkenleri giriş verileri olan sıcaklık ve derinlik, bağımlı değişkeni tahmin çıkışı olan ÇO'dir. Eğitim işleminde derinlik ve sıcaklık için katsayılar bulunmuş ve sabit terim hesaplanmıştır. Çıkan bu formül test giriş verileri olan tüm verilerin % 20'lik kısmına uygulanmıştır. Sonuçlar regresyon tahmin sonuçları olarak test verisi grafiklerinde gösterilmiştir. YSA'da olduğu gibi verilere normalizasyon uygulanmamıştır. Çok değişkenli doğrusal regresyonla yapılan bu hesaplamaların tüm gözlem noktaları için grafikleri aşağıda verilmiştir. Test sonuçlarına bakıldığında salınımları iyi yakalayan regresyon modelinin ortalama karesel hatanın bir yansıması olan gerçek veriye yakınlık performansı diğer modellere kıyasla çok daha kötüdür.



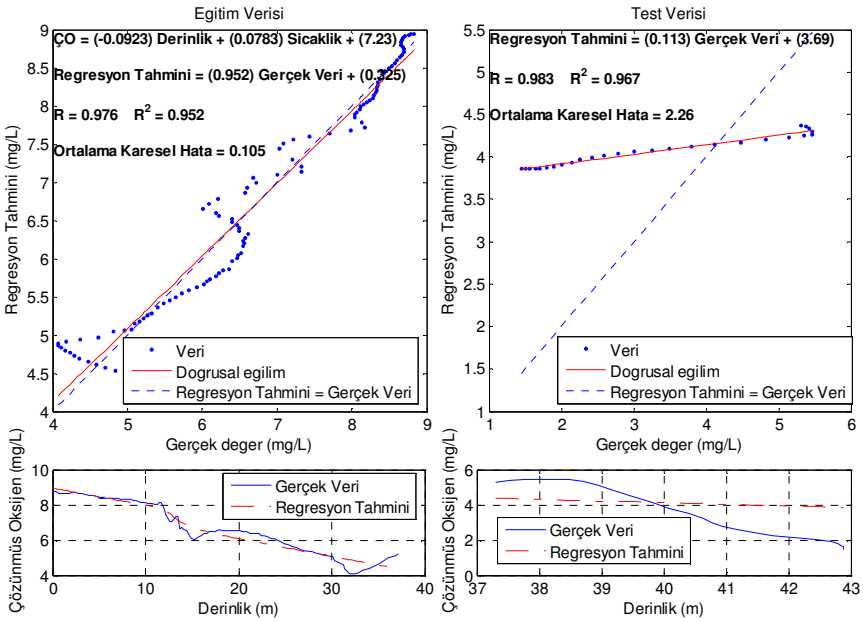
Şekil 5.62 : Regresyon'da 2. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Eğitim verisinin saçılım grafiğinde ÇO, derinlik ve sıcaklık arasındaki ilişkinin matematiksel ifadesi verilmiştir. ÇO'deki değişim ile eşzamanlı olarak ele alınan sıcaklık ve derinlikteki değişim arasındaki ilişkinin derecesi yüksektir. Bunun göstergesi 0.95 değerindeki çoklu korelasyon katsayısı R'dir. ÇO'deki değişimi tahmin etmede sıcaklık ve derinliği bilmek % 90'lık bir doğruluk payı ile tahmine imkan tanımaktadır. Yani ÇO'deki değişimin % 90'ı sıcaklık ve derinlikteki değişimle açıklanabilir. Formülde yer alan derinlik ve sıcaklık katsayıları ise bu değişkenlerin nisbi etkisini veya ÇO'i açıklama kabiliyetini göstermektedir. ÇO'nin derinlikle arasında ters yönlü, sıcaklıkla ise doğru orantılı bir ilişkisi bulunmaktadır. Formüldeki sabit sayı ise derinlik ve sıcaklığın dikkate alınmaması durumunda ortaya çıkacak olan ÇO miktarını göstermektedir. Şekil 5.62'e ise test tahminleri görülmektedir. Bu tahminler gerçek veriden çok uzak kalmış ama gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.



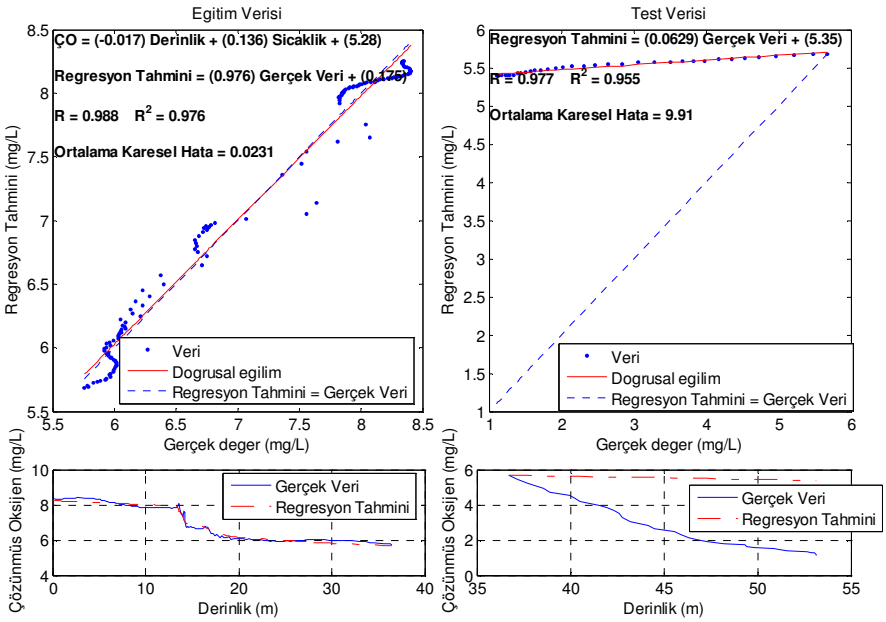
Şekil 5.63 : Regresyon'da 5. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Eğitim verisinin saçılım grafiğinde ÇO'deki değişim ile sıcaklık ve derinlikteki değişim arasındaki ilişkinin derecesi 0.98 bulunmuştur. ÇO'deki değişimin % 95'i sıcaklık ve derinlikteki değişimle açıklanabilir. ÇO'le arasında ters yönlü bir ilişki bulunan derinliğin ÇO'i açıklama kabiliyeti ÇO'le arasında doğru orantılı bir ilişki bulunan sıcaklığın açıklama kabiliyetinden yüksektir. Fakat eğitim verilerinde çıkan sonuçların aksine Şekil 5.63'a göre bu denklemi kullanarak bulunan test tahminleri ile gerçek veri arasındaki karesel hata büyük çıkmıştır.



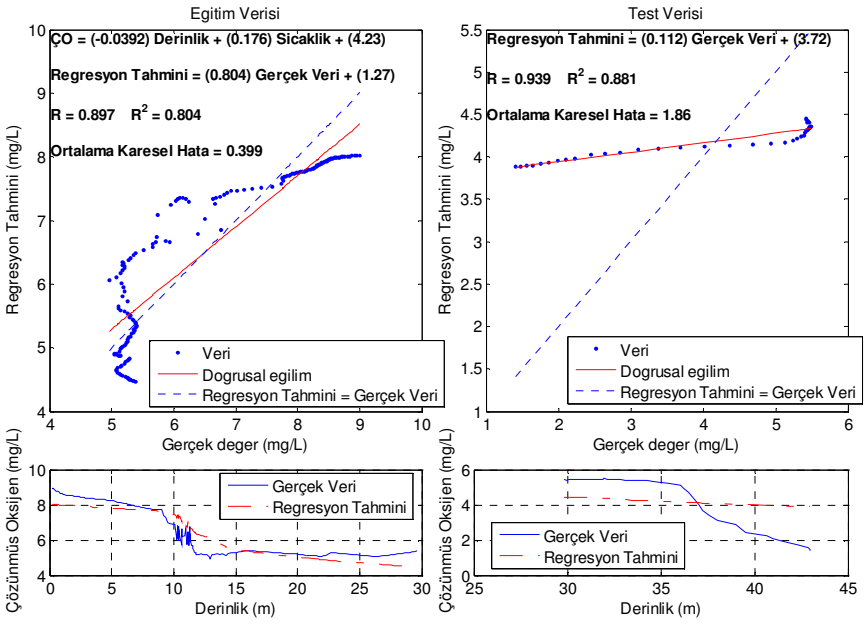
Şekil 5.64 : Regresyon'da 6. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Eğitim verisinin saçılım grafiğinde ÇO'deki değişim ile sıcaklık ve derinlikteki değişim arasındaki ilişkinin derecesi 0.95 bulunmuştur. ÇO'deki değişimin % 90'ı sıcaklık ve derinlikteki değişimle açıklanabilir. ÇO'le arasında doğru orantılı bir ilişki bulunan sıcaklığın açıklama ÇO'i açıklama kabiliyeti ÇO'le arasında ters yönlü bir ilişki bulunan derinliğin ÇO'i açıklama kabiliyetinden yüksektir. Eğitim verilerinde çıkan sonuçların aksine Şekil 5.64'e göre test tahminleri gerçek veriden çok uzak kalmıştır.



Şekil 5.65 : Regresyon'da 7. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Eğitim verisinin saçılım grafiğinde ÇO'deki değişim ile sıcaklık ve derinlikteki değişim arasındaki ilişkinin derecesi 0.99 bulunmuştur. ÇO'deki değişimin % 98'i sıcaklık ve derinlikteki değişimle açıklanabilir. ÇO'le arasında doğru orantılı bir ilişki bulunan sıcaklığın açıklama ÇO'i açıklama kabiliyeti ÇO'le arasında ters yönlü bir ilişki bulunan derinliğin ÇO'i açıklama kabiliyetinden yüksektir. Eğitim verilerinde çıkan sonuçların aksine Şekil 5.65'e göre test tahminleri gerçek veriden çok uzak kalmıştır.



Şekil 5.66 : Regresyon'da 9. gözlem noktasının 2 girişli tahminin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Eğitim verisinin saçılım grafiğinde ÇO'deki değişim ile sıcaklık ve derinlikteki değişim arasındaki ilişkinin derecesi 0.90 bulunmuştur. ÇO'deki değişimin % 80'i sıcaklık ve derinlikteki değişimle açıklanabilir. ÇO'le arasında doğru orantılı bir ilişki bulunan sıcaklığın açıklama ÇO'i açıklama kabiliyeti ÇO'le arasında ters yönlü bir ilişki bulunan derinliğin ÇO'i açıklama kabiliyetinden yüksektir. Eğitim verilerinde çıkan sonuçların aksine Şekil 5.66'ye göre test tahminleri gerçek veriden uzak kalmıştır.

5.1.4.1 Regresyon uygulamasında çarpıklık katsayısının etkisinin incelemesi

Regresyon sonuçlarında çarpıklık etkisinin incelenmesi için verilere daha önce YSA modellerinde olduğu gibi dönüşümler uygulanmıştır. Fakat YSA'da dönüşümler sadece çarpıklığı azalttığında kullanılmış olmasına karşın burada yöntemin yapısı gereği tüm verilere aynı anda uygulanmış ve dönüştürülmüş verilerle eğitim yapılmış ve kat sayılar bulunmuştur. Daha sonra test verilerinin simülasyonu yapılmıştır. Sonuçlar en sonunda geri döndürülmüştür. Dönüşüm yapılarak kullanılan veriler daha kötü sonuçlar vermiştir. Çizelge 5.6'de görüldüğü gibi bazı dönüşümlerde veri normal dağılımdan daha çok uzaklaşmıştır. Bu dönüşümlerin kullanılmasının sonuçların performansını düşürmüş olabilir.

Çizelge 5.13 : 2 girişli regresyon uygulaması için determinasyon katsayısı ve ortalama karesel hata.

2 GİRİŞLİ ÇDDR PERFORMANS DEĞERLERİ																				
	DÖNÜŞÜMSÜZ					ln DÖNÜŞÜMLÜ					KAREKÖK DÖNÜŞÜMLÜ					1/y DÖNÜŞÜMLÜ				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2	92	**97**	98	96	**98**	82	82	98	94	82	**93**	**97**	**99**	**97**	87	11	56	92	2	62
OKH	**2.8**	**2.3**	**9.9**	**9.9**	**1.9**	10	5	12	11	2	7	4	11	11	1.9	8	5	12	11	3

5.1.5 Göl genelinde derinliğe dayalı İBGYSA, RTYSA, GRYSA ve ÇDDR tahmin uygulamalarının genel değerlendirilmesi

En iyi model seçiminde Çizelge 5.14'de gösterildiği üzere İBGYSA ile RTYSA'nın performans değerlendirme ölçütleri birbirlerine yakın bulunmuştur. Dolayısıyla her iki modelde kullanılabilir ölçülerdedir. Cıgızoglu'nun (2003a; 2003b; 2004) çalışmalarında da İBGYSA extrapolasyonda iyi sonuçlar vermiştir. Düşük karesel hatalar ile gerçek değere yakınlık göstermekte ve yüksek belirleme katsayısı değerleriyle verilerdeki değişimi iyi bir şekilde yakalamaktadır.

Çizelge 5.14 : İBGYSA, RTYSA, GRYSA ve ÇDDR yöntemlerinin optimum performans değerleri.

	İLERİ BESLEMELİ GERİ YAYINIMLI AĞ - 2 GİRİŞ - KAREKÖK DÖNÜŞÜMLÜ - Transfer Fonksiyonu: LOGSİG TANSİG - Ölçekleme: 0.1 - 0.9					**RADYAL TABANLI AĞ - 2 GİRİŞ - KAREKÖK DÖNÜŞÜMLÜ - Ölçekleme: 0.1 - 0.9**				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	89	92	94	90	96	91	96	97	79	96
OKH	**0.005**	**0.3**	**0.1**	**0.3**	0.3	**0.005**	0.4	**0.1**	0.5	**0.1**
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	2	2	4	8	6	4	3	2	6	9
Optimum iterasyon sayısı/ yayılım parametresi	31	81	21	21	41	0.86	0.96	0.41	0.61	0.41

	REGRESYON – DÖNÜŞÜMSÜZ – 2 GİRİŞ					**GENELLEŞTİRİLMİŞ REGRESYON AĞI 2 GİRİŞ - DÖNÜŞÜMSÜZ - Ölçekleme: 0.1 - 0.9**				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	**92**	**97**	**98**	**96**	**98**	18	5	84	35	70
OKH	2.8	2.3	9.9	9.9	1.9	0.04	2.2	0.3	1.4	3.3
Optimum saklı tabaka hücre sayısı						166	110	106	149	162
Optimum yayılım parametresi						0.06	0.41	0.01	0.21	0.61

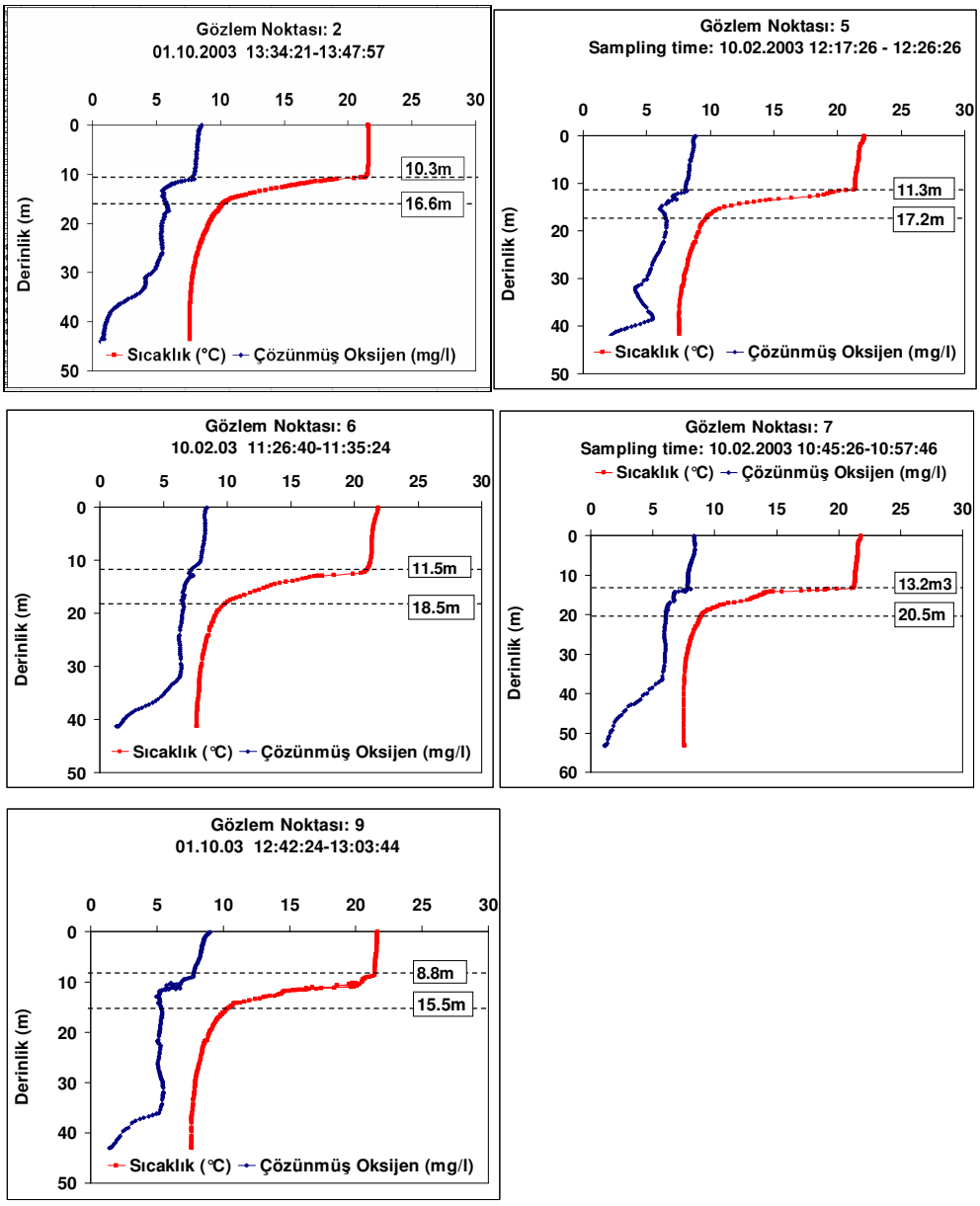
GRYSA saklı tabaka hücre sayısının fazlalığından dolayı tüm gözlem noktalarında İBGYSA ve RTYSA'dan daha yüksek hata ve daha düşük determinasyon katsayısı vermiştir. Çoklu doğrusal regresyon ise yüksek hassasiyetle salınımları yakalamasına karşın değerler gerçek verilerden oldukça uzaktır. GRYSA sonuçları gerçek verideki değişimi yakalamaktan uzak olmasına karşın ortalama karesel hataya yani geçeğe yakınlığına bakıldığında regresyondan daha çok tercih edilebilir gözükmektedir.

5.2 Göl Tabakalaşmasının Dikkate Alındığı İBGYSA İle Tahmin Uygulamaları

Bölüm 2'de bahsedildiği gibi göllerde yaz ve kış mevsiminde tabakalaşma olmaktadır. Bu tabakalaşmada göller sıcak olan üst tabaka, soğuk olan alt tabaka ve ortadaki geçiş tabakası olarak 3 kısma ayrılmaktadır. Şekil 5.67'de tüm gözlem noktaları için sıcaklık verisinin salınımlarına bakıldığında yaklaşık 10 ve 20 metre arasının geçiş tabakası olduğu gözlemlenmektedir. Bu tabakalar kendilerine ait fiziksel şartlara sahiptir. Bu bölümde her tabakayı kendi içinde bir bütün olarak değerlendirmenin ve dolayısıyla fiziksel yapısı faklı olan bir tabakayı diğerine karıştırmadan modeli kurmanın tahmin performansları üzerinde yaratacağı etki gözlemlenmiştir. Buna dayanarak giriş verileri olan sıcaklık ve derinlik ve çıkış verisi olan çözünmüş oksijen sıcaklığın gösterdiği tabakalaşma dikkate alınarak 3'e bölünmüştür. 1. tabaka her gözlem noktası verisi için faklı olmak üzere ama yaklaşık 10 metre civarlarında alınmıştır. 2. tabaka da ise iki seçenek vardır. Birincisi ara tabakayı dahil ederek geri kalan tüm verinin kullanılması ya da ara tabakayı çıkartıp geriye kalan verinin kullanılmasıdır. Burada ara tabakanın çıkartılmasının sebebi çok hızlı bir değişim gösterdiği için nispeten daha durağan olan alt tabakanın tahminini zorlaştıracak olmasıdır.

Bu tabakalarda daha önce olduğu gibi verilerin ilk % 80'i eğitim, son % 20'si test için ayrılmıştır. Çizelge 5.15'de tabakalaşmada kullanılan eğitim ve test verisi adetleri görülmektedir.

Çizelge A.3'de tabakalardaki verilerin çarpıklık katsayıları verilmiştir. Buna göre 1. tabakanın veri salınımı +1 ile -1 arasında değişim gösterirken ara tabakanın dahil olduğu ve olmadığı 2. tabaka kombinasyonlarında -2 ile +2 arası çarpıklık salınımı gözlenmiştir.



Şekil 5.67 : Gözlem noktalarındaki sıcaklık ve çözünmüş oksijenin derinliğe göre değişiminde ara tabakanın gösterimi.

Çizelge 5.15 : Tabakalaşmada kullanılan toplam veri adetleri, test verisi adetleri ve eğitim verisi adetleri.

	1. TABAKA				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9
Veri Adeti	43	36	33	68	54
Eğitim Verisi Adeti	35	29	27	55	44
Test Verisi Adeti	8	7	6	13	10
	2. TABAKA (Ara tabaka dahil)				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9
Veri Adeti	164	101	99	118	148
Eğitim Verisi Adeti	132	81	80	95	119
Test Verisi Adeti	32	20	19	23	29
	2. TABAKA (Ara tabaka dahil değil)				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9
Veri Adeti	125	77	69	78	91
Eğitim Verisi Adeti	100	62	56	63	73
Test Verisi Adeti	25	15	13	15	18

5.2.1 Göl tabakalaşmasının dikkate alındığı İBGYSA'ların değerlendirilmesi

Gölde faklı fiziksel şartlara sahip sıcak olan üst tabaka, soğuk olan alt tabaka ve ortadaki geçiş tabakasının kendi içinde modellenmesinin İBGYSA'ı üzerinde yaratacağı etkiyi incelemek amacıyla bu tabakalar kendi içinde bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Gözlem noktalarının tüm tabakaları için optimum değerler bulunup ve sonuçlar Çizelge 5.16'te verilmiştir. Fiziksel yapısı faklı olan bir tabakayı diğerinden ayrı olarak modellemenin tahmin performansları üzerindeki etkisi sıcaklıkla aynı salınımı takip eden 1. tabakada net bir şekilde görülürken, sıcaklıkla aynı salınımı göstermeyen 2. tabakada etkisiz kalmıştır. Sıcaklığın gösterdiği değişim dikkate alınarak tabakalara ayrılan sıcaklık (giriş), derinlik (giriş), çözünmüş oksijen (çıkış), logsig-tansig fonksiyonlu, karekök dönüşümü yapılmış ve 0.1 – 0.9 arasında ölçeklenmiş İBGYSA'da en düşük OKH'ya ve en yüksek R^2'ye göre 1. tabaka 2.tabakadan daha iyi sonuçlar vermiştir. OKH bazında tabakalara bölünmemiş veriden de daha iyi sonuçlar vermiştir. OKH'ya göre değerlendirme yaparsak, 2. tabaka ara tabakanın dahil olmadığı durumda ara tabakanın dahil olduğu duruma göre 6., 7., ve 9. gözlem noktalarında daha iyi sonuçlar vermiştir. Fakat 2. ve 5. gözlem noktalarında da daha iyi sonuçlar vermesi beklenirdi. Çizelge 5.17'de görüldüğü gibi faklı bir transfer çiftiyle denemiş hesaplarda da aynı sonuçları göstermiştir. Bunun sebebi çözünmüş oksijen tahmin verisi olduğu için tabakalara ayırma işleminin sıcaklığa göre yapılmış olması ve sıcaklıktaki salınımla ÇO'deki

salınımın birbirine benzememesi olabilir. Ayrıca Şekil 3.15'de 6., 7. ve 9. gözlem noktalarında ÇO'nin 2. ve 5. gözlem noktalarına göre daha düzgün bir değişim gösterdiği gözükmektedir. Dolayısıyla tabakalara bölünmemiş veriyle karşılaştırıldığında 2. tabakanın sonuçları iyi değildir.

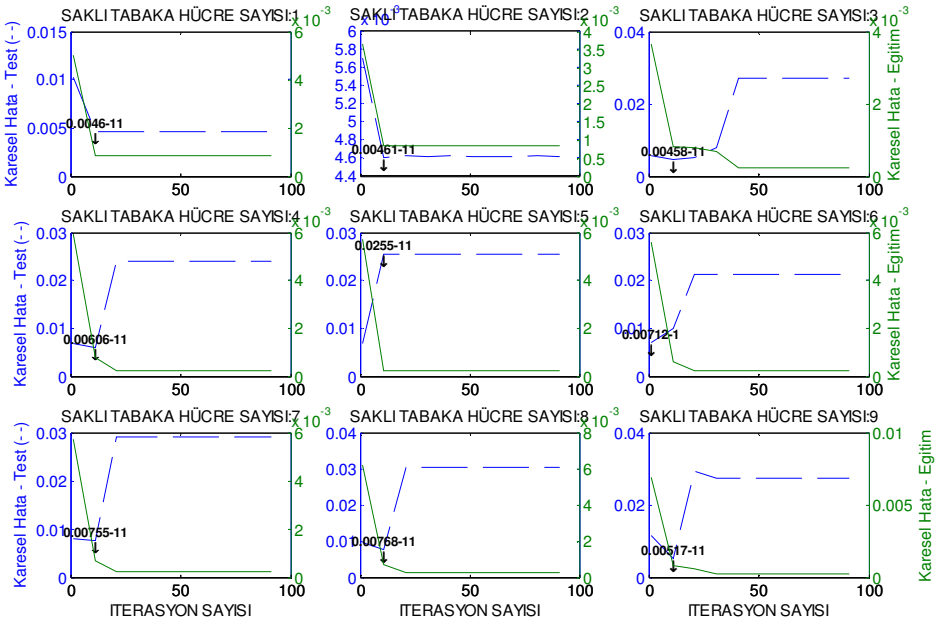
Çizelge 5.16 : Farklı göl tabakaları için İBGYSA'nın performansları.

İLERİ BESLEMELİ GERİ YAYINIMLI AĞ - 2 GİRİŞ - Transfer Fonksiyonu: LOGSİG, TANSİG - KAREKÖK DÖNÜŞÜMLÜ - Ölçekleme: 0.1 - 0.9															
	1.TABAKA					2. TABAKA (Ara tabaka dahil)					2. TABAKA (Ara tabaka dahil değil)				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	95	95	98	64	94	65	93	61	61	50	1	81	80	87	29
OKH	0.001	0.0004	0.005	0.00005	0.0006	0.004	0.1	0.4	0.4	2.9	0.007	0.2	0.06	0.02	1.1
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	8	1	3	3	4	1	2	1	1	6	5	1	4	1	7
Optimum iterasyon sayısı	11	11	11	21	41	91	51	51	31	71	11	91	11	11	31

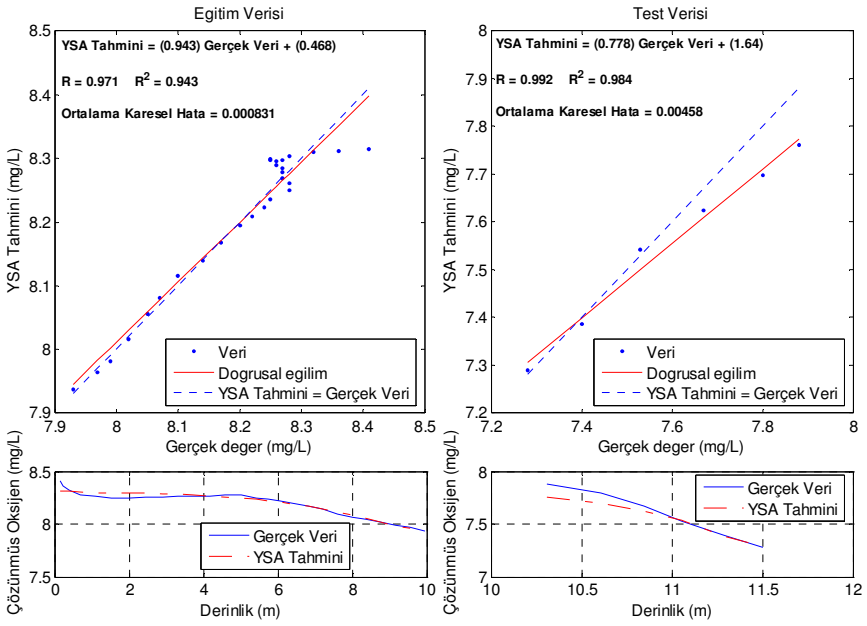
Çizelge 5.17 : Farklı göl tabakaları için tansig – logsig transfer fonksiyonlu performansları.

İLERİ BESLEMELİ GERİ YAYINIMLI AĞ - 2 GİRİŞ - Transfer Fonksiyonu: TANSIG, LOGSIG - KAREKÖK DÖNÜŞÜMLÜ - Ölçekleme: 0.1 - 0.9															
	1.TABAKA					2. TABAKA (Ara tabaka dahil)					2. TABAKA (Ara tabaka dahil değil)				
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
R^2 %	89	95	95	69	96	69	90	77	77	31	18	81	84	82	22
OKH	0.001	0.0004	0.004	0.00003	0.0007	0.007	0.2	0.3	0.3	3.8	0.005	0.2	0.04	0.02	1.3

Aşağıdaki şekillerde 6. gözlem noktasının 3 değişik tabakası için 0.1 - 0.9 arası ölçeklendirme ve karekök dönüşümü yapılmış verilerin ve transfer fonksiyonu olarak logsig – tansig'in kullanıldığı 2 girişli tahminler gösterilmiştir.

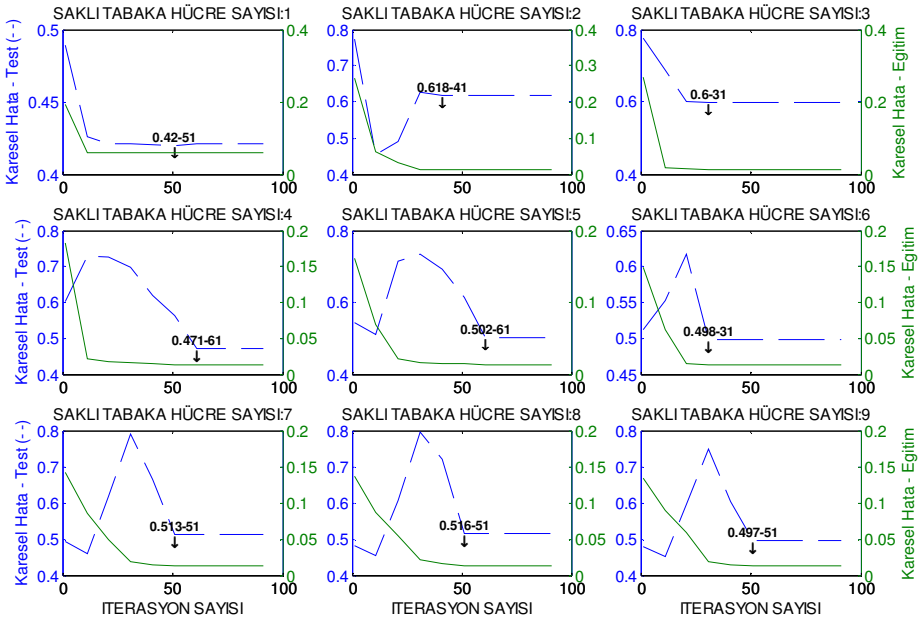


Şekil 5.68 : 6. gözlem noktasının 1. tabakasının karesel hata grafikleri.

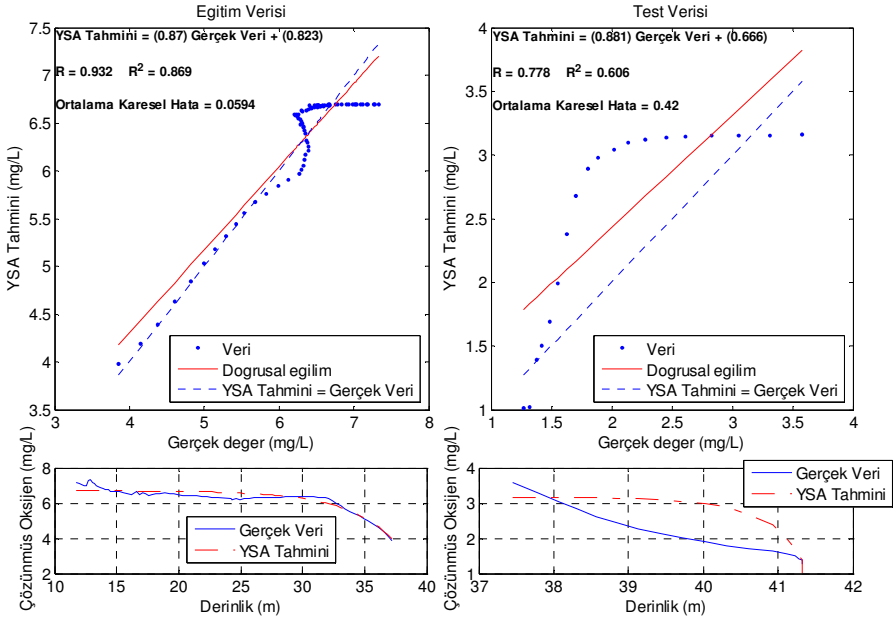


Şekil 5.69 : 6. gözlem noktasının 1. tabakasının tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.68'ye göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 3, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.69'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

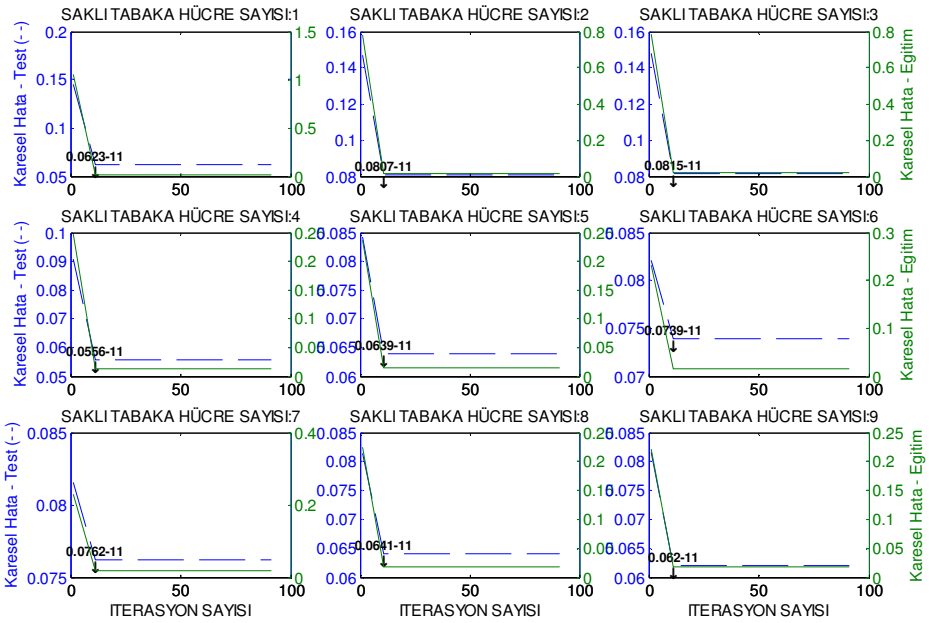


Şekil 5.70 : 6. gözlem noktasının ara tabaka dahil olan 2. tabakasının karesel hata grafikleri.

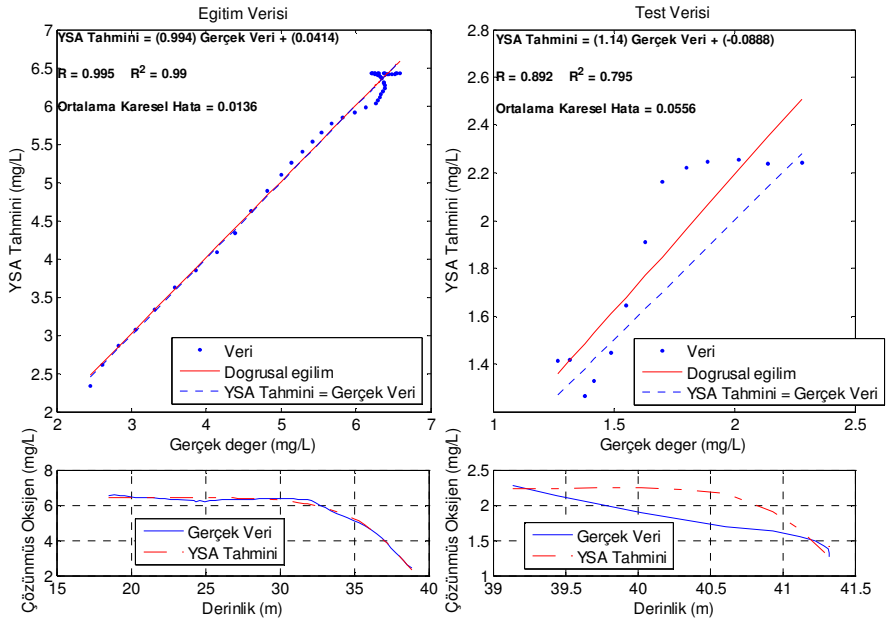


Şekil 5.71 : 6. gözlem noktasının ara tabaka dahil olan 2. tabakasının tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.70'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 1, iterasyon sayısı 51 bulunmuştur. Şekil 5.71'e göre test tahminleri gerçek veriye biraz yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları orta düzeyde yakalamıştır.



Şekil 5.72 : 6. gözlem noktasının ara tabaka dahil olmayan 2. tabakasının karesel hata grafikleri.



Şekil 5.73 : 6. gözlem noktasının ara tabaka dahil olmayan 2. tabakasının tahmin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.72'ya göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 4, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.73'e göre test tahminleri gerçek veriye yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları iyi bir performansla yakalamıştır.

5.3 Önceki ÇO Değerini de Dikkate Alarak İBGYSA İle Yapılmış ÇO Tahmin Uygulamaları

Giriş olarak sıcaklık ve derinliğin yanında bunlardan bir önceki derinlikteki ÇO değerinin de kullanıldığı ve çıkışta sıcaklık ve derinlikle aynı seviyedeki ÇO'nin tahmin edildiği modeldir. Örneğin 2.sıcaklık, 2. derinlik ve 1. ÇO verileri giriş 2. ÇO verisi çıkış olarak kullanılmıştır. Bu şekilde Çizelge 5.1'de gösterildiği gibi verilerin ilk % 80'i eğitim için kullanılmıştır. Daha sonra verilerin geri kalan % 20'si de test için kullanılmıştır. Burada da aynı şekilde örneğin 167. sıcaklık, 167. derinlik 166. ÇO verileri giriş, 167. ÇO verisi çıkış olarak kullanılmıştır. Bu modelde önceki uygulamalarda olduğu gibi verilere karekök dönüşümü ve 0.1 - 0.9 arası ölçekleme uygulanmış ve 1. saklı tabakada logsig çıkış tabakasında tansig transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Mevcut çözünmüş oksijen verilerinde eksik olan değeri tahmin etmek için kurulan bu modelde bir sonraki derinlikteki çözünmüş oksijen verisi bilinmiyormuş gibi uygulama yapılmıştır.

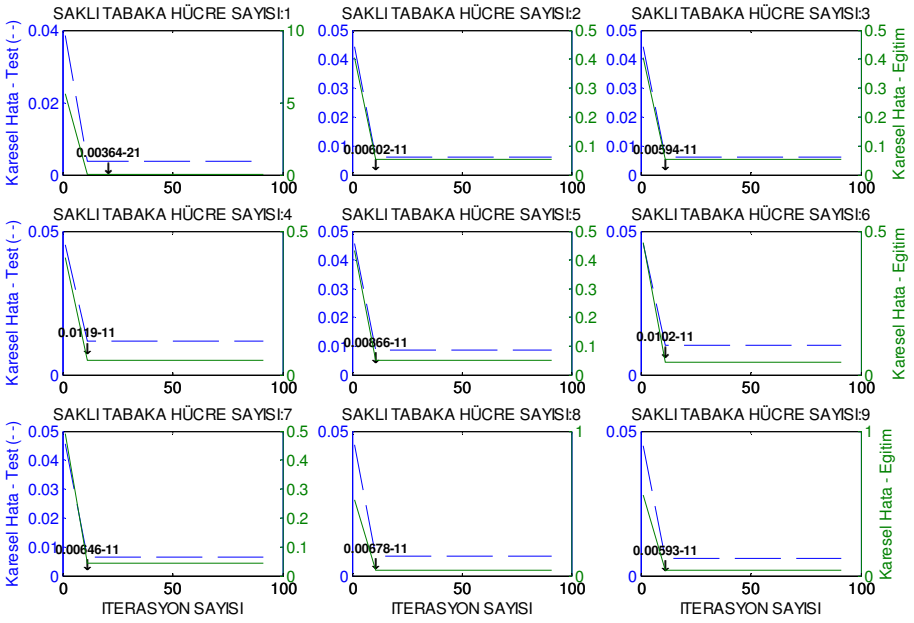
5.3.1 Önceki ÇO değerini de dikkate alarak İBGYSA ile yapılmış ÇO tahmin uygulamasının değerlendirilmesi

Çözünmüş oksijen verilerinde derinlik boyunca eksik olan değerleri tahmin etmek için kurulan, giriş olarak derinlik, sıcaklık ve bir önceki seviyedeki ÇO değeri, çıkış olarak ÇO değerinin kullanıldığı ve önceki bölümlerde olduğu gibi optimum koşullarda yani logsig – tansig fonksiyonlu, karekök dönüşümlü ve 0.1 ile 0.9 arasında ölçeklenmiş model Çizelge 5.18'de toplu olarak görülen performans değerlerine göre iyi sonuçlar vermiştir. Bu modelin 2 girişli modellerden daha iyi sonuçlar vermesi giriş olarak bir önceki ÇO'nin kullanılması neticesinde doğduğu söylenebilir.

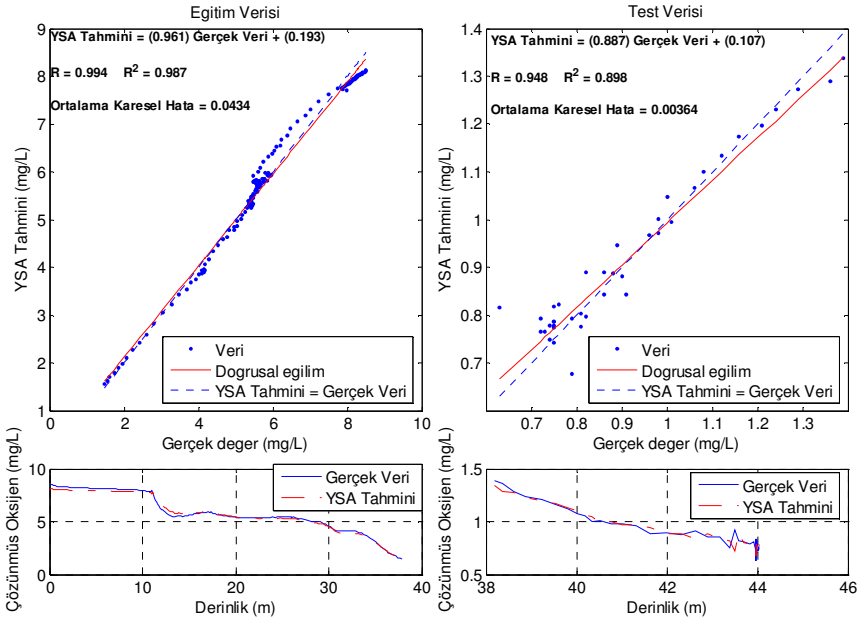
Çizelge 5.18 : 3 girişli ÇO tahmin performansları.

İLERİ BESLEMELİ GERİ YAYINIMLI AĞ - 3 GİRİŞ - Transfer Fonksiyonu: LOGSIG, TANSIG KAREKÖK DÖNÜŞÜMLÜ - Ölçekleme: 0.1 - 0.9					
Gözlem Noktası	2	5	6	7	9
R^2 %	90	99	98	99	97
OKH	0.004	0.02	0.03	0.03	0.08
Optimum saklı tabaka hücre sayısı	1	3	9	9	8
Optimum iterasyon sayısı	21	11	11	11	31

Aşağıdaki şekillerde tüm gözlem noktaları için 0.1 - 0.9 arası ölçeklendirme ve karekök dönüşümü yapılmış verilerin ve transfer fonksiyonu olarak logsig – tansig'in kullanıldığı 3 girişli tahminler gösterilmiştir.

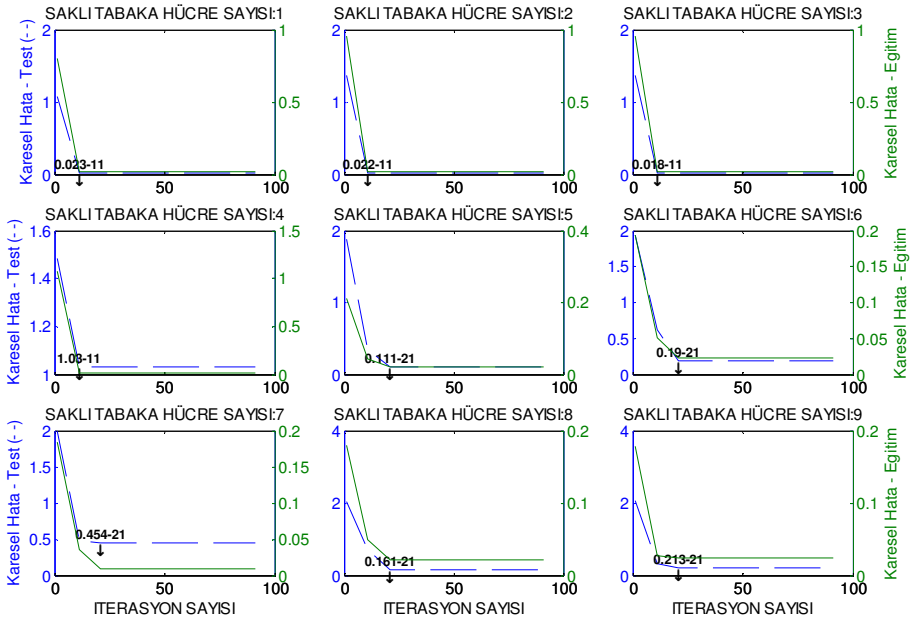


Şekil 5.74 : 2. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri.

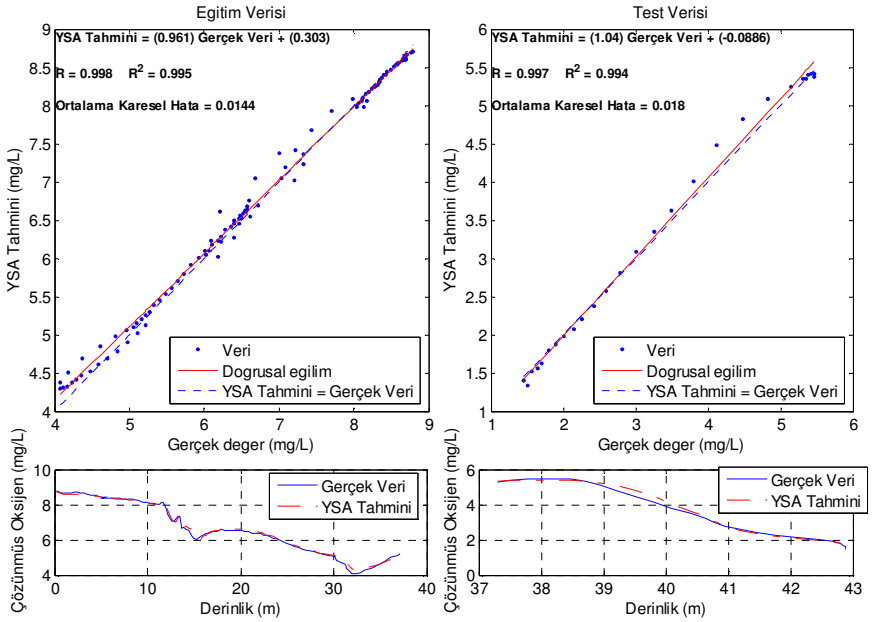


Şekil 5.75 : 2. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.74'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 1, iterasyon sayısı 21 bulunmuştur. Şekil 5.75'a göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

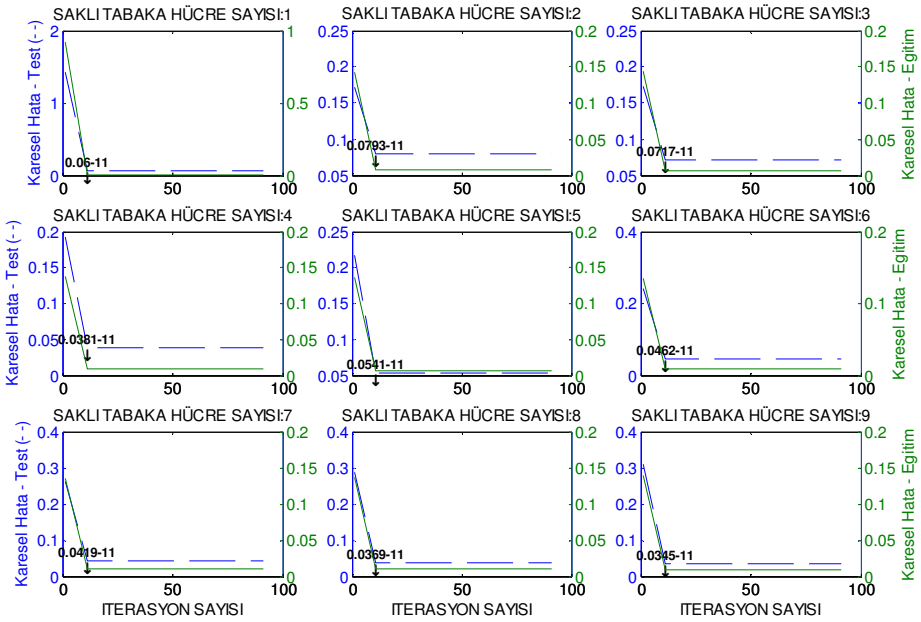


Şekil 5.76 : 5. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri.

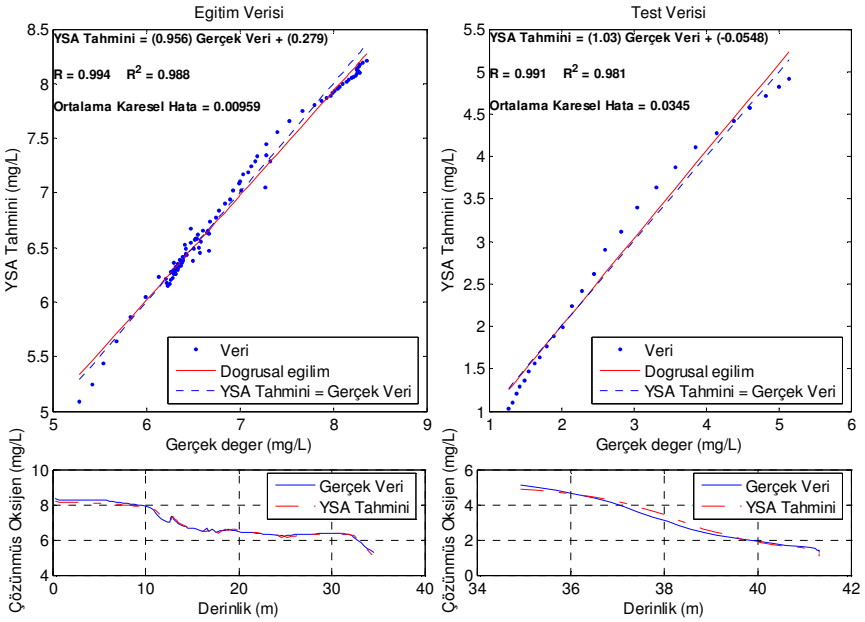


Şekil 5.77 : 5. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.76'ye göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 3, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.77'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

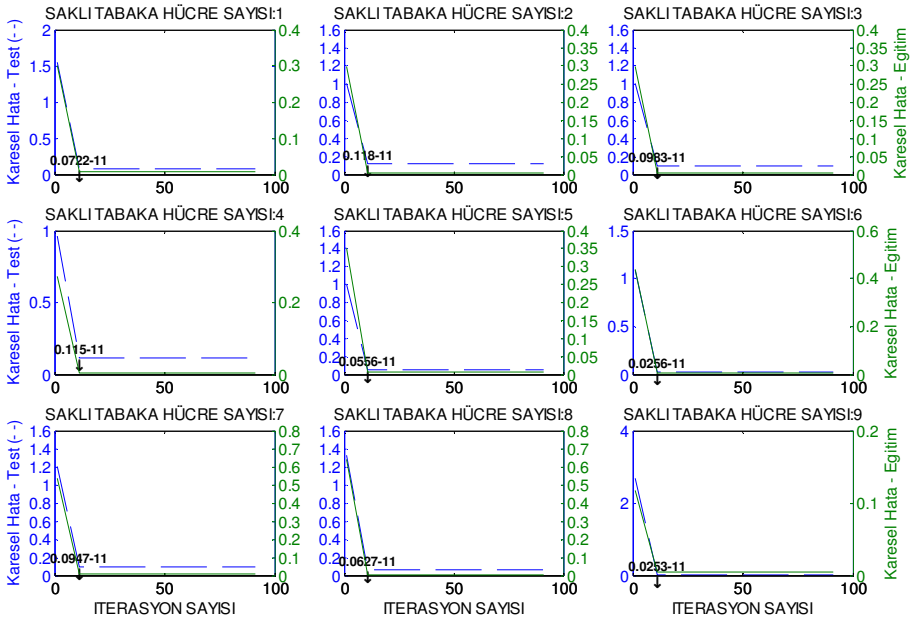


Şekil 5.78 : 6. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri.

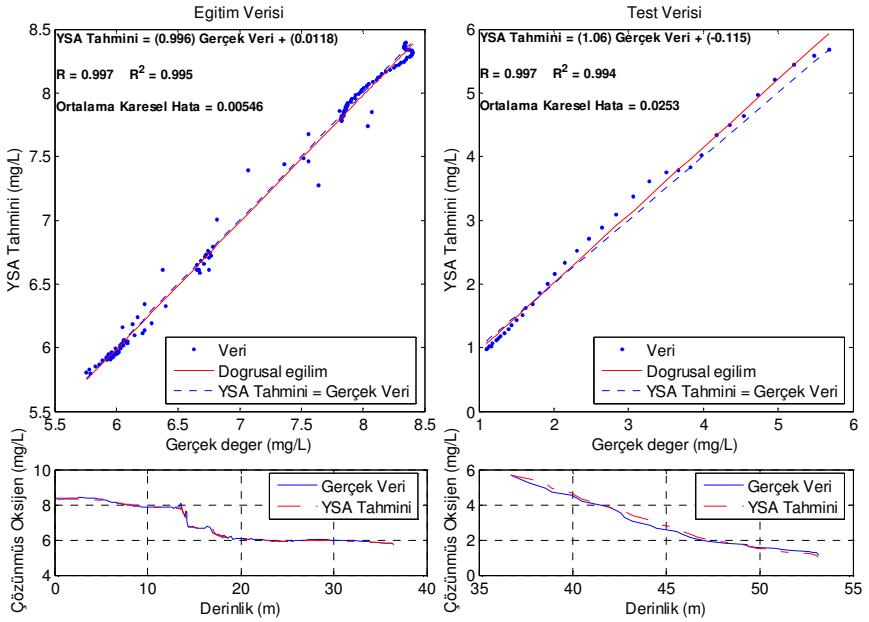


Şekil 5.79 : 6. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.78'ye göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 9, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.79'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

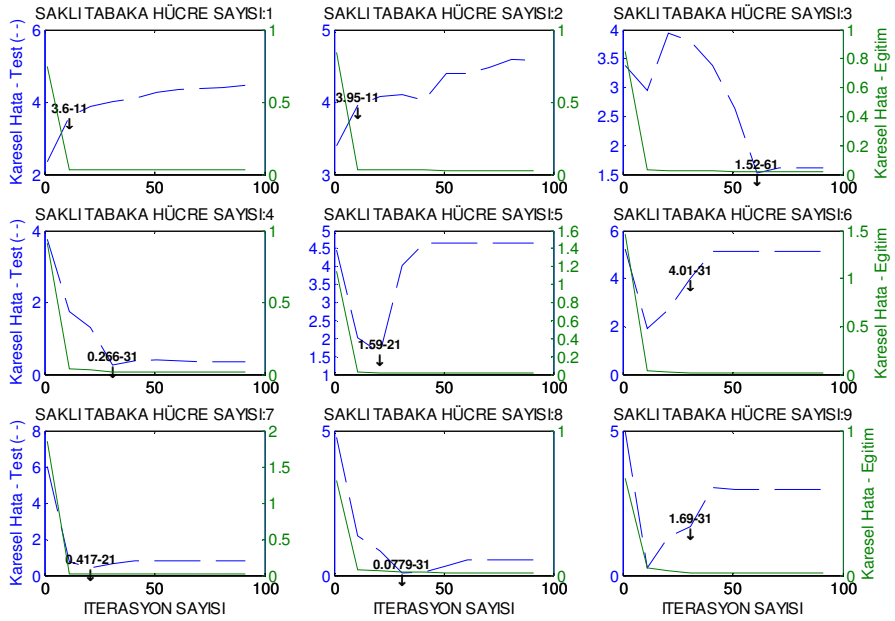


Şekil 5.80 : 7. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri.

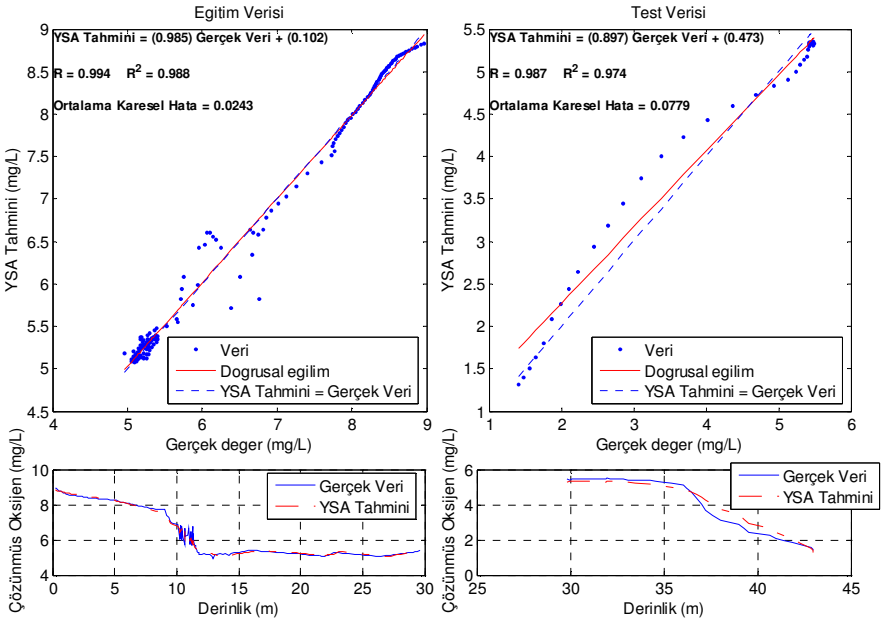


Şekil 5.81 : 7. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.80'e göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 9, iterasyon sayısı 11 bulunmuştur. Şekil 5.81'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.



Şekil 5.82 : 9. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerin karesel hata grafikleri.



Şekil 5.83 : 9. gözlem noktasının 3 girişli tahminlerinin grafikleri, eğilimleri, performansları.

Şekil 5.82'ya göre optimum saklı tabaka hücre sayısı 8, iterasyon sayısı 31 bulunmuştur. Şekil 5.83'e göre test tahminleri gerçek veriye çok yaklaşmış ve gerçek verideki salınımları çok iyi bir performansla yakalamıştır.

6. SONUÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Su kaynaklarındaki tahmin çalışmaları değişkenin aynı noktada zamanla değişimine göre yapılmıştır. Değişkenin önceki zamandaki değeri girdi olarak kullanılıp bir sonraki zamandaki değeri bulunmuştur. Bu çalışmada yapay sinir ağları ile çözünmüş oksijen tahmin modellemeleri değişkenin zamanla değil derinlikle değişimine göre yapılmıştır. Bu modellerde İznik Gölündeki 5 gözlem noktasından farklı tarihlerde ve farklı sayıda alınan veriler kullanılmıştır. Bu veriler derinlikle birlikte değişen sıcaklık, pH, TÇM, iletkenlik ve çözünmüş oksijendir. Çalışma tüm derinliğin birlikte değerlendirildiği, tabakalaşmanın dikkate alındığı ve bir önceki çözünmüş oksijen değerinin giriş olarak kullanıldığı modeller olmak üzere üçe ayrılmıştır.

Tüm derinliğin birlikte değerlendirildiği çalışmalarda, öncelikle en iyi koşullar bulunmuş sonra bunlar ileri beslemeli geri yayınımlı YSA, radyal tabanlı YSA, genelleştirilmiş regresyon YSA ve çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemleri ile kıyaslanmıştır. En iyi koşulları bulmak için İBGYSA ile çeşitli ölçekleme aralıkları, giriş hücre sayıları, transfer fonksiyonları, çarpıklık giderim dönüşümleri denenmiştir. Optimum koşullar bulunurken saklı tabakadaki hücre sayıları ve iterasyon sayıları değiştirilerek eğitim hatası durağan hale geldikten sonra, minimum test hatasının seçimiyle optimum hücre sayısı ve iterasyon sayısının bulunmaya çalışıldığı ve başlangıç ağırlık ve eşik değerlerinin her iterasyon başında sabit alındığı İBGYSA modellerinde verilerin ilk %80'i eğitim amaçlı, son % 20'si test amaçlı kullanılmıştır. Verilerin yüksek korelasyon değerlerine sahip olması su kaynakları uygulamalarında genelde kullanılan tek saklı tabakalı basit mimarili bir YSA yapısını tercih ettirmiştir.

Optimum ölçekleme aralığının bulunması için ~ 0 – 1, 0.1 – 0.9 ve 0.2 – 0.8 aralıkları denenmiştir. Giriş vektörü elemanları olarak derinlik, sıcaklık, pH, TÇM ve iletkenlik, tek hücreli çıkış tabakasında da ÇO kullanılmıştır. Tüm hücrelerde logaritmik sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. İBGYSA modelinde 5 farklı gözlem noktası için tüm ölçekleme aralıkları değerlendirilerek yapılan tahminlerde ölçekleme aralıklarının YSA performansını etkilediği görülmüştür. Gerçek veri ile

tahmin arasındaki değer yakınlığını gösteren OKH'lara göre genel olarak OKH'nın en düşük çıktığı aralık 0.2 ile 0.8 arası olmuştur. Tahminin gerçek verideki salınımları ne kadar yakaladığını gösteren determinasyon katsayılarında (R^2) ise gene 0.2 ile 0.8 arası yüksek değerler vermiştir. Sonuçta en iyi normalizasyon aralığı 0.2 ile 0.8 arası olarak belirlenmiştir.

Optimum giriş hücre sayılarının bulunması için 5 ve 2 girişli modeller denenmiştir. 5 giriş olarak derinlik, sıcaklık, pH, TÇM ve iletkenlik, tek hücreli çıkış tabakasında da ÇO, 2 giriş olarak derinlik ve sıcaklık, tek hücreli çıkış tabakasında da ÇO kullanılmıştır. ~ 0 – 1 ölçekleme aralığı için hem OKH hem de R^2 değerleri dikkate alınarak 2 girişli modeller tüm gözlem notalarında 5 girişli modellere göre daha iyi performans göstermiştir. 0.1 – 0.9 ölçekleme aralığı için hem OKH hem de R^2 değerleri dikkate alınarak 9. gözlem noktası hariç tüm gözlem notalarında 2 girişli modeller gene 5 girişli modellere göre daha iyi performans göstermiştir. 0.2 – 0.8 ölçekleme aralığında belirgin bir eğilim yoktur. Genel olarak bakıldığında giriş verisinin azalmasının YSA'nın performansı üzerinde olumlu etkisi olduğu söylenebilir. 2 girişili modeller için en iyi normalizasyon değerlendirmesinde ise 0.2 – 0.8 aralığının OKH'sının 0.1 – 0.9 aralığına göre biraz daha fazla olması, ~ 0 – 1 aralığınında R^2 değerleri çok iyi olmasına karşın OKH değerlerinin çok yüksek olması 2 girişli modelde 0.1 - 0.9 aralığının en iyi aralık olarak seçilmesinde etkili olmuştur.

Verileri normal dağılıma yaklaştırmada optimum dönüşüm yöntemini bulmak için doğal logaritmasını (ln) alma, karekökünü alma, bir bölüsünü alma ve box-cox dönüşümleri denenmiştir. Tüm gözlem noktaları için 0.1 - 0.9 arası ölçekleme yapılan ve transfer fonksiyonu olarak tüm hücrelerde logaritmik sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı 2 girişli İBGYSA modellerinde verilerin çarpıklığının etkisinin tahmin performansları üzerinde etkili olduğunu sonucuna varılmıştır. Sonuçlara göre 'ln' dönüşümü, karekök dönüşümü ve bir bölüsünü alma dönüşümü arasında büyük bir fark olmamakla birlikte 9. gözlem noktası dikkate alındığında en iyi değeri karekök dönüşümü vermiştir.

Optimum transfer fonksiyonunu bulmak için verilere uygulanan 9 değişik transfer fonksiyonu çiftinin performanslarına bakıldığında her transfer çiftinin YSA performanlarını doğrudan etkilediği görülmüştür. Genel olarak gözlem noktalarında

en düşük ortalama karesel hatayı veren kombinasyon 1. tabakada (1. saklı tabakada) logaritmik sigmoid, 2. tabakada (çıkış tabakasında) hiperbolik tanjant sigmoidin kullanıldığı model olmuştur. Determinasyon katsayılarında ise aynı kombinasyon 7. ve 9. gözlem noktasında en iyi değeri vermiş diğerlerinde de yüksek değerlere ulaşmıştır. Bunlara dayanarak en iyi transfer çiftinin logsig – tansig olduğu söylenebilir.

RTYSA çalışmalarıda ilk %80'i eğitim amaçlı, son % 20'si test amaçlı kullanılan verilere 0.1 - 0.9 arası ölçekleme yapılmıştır. 2 girişli modellerin performansları üzerinde radyal tabanlı sinir ağının etkisi incelendiğinde genel olarak tahminlerin gerçek sonuçlara çok yaklaşmış ve gerçek verilerdeki değişimleri iyi yakalamış olduğu görülmektedir. Yayılım parametresi genelde 1'e yakın çıkmıştır. Karekök dönüşümü yapılmış verilerin yapılmamışlara oranla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yayılım parametreleri karekök dönüşümü yapılmış RTYSA'da dönüşüm yapılmamış modellere göre daha düşük çıkmıştır.

GRYSA çalışmalarında ilk %80'i eğitim amaçlı, son % 20'si test amaçlı kullanılan verilere 0.1 - 0.9 arası ölçekleme yapılmıştır. 2 girişli modellerin performansları incelendiğinde genel olarak tahminlerin R^2 ve OKH bazında belli bir eğilim yakalayamadığı, çıkışları gerçek sonuçlara çok fazla yaklaşmadığı ve gerçek verilerdeki salınımları iyi göstermediği görülmektedir. Yayılım parametresi 0'a yakın çıkmıştır. GRYSA giriş vektörünün adeti kadar saklı tabaka hücre sayısı atamıştır. R^2 için belli bir performans değeri yakalanamamış olmasında modellerdeki saklı tabaka hücre sayılarının çok yüksek olmasıda etkili olmuş olabilir. Karekök dönüşümü R^2'de düşüş, OKH'da artış meydana getirerek modellerin performansını azaltmıştır. Dönüşümle beraber gelen performanstaki bu düşüşün sebebi genelleştirilmiş regresyon ağının kendi yapısında çarpıklığın etkisini önceden dikkate alınmış olması olabilir.

Çok değişkenli doğrusal regresyon uygulamasında regresyon denklemi bağımsız değişkenleri giriş verileri olan sıcaklık ve derinlik, bağımlı değişkeni tahmin çıkışı olan ÇO'dir. Verilerin ilk %80'i eğitim amaçlı, son % 20'si test amaçlı kullanılmıştır. Eğitim işleminde derinlik ve sıcaklık için katsayılar bulunmuş ve sabit terim hesaplanmıştır. Çıkan bu formüle test girişleri verilmiş ve regresyon tahmin sonuçları bulunmuştur. Sonuçlarına bakıldığında salınımları iyi yakalayan regresyon modelinin ortalama karesel hatanın bir yansıması olan gerçek veriye yakınlık

performansı diğer modellere kıyasla çok daha kötüdür. Verilere YSA modellerinde kullanılan dört dönüşüm metodu uygulanarak incelenen çarpıklık etkisinde regresyon sonuçları daha kötü çıkmıştır. Bazı dönüşümlerde normal dağılımdan daha çok uzaklaşan verinin kullanılmasının sonuçların performansını düşürdüğü düşünülebilir.

Göldeki derinliğin tamamında uygulanan İBGYSA, RTYSA, GRYSA ve ÇDDR yöntemleri kıyaslandığında düşük karesel hatalar ile gerçek değere yakınlık gösteren ve yüksek belirleme katsayısı değerleriyle verilerdeki değişimi iyi bir şekilde yakalayan İBGYSA ile RTYSA'nın performansları birbirine yakın bulunmuştur. Her iki modelde kullanılabilir ölçülerdedir. Saklı tabaka hücre sayısını fazla miktarda atayan GRYSA tüm gözlem noktalarında İBGYSA ve RTYSA'dan daha yüksek hata ve daha düşük determinasyon katsayısı vermiştir. Yüksek R^2 değerlerine sahip çoklu doğrusal regresyonda ise OKH'lar çok fazladır. GRYSA sonuçları gerçek verideki değişimi yakalamaktan uzak olmasına karşın ortalama karesel hataya göre regresyondan daha çok tercih edilebilir gözükmektedir.

Göl tabakalaşmasında sıcaklığın gösterdiği değişim dikkate alınarak sıcaklık (giriş), derinlik (giriş), çözünmüş oksijen (çıkış) tabakalara ayrılmıştır. Verilerin ilk %80'i eğitim, son % 20'si test amaçlı kullanılmıştır. Logsig-tansig fonksiyonlu, karekök dönüşümü yapılmış ve 0.1 – 0.9 arasında ölçeklenmiş İBGYSA modeli kullanılmıştır. Gölde faklı fiziksel şartlara sahip olan tabakaların kendi içinde bir bütün olarak modellenmesinin yarattığı etki sıcaklıkla aynı salınımı takip eden 1. tabakada net bir şekilde görülürken, sıcaklıkla aynı salınımı göstermeyen 2. tabakada etkisiz kalmıştır. OKH'ya ve R^2'ye göre 1. tabaka 2.tabakadan ve OKH'ya göre tabakalara bölünmemiş veriden de daha iyi sonuçlar vermiştir. OKH'ya göre 2. tabaka ara tabakanın dahil olmadığı durumda ara tabakanın dahil olduğu duruma göre daha iyi sonuçlar vermiştir. 2. tabaka ara tabakanın dahil olduğu ve olmadığı durumda tabakalara bölünmemiş veriye göre daha kötü sonuçlar vermiştir.

Bir önceki derinlikte ölçülmüş olan ÇO'nin de giriş olarak kullanıldığı İBGYSA çalışmalarında derinlik boyunca eksik olan değerleri tahmin etmek için kurulan model iyi sonuçlar vermiştir. Giriş olarak derinlik, sıcaklık ve bir önceki seviyedeki ÇO değeri, çıkış olarak ÇO değerinin kullanıldığı ve önceki bölümlerde olduğu gibi optimum koşullarda yani logsig – tansig fonksiyonlu, karekök dönüşümlü ve 0.1 ile 0.9 arasında ölçeklenmiş eksik değer hesaplarının, bir önceki seviyedeki ÇO giriş

olarak kullanılmadığı tahminlere göre daha iyi sonuçlar vermesinin giriş olarak bir önceki ÇO'nin kullanılması neticesinde doğduğu söylenebilir.

Genelde bakıldığında tabakalaşmanın gölde farklı özellikte bölümler yarattığı ve bu durumda bir bütün olarak alındığında 1. tabakaya göre ÇO tahminlerinin kalitesinin düşebileceği gözlemlenmiştir. Farklı tabakalarda fiziksel yapı sıcaklık – ÇO etkileşimi faklıdır. Bu nedenle 1. tabakanın ÇO tahminlerinde tabakaları ayrı ayrı almanın ve tahmin çalışmasının ona göre yapılmasının daha uygun olduğu gözlemlenirken; 2. tabakanın verilerinde bir tahmin yapılacaksa derinliği tabakalara bölmeden bir bütün olarak kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bunun yanında YSA tahmin çalışmalarının su kaynaklarında ve özellikle göl hidrolojisinde yalnız zamansal değil alansal da yapılabileceği gözlemlenmiştir. Çalışmada kullanılan veri sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmanın farklı gözlem noktalarında daha fazla adette (zamanda) yapılması YSA'ların derinliğe dayalı eğitim performansını arttıracağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Alp, M., ve Cığızoğlu, H., K., 2007. Suspended sediment load simulation by two artificial neural network methods using hydrometeorological data, *Environmental modelling & software,* Vol. **22**, Issue 1, pp. 2-13.

Akbulak, 2007. İznik Gölü havzasında arazi kullanımının seçilmiş köyler üzerinde incelenmesi, *İÜ. Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi*, sayı 15 sayfa 24 – 43**.**

Aslantaş, V. ve Kurban R., 2007. Yapay sinir ağları ve coğrafi bilgi sistemlerindeki uygulamaları, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası. Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, KTÜ, Trabzon.

Brodnjak-Voncina, D., B., Dobcnik, D., Novic, M. ve Zupan, J., 2002. Chemometrics characterisation of the quality of river water.

Budakoğlu, 2000. İznik Gölü Hidrojeokimyası ve sonuçların jeoistatistik değerlendirmesi, *Doktora Tezi,* İTÜ Fen Bil. Enst. Sayfa 1 – 60.

Bursa il çevre durum raporu, 2004. *Bursa Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü,* Sayfa 37.

Caudill, M., 1987. "Neural Network Primar Part 1" AI Expert, sayfa 47.

Cengiz, M., T., 2005. Türkiye Göl Seviyelerinin Hidroklimatolojik analizi, *Doktora Tezi,* İTU İnşaat Mühendisliği. Su Mühendisliği Programı, sayfa 87.

Cığızoğlu, H.K., 2003 a. Incorporation of ARMA models into flow forecasting by artificial neural networks, *Environmetrics* **14** (4), 417–427.

Cığızoğlu, H.K., 2003 b. Estimation, forecasting and extrapolation of flow data by artificial neural Networks, *Hydrological Sciences Journal* **48** (3), 349–361.

Cığızoğlu, H.K., 2004. Estimation and forecasting of daily suspended sediment data by multi-layer perceptrons, *Advances in Water Resources* **27** 185–195

Çil, O., Ş., ve Alaş, A., 2002. Aksaray İline İçme Suyu Sağlayan Bazı Kaynaklarda Su Kalite Parametrelerinin İncelenmesi, **Çevkor** Cilt: **11** Sayı: 42, 40-44

Davis ve Masten, 2004. Principles of Environmental Engineering and Science. Mc Graw Hill. Sayfa 153 – 200.

Demuth, H., Beale, M. ve Hagan, M.. "Neural Network Toolbox, for use with MATLAB", "User Guide Version 5", Mathworks. Alındığı tarih 30.06.2008, from http://www.cs.ucy.ac.cy/courses/EPL604/Readings/nnet.pdf.

Deng, C., Wei, X. ve Guo, L., 2006. Application of Neural Network Based on PSO Algorithm in Prediction Model for Dissolved Oxygen in Fishpond, *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Dalian, China.

Doğan ve Soylak, 2000. Su Kimyası. Erciyes Üniversitesi Yayınları, sayfa 103 – 104.

Doğan, E., Işık S. ve Şaşal M. Esnek Modelleme Yöntemlerini Kullanarak Nehirdeki Askı Maddesi Miktarının Tahmin Edilmesi.

DSİ I. Bölge Müdürlüğü, 2008. Kişisel görüşme.

DSİ I. Bölge Müdürlüğü, 2003.

Elhatip, H. ve Kömör, M:, A., 2008. Evaluation of water quality parameters for the Mamasin dam in Aksaray City in the central Anatolian part of Turkey by means of artificial neural networks *Environ Geol* **53**:1157–1164.

Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları. Seçkin yayıncılık sanayi ve ticaret A.Ş. Sayfa 126 – 141.

Ergezer, H., Dikmen, M. ve Özdemir, E. 2003. Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri, *PiVOLKA,* **2** (6), 14-17.

Ertürk, A., 2005. Su Kalitesi ve Havza Modellemesinde Kullanılan Yazılımlar, ISBN 975-00144-0-5. Alındığı tarih 30.06.2008, from http://www.ins.itu.edu.tr/cevre/personel/erturk/modeller.pdf.

Fırat, M., ve Güngör, M., 2004. Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, *1 IMO Teknik Dergi*, 3267-3282, Yazı 219.

Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997. Su Kalitesi. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 43. sayfa 13.

Hagan, M., T., Demuth, H., B. ve Beale, M., 1996. Neural Network Design. PWS Publishing Company.

Hedger, R. D., Atkinson, P. M. ve Malthus T. J., 2001. Optimizing sampling strategies for estimating mean water quality in lakes using geostatistical techniques with remote sensing, *Lakes & Reservoirs: Research and Management,* **6**: 279–288.

Ichiki, A., Nakakura, K., Sakata, N., Sasaki, A. ve Tai, Y., 2007. Water quality estimation in consideration of pollutant runoff and internal production in Lake Biwa, Japan, *Water Science & Technology,* Vol **55** No 3 sayfa 167–175.

Karabulut, M., 2004. Yakın Mesafe Uzaktan Algılama Tekniklerinin Kullanılarak Yüzey Sularının incelenmesi, *3. Corafi bilgi sistemleri bilişim günleri.*

Karpuzcu, 1988. Çevre Mühendisliğine Giriş. İTU İnşaat Fakültesi Matbaası. Sayfa 57 – 64

Kisi, Ö. ve Cigizoglu, H. K., 2007. Comparison of different ANN techniques in river flow prediction, *Civil Engineering and Environmental Systems*, **24**:3,211 — 231

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

Kor, 1974. Çevre Sağlığı ve Teknolojisi. İTU Matbaası, sayfa 18 -21.

Köse, S., K., Korelasyon ve Regresyon Analizi. Alındığı tarih 30.06.2008, http://www.toraks.org.tr/mse-ppt-pdf/Kenan_KOSE3.pdf.

Kutser, T., Arst, H., Maekivi, S., ve Kallaste, K., 1998. Estimation of the water quality of the Baltic Sea and lakes in Estonia and Finland by passive optical remote sensing measurements on board vessel, *Lakes & Reservoirs: Research and Management,* **3**: 53-66

Lukin, A. A. ve Sharova, Y. N., 2004. Water Quality Estimation Based on Histological Investigations of Fish: Case Study of Kenozero Lake, *Water Resources*, Vol. **31**, No. 4, sayfa 443–449.

Mutluay ve Demirak, 1996. Su Kimyası. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş sayfa 45 - 47.

Örmeci, C. ve Ekercin, S., 2005. Uzaktan Algılama Tekniği ile Tuz Gölünde Su Kalitesi Değişim Analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,* Ankara.

Özkan, O., Kınacı, C., ve Sağıroğlu, Ş., 2006. Çözünmüş oksijen değişiminin Yapay Sinir Ağları ile belirlenmesi: Kızılırmak Nehri örneği, *itüdergisi/d mühendislik* Cilt:**5**, Sayı:3, Kısım:1, 30-38.

Partal, T., ve Cığızoğlu, H., K., 2008. Estimation and forecasting of daily suspended sediment data using wavelet-neural networks, *Journal of hydrology,* Volume: **358** Issue: 3-4 Pages: 317-331.

Qasım, S., R., Motley, E., M. ve Zhu, G., 2000. Water Works Engineering: Planning, Design & Operation.Prentice Hall PTR, sayfa 16

Recknagel, F., 1997. ANNA – Artificial Neural Network model for predicting species abundance and succession of blue-green algae, *Hydrobiologia,* **349**: 47–57. 47.

Reinarta, A., Herlevic, A., Arstb, H. ve Sipelgasb, L., 2003. Preliminary optical classification of lakes and coastal waters in Estonia and south Finland, *Journal of Sea Research,* **49**, 357–366.

Saraç, T., 2004. Yapay sinir ağları seminer projesi, *Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı.* Alındığı tarih 30.06.2008, http://www.yapay-zeka.org/files/tez/tugba-sarac-ysa-seminer.pdf.

Sawyer, C. N., McCarty, P. L. ve Parkin, G. F., 1994.Chemistry for environmental engineering. McGraw – Hil, Inc. sayfa 458 – 462.

Schmid, B., H., Asce, M. ve Koskiaho, J., 2006. Artificial Neural Network Modeling of Dissolved Oxygen in a Wetland Pond: The Case of Hovi, Finland, *ASCE* 1084-0699 **11**:2 188.

Sertel, E., Cığızoğlu, H., K., Şanlı, D., U., 2008. Estimating daily mean sea level heights using artificial neural networks, *Journal of coastal research,* Volume: **24** Issue: 3 Pages: 727-734.

Smith, R., A., Schwarz, G., E. ve Alexander, R., B., 1997. Regional interpretation of water-quality monitoring data, *Water resouces research,* vol. **33**, NO. 12, PAGES 2781–2798.

Soyupak, S., Karaer, F., Gürbüz, H., Kivrak, E., Sentürk, E., Yazici, A., 2003. A neural network-based approach for calculating dissolved oxygen profiles in reservoirs, *Neural Comput & Applic,* **12**: 166–172.

Specht, D., F., 1991. A general regression neural network, *IEEE transactions on neural Networks,* Vol. **2.** No. 6. sayfa 568 – 576.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Alındığı tarih 30.01.2009, http://rega. basbakanlik.gov.tr/eskiler/2008/02/20080213-13.htm

Sümer, 1992. Su temini ve Çevre Sağlığı. İTU Sakarya Mühendislik Fakültesi Matbaası, sayfa 107 – 110.

Şengörür, B., Doğan, E., Koklu, R. Ve Samandar, A., 2006. Dissolved oxygen estimation using artifial neural network for water quality control, *Fresenius Environmental Bulletin,* Vol. **15**, no. 9a, syf. 1064-1067.

Şen, Z., 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri. Su Vakfı Yayınları. Sayfa 110 – 111.

Terzi, Ö., 2006. Yapay Sinir Ağları Metodu ile Eğirdir Gölü Su Sıcaklığının Tahmini, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **10**-2, 297-302

Toprak, Z.,F. ve Cığızoğlu, H., K., 2008. Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by artificial intelligence methods, *Hydrological Processes,* Volume: **22** Issue: 20 Pages: 4106-4129

Türkiye Çevre Atlası, 2004. TC Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı. Alındığı tarih 30.06.2008,http://www.4shared.com/get/33737010/30f4dc9b/Trkiye_evre_Atlas.html;jsessionid=DD367A68AD8264849D6A92DBFAAF16E3.dc49.

Tüzün, İ., Soyupak, S., İnce, Ö., ve Başaran, G., 2007. Application of Artificial Neural Network-Based Approach for Calculating Dissolved Oxygen Profiles in Kapulukaya Dam Reservoir, *International Journal of Ecology & Development,* Vol. **7**, No. S07.

Uçaner, M., E., ve Özdemir, O., N., 2002. Genetik algoritmalar ile içme suyu şebekelerinde ek klorlama optimizasyonu, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.,* Cilt **17**, No 4, 157-170.

United Nations Environmental Programme (UNEP), 1994. The pollution of lakes and reservoirs, *UNEP Environmental Library* No **12**. sayfa 4 – 8.

Url-1 <*http://www. uzerine.com* >, alındığı tarih 30.06.2008.

Url-2 <*http://www. mathworks.com* >, alındığı tarih 30.06.2008.

Url-3 <*http://www.* cevreorman.gov.tr/sulak/sulakalan/iznikgolu.htm>, alındığı tarih 30.06.2008.

Url-4 <*http://* tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0znik_G%C3%B6l%C3%BC>, alındığı tarih 30.06.2008.

Url-5 <*http://www.* bursacevreorman.gov.tr >, alındığı tarih 30.06.2008.

Url-6 <*http://www*.tumgazeteler.com>, alındığı tarih 30.06.2008.

Url-6 <*http://www*.sakarya.edu.tr>, alındığı tarih 30.06.2008.

Ünlü, A., Çoban F. ve Tunç, M:, S., (2008). Hazar Gölü Su Kalitesinin Fiziksel ve İnorganik Kimyasal Parametreler Açısından İncelenmesi, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, Vol **23**, No 1, 119-127.

Yurtçu, Ş., İçağa Y., (2005). Akarçay Havzası Yer altı Suyu Periyodik Davranışının Modellenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi,* 21 – 28.

Wang, H., Xu, L. Sun, S. ve Yang, S., X., 2006. Spatial Distribution of Water Quality Based on Generalized Regression Neural Network, *International Conference on Information Acquisition*, Weihai, Shandong, China.

EKLER

A. EK 1

Çizelge A.1 : 2 Giriş için başlangıç ağırlıkları ve eşik değerleri.

	2 Giriş için başlangıç ağırlıkları ve eşik değerleri								
Saklı tabaka hücre sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9
net.IW{1,1}(1,1)	0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999
net.IW{1,1}(2,1)		0.9999	0	-0.3333	-0.5	-0.5999	-0.6666	-0.7142	-0.7499
net.IW{1,1}(3,1)			0.9999	0.3333	0	-0.2	-0.3333	-0.4285	-0.5
net.IW{1,1}(4,1)				0.9999	0.4999	0.2	0	-0.1428	-0.25
net.IW{1,1}(5,1)					0.9999	0.5999	0.3333	0.1428	0
net.IW{1,1}(6,1)						0.9999	0.6666	0.4285	0.25
net.IW{1,1}(7,1)							0.9999	0.7142	0.4999
net.IW{1,1}(8,1)								0.9999	0.7499
net.IW{1,1}(9,1)									0.9999
net.IW{1,1}(1,2)	-0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
net.IW{1,1}(2,2)		-0.9999	0	0.3333	0.5	0.5999	0.6666	0.7142	0.7499
net.IW{1,1}(3,2)			-0.9999	-0.3333	0	0.2	0.3333	0.4285	0.5
net.IW{1,1}(4,2)				-0.9999	-0.4999	-0.2	0	0.1428	0.25
net.IW{1,1}(5,2)					-0.9999	-0.5999	-0.3333	-0.1428	0
net.IW{1,1}(6,2)						-0.9999	-0.6666	-0.4285	-0.25
net.IW{1,1}(7,2)							-0.9999	-0.7142	-0.4999
net.IW{1,1}(8,2)								-0.9999	-0.7499
net.IW{1,1}(9,2)									-0.9999
net.LW{2,1}(1,1)	-0.4555	0.4555	0.4555	0.4555	0.4555	0.4555	0.4555	0.4555	0.4555
net.LW{2,1}(1,2)		-0.4555	0	0.1518	0.2278	0.2733	0.3037	0.3254	0.3416
net.LW{2,1}(1,3)			-0.4555	-0.1518	0	0.0911	0.1518	0.1952	0.2278
net.LW{2,1}(1,4)				-0.4555	-0.2278	-0.0911	0	0.0651	0.1139
net.LW{2,1}(1,5)					-0.4555	-0.2733	-0.1518	-0.0651	0
net.LW{2,1}(1,6)						-0.4555	-0.3037	-0.1952	-0.1139
net.LW{2,1}(1,7)							-0.4555	-0.3254	-0.2278
net.LW{2,1}(1,8)								-0.4555	-0.3416
net.LW{2,1}(1,9)									-0.4555
net.b{1}(1,1)	-0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999

Çizelge A.1 : (devam) 2 Giriş için başlangıç ağırlıkları ve eşik değerleri.

net.b{1}(2,1)	-0.9999	0	0.3333	0.5	0.5999	0.6666	0.7142	0.7499
net.b{1}(3,1)		-0.9999	-0.3333	0	0.2	0.3333	0.4285	0.5
net.b{1}(4,1)			-0.9999	-0.4999	-0.2	0	0.1428	0.25
net.b{1}(5,1)				-0.9999	-0.5999	-0.3333	-0.1428	0
net.b{1}(6,1)					-0.9999	-0.6666	-0.4285	-0.25
net.b{1}(7,1)						-0.9999	-0.7142	-0.4999
net.b{1}(8,1)							-0.9999	-0.7499
net.b{1}(9,1)								-0.9999

Çizelge A.2 : 5 Giriş için başlangıç ağırlıkları.

	5 Giriş için başlangıç ağırlıkları								
Saklı tabaka hücre sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9
net.IW{1,1}(1,1)	0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999
net.IW{1,1}(2,1)		0.9999	0	-0.3333	-0.5	-0.5999	-0.6666	-0.7142	-0.7499
net.IW{1,1}(3,1)			0.9999	0.3333	0	-0.2	-0.3333	-0.4285	-0.5
net.IW{1,1}(4,1)				0.9999	0.4999	0.2	0	-0.1428	-0.25
net.IW{1,1}(5,1)					0.9999	0.5999	0.3333	0.1428	0
net.IW{1,1}(6,1)						0.9999	0.6666	0.4285	0.25
net.IW{1,1}(7,1)							0.9999	0.7142	0.4999
net.IW{1,1}(8,1)								0.9999	0.7499
net.IW{1,1}(9,1)									0.9999
net.IW{1,1}(1,2)	-0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
net.IW{1,1}(2,2)		-0.9999	0	0.3333	0.5	0.5999	0.6666	0.7142	0.7499
net.IW{1,1}(3,2)			-0.9999	-0.3333	0	0.2	0.3333	0.4285	0.5
net.IW{1,1}(4,2)				-0.9999	-0.4999	-0.2	0	0.1428	0.25
net.IW{1,1}(5,2)					-0.9999	-0.5999	-0.3333	-0.1428	0
net.IW{1,1}(6,2)						-0.9999	-0.6666	-0.4285	-0.25
net.IW{1,1}(7,2)							-0.9999	-0.7142	-0.4999
net.IW{1,1}(8,2)								-0.9999	-0.7499
net.IW{1,1}(9,2)									-0.9999
net.IW{1,1}(1,3)	0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999
net.IW{1,1}(2,3)		0.9999	0	-0.3333	-0.5	-0.5999	-0.6666	-0.7142	-0.7499
net.IW{1,1}(3,3)			0.9999	0.3333	0	-0.2	-0.3333	-0.4285	-0.5
net.IW{1,1}(4,3)				0.9999	0.4999	0.2	0	-0.1428	-0.25
net.IW{1,1}(5,3)					0.9999	0.5999	0.3333	0.1428	0
net.IW{1,1}(6,3)						0.9999	0.6666	0.4285	0.25
net.IW{1,1}(7,3)							0.9999	0.7142	0.4999
net.IW{1,1}(8,3)								0.9999	0.7499
net.IW{1,1}(9,3)									0.9999
net.IW{1,1}(1,4)	-0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
net.IW{1,1}(2,4)		-0.9999	0	0.3333	0.5	0.5999	0.6666	0.7142	0.7499
net.IW{1,1}(3,4)			-0.9999	-0.3333	0	0.2	0.3333	0.4285	0.5
net.IW{1,1}(4,4)				-0.9999	-0.4999	-0.2	0	0.1428	0.25

Çizelge A.2 : (devam) 5 Giriş için başlangıç ağırlıkları.

net.IW{1,1}(5,4)					-0.9999	-0.5999	-0.3333	-0.1428	0
net.IW{1,1}(6,4)						-0.9999	-0.6666	-0.4285	-0.25
net.IW{1,1}(7,4)							-0.9999	-0.7142	-0.4999
net.IW{1,1}(8,4)								-0.9999	-0.7499
net.IW{1,1}(9,4)									-0.9999
net.IW{1,1}(1,5)	0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999	-0.9999
net.IW{1,1}(2,5)		0.9999	0	-0.3333	-0.5	-0.5999	-0.6666	-0.7142	-0.7499
net.IW{1,1}(3,5)			0.9999	0.3333	0	-0.2	-0.3333	-0.4285	-0.5
net.IW{1,1}(4,5)				0.9999	0.4999	0.2	0	-0.1428	-0.25
net.IW{1,1}(5,5)					0.9999	0.5999	0.3333	0.1428	0
net.IW{1,1}(6,5)						0.9999	0.6666	0.4285	0.25
net.IW{1,1}(7,5)							0.9999	0.7142	0.4999
net.IW{1,1}(8,5)								0.9999	0.7499
net.IW{1,1}(9,5)									0.9999

Çizelge A.3 : Farklı göl tabakalarındaki eğitim ve test verilerinin çarpıklıkları.

1. Tabaka Eğitim Verilerinin Çarpıklık Katsayıları

	Derinlik					Sıcaklık					ÇO				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	0.48	0.19	-0.02	-0.14	0.43	-1.16	0.32	0.86	0.70	-0.88	0.41	-0.12	-0.75	-0.22	0.16
karekök dönüşümü	-0.10	-0.35	-0.58	-0.62	-0.04	-1.16	0.31	0.86	0.69	-0.88	0.40	-0.13	-0.76	-0.23	0.13
	İletkenlik					pH					TÇM				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	-1.04	0.49	1.14	1.00	-0.65	-1.05	0.01	-0.11	-2.17	-0.40	-1.04	0.49	1.14	1.01	-0.65
karekök dönüşümü	-1.04	0.49	1.14	1.00	-0.65	-1.05	0.01	-0.11	-2.17	-0.40	-1.04	0.48	1.14	1.01	-0.65

1. Tabaka Test Verilerinin Çarpıklık Katsayıları

	Derinlik					Sıcaklık					ÇO				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	-0.22	0.04	-0.19	0.15	0.10	-0.91	-2.58	0.12	-2.33	-2.96	-0.72	0.53	-0.13	-0.15	0.43
karekök dönüşümü	-0.27	0.00	-0.22	0.11	0.04	-0.91	-2.58	0.12	-2.33	-2.96	-0.72	0.53	-0.15	-0.15	0.43
	İletkenlik					pH					TÇM				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	-0.89	-2.64	-0.56	-2.66	-2.90	0.82	-1.20	0.89	NaN	-1.78	-0.88	-2.64	-0.53	-2.59	-2.91
karekök dönüşümü	-0.89	-2.64	-0.56	-2.66	-2.90	0.82	-1.20	0.89	NaN	-1.78	-0.88	-2.64	-0.53	-2.59	-2.91

2. Tabaka (Ara tabaka dahil) Eğitim Verilerinin Çarpıklık Katsayıları

	Derinlik					Sıcaklık					ÇO				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	0.23	0.13	0.22	0.54	0.53	1.69	1.73	1.38	1.41	0.75	-0.90	0.08	-1.66	-0.87	1.81
karekök dönüşümü	0.02	-0.05	0.05	0.34	0.36	1.50	1.57	1.21	1.21	0.63	-1.34	-0.09	-1.87	-1.27	1.73
	İletkenlik					pH					TÇM				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	1.82	1.93	1.53	1.51	0.84	1.46	1.32	1.04	1.25	0.56	1.82	1.93	1.53	1.51	0.84

Çizelge A.3 : (devam) Farklı göl tabakalarındaki eğitim ve test verilerinin çarpıklıkları.

karekök dönüşümü	1.77	1.88	1.47	1.44	0.80	1.42	1.29	1.01	1.21	0.54	1.77	1.88	1.48	1.44	0.80

2. Tabaka (Ara tabaka dahil) Test Verilerinin Çarpıklık Katsayıları

	Derinlik					Sıcaklık					ÇO				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	-1.23	-0.37	-0.37	-0.49	0.07	0.49	1.28	0.57	-0.01	1.15	0.39	0.76	0.77	0.90	-0.11
karekök dönüşümü	-1.24	-0.39	-0.39	-0.52	0.02	0.49	1.28	0.57	-0.01	1.15	0.28	0.54	0.56	0.71	-0.25
	İletkenlik					pH					TÇM				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	-0.31	-1.08	-1.27	-1.00	-0.82	-0.79	-0.74	-0.92	-1.37	0.80	-0.30	-1.08	-1.26	-1.00	-0.47
karekök dönüşümü	-0.31	-1.08	-1.27	-1.00	-0.82	-0.79	-0.74	-0.92	-1.38	0.80	-0.30	-1.08	-1.27	-1.00	-0.47

2. Tabaka (Ara tabaka dahil değil) Eğitim Verilerinin Çarpıklık Katsayıları

	Derinlik					Sıcaklık					ÇO				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	0.01	-0.13	-0.10	0.25	0.00	0.95	0.85	1.07	0.99	0.90	-0.78	-0.08	-1.63	-1.34	-0.21
karekök dönüşümü	-0.14	-0.28	-0.23	0.11	-0.15	0.91	0.80	1.03	0.96	0.85	-0.96	-0.21	-1.78	-1.48	-0.23
	İletkenlik					pH					TÇM				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	1.32	0.75	1.45	1.19	1.02	-0.19	0.99	0.38	-0.18	0.94	1.32	0.75	1.44	1.19	1.01
karekök dönüşümü	1.32	0.74	1.44	1.18	1.00	-0.20	0.98	0.36	-0.18	0.92	1.32	0.74	1.44	1.18	1.00

2. Tabaka (Ara tabaka dahil değil) Test Verilerinin Çarpıklık Katsayıları

	Derinlik					Sıcaklık					ÇO				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	-1.80	-0.56	-0.74	-0.90	-0.12	0.11	1.33	0.68	-0.09	-0.45	0.18	0.64	0.52	0.60	0.69
karekök dönüşümü	-1.81	-0.57	-0.75	-0.91	-0.15	0.11	1.33	0.68	-0.09	-0.45	0.04	0.47	0.40	0.51	0.46
	İletkenlik					pH					TÇM				
	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9	2	5	6	7	9
Ham Veri	0.19	-0.60	-0.69	-0.27	0.06	-0.37	-0.22	-0.25	-0.95	-0.14	0.20	-0.60	-0.69	-0.26	-2.66
karekök dönüşümü	0.19	-0.60	-0.69	-0.27	0.06	-0.37	-0.22	-0.25	-0.95	-0.15	0.20	-0.60	-0.69	-0.26	-2.66

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ahu Dede

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 1982

Adres: Fulya Mah. No:17/26 Mecidiyeköy/İstanbul

Lisans Üniversite: Çevre Mühendisliği, Marmara Ünv. 2000 – 2005

Yüksek Lisans: Hidrolik ve Su Kaynakları Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi 2007 - devam