

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AKARSULARDA SU KALİTESİ BELİRLEME VE MODELLEME

MEHMET ALİ ÇOŞKUN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

MALATYA

2012

Tezin Başlığı : Akarsularda Su Kalitesi Belirleme ve Modelleme

Tezi Hazırlayan : Mehmet Ali ÇOŞKUN

Sınav Tarihi : 25 Aralık 2012

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Prof. Dr. Hüseyin KARACA (Jüri Başkanı)

İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Ayşe SARIMEŞELİ (Üye)

İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. A. Mehmet YÜCEER (Danışman)

İnönü Üniversitesi

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘Akarsularda Su Kalitesi Belirleme ve Modelleme’ başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Mehmet Ali ÇOŞKUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AKARSULARDA SU KALİTESİ BELİRLEME VE MODELLEME

Mehmet Ali ÇOŞKUN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

90+xi sayfa

2012

Danışman: Doç. Dr. A. Mehmet YÜCEER

Akarsu kirliliği, canlı yaşamını olumsuz etkileyen önemli bir çevre problemidir. Bu çevre probleminin önüne geçmek için, öncelikle akarsu havzalarında su kalitesinin izlenerek kirlilik kaynakları tespit edilmelidir. Sonrasında, belirlenen kirlilik kaynaklarının akarsuya etkisi araştırılarak çevre kirlenmesinin kontrol edilebilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerekir. Kirlilik kaynaklarının akarsu uzunluğu boyunca oluşturabileceği olumsuz etkilerin öngörülmesi ve dolayısıyla yapılacak yatırımların akarsuya olası etkilerinin belirlenebilmesi için su kalitesi modellerinin oluşturulması ve bilgisayar ortamında benzetimi oldukça önemlidir. Su kalitesi modellerinde yer alan parametrelerin deneme-yanılma yöntemine gerek kalmadan optimizasyonla belirlenmiş olması model güvenilirliğini sağlamak için yeterlidir.

Bu tez kapsamında, Malatya ili sınırlarında yer alan Beylerderesi akarsuyu üzerinde sahada ve laboratuvarda çalışmalar yapılarak, su kalitesi parametreleri analizlenmiştir. Akarsuyun dinamik modellenmesi için seri bağlı tam karıştırmalı tepkime kabı (CSTR) yaklaşımı kullanılmıştır. Beylerderesi akarsuyu dinamik olarak modellenmiş ve kinetik parametreler optimizasyonla bulunmuştur. Model parametrelerinin belirlenmesi, dinamik bir örnekleme süresince alınan tüm gözlem noktalarında hal değişkenlerinin deneysel ve öngörü değerleri arasındaki farkların karelerinin toplamına göre oluşturulan bir objektif fonksiyonunun minimizasyonuna göre yapılmıştır. Optimizasyon adımı için SQP (*Sequential Quadratic Programming*) yöntemi kullanılmıştır.

Akarsu ve kirlilik yüklerine ait 9 hal değişkeni (amonyum, nitrit, nitrat ve organik azotlar; organik ve çözünmüş fosforlar; 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı, çözünmüş oksijen ve klor) için ölçümler alınarak, model benzetimi gerçekleştirilmiştir. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca, yapılan benzetim sonuçları ile deneysel ölçümler kıyaslanarak mutlak ortalama hata yüzdesi hesaplanmıştır. Sonuçlara göre model öngörülerinin, deneysel değerlerle önemli ölçüde uyum sağladığı görülmüştür. Bir akarsu için en önemli göstergelerden olan biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve çözünmüş oksijen değişkenleri için hesaplanan mutlak ortalama hata değerleri sırasıyla % 1.39 ve % 0.95 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akarsu Modellemesi, Dinamik Benzetim, Parametre Optimizasyonu.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

IDENTIFICATION AND MODELLING OF WATER QUALITY IN RIVER STREAMS

Mehmet Ali ÇOŞKUN

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

90+xi pages

2012

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. A. Mehmet YÜCEER

River pollution is a major environmental problem negatively effects on life. In order to prevent this environmental problem, first of all sources of pollution must be determined by monitoring water quality in river basins. Investigating the effect of determined pollution sources, the necessary measures must then be taken for control of environmental pollution. Creation of models and computer simulation of water quality are very important for prediction of the potential adverse effects of pollution sources along the length of stream, and thus determining of the possible effects of investments to stream. In the water quality models, the parameters, determined through optimization without the need for trial and error method, is required to ensure the reliability of the model.

In this thesis, studies on the field and in the laboratory, water quality parameters of Beylerderesi River located in the province of Malatya, were analyzed. For the dynamic modeling of the stream, continuous stirred tank reactor (CSTR) approach was used. Beylerderesi stream is modeled as a dynamic model, the kinetic parameters were found by optimization. Determination of the model parameters was made according to minimization of an objective function generated by the sum of the squares of the differences between predictive values and experimental values, all the observations taken during the sampling points of a dynamic state variables. For the step of optimization, SQP ('Sequential Quadratic Programming') method was used.

The model, based on the measurements of 9 status variable of streams and pollution loads (ammonium, nitrite, nitrate, and organic nitrogens, and dissolved organic phosphors, 5-day biochemical oxygen demand, dissolved oxygen, and chlorine), was simulated. The mean absolute percentage errors by comparing simulation results with the experimental measurements, along the length of 20 km of stream, were calculated. According to the results the model predictions with the experimental data has been observed that a significant degree of alignment. One of the most important indicators of stream biochemical oxygen demand and dissolved oxygen in the average absolute error values, for the variables calculated, were obtained as 1.39% and 0.95%, respectively.

Keywords: River Modeling, Dynamic Simulation, Parameter Optimization.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında değerli bilgileri ile beni yönlendiren, yardımlarını esirgemeyen ve destekleyen saygı değer tez danışman hocam Doç. Dr. Mehmet YÜCEER' e;

Yüksek Lisans eğitimimde bana emeği geçen değerli hocalarım Prof. Dr. Kadim CEYLAN' a, Prof. Dr. Ahmet EKMEKYAPAR' a, Prof. Dr. Asım KÜNKÜL' e ve Yrd. Doç. Dr. Çiğdem Sarıcı Özdemir' e teşekkür ederim. Yüksek lisans öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Cihangir BOZTEPE' ye, Arş. Gör. Mahmut DAŞKIN' a, Arş. Gör. Emir TOSUN' a ve Arş. Gör. G.Deniz TURAN' a teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında beni destekledikleri gibi Yüksek Lisans çalışmalarım esnasında da maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen değerli annem Selver ÇOŞKUN, kardeşlerim Sacide ve Zekiye Sare ÇOŞKUN ve babam Hüsamettin ÇOŞKUN' a teşekkür ederim.

2011/17 No' lu proje kapsamında maddi desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi' ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1. Yüzeysel Su Kalitesi ve Modelleme.....	3
2.2. Yüzeysel Su Kalitesi Modellerinin Yapısı.....	4
2.3. Modellemede Kullanılan Veriler	6
2.3.1. Fiziksel Sistemi Açıklayıcı Veriler.....	6
2.3.2. Hidrolik ve Hidrolojik Veriler.....	7
2.3.3. Meteorolojik Veriler.....	7
2.3.4. Akarsu Su Kalitesi Verileri.....	7
2.4. Model Seçimi ve Model Parametrelerinin Belirlenmesi.....	7
2.5. Literatürde Yer Alan Akarsu Kalitesi Modelleri.....	8
2.6. Akarsularda Kirlilik.....	13
2.6.1. Tuzluluk.....	14
2.6.2. Zehirli Gazlar.....	14
2.6.3. Oksijen Tüketen Maddeler.....	17
2.6.4. Azot Kirliliği.....	17
2.6.5. Fosfor Kirliliği.....	18
2.6.6. Ağır Metaller.....	19
2.6.7. Polikloro Naftalinler ve Bifeniller.....	20
2.6.8. Pestisitler.....	20
2.6.9. Gübreler.....	21
2.6.10. Deterjanlar.....	21
2.6.11. Organik Kirlenme.....	23
2.6.12. Askıda Katı Madde.....	25
2.7. Akarsu Modellemesinde Kullanılan Değişkenler.....	25
2.8. Parametre Belirleme.....	31
2.8.1. Parametre Belirlemede Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri.....	33
2.8.2. Dinamik Optimizasyon.....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	38
3.1. Akarsu Modellemesi.....	38
3.2. Seri Bağlı Tam Karıştırmalı Reaktör Yaklaşımı.....	39
3.3. Optimizasyon Çözüm Algoritması.....	44
3.4. Çalışma Bölgesi.....	46
3.5. Analizler İçin Kullanılan Malzemeler ve Aletler.....	47
3.5.1. Spektrofotometre.....	47
3.5.2. Dijital Elektrokimya Cihazı.....	48

3.5.3.	Kitler.....	49
3.6.	Yapılan Ölçümler ve Analizler.....	49
3.6.1.	Çözünmüş Oksijen analizi.....	49
3.6.2.	Sıcaklık ölçümleri.....	49
3.6.3.	Debi ölçümleri.....	50
3.6.4.	Bulutluluk ve Meteorolojik veriler.....	50
3.6.5.	pH ölçümü.....	50
3.6.6.	İletkenlik ölçümü.....	50
3.6.7.	Su görünümü.....	50
3.6.8.	Nitrit Azotu.....	50
3.6.9.	Nitrat Azotu.....	51
3.6.10.	Toplam Azot.....	51
3.6.11.	Amonyum Azotu analizi.....	51
3.6.12.	Klor analizi.....	51
3.6.13.	Toplam Fosfor Analizi.....	52
3.6.14.	Kimyasal Oksijen İhtiyacı.....	52
3.6.15.	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı analizi.....	52
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	53
4.1.	Saha Çalışması-I ve Deneysel Sonuçlar.....	53
4.2.	Saha Çalışması-II ve Deneysel Sonuçlar.....	56
4.3.	Saha Çalışması-III ve Deneysel Sonuçlar.....	61
4.4.	Saha Çalışması-IV ve Deneysel Sonuçlar.....	64
4.5.	Saha Çalışması-V ve Deneysel Sonuçlar.....	68
4.6.	Parametre Belirleme Sonuçları.....	73
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
	KAYNAKLAR.....	85
	ÖZGEÇMİŞ.....	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Yaygın olarak kullanılan su kalite modeli tipleri.....	6
Şekil 2.2.	Organik kirlenmenin akarsuya etkisi.....	24
Şekil 2.3.	Çözünmüş oksijen dengesi ve etki parametreleri.....	27
Şekil 2.4.	Bir akarsuda organik kirlenme noktasından itibaren azotlu bileşiklerde görülen değişim.....	30
Şekil 3.1.	Akarsuyun birim hacim elemanı için adveksiyonla taşınım.....	39
Şekil 3.2.	Akarsuyun modellenen hacim elemanı.....	41
Şekil 3.3.	Parametre belirleme temel adımları.....	45
Şekil 3.4.	Saha çalışmasının yapıldığı bölge.....	46
Şekil 3.5.	HACH DR 3900 VIS spektrofotometre.....	48
Şekil 3.6.	HACH HQ40d Multi modeli dijital elektrokimya cihazı.....	48
Şekil 3.7.	HACH marka LCK341 hazır kiti.....	49
Şekil 4.1.	12.06.2010 tarihli su kalitesi analizleri için örnek alınan noktalar.....	54
Şekil 4.2.	12.02.2011 tarihli su kalitesi analizleri için örnek alınan istasyonlar.....	55
Şekil 4.3.	Akarsu uzunluğu boyunca çözünmüş oksijen konsantrasyonu.....	56
Şekil 4.4.	Dinamik benzetim için numunelerin alındığı istasyonlar ve mesafeler.....	73
Şekil 4.5.	Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca amonyum azotu değişimi.....	75
Şekil 4.6.	Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca nitrit azotu değişimi.....	76
Şekil 4.7.	Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca nitrat azotu değişimi.....	77
Şekil 4.8.	Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca organik azot değişimi.....	78
Şekil 4.9.	Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca organik fosfor değişimi.....	78
Şekil 4.10.	Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca çözünmüş fosfor değişimi.....	79
Şekil 4.11.	Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca BOI ₅ değişimi.....	80
Şekil 4.12.	Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca çözünmüş oksijen değişimi.....	80
Şekil 4.13.	Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca toplam klor değişimi.....	81
Şekil 4.14.	Son istasyondan ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu değişimi.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Bazı su kalite modellerinin özellikleri.....	10
Çizelge 2.2.	Su kalitesi modelleri (United States Enviromental Protection Agency).....	11
Çizelge 2.3.	Bazı ülkeler ve kıtaların kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli.....	13
Çizelge 2.4.	Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri.....	15
Çizelge 3.1.	Sıcaklık düzeltme katsayıları.....	43
Çizelge 3.2.	HACH DR 3900 VIS spektrofotometre teknik özellikleri.....	47
Çizelge 4.1.	12.06.2010 tarihli su kalitesi analizleri.....	54
Çizelge 4.2.	12.02.2011 tarihli su kalitesi analizleri.....	55
Çizelge 4.3.	Yeşilyurt ilçe merkezi Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-1).....	57
Çizelge 4.4.	İstasyon-1' in 3.6 km sonrasında Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-2).....	57
Çizelge 4.5.	İstasyon-2' nin 10 km sonrasında (arıtma tesisi suyunun dereye karıştığı noktanın hemen öncesi) Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-3).....	58
Çizelge 4.6.	Arıtma tesisi çıkışı fazlasının tahliye edildiği borudan alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-4).....	58
Çizelge 4.7.	İstasyon-4' ten 200 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-5).....	59
Çizelge 4.8.	İstasyon-5' ten 500 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-6).....	59
Çizelge 4.9.	İstasyon-6' dan 8.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-7).....	60
Çizelge 4.10.	İstasyon-7' den 3.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-8).....	60
Çizelge 4.11.	Yeşilyurt ilçe merkezi Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-1).....	61
Çizelge 4.12.	İstasyon-1' in 3.6 km sonrasında Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-2).....	61
Çizelge 4.13.	İstasyon-4' ten 200 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-5).....	62
Çizelge 4.14.	İstasyon-5' ten 500 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-6).....	62
Çizelge 4.15.	İstasyon-6' dan 8.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-7).....	62
Çizelge 4.16.	İstasyon-7' den 3.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-8).....	64
Çizelge 4.17.	Yeşilyurt ilçe merkezi Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-1).....	64
Çizelge 4.18.	İstasyon-1' in 3.6 km sonrasında Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-2).....	65

Çizelge 4.19.	İstasyon-2' nin 10 km sonrasında (arıtma tesisi suyunun dereye karıştığı noktadan hemen öncesi) Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-3).....	65
Çizelge 4.20.	İstasyon-4' ten 200 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-5).....	66
Çizelge 4.21.	İstasyon-6' dan 8.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İst.-7).....	67
Çizelge 4.22.	İstasyon-7' den 3.5 km sonra su örneği analiz sonuçları (İstasyon-8).....	67
Çizelge 4.23.	Yeşilyurt ilçe merkezi Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-1).....	68
Çizelge 4.24.	İstasyon-1' in 3.6 km sonrasında Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-2).....	69
Çizelge 4.25.	İstasyon-2' nin 10 km sonrasında (II. Organize Sanayi arıtma tesisi suyunun dereye karıştığı noktadan 500 m öncesi) Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon 5.a).....	69
Çizelge 4.26.	İstasyon-5.a' dan 500 m sonra arıtma tesisi çıkış suyundan alınan örneğin analiz sonuçları (İstasyon 5.b).....	70
Çizelge 4.27.	İstasyon-5.a' dan 12 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-7.a).....	71
Çizelge 4.28.	İstasyon-5.a' dan 12 km sonra foseptik deposundan dereye karışan atıksu örneği analiz sonuçları (İstasyon-7.b).....	72
Çizelge 4.29.	İstasyon-7.b' den 8 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-8.a).....	72
Çizelge 4.30.	Model parametrelerinin alt – üst limitleri ve SQP optimizasyon tekniği ile hesaplanan değerleri.....	73
Çizelge 4.31.	Hal değişkenlerinin Deneysel ve Model sonuçları için % MOH değerleri.....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

KOI	Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L)
θ	Sıcaklık düzeltme katsayısı
BOI	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
CO	Çözünmüş oksijen (mg/L)
Q	Hacimsel akış hızı ($m^3/gün$)
V	Hacim (m^3)
A	Alg biyokütle derişimi, mg-A/L
C	Derişim, (M/L^3)
d	Derinlik, m
D	Dispersiyon katsayısı , (L^2/T)
F_1	Alg azotunun amonyağa oranı
K_1	BOİ deoksidasyon hızı, 1/gün
K_2	Fickian difüzyon analoğu, 1/gün
K_3	Çökelmeden dolayı BOİ azalma hızı, 1/gün
K_4	Dip çamuru oksijen ihtiyacı, mg-O/ft ² -gün
K_5	Koliform ölüm hızı, 1/gün
K_6	İsteğe göre seçilen korunmayan mineral bozunma katsayısı, 1/gün
L	Son BOİ derişimi, mg/L
M	Kütle, (M)
N_1	Amonyak azotu derişimi, mg-N/L
N_2	Nitrit azotu derişimi, mg-N/L
N_3	Nitrat azotu derişimi, mg-N/L
N_4	Organik azot derişimi, mg-N/L
O^*	Yerel sıcaklık ve basınçtaki çözünmüş oksijen doygunluk derişimi, mg/L
O	Çözünmüş oksijen derişimi, mg/L
P_N	Amonyak azotu tercih faktörü
P_{wv}	Su buharının kısmi basıncı, atm
S	Sisteme giren veya çıkan, (M/T)
t	Zaman, gün
T	Sıcaklık, °C veya K

u	Ortalama hız, (L/T)
x	Uzunluk, (L)
ρ	Alg yerel solunum hızı, 1/gün
μ	Alg yerel spesifik büyüme hızı, 1/gün
β_1	Amonyum büyüme hızı, 1/gün
β_2	Nitrit ' in nitrata biyolojik oksidasyon hızı sabiti, 1/gün
β_3	Organik azotun amonyağa hidroliz hızı sabiti, 1/gün
β_4	Organik fosforun, çözünmüş fosfora dönüşüm hız sabiti, 1/gün
α_0	Klorofil- A ' nın alg biyokütle oranı, ug-Chl a/mg-A
α_1	Azotun alg biyokütle kesri, mg-N/mg-A
α_2	Fosforun alg biyokütle kesri, mg-P/mg-A
α_3	Alg büyümesinden dolayı birim oksijen üretimi, mg-O/mg-A
α_4	Birim alg ünitesinin solunum yoluyla oksijen tüketim hızı, mg-O/mg-A
α_5	Birim amonyak azotu oksidasyonu oksijen tüketim hızı, mg-O/mg-N
α_6	Birim nitrit azotu oksidasyonu oksijen tüketim hızı, mg-O/mg-N
σ_1	Alg çökelme hızı, ft/gün
σ_2	Çözünmüş fosfor alg solunum hızı, mg-P/ft ² -gün
σ_3	Amonyak azotu alg solunum hızı, mg-O/ft ² -gün
σ_4	Organik azot çökelme hızı, 1/gün
σ_5	Organik fosfor çökelme hızı, 1/gün
σ_6	Seçilen korunmayan mineral çökelme hızı, 1/gün
σ_7	Seçilen korunmayan mineral çökelme hızının alg solunum hızına oranı, mg-ANC/ ft ² –gün
λ_0	Alg olmayan kısmın ışık azaltma katsayısı, ft ⁻¹
λ_1	Alg'in kendi yüzeyini doğrusal olarak kapatma katsayısı, ft ⁻¹ (ug-Chl _a /L) ⁻¹
λ_2	Alg'in kendi yüzeyini nonlineer kapatma katsayısı, ft ⁻¹ (ug-Chl _a /L) ^{-2/3}
K_L	Işık için yarı doygunluk katsayısı, Btu/ft ² -hr
K_N	Azot için Michaelis-Menten yarılanma sabiti, mg-N/L
K_P	Fosfor için Michaelis-Menten yarılanma sabiti, mg-P/L
μ_{max}	Alg büyümesi için maksimum hız, 1/gün
I	Işık şiddeti, Btu/ft ² -hr
F_L	Işık şiddetinden dolayı alg büyümesi azaltma faktörü

Kısaltmalar

<i>NLP</i>	Doğrusal olmayan programlama
<i>SQP</i>	Ardışık kuadratik programlama
<i>QP</i>	Kuadratik programlama
<i>AKAB</i>	Akarsu Benzetim
<i>EPA</i>	Çevre koruma ajansı
<i>MOH</i>	Mutlak Ortalama Hata
<i>CSTR</i>	Sürekli karıştırılmalı tank reaktör
USEPA	United States Enviromental Protection Agency

Alt ve Üst İndisler

<i>in</i>	Giriş akımı
<i>max</i>	Maksimum
<i>0</i>	Başlangıç
<i>s</i>	Son

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli olarak artması çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Gelişmekte olan ülkeler kalkınma çabası gösterirken çevre kirlenmesine karşı alınması gereken önlemleri göz ardı etmektedir. Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de doğal kaynakların dikkatsiz kullanımı söz konusudur. Bu dikkatsiz kullanım sonucunda olarak temiz su ihtiyacı ise her geçen gün artmaktadır. Araştırmalar dünya genelinde su kullanımının 1940–1980 yılları arasında iki katına çıktığını göstermektedir. Ülkemiz 26 akarsu havzasına ayrılmıştır. Bu havzalardaki yüzey sularının incelenmesi ve su kalite sınıflarının belirlenmesi amacıyla, 1980 yılından bu yana Çevre ve Orman Bakanlığı’nca projeler yürütülmektedir. Bu bakanlıkça ayrıca su kirliliği düzeyinin belirlenmesi için “Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği” yayımlanmıştır [1].

Toplumların çevre kirliliğine karşı aldığı en önemli önlemlerden biri kanalizasyon sistemleridir. Genel olarak bu kanalizasyon suları arıtımsız olarak akarsulara deşarj edilmektedir. Bunun yanında tarım arazilerinde yapılan hatalı kimyasal ve organik gübre kullanımı ile karasal suların kirliliği hızla artmaktadır. Bu iki kirlilik etkisinden daha önemli bir kirlilik etkisi ise sanayi kuruluşlarının atıklarının arıtımsız bir şekilde akarsulara deşarjıdır. Bu nedenle, akarsularda kirlilik önemli bir boyuta ulaşmaktadır. Göl, baraj ve benzeri durağan suların kirlenmesi yalnızca bulundukları bölgeyi etkilerken, akarsuların kirlenmesi ile suyun takip ettiği yol boyunca geçtiği tüm bölgeler etkilenmektedir [1].

Dünya nüfusunun 20. yüzyılda 19. yüzyıla oranla üç kat artmasına karşılık suya olan ihtiyaç talebinin altı kat artması, dünyadaki su miktarının azalışının da neredeyse nüfus artışına oranla iki kat hızla gerçekleştiği 2002 yılında World Resources Institute tarafından rapor edilmiştir [2].

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz, ekolojik özellikleri birbirinden farklı olan çok sayıda geniş iç su sistemine sahiptir. Ülkemizde 178.000 km uzunluğunda 36 adet akarsu, yüzölçümü yaklaşık 9.000 km² olan 200’ den fazla doğal göl ve sayıları her geçen yıl artan çok sayıda gölet ve baraj gölü bulunmaktadır [3]. Ülkemiz ihtiva ettiği su kaynakları bakımından şanslı ülkeler arasındadır. Bununla birlikte su kirliliği ülkemizin önemli çevre kirliliği problemlerindendir [4]. Dünya nüfusunun % 40’ ını içeren 80 ülke şimdiden su sıkıntısı çekmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının çok iyi değerlendirilmesi, bilinçli su ve

atıksu yöntemiyle hayat kalitesini bozmadan alınacak önlemlerle akarsu kaynaklarının kirletilmesinin önlenmesi çok büyük önem taşımaktadır.

Akarsuların “su kalitesi” nin iyileştirilmesi için öncelikle kirlilik yüklerinin belirlenmesi ve bunların akarsu üzerindeki kötü etkilerinin sağlıklı bir şekilde öngörülerek gerekli tedbirlerin alınması sağlanmalıdır.

Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi’ nin getirdiği aşağıda belirtilen yaklaşımlar açısından bu çalışmanın yerel ve ulusal alanda katkı sağlayacağı düşünülmektedir [5];

- Tüm suları korumaktadır. Nehirler, göller, kıyı suları ve yeraltı suları.
- Tüm su kütlelerinin 2015 yılına kadar “iyi durum”da olması gibi kesin bir hedef koymaktadır.
- Su kalite standartlarının ve emisyon kontrolünün birlikte değerlendirilmesi ve öncelikli zararlı maddelerin ortadan kaldırılmasını içermektedir.

Akarsularda kirlilik kontrolü ve su kalitesi iyileştirilmesi için kirleticiler kaynaklar ve yükler belirlendikten sonra bu yüklerin etkisinin izlediği yol boyunca takip edilmesi ve incelenmesi gerekir. Bu sebeple bir akarsuyun matematik modelinin oluşturulması gerekmektedir [6].

Tezi oluşturan bölümler sırasıyla: Bölüm 2’ de literatürde bulunan su kalite modellerinden ve parametre belirleme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bölüm 3’ te akarsu modellemesi için kullanılan yaklaşım, kullanılan optimizasyon yöntemi, çalışma bölgesi ve ölçülen değişkenler hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 4 ’te saha ve laboratuvar çalışmalarının yapılışı ve hesaplamalar hakkında bilgiler sunulmuş, araştırma bulgularına yer verilmiştir ve modelleme çalışmalarından bulunan sonuçlar özetlenmiştir. Bölüm 5’ te ise bulunan sonuçlar değerlendirilerek, öneriler sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında, Malatya ili sınırlarında yer alan Beylerderesi akarsuyu üzerinde saha ve laboratuvar çalışmaları yapılarak, su kalite parametreleri analizlenmiştir. Seri bağlı tam karıştırmalı tepkime kabı (CSTR) yaklaşımı ile akarsuyun dinamik modellenmesi gerçekleştirilmiş ve bilgisayar ortamında kodlanmıştır. Modelde yer alan kinetik parametreler optimizasyonla bulunmuştur. Bulunan optimum parametreler yardımıyla dinamik benzetim yapılmış ve deney verileri ile kıyaslanarak model doğruluğu test edilmiştir. Optimizasyon ve benzetim için bilgisayar ortamında program kodları oluşturulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde yüzeysel su kalitesi modelleri, su kalitesi verileri ve parametre belirleme ile ilgili olarak literatür bilgilerine yer verilmiştir.

2.1. Yüzeysel Su Kalitesi ve Modelleme

Akarsu havzası çevre sistemleri değişen iklim koşulları nedeniyle belirsizlik ve karmaşıklık içerir. Bu yüzden, yöneticiler, doğal kaynakların kalitesi ve miktarı açısından genellikle çözüm için parasal kaynakların da sınırlı olması sebebiyle kısa zamanda en uygun karar vermek zorundadır. Bu durumda yöneticilerin vereceği karara matematiksel temeller yardımcı olmaktadır. Karar verme ile modelleme arasındaki ilişki de bu gereksinimden kaynaklanmaktadır.

Su kalitesi modelleri, su ortamında oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesleri tanımlayan matematiksel eşitliklerden oluşmaktadır. Doğal olaylardan ya da evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu oluşan noktasal deşarjlar modelin kirlilik yüklerini meydana getirmektedir. Karmaşık, rasgele ve zamanla değişken özellik gösteren kirlilik kaynakları nedeniyle akarsu sisteminin davranışı dinamiktir.

Bir akarsu sisteminin değişik kirlilik yükleri altında olası davranışı ancak o sistemin dinamik özelliklerinin bilinmesi ile öngörülebilmektedir. Bu nedenle, iyi bir dinamik model kurulmalı ve sonrasında güvenilir bir benzetim yapılmalıdır. Dolayısıyla geliştirilen model deneysel olarak test edilmeli, model parametreleri sağlıklı olarak belirlenmeli ve kanıtlanmalıdır.

Kirlilik değişkenleri konsantrasyonlarının zaman ve konumla değişimlerinin matematiksel olarak ifade edildiği su kalitesi modelleri, çeşitli etkilerle su kalitesinde meydana gelen bozulmaları tespit etmek ve bu etkilerin doğuracağı sonuçları en aza indirmek için alınması gereken önlemlerin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır [7].

Matematiksel olarak modellemesi yapılan gerçek olayı, elde edilen matematiksel modelin en iyi ve yüksek hassasiyette temsil etmesi en önemli noktadır ve bilgisayar destekli çalışmalar bu doğrultuda yürütülmektedir. Oluşturulan matematiksel modelin daha

iyiye ve daha ileriye götürülmesi, dolayısıyla gerçek olayı daha iyi şekilde temsil eden bir yapıya getirilmesi temel olarak hedeflenmektedir.

2.2. Yüzeysel Su Kalitesi Modellerinin Yapısı

Su kalitesi yönetiminde bir araç olarak kullanılan yüzeysel su kalite modelleri, çeşitli kategoriler içinde aşağıdaki şekilde gruplandırılmaktadır.

- (i) Modellemenin yapıldığı çevreye göre,
- (ii) Modelin amacına göre,
- (iii) Boyut sayısına göre,
- (iv) Prosesin tanımına göre,
- (v) Verilerin tipine göre,
- (vi) Zamansal değişime göre,

Birinci gruptaki modeller, her biri farklı kimyasal ve hidrolik özelliklere sahip, akarsu, göl ve körfez gibi uygulandığı ortama göre değişen modellerdir [8].

Modellemenin hedefine göre değişen ikinci grup modeller; hidrokimyasal modeller, su kimyasıyla ilişkili olarak kimyasal ve biyolojik prosesleri modellemektedir. Karışım bölgesi modeli, su kütlesine bir deşarj, bir yan kol girmesi ile karışımdan sonrasını modellemektedir. Kirlenici taşınımı modelinde ise ani bir olay sonucunda oluşan kirlenicilerin etkilerini modellemektedir. Bu modeller, özel amaçlar için kalibre edilerek kullanılırlar [8].

Sistemin boyutuna göre değişen üçüncü grup modeller ise, sistemin gerçek boyutunu yansıtılabilmelidir. Modeller, 0, 1, 2, 3 boyutlu olabilmektedir. Sıfır boyutlu model (0D), kirlenicilerin dispersiyon proseslerini göz önüne almaz ancak su kütlesinin tam karışımı olduğunu kabul ederek, basitçe hacmi ve konsantrasyonu temsil eder. Bir boyutlu modeller (1D), su hızını, çözünmüş maddelerin adveksiyon ve dispersiyonunu dikkate alır. Böylece, akarsu genişlik ve derinlik boyunca tam karışımı kabul edilmektedir. İki boyutlu model ise (2D), akarsuyun genişlik ya da derinlik boyunca dispersiyonunu benzetmekte ancak ikisini eş anlamlı benzetimini gerçekleştirememektedir. Üç boyutlu modeller, su akımını (debiyi), çözünmüş maddelerin her yöndeki dağılımını hesaba katabilmektedir. Üç boyutlu su kalite modelleri genellikle geniş ve derin göl ve haliçlerde kullanılmaktadır [9, 10].

Prosesin tamamına göre değişen modeller, ampirik ve mekanistik modellerdir. Ampirik modeller, modelin çıktılarını deneysel olarak belirlenmiş değerler ile bağdaştırır. Hidrokimyasal olayları ise açıklayamazlar. Bu yüzden bazı ampirik modellere kara kutu modelleri denilmektedir. Bu modeller, sebep ve etki ilişkilerini araştırmakta faydalıdır ve çok karmaşık durumlarda kullanılmazlar. Sadece durum değerlendirmesi yaparlar. Mekanistik modeller, akarsu boyunca su kalitesini ve debisindeki değişimleri benzetimini gerçekleştirir [8].

Verilerin tipine göre değişen modeller, deterministik ve stokastik modellerdir. Deterministik modelde, sabit girdi değişkenleri kullanılır. Modelin yaptığı hesaplamalarda, giriş ve çıkış değişkenlerini sabit kabul eder. Elimizde çok fazla veri ya da değişken yoksa deterministik modeller kullanılır. Daha kesin ya da daha ortalama değerlere yaklaşan sonuçlar üretirler. İstatistiksel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerin açıklanmasıyla stokastik modeller oluşturulur. Çok fazla veri ya da değişken olması durumunda stokastik model kullanılır. Kesin sonucu yoktur ve genel bir sonuç verir. Girdi ve çıktılar arasındaki ilişkileri istatistiksel olarak verir [9, 10].

Zamansal değişime göre kurulan modeller dinamik ve kararlı hal modeller olmak üzere iki gruba ayrılır. Dinamik modeller, su miktar ve kalitesinin günlük, aylık ve mevsimlik olarak zamana bağlı değişimler olduğu durumlarda kullanılmaktadır [8].

Kararlı hal modelleri, zamansal değişimlerin daha az yaşandığı durumlarda kullanılmaktadır. Şekil 2.1' de yüzeysel su kalitesi modelleri verilmektedir.

Akarsu modelleri,

(i) Simülasyon modelleri (ii) Optimizasyon modelleri

olarak ikiye ayrılabilir. Bunların arasında yapılacak seçim modelin kullanım amacına bağlıdır. Eğer hedef, havzanın sosyo-ekonomik gelişmesi için su kaynakları planlaması ve mevcut su kullanımlarının, kirletici kaynakların ayrıca gelecekteki kullanımların ve kirletici kaynakların su kalitesine olan etkisinin araştırılması ise simülasyon modelleri kullanılır. Simülasyon modelleri ile farklı su kalitesi yönetim stratejilerinin politik, sosyal ve yasal boyutlarının ayrı ayrı değerlendirilmesi mümkün olur [8].

Su Kalitesi Modelleri			
Göl		Nehir	
Körfez			
Hidrokimyasal		Karışım Bölgesi	
Kirlenici Taşınımı			
0D	1D	2D	3D
Ampirik		Mekanistik	
Stokastik		Deterministik	
Dinamik		Kararlı Hal	

Şekil 2.1. Yaygın olarak kullanılan su kalite modeli tipleri [10].

Optimizasyon modelleri yönetim kararını yönlendirebilmek için belli sayıda kalite parametresi ve amaç fonksiyonu ile sınırlandırılmaktadır.

Su kirliliği kontrolünde kullanılan matematiksel modeller, iki ana grupta toplanabilir;

- Yüzeysel sulardaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik oluşumları matematiksel olarak ifade eden modeller,
- Dış etkilerle doğal dengesi bozulan ve değişimleri birinci tipteki modeller ile belirlenen ortamlarda, yapılacak mühendislik çalışmalarına ve alınacak ekonomik, sosyal ve hukuki kararlara yol gösterecek simülasyon (benzeşim) ve optimizasyon modelleri [9, 11, 12].

2.3. Modellemede Kullanılan Veriler

2.3.1. Fiziksel Sistemi Açıklayıcı Veriler

Her model için inceleme altına alınan akarsuyun coğrafi yerleşim kolları, doğal ve mühendislik su yapıları, evsel, endüstriyel ve tarım bölgeleri gibi. etkenler ile ilişkisinin

tespit edilmesi gerekir. Bu coğrafi bilgiler havza gelişimi için önerilecek alternatiflerin belirlenmesinde gereklidir (Atıksu kaynaklarına arıtma yapılması, tarım bölgelerine kısıtlama getirmek, barajdan mansaba minimum bir kuyruk suyu bırakmak vb.).

2.3.2. Hidrolik ve Hidrolojik Veriler

Modelin amacına göre gözlem aralığı, gözlem süresine uygun genellikle debi ölçümleri kullanılmaktadır. Debi ölçümlerinin yanı sıra yeraltı suyuna sızma, yeraltı suyundan beslenme gibi parametreler de kullanılabilir. Bu veriler kalite gözlemlerinde minimum, maksimum ve ortalama olarak tanımlanabileceği gibi bağımsız olarak geliştirilmiş hidrolojik bir model olarak da tanımlanabilir [7].

Gözlemlerin istatistik olarak değerlendirilmesi, düşük-akım, yüksek-akım kombinasyonlarının belirlenmesi gerekebilir.

2.3.3. Meteorolojik Veriler

Bulutluluk, atmosfer basıncı, hava basıncı, rüzgar hızı ve yönü, yağış, tipi gibi gözlemler kullanılabilir.

2.3.4. Akarsu Su Kalitesi Verileri

Coğrafi verilerde belirlenen kirletici kaynakların, atıksuları veya kirletici unsurları üzerinde kirlilikleri tanımlayan deney gözlemleridir. Bu deneyler, atıksu debileri, atıksu sıcaklığı, koliform sayıları, BOİ, fosfat, alkalinite, pH, amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$), Çözünmüş oksijen (ÇO) olabilir. Belli bir süreyi kapsayan deneylerde istatistiksel değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir.

2.4. Model Seçimi ve Model Parametrelerinin Belirlenmesi

Kirlilik modelleri, incelenen yüzeysel su ve havza için planlanan geliştirmeler için yöneltilecek sorulara cevap vermelidir. Gelecekte yapılacak bazı değişiklik ve yeni etkiler

(sıcaklık, debi, iklim gibi doğal gelişmeler ile fabrika ve yerleşim merkezlerinin atıksuları) altında oluşacak durumların önceden tespit edilmesi gereklidir. Modeller seçilerek ve mevcut verilerden hareketle istenen sorulara cevap verecek modeller geliştirilir. Mevcut veriler, geliştirilen yazılımlar ile değerlendirilir ve kalibrasyonu yapılır. Bu işlem için akarsu bölümlere ayrılarak ve her bir bölme için parametrelerini belirleyecek çalışmalar yapılır.

Seçilen modelin girdi gözlemleri (hidrolojik ölçümler, hava şartları, kirlilik) ve aynı süredeki çıktı gözlemleri (BOİ, ÇO, nütrient, koliform vb.) veri olarak hazırlanır. Gözlemlenmiş girdiler modelde kullanılarak sonuçlar üretilir. Hesaplanan sonuçlar ile gözlemler arasındaki farkı azaltacak biçimde model parametreleri değiştirilir. Su kalitesi model programlarının parametrelerinin belirlenmesi ve model kalibrasyonu konusunda uygulanabilecek en basit yöntem deneme-yanılmadır. Ancak oluşturulacak olan modelin karmaşıklığı ve belirlenmesi gerekli olan parametrelerin çokluğu sebebiyle bu yöntemle sonuca ulaşmak olanaksız gözükmemektedir. İkinci bir yol probleme 'bağıl hata' kavramı ile istatistiksel olarak yaklaşımdır [13]. Bu işlem hesaplanan çıktı ile gözlemler arasındaki fark minimum yapıncaya kadar devam eder. Bu şekilde mevcut durum en iyi şekilde değerlendirilerek model kullanılır hale getirilir. İleri de beklenen veya düşünülen durumlar (doğal veya insan yapısı) çeşitli alternatifler, modele işlenerek sonuçlar değerlendirilir [7].

2.5. Literatürde Yer Alan Akarsu Kalitesi Modelleri

QUAL2E yan kolları da kapsayacak şekilde akarsularda ve iyi karışımli göllerdeki klasik kirleticiler için bir kararlı hal modelidir. Su kalitesi yönetiminde planlama aracı olarak geliştirilen bu model, kararlı hal için olduğu gibi dinamik modellemede de kullanılabilir. Dünyada en sık kullanılan yüzeysel kalite modelidir.

Model kalibrasyonu ve model kullanımı konusunda South Plate (ABD) nehrinde gerçekleştirilen çalışmalar ile USGS-QW ve QUAL2E modellerinin kalibrasyonu yapılmıştır [14].

Su kalite yönetiminde dinamik programlama modellerinden en uygununun belirlenmesi üzerine çözünmüş oksijen modelinin QUAL2E ile WASP4 karşılaştırılmalı olarak atık yüklerin tespiti konusunda çalışmalar yapılmıştır [15].

Nehirler üzerinde üçüncü mertebe analiz yapabilen QUICK ve QUICKEST modellerinin farklılıkları ve uyumu çalışılmıştır [16].

Kanallarda ağ modellemesinde eş zamanlı çözüm algoritması üzerinde çalışmalar yapılmıştır [17].

Literatürde su kalite model parametrelerinin belirlenmesinde genetik algoritma (GA) kullanan araştırmacılara rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda, çözüm için en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır [18].

Rauch ve arkadaşları mevcut akarsu su kalite modellerinden 10 önemli yazılımı karşılaştırmalı olarak incelemiş ve bunlardan yalnızca iki tanesinin (AQUASIM ve DESERT) sınırlı parametre belirleme özelliğine sahip olduğunu belirtmiştir [19]. Bunlardan AQUASIM, su sistemlerinin birçok alanında kullanılabilir. Kısmen basit bir denitrifikasyon prosesi örneği için aktif çamur sistemlerinde model parametrelerinin belirlenmesi için kullanılmıştır.

MATLAB ve ArcView yazılımlarından yararlanarak nehir kalite modeli coğrafi bilgi sistemi kullanılarak yapılmıştır. 2002 yılında bu çalışmanın benzer uygulaması MATLAB Mapping Toolbox kullanılarak geliştirmiştir [20].

Avrupa Birliği'nde özel bir proje sonucunda ortaya çıkan CBS temelli bir nehir çevre yönetimi ve tehlike değerlendirme yazılımı (GREAT-ER) CBS teknolojisini kullanan bir 'akarsu çevre yönetimi ve tehlike değerlendirme' yazılımı olan GREAT-ER (2003) 'ın İngiltere-Yorkshire, İtalya-Lambro ve Almanya-Itter' da 2 yıl süre ile doğruluğu araştırılmıştır [21]. Bu yazılım incelendiğinde bir nehirde izlenmesi gereken kirlilik parametrelerinin çoğunun dikkate alınmadığı görülmektedir. Ayrıca izlenen parametreler sadece kimyasal atıkların izlenmesine yöneliktir. Yazılım yatışkın hali esas alır. Bilindiği gibi akarsu davranışı dinamik. Ayrıca GREATER yazılımının parametre tahmin özelliği bulunmamaktadır. Oysa bu özellik, akarsuyun kalitesini belirleyecek modelin, doğru çalışması için son derece önemlidir.

Mevcut su kalite modellerinden bir kısmı Cox (2003) tarafından kıyaslamalı olarak incelenmiş (Çizelge 2.1) ve dünyada en çok kullanılan QUAL2E olduğu belirtilmiştir [10].

QUAL2E ve QUAL2-UNCAS çok iyi bilinen genel amaçlı akarsu su kalitesi modelleridir [22, 23]. Bu modeller dünyada pek çok kişi tarafından birçok akarsuya uygulanmış ve güvenilirliği kanıtlanmıştır [24 – 27].

Çizelge 2.1. Bazı su kalite modellerinin özellikleri [10].

ÖZELLİK		MODEL					
		TOMCAT	SIMCAT	QUAL2E	QUASAR	MIKE 11	ISIS
Boyut	1-D	X	X	X	X	X	X
	2-D						
Zaman	Yatışkın	X	X	X			
	Dinamik				X	X	X
Zorluk	Basit	X	X				
	Orta			X	X		
	Karmaşık					X	X
Proses	Ampirik						
	Mekanistik	X	X	X	X	X	X
Veri tipi	Stokastik	X	X		X		
	Deterministik			X	X	X	X
Parametre tahmini	Var					X	
	Yok						

Yukarıda sunulan modellerin dışında USEPA tarafından desteklenen modeller de mevcuttur. Bu modellerin isimleri ve kullanım amaçları Çizelge 2.2’ de özetlenmektedir.

Çizelge 2.2. Su kalitesi modelleri (United States Enviromental Protection Agency) [28]

Model		Kullanım Amacı
AQUATOX	Sucul Ekosistemler İçin Benzeşim Modeli	Ekosistemin bir kısmından diğer kısmına geçen kimyasal ve biyokütle benzeşimini sağlayan ekosistem modeli olarak tanımlanıp, sucul ekosistemde kimyasalın sadece yayılımını tahmin etmekle kalmayıp, aynı zamanda canlı organizmalarda doğrudan ve doğrudan olmayan etkilerini de inceler.
WASP	Su Kalitesi Analiz Simülasyon Programı	WASP, yüzey suyundaki kirleticilerin taşınımı ve transferini belirler. Model bir, iki veya üç boyutlu olarak uygulanabileceği gibi diğer hidrodinamik modellerle de bağlantı kurabilir. WASP, noktasal ve noktasal olmayan kaynaklardan gelen yükleri ve sınır değerleri düşünerek adveksiyon ve dispersiyonun zamanla değişimini simule eder. Su kaynağı her bir kararlı değişken için başlangıç konsantrasyonları, sınır koşulları, yükler ve tam karışım olan kutulara bölünerek simule edilebilir.
CORMIX	Cornel Karışım Tabakası Uzman Sistemi	Noktasal kaynaklardan deşarj edilen atıksu karakteristiğinin karışım tabakasındaki çevresel etkisini değerlendirmek üzere kullanılan su kalitesi modeli olup 3 alt sistemde incelenir. CORMIX 1 nehir göl ve haliçlerde tek bir noktada olan deşarjın çevresel etkisini analiz etmede, CORMIX 2, çoklu deşarjda yayılım karakteristiğini, CORMIX 3 ise yüksek hassasiyette alıcı su ortamında pozitif ve nötral yoğunluğu analiz eder.
QUAL2K	Nehir Su Kalitesi Modeli	Kararlı halde, hidrolik uniform olmayan sabit akışa göre günlük su kalitesi kinetiklerinin, ısı ve kütle girdileri, sıcaklık ve meteorolojik fonksiyonlarına göre noktasal ve noktasal olmayan kirletici kaynaklarını benzeştiren nehir ve ırmak su kalitesi modelidir.
EPD-RIV-I	Dinamik 1-boyutlu Hidrodinamik ve Su Kalitesi Modeli	1 boyutlu hidrodinamik ve su kalitesi modeli olup, nehir ve göllerdeki mevcut olan şartlarda izin verilebilecek atık yükünü analiz etmek amacıyla dinamik şartlara göre benzetim yapmada kullanılır.

Yapılan diğer bir çalışmada [29], akarsu sistemlerinin modellenmesi için kimya mühendisliği açısından bir yaklaşım getirilmiş, akarsuyun belirli uzunluktaki sabit

hacim elemanını bir “tam karıştırmalı sürekli tepkime kabı” (CSTR) varsayımı kullanılmıştır. Deneme–yanılma olmadan optimizasyonla bulunan parametreler geliştirilen model ile denenmiş ve gözlemlerle uyum sağladığı görülmüştür [30].

Bu çalışmanın devamında, akarsuyun belirli uzunluğundaki hacim elemanı temel alınarak seri bağlı CSTR yaklaşımı ile modellenmiş, modelin ihtiva ettiği 33 parametre etkin bir optimizasyon algoritması [30, 31] ile deneme- yanılmaya gerek duymadan sağlıklı olarak belirlenmiştir [32].

Model parametrelerini eniyileştirerek dinamik benzetimi, uzman desteğine gerek duymadan gerçekleştirme kolaylığını sağlamak üzere etkileşimli bir arayüze sahip olan AKAB (AKArsu Benzetimi) yazılımı Matlab ortamında geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde, akarsuya ve akarsuya karışan kirlilik yüklerine ait bilgiler yazılıma tanıtılarak, benzetimle kirlilik faktörlerinin akarsu uzunluğu boyunca değişimi grafiksel olarak gözlenebilmektedir. AKAB yazılımının sonuçlarıyla QUAL2E sonuçları kıyaslanmış, AKAB yazılımının QUAL2E’ ye göre daha iyi sonuçlar ürettiği belirtilmiştir [32].

Bilgisayar destekli çalışmalar yapılırken kullanılan yazılımlarda program geliştirmek bakımından yazılımın kullanım kolaylığı ve kapasitesi oldukça önemlidir. Yudianto ve Yueboa (2010) su kalitesi modelleme çalışmalarında esnek bir yazılım olan Matlab’ ın kullanılmasını özellikle önermişlerdir [33].

Daha kapsamlı olarak, Yeşilırmak nehri üzerinde kurulmuş on-line ölçüm yapan ve bu verileri GPRS ile bir merkeze aktaran Gerçek Zamanlı Nehir Su Kalitesi İzleme Sistemi’ nden alınan su kalitesi verileri üzerinde çalışılmıştır [34]. Gerçek Zamanlı Nehir Su Kalitesi İzleme Sistemi’ nden alınan veri kümesi içinde normal değerden sapan hatalı verileri ayıklamak amacıyla MATLAB ortamında hatalı veri ayıklama (*‘outlier detection’*) programı geliştirilmiştir [35]. Hatalardan ayıklanmış veriler kullanılarak modelleme, optimizasyon ve benzetim çalışmaları yapılmıştır [36]. Bunlara ek olarak nehir su kalitesi verilerinde değişim eğilimlerinin bulunup bulunmadığını saptamak, eğer mevcutsa eğilimlerin ne yönde olduğunu belirlemek amacıyla trend analizi gerçekleştirilmiştir [37]. On-line veriler toplandığı için veri sayısı fazla olduğundan pahalı bir ölçüm tekniği ile analizlenebilen Toplam Organik Karbon için Yapay Sinir Ağı modeli geliştirilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır [38].

2.6. Akarsularda Kirlilik

Su kirliliğinin başlıca sebepleri sanayileşme, kentleşme, zirai mücadele ilaçları ve kimyasal gübrelerdir.

Akarsu yükleri bakımından sıralama yapıldığında yurdumuz dünyadaki diğer ülkelere göre akarsuyu bol olan ülkeler arasında yer almaktadır. Hızla kalkınmakta ve gelişmekte olan ülkemizde, su kaynaklarımızın özellikle de akarsularımızın hızla kirlenmekte olduğu görülmektedir. İlerleyen zamanlarda şehirlerin içme suyu ve gelişen endüstrinin su talebini karşılamakta zorlanacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir su 1735 m³, su potansiyeli ise 3690 m³ düzeyindedir. Bu veriler doğrultusunda kişi başına düşen kullanılabilir su varlığı bakımından diğer bazı ülkeler ve dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında su sıkıntısı bulunan ülkeler arasında yer aldığımız görülmektedir (Çizelge 2.3) [1].

Çizelge 2.3. Bazı ülkeler ve kıtaların kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli [1]

Bazı Ülkeler ve Kıtalar Ortalaması	Kişi başına düşen su miktarı (m ³ /yıl)
Irak	2.020
Lübnan	1.300
Türkiye	1.735
Suriye	1.200
Asya Ortalaması	3.000
Batı Avrupa Ortalaması	5.000
Afrika Ortalaması	7.000
Güney Amerika Ortalaması	23.000
Dünya Ortalaması	7.600

Devlet Su İşleri' nin resmi tahminlerine göre; su kaynaklarının geliştirilmesi sonucunda yıllık ortalamanın % 47' si olan 110 milyar m³ kullanılabilir su elde edilmektedir [1].

Yeraltı suları toplam kaynakların küçük bir kısmını (% 8) oluştururken, toplam su kullanımının % 17' sini oluşturmaktadır. VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı verilerine

göre; 1990 yılında 30.6 milyar m³ su tüketilmiştir. 1990 yılında kişi başına kullanım 420 m³ olmuştur ve başlıca kullanım, genel kullanma suyu % 17, sulama % 72 sanayi ve soğutma suyu olarak % 11 seviyesindedir [1].

Akarsulardaki biyolojik denge doğal olmayan kirletici etkilerle bozulmaktadır. Doğal sularda kirlilik etkileri mikroorganizmalar yardımı ile transformasyon ve mineralizasyona uğrayarak temizlenir. Ancak bu kirlenmenin ileri boyutta olduğu durumlarda ve zehirli maddeler sisteme dahil edilince mikroorganizmalar bu durumdan olumsuz etkilenmektedir ve su sistemi yavaş yavaş canlılığını yitirmektedir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği' nde yer alan kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri Çizelge 2.4' te verilmiştir.

Su kirliliğine neden olan başlıca kirleticiler ve su içinde bulunan maddelerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

2.6.1. Tuzluluk

Su kaynakları, zemininde bulunan çeşitli tuzları bünyelerinde barındırarak, bunları geçtikleri ortama taşımaktadır. Sularda en sık rastlanan tuzlar kalsiyum, magnezyum, sodyum bikarbonat, sülfat ve klorürleridir. Tuzların sudaki çözünürlüğü önemli değişimler gösterir. Bazı tuzların sudaki doygunluk konsantrasyonları oldukça düşüktür. Buna karşılık bazı tuzlar (Örneğin NaCl) suda olağanüstü yüksek çözünürlük göstermektedir. Evsel ve endüstriyel atık suların yüzeysel sulara deşarjı sonucunda klorür (Cl⁻), sülfat (SO₄⁻²), nitrat (NO₃⁻) ve fosfat (PO₄⁻³) konsantrasyonları yükselir. Söz konusu atık sular, alıcı ortamlara diğer bazı toksik elementleri de taşımaktadır. Bu nedenle suların tuzlar tarafından kirlenmesi, tuz içeriği fazla olan suların sulamada kullanılmasıyla oluşacak problemler açısından birinci aşamayı oluşturmaktadır [1].

2.6.2. Zehirli Gazlar

Yer altı ve yerüstü sularında bulunan başlıca gazlar, H₂, N₂, CH₂, O₂, CO₂, H₂S, SO₂ ve NH₃' tür. Sularda çözünen gazların cinsi ve miktarı suyun sıcaklığına, bölgenin iklim koşullarına, suyun doygunluk derecesine bağlı olarak değişmektedir. Sularda çeşitli gazların doygunluk derecesi, sıcaklığın azalması ile birlikte artmaktadır.

Çizelge 2.4. Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri [6]

	SU KALİTE SINIFLARI			
SU KALİTE PARAMETRELERİ	I	II	III	IV
A) Fiziksel ve inorganik- kimyasal parametreler				
1) Sıcaklık (°C)	25	25	30	> 30
2) pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6-9 dışında
3) Çözülmüş oksijen (mg O ₂ /L) ^a	8	6	3	< 3
4) Oksijen doygunluğu (%) ^a	90	70	40	< 40
5) Klorür iyonu (mg Cl ⁻ /L)	25	200	400 ^b	> 400
6) Sülfat iyonu (mg SO ₄ ⁻ /L)	200	200	400	> 400
7) Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L)	0.2 ^c	1 ^c	2 ^c	> 2
8) Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/L)	0.002	0.01	0.05	> 0.05
9) Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	5	10	20	> 20
10) Toplam fosfor (mg PO ₄ ⁻³ -P/L)	0.02	0.16	0.65	> 0.65
11) Toplam çözünmüş madde (mg/L)	500	1500	5000	> 5000
12) Renk (Pt-Co birimi)	5	50	300	> 300
13) Sodyum (mg Na ⁺ /L)	125	125	250	> 250
B) Organik parametreler				
1) Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	25	50	70	> 70
2) Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) (mg/L)	4	8	20	> 20
3) Toplam organik karbon (mg/L)	5	8	12	> 12
4) Toplam Kjeldahl-azotu (mg/L)	0.5	1.5	5	> 5
5) Yağ ve gres (mg/L)	0.02	0.3	0.5	> 0.5
6) Metilen mavisi aktif maddeleri (MBAS) (mg/L)	0.05	0.2	1	> 1.5
7) Fenolik maddeler (uçucu) (mg/L)	0.002	0.01	0.1	> 0.1
8) Mineral yağlar ve türevleri (mg/L)	0.02	0.1	0.5	> 0.5
9) Toplam pestisid (mg/L)	0.001	0.01	0.1	> 0.1
C) İnorganik kirlenme parametreleri^d				
1) Civa (µg Hg/L)	0.1	0.5	2	> 2
2) Kadmiyum (µg Cd/L)	3	5	10	> 10
3) Kurşun (µg Pb/L)	10	20	50	> 50
4) Arsenik (µg As/L)	20	50	100	> 100
5) Bakır (µg Cu/L)	20	50	200	> 200

Çizelge 2.4. Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (devam)

6) Krom (toplam) ($\mu\text{g Cr/L}$)	20	50	200	> 200
7) Krom ($\mu\text{g Cr}^{+6}/\text{L}$)	çok az	20	50	> 50
8) Kobalt ($\mu\text{g Co/L}$)	10	20	200	> 200
9) Nikel ($\mu\text{g Ni/L}$)	20	50	200	> 200
10) Çinko ($\mu\text{g Zn/L}$)	200	500	2000	> 2000
11) Siyanür (toplam) ($\mu\text{g CN/L}$)	10	50	100	> 100
12) Florür ($\mu\text{g F}^{-}/\text{L}$)	1000	1500	2000	> 2000
13) Serbest klor ($\mu\text{g Cl}_2/\text{L}$)	10	10	50	> 50
14) Sülfür ($\mu\text{g S}^{-}/\text{L}$)	2	2	10	> 10
15) Demir ($\mu\text{g Fe/L}$)	300	1000	5000	> 5000
16) Mangan ($\mu\text{g Mn/L}$)	100	500	3000	> 3000
17) Bor ($\mu\text{g B/L}$)	1000 ^e	1000 ^e	1000 ^e	> 1000
18) Selenyum ($\mu\text{g Se/L}$)	10	10	20	> 20
19) Baryum ($\mu\text{g Ba/L}$)	1000	2000	2000	> 2000
20) Alüminyum (mg Al/L)	0.3	0.3	1	> 1
21) Radyoaktivite (pCi/L)				
alfa-aktivitesi	1	10	10	> 10
beta-aktivitesi	10	100	100	> 100
D) Bakteriyolojik parametreler				
1) Fekal koliform(EMS/100 mL)	10	200	2000	> 2000
2) Toplam koliform (EMS/100 mL)	100	20000	100000	> 100000

- (a) Konsantrasyon veya doygunluk yüzdesi parametrelerinden sadece birisinin sağlanması yeterlidir.
- (b) Klorüre karşı hassas bitkilerin sulanmasında bu konsantrasyon limitini düşürmek gerekebilir.
- (c) pH değerine bağlı olarak serbest amonyak azotu konsantrasyonu 0.02 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$ değerini geçmemelidir.
- (d) Bu gruptaki kriterler parametreleri oluşturan kimyasal türlerin toplam konsantrasyonlarını vermektedir.
- (e) Bor' a karşı hassas bitkilerin sulanmasında kriteri 300 mg/L 'ye kadar düşürmek gerekebilir.

18 °C' de 1 litre suda 554 g NH_3 çözünmektedir. İçme suyunun NH_3 içeriği ise 0.05 mg/L' den daha az olmalıdır. Diğer taraftan sazan balıkları 2 mg NH_3/L ' ye, alabalıklar ise 0.8 mg NH_3/L ' ye dayanabilmektedirler.

Hidrojen sülfür, suda çok iyi çözünen bir gaz olup, anaerobik koşullarda organik maddenin parçalanması sonucu oluşmaktadır, kuvvetli bir solunum ve enzim zehiridir. pH' daki artış ile birlikte zehir etkisi azalır. Balıklar için zehirlilik sınırı 1 mg/L

civarındadır. Kükürt dioksitin balıklar için zehirlilik sınırı 16 mg SO₂/L' ye civarındadır. Suda ayrıca HCl varsa bu sınır 0.5 mg SO₂/L' ye kadar azalabilir [1].

2.6.3. Oksijen Tüketen Maddeler

Sudaki oksijen, genel olarak doğrudan oksijen kullanan maddelerin veya organik maddelerin biyolojik ayrışma reaksiyonu sırasında kullanılır. Yavaş olarak gerçekleşen biyolojik bozunma nedeniyle, nehirde akış yönünde oksijen azalması görülür. Oksijen, yüzeydeki havalanma ve yeşil bitkilerin fotosentez yapması ile tekrar kazanılır. Balıklar ve sudaki canlılar oksijen eksikliğinde ölürlere ve hoş olmayan tat ve koku oluştururlar. Çökebilir organik katılar çökerek ayrışır ve kokunun artmasına sebep olur. Yüzen katılar ise ince bir film tabakası oluşturarak oksijenin havadan alınma hızını azaltır [6].

2.6.4. Azot Kirliliği

Yüzeysel sulara karışan azot yükleri temel olarak aşağıdaki kaynaklardan ileri gelmektedir.

- a. Doğal kaynaklardan
- b. Evsel kaynaklardan
- c. Endüstriyel kaynaklardan
- d. Tarımsal kaynaklardan

Gerek canlı bünyesinde, gerek besin maddelerinde ve gerekse ölü organizmalarda bulunan azot, doğada azot döngüsü ile sürekli dinamik bir haldedir. Evsel atıksular ülkemizde su ortamına genellikle doğrudan karışmaktadır. Evsel atıksuya kişi başına 8-15 g/gün azot katkısı bulunmaktadır. Endüstriyel tesislerden de endüstri türüne bağlı olarak ciddi boyutta azot, su ortamına verilebilmektedir. Azot yükü veren başlıca endüstri kuruluşları; gübre, nitroselüloz, gıda, deri, bira, su endüstrileri ve mezbahalardır. Nitrat iyonları topraktan kolaylıkla yıkanarak suya geçmekte, böylece tarımsal drenaj suyu içerisinde önemli miktarda nitrat iyonu bulunmaktadır. Tarım yapılan alanlarda her yıl önemli ölçüde azot, doğal su kaynaklarına karışmaktadır. Azot

bileşikleri su kirliliği açısından çeşitli etkilere sahiptir. Bunlar; ötrofikasyon, oksijen bilançosunun etkilenmesi ve içme sularındaki toksik etkilerdir.

Su içinde azot genellikle amonyum, nitrit ve nitrat halinde bulunur. Amino gruplar, toprak içinde bulunan çürüyen bitkisel proteinlerden kaynaklanır. Amonyum iyonu, başlıca ürenin ve atmosferdeki azotun bitki köklerinde tutulması ile oluşur. Bu iyon suda bulunan bazı mikroorganizmaların etkisiyle nitrit ve nitrata dönüşür. Bazı bakteriler ise denitrifikasyon sonucu nitrat ve nitriti anaerobik olarak moleküler azota dönüştürür. Doğal sularda bulunan nitrit kısa zamanda nitrata yükseltgenir [6].

Balıklar ve diğer su canlıları için nitratin toksik sınırı 3-13 g/L, nitritin ise 20-30 mg/L' dir. Daha yüksek değerler balıklar ve canlılarda olumsuz etkilere yol açmaktadır [1].

Amonyak, keskin kokulu, renksiz bir gaz olup suda yaşayan canlılar üzerine zehir etkisi yapmakta, yaşamlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Amonyak çoğu sularda biyolojik aktif bir bileşiktir ve azot içeren organik maddenin biyolojik olarak ayrışması sonucu meydana gelmektedir. Suda çözündüğünde amonyağın bir kısmı su ile reaksiyona girer ve amonyum iyonları oluşur [1].

2.6.5. Fosfor Kirliliği

Fosfor sulu sistemlerde mevcut olan çok yönlü ve karmaşık kimyasal dengelerin anahtar elemanlarından biridir. Sularda fosfor çeşitli fosfat türleri şeklinde bulunmaktadır. Aynı zamanda fosfor hem doğal su ortamlarında gerçekleşen hem de su ve atıksu arıtımında gerçekleşen çok sayıdaki reaksiyona katılır. Fosfor nedeniyle ortaya çıkan su kirlenmesinin ana kaynağının % 83' lük bir payla endüstri ve kanalizasyon atık suları olduğu bildirilmektedir. Kentsel kökenli kanalizasyon sularındaki fosfatların ise % 32-70' i deterjanlardan kaynaklanmaktadır. Bu verilere göre, tarım alanlarındaki yoğun yağışlardan sonra oluşan yüzeysel akışlarla fosfor taşınmasının, oransal olarak diğer kirlletici kaynaklara göre çok daha az olduğu söylenebilir. Yüksek düzeydeki fosforun akarsu, göl ve denizlerle ötrofikasyona yol açtığı bilinmektedir. Çeşitli kaynaklardan yüzey sularına ulaşan fosfatlar suyun oksijen bakımından zengin üst kısımlarında bulunan alg ve diğer yeşil bitkilerin aşırı miktarda çoğalmasına neden olur. Bu etki sonucu suyun anaerobik karakterli üst kısmına çökelen alg ve diğer yeşil bitki artıklarında bir artış meydana gelmektedir. Ötrofikasyonun yanı sıra toprak

erozyonunda sonucunda baraj ve göletlere ulaşan aşırı düzeydeki fosfat, kompleksler halinde çökerek bu yapıların kullanma ömürlerinin azalmasına ve kullanılamaz hale gelmesine sebep olmaktadır.

Fosfor bileşikleri önemli bitki besin maddeleridir. Su canlılarına olan etkileri, ancak suda fazla miktarda bulunan pH değerini veya suyun tampon sistemini değişikliğe uğrattığı zaman göze çarpmaktadır. Deterjan ve benzeri malzemelerde bulunan polifosfatlar veya fosfor bileşikleri, suyun yüzey gerilimini değiştirecek (köpük teşekkülü) biyolojik olayları olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

İçme sularında zararsız fosfor konsantrasyonu 7 mg P_2O_5/L (üst sınır) düzeyindedir [1].

2.6.6. Ağır Metaller

Zehir etkisi gösteren maddeler, suda düşük konsantrasyonlarda bulunmaları durumunda bile insan sağlığını etkilemekte, hastalıklara ve hatta ölümlere neden olabilmektedir. Eser miktarda olsa bile zehir etkisi yapabilen bu maddeler arasında en önemli grubu; Ag, As, Be, Cd, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, V, Zn gibi elementler oluşturmaktadır. Söz konusu elementlerin çoğunluğu ağır metal grubuna girmektedir. Ağır metallerin önemli bir kirletici grubu oluşturdıkları bilinmektedir. Bu elementlerin zehir ve kanserojen etkileri olduğu gibi, canlı organizmalarda birikme eğilimleri de söz konusudur. Krom, Civa, Kurşun, Kadmiyum Mangan, Kobalt, Nikel, Bakır ve Çinko gibi metaller doğada genellikle sülfür, oksit, karbonat ve silikat mineralleri şeklinde bulunmaktadır. Bunların suda çözünürlükleri oldukça düşüktür.

Atıksuyun içindeki bor, ağır metal ve benzeri maddeler; yörenin iklim şartına ve toprak özelliklerine bağlı olarak toprakta birikebilir. Bitki tarafından alınabilir veya suda kalabilir. Sulama sularında izin verebilir maksimum ağır metal ve toksik derişimleri Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı' nca tebliğ edilmiştir. Çok küçük miktarlarda bile genellikle kuvvetli zehir etkisine sahip olan ağır metaller, kirlenmiş sulara metal, katyon, tuz ve kısmen anyon şeklinde bulunmaktadır. Bunlar hem kirlenmiş suların kendiliğinden temizlenmesini engelleyebilmekte, hem de suların arıtılmış halde sulamada kullanılmasını ve arıtma çamurlarının gübre olarak kullanımını azaltabilmektedir [1].

2.6.7. Polikloro Naftalinler ve Bifeniller

Polikloro Naftalinler ve Bifeniller sanayide hidrolik yağ üretiminde, plastik endüstrisinde yumuşatıcı ve elektroteknikle izolasyon materyali olarak kullanılmaktadır. Klor miktarı arttıkça bu bileşikler katı bir yapı kazanırlar. Yağda eriyen ve hayvansal organizmalarda biriken bileşiklerdir. Bahsi geçen bileşiklerden PBC (Polikloro bifenil), hayvansal organizmalarda DDT’ den (Diklor-Difenil-Trikloretan) daha yüksek oranda birikebilmektedir. Bu bileşiklerin zehir etkisi tam olarak bilinmemektedir. Ancak, suda ve havada bulunan miktarları mikrogram düzeylerini aşmamalıdır. Bu tür bileşiklerin organizmalarda birikmesi sadece ortamdan değil, aynı zamanda “besin zinciri” nden de kaynaklanmaktadır.

2.6.8. Pestisitler

Biyositler olarak da bilinen pestisitler, istenmeyen organizmaları yok etmede kullanılan sentetik, organik bileşiklerdir. Zararlılar ile mücadele ve bitki koruma amacıyla kullanılan her türlü ilaç, ürünler ve bunların üretiminde kullanılan maddeler pestisitler grubuna girmektedir.

Bilinen pestisitlerin su ortamına olan zehirli etkilerine dayanılarak aşağıdaki grupta yapılmıştır [1];

Çok zehirli maddeler: Suların yakınında kesinlikle kullanılmamaları ve kalan tortularının kesinlikle sulara karışmaması gerekmektedir. Örnek olarak; Endrin, Endosülfan, Aldrin, DDT emülsiyonu verilebilir.

Zehirli maddeler: İçinde balıkların yaşadığı sulara bırakılmaması gerekmektedir. Örnek olarak; Linsan, Heptaklor, Parathion ve Malatghion verilebilir.

Az zehirli maddeler: Normal dozda kullanılmaları halinde az zehirli olan maddeler bu gruba girerler. Örnek olarak; Klorotlar, Dalapon ve Sinamizin verilebilir.

Suda bulunan pestisitlerle ilgili iki tip tehlike söz konusudur;

- a. Ürünlerin verim ve kalitesi üzerine etkileri
- b. Sulanan alanlardaki yer altı suyuna etkileri

Pestisitlerin çevre üzerine etkilerine ilişkin çalışmalar analiz tekniklerinin kompleks ve kullanılan pestisitlerin çok çeşitli oluşu gibi nedenlerle güçlüklerle yürütülebilmektedir.

Bu nedenle eldeki veriler sınırlıdır. Bu tip suların sulama suyu olarak kullanılmasına izin verilebilir.

Hem yeraltı suyu hem de yerüstü suyuna katılan pestisitlerin, pestisit çeşidi ve suda çözünürlük durumuna göre canlılar için sınır değerleri söz konusudur. Bu değerlerin üstündeki konsantrasyonları canlı hayatını olumsuz yönde etkiler. Pestisitlerin bundan başka içme suları için de izin verilebilir konsantrasyonları söz konusudur. Örneğin, Endrin Lindan, Toksafen, Metoksikler için içme sularında en yüksek izin verilebilir konsantrasyonlar sırasıyla 0.0002, 0.004, 0.005 ve 0.1 mg/L' dir. Diğer pestisitler için belirli sınır değerler tespit edilmiştir [1].

2.6.9. Gübreler

Tarım arazilerinde kullanılan gübrenin ancak belirli bir kısmı bitkiler tarafından kullanıldığından geriye kalan kısmı akarsulara, içme sularına ve çevreye yayılmakta, insan, bitki ve hayvan sağlığını olumsuz yönde etkilemekte ve tehdit etmektedir. Gübre sektöründe üretimin büyük bir bölümünü azotlu gübreler oluşturmakta, bu gübreleri üreten tesislerin atık sularında amonyum azotu ve nitrat azotu, yönetmelikte belirtilen miktarların çok üstünde bulunmaktadır. Bu durum, azotlu gübrelerin çok yoğun bir şekilde kullanılmaları nedeniyle fazla miktarda üretilmelerinden ve kimyasal yapılarından ileri gelmektedir.

Gübre ve çevre ilişkisi açısından hayvansal gübrelerin etkisi de dikkate alınmalıdır. Özellikle Danimarka ve Hollanda gibi hayvancılığın çok yaygın olduğu ülkelerde hayvansal gübrelerin çok fazla kullanılması, başta içme suyunun tehlikeli boyutlarda kirlenmesi olmak üzere, bitkisel üretim miktarı, ürün niteliği, toprak altı ve toprak üstü sularını olumsuz yönde etkilemiş, insan, bitki ve hayvanlar hastalık yapıcı etmenlerin olumsuz etkisi altında kalmıştır.

2.6.10. Deterjanlar

Deterjanlar, formüllerinde ana madde olarak sentetik yüzey aktif madde yanında temizleme işlemine yardımcı kimyasal maddeler içeren temizlik ürünleridir. İçme suyu amaçlı kullanılan kuyu sularında parçalanmaz özellikte dallanmış zincire sahip ABS (Alkil Benzen Sülfonatlar) moleküllerine rastlamak mümkündür. Dolayısıyla oluşan

köpük problemini çözmek için ABD ve Avrupa' da 1964 - 1965 yıllarında tümüyle LAS (Lineer Alkil Sülfonatlar; ABS' ye göre biyolojik olarak daha çabuk bozulan uzun zincir yapılı madde) kullanılmaya başlanmıştır. Değişik tuzluluk derecesine sahip alıcı ortam analizlerinde LAS' ın % 80-90 oranında parçalandığı, bir atık su örneğinde, LAS' ın 0.5 mg/L konsantrasyonun altına 2 aylık bir periyot içinde ulaştığı, parçalanmaz ABS taşıyan aynı miktardaki atık su örneğinde ise, ABS' nin 5.5 yıllık bir periyot da dahi 0.5 mg/L' ye ulaştığı tespit edilmiştir. Aerobik arıtma tesislerinde de LAS' ın kolaylıkla parçalandığı, parçalanmayan kısmın oluşturduğu zehirlenme etkisinin önemli miktarda olmadığı bildirilmiştir.

Ülkemizde son yıllarda deterjan yapımında aktif madde olarak biyolojik parçalanması oldukça kolay olan LAB kullanılmaktadır. Bir diğer önemli kirletici madde de deterjanlarda katkı maddesi olarak kullanılan ve yüzey aktif maddelerin etkinliğini arttırma özelliği olan sodyum tripolifosfattır (STPP). STPP' nin kullanımında çeşitli kısıtlamalar ve yasaklamalar söz konusudur. Katkı maddelerinin birinci görevi suyu yumuşatmaktır. Bu amaçla ülkemizde yaygın olarak kullanılan STPP katkı maddesinin başlıca avantajlı yönleri;

- a. Yüzey aktif maddelerinin etkinliğini arttırması
- b. Kiri dağıtabilmesi
- c. pH' ı ayarlayabilmesi
- d. Çökelti oluşturmaması
- e. Kolayca suda çözülebilmesi

dir. Yukardaki avantajları nedeniyle diğer tüm katkı maddelerine tercih edilen STPP, ana madde olarak fazla miktarda fosfor içermesi nedeniyle önemli çevre problemlerine yol açmaktadır. Çünkü STPP, içerdiği yüksek düzeydeki fosfor nedeniyle sulardaki alglerin çoğalmasını arttırmakta ve alglerin bozunması sonucu suyun oksijeni azalmaktadır. Bu nedenle Batı Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri' nde STPP' nin deterjanlarda kullanılan miktarının azaltılması kararı alınmıştır.

Sentetik deterjanların organik kısmını oluşturan yüzey aktif maddeler genellikle kutupsal nitelik taşımayan bir hidrokarbon kısım ile kutupsal nitelikte anyonik, katyonik veya iyonik olmayan fonksiyonel bir gruptan oluşmaktadır.

Anyonik yüzey aktif maddelerin fonksiyonel grubu genelde sülfat veya sülfonatları içerir ve hidrokarbon zinciri düz olduğunda tümüyle biyolojik olarak parçalanırlar.

Deterjanlı sularda balıklar boğulma belirtisi göstermektedir. 3 ppm' lik bir deterjan derişiminin 12 haftada alabalıkların % 50' sini öldürdüğü bildirilmiştir. Ortamdaki oksijenin azalması zehir etkisini arttırmakta, suyun sertliği ve yumuşaklığı ise zehir etkisini ortam koşullarına göre azaltmakta veya arttırmaktadır. Sert sularda zehir etkisinin genellikle daha fazla olduğu belirtilmiştir [1].

2.6.11. Organik Kirlenme

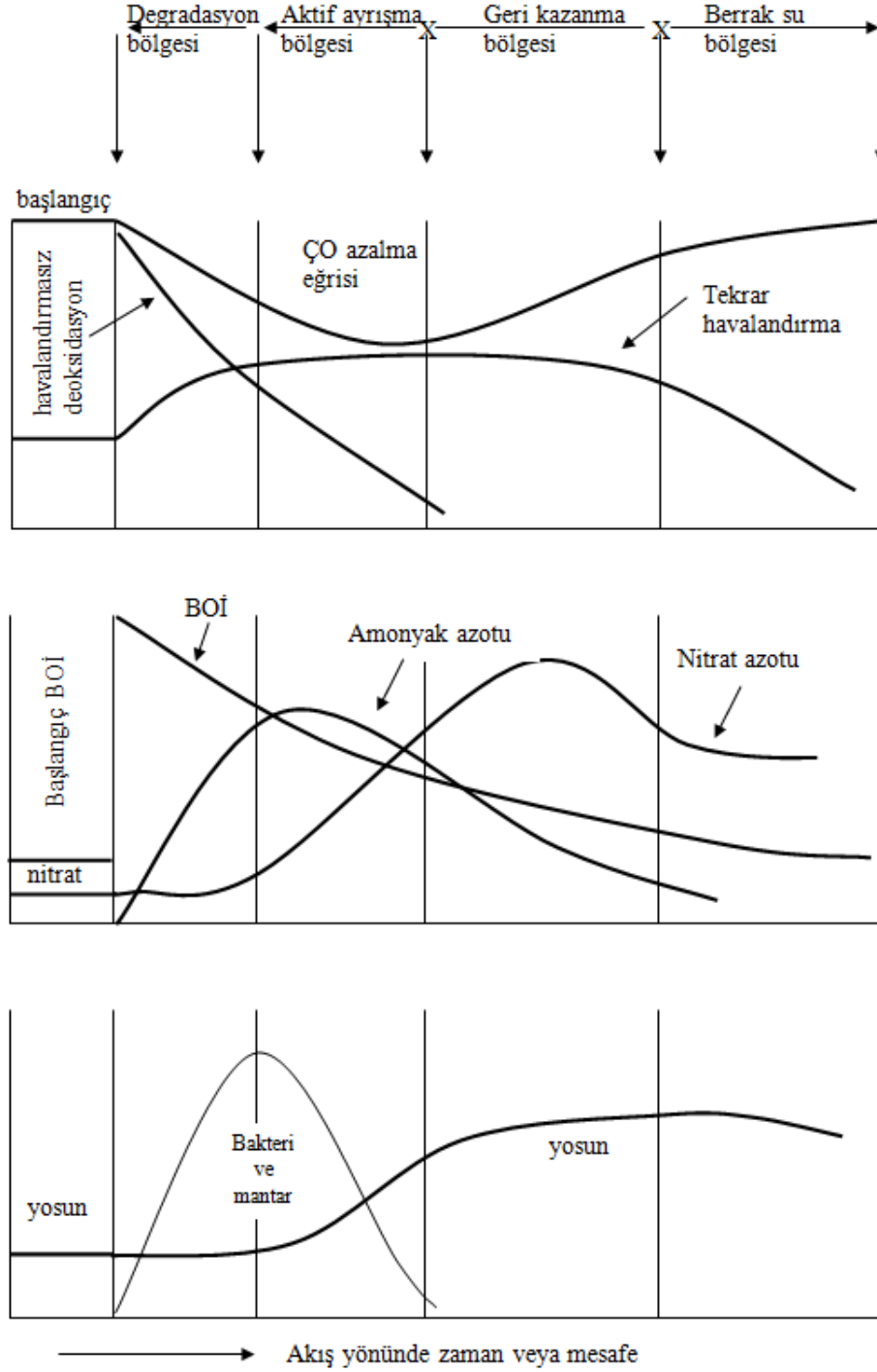
Çok sayıda şehir ve endüstri atık suları organik maddeler içermektedir. Organik bileşenlerin biyolojik kararlılık hızı, zaman ve sıcaklığın fonksiyonudur. Sıcaklığın artması, deoksidasyon hızını arttırmaktadır. Nehirde bulunan oksijen, atmosferden havalandırma ile kazanılmaktadır. Buna göre organik atıkların kendiliğinden temizlenmesine etki eden faktörler suyun debisi, akış hızı, sıcaklığı ve tekrar havalandırma gibi parametrelerdir [6].

Önemli bir organik madde kaynağından kirlenen akarsuda belirli 4 bölge görülmektedir. Bunlar aşağıdaki sıralanmıştır;

- I. Atık çıkışını izleyen degradasyon bölgesi
 - II. Önemli kirlenme karakteristikleri gösteren aktif bozunma bölgesi
 - III. Geri kazanma bölgesi
 - IV. Berrak su bölgesi
-
- I. Atık çıkışını izleyen degradasyon bölgesi: Bu bölgede BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı)' yi sağlamak için ÇO (Çözünmüş Oksijen) hızla azalır.
 - II. Önemli kirlenme karakteristikleri gösteren aktif bozunma bölgesi: Bu bölgede ÇO minimum seviyededir. Tabanda özellikle aneorobik parçalanma ve kötü koku oluşur. Balıklar, bu kirli çevrede bulunurlar. Bakteri ve mantarlar bu kirli bölgede gelişirler. BOİ ve amonyak azotu artar.
 - III. Geri kazanma bölgesi: Havalandırma hızı oksijen tüketme hızından daha yüksektir ve ÇO seviyesi yavaş yavaş artar. Amonyak azotu biyolojik olarak nitrata dönüşür. Organik maddelerin stabilizasyonu sonucunda inorganik besleyicilerin artması ile yosunlar gelişir.
 - IV. Berrak su bölgesi: Çeşitli su canlılarının ve hassas balıkların geliştiği bölgedir. ÇO, eski seviyesine yükselir. BOİ en aza iner. Güneş ışığı, pH ve sıcaklık gibi

diğer çevre koşulları yeterli ise, bu besleyiciler daha fazla yosun gelişmesini destekler.

Açıklanan bu 4 bölgedeki değişimler Şekil 2.2’ de görülmektedir.



Şekil 2.2. Organik kirlenmenin akarsuya etkisi [39]

2.6.12. Askıda Katı Madde

Yoğunluğu suyun yoğunluğundan küçük olan tanecikler, suyun yüzeyine çıkmakta ve yüzeysel sulardaki yüzücü maddeleri oluşturmaktadır.

Yüzeysel sularda askıda bulunan tanecikler, mineral veya organik kökenli olabilir. Mineral kökenli askı maddesi, zemin erozyonundan kaynaklanmaktadır. Askı halindeki organik maddenin ancak küçük bir kısmı zemin erozyonu sayesinde olup, önemli bir bölümünü bitki atıkları, humus, doğal gübreler, evsel ve endüstriyel atık sular oluşturmaktadır. Sularda asılı halde bulunan tanecikler akım süresi boyunca devamlı olarak askıda kalmayabilir. Bunlardan bir kısmı tabana çökerek dip çamurunu oluştururken, diğer bir kısmı fiziksel parçalanma ve biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda kolloidal ve moleküler düzeyde çözünmüş organik maddeye dönüşmektedir. Askıda katı maddelerin sonucunda toprak gözenekleri tıkanabilmekte, böylece suyun toprağa infiltrasyonu ve toprağın havalanması azalmaktadır. Ayrıca toprak yüzeyindeki organik maddenin biyolojik olarak parçalanması oksijen kullanımıyla gerçekleşmektedir ve bu durum atmosferden kök bölgesine doğru olan oksijen hareketini engellemektedir. Özellikle atık suyun yağmurlama sulamada kullanılması durumunda kolloidal partiküller yapraklar üzerinde birikerek fotosentez aktivitesini azaltmakta ve ürünün görünüşünü olumsuz yönde etkilemektedir. Sulama suyundaki askıda katı maddelerin yüksek konsantrasyonları borulardaki suyun akışına, yağmurlayıcılara, damlatıcılara ve hidrolik yapılara zarar vermekte ve rekreasyon için uygunsuz bir ortam oluşturmaktadır.

2.7. Akarsu Modellemesinde Kullanılan Değişkenler

Bu çalışmada, ölçülen parametreler ve özellikleri hakkındaki bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

a) Sıcaklık (°C) : Yüzeysel suların sıcaklıkları iklimle birlikte değişmektedir. Genellikle ekvatorдан uzaklaştıkça ve deniz seviyesinden yükseldikçe suların sıcaklığı düşer [40]. Yüzeysel sularda sıcaklık su kalitesi açısından önemlidir. Sıcaklık biyokimyasal ve kimyasal reaksiyon hızlarını doğrudan etkiler. Bir kural olarak her 10 °C sıcaklık artışında reaksiyon hızlarının iki katına çıktığı bilinmektedir. Sıcaklık değişimlerinin reaksiyon hızlarına yapmış olduğu etkinin yanında su kalitesi açısından önem taşıyan pek çok fiziksel olayda sıcaklık ile yakından ilişkili olup, kinematik

viskozitenin sıcaklıkla değişimi nedeniyle suda bulunan askıda katı maddelerin çökelme hızı etkilenmekte, 10 °C sıcaklık artışında çökelme verimi 1/4 ile 1/3 arasında bir artış göstermektedir.

Genel olarak yaz mevsimlerinde yüzeysel sulardaki doğal arıtma potansiyelinin kış mevsimlerine oranla daha yüksek olduğu söylenmektedir. Bu nedenle alıcı ortamlarda doğal arıtım için su sıcaklığı önemli bir parametredir ve su sıcaklığının 7-12 °C arasında olması bu doğal arıtımın en iyi şekilde gerçekleştiğini göstermektedir [41, 42].

b) Elektriksel İletkenlik : Suyun elektriksel iletkenliği, su içinde çözünmüş olarak bulunan iyonların cinsi ve konsantrasyonuna bağlıdır. Çözünmüş tuz derişimi arttıkça elektriksel iletkenlikte de artış olur. Bu sebepten dolayı elektriksel iletkenliği ölçülerek su içinde çözünmüş toplam tuz miktarı hakkında fikir edinilebilir.

Bir çözeltinin özgül elektriksel direnci, 1 cm² yüzey alanı ve 1 cm uzaklıkta bulunan iki elektrot arasında ölçülen dirençtir ($\rho = \text{ohm.cm}$). Elektriksel iletkenlik ise, elektriksel direncin tersi olarak tanımlanır.

İletkenlik birimi Siemens' dir. $1S = 1/\text{ohm} = \text{ohm}^{-1} = 1 \text{ mho}$ olduğuna göre, öz iletkenlik= mho.cm^{-1} veya S.cm^{-1} birimi ile ifade edilir. Doğal suların iletkenliği çok küçük olduğundan, suların öz iletkenliği genellikle $\mu\text{mho/cm}$ veya mS/m cinsinden ifade edilir. $1 \text{ mS/m} = 10 \mu\text{mho/cm}$ dir [40].

c) pH : Doğal suların pH değerleri içerdikleri maddelere göre değişir. Belli bir sıcaklıkta suyun pH derecesi içinde bulunan H⁺ iyonu aktivitesine bağlıdır.

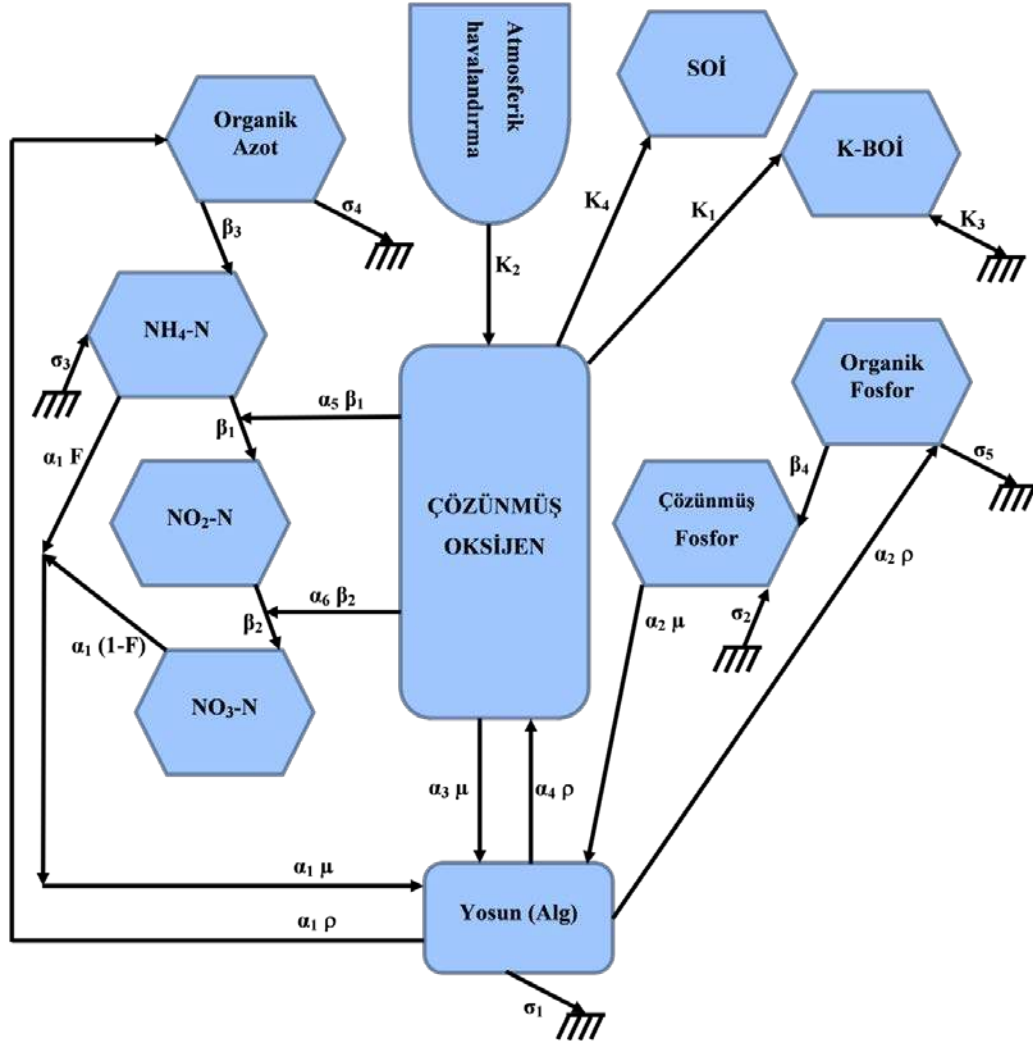
$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Doğal suların pH değerleri 4 ile 9 arasında değişim göstermektedir. Sularda pH derecesini belirleyen en önemli etken CO₂ - HCO₃⁻ - CO₃⁻² dengesidir. Suda çözünen CO₂, sıcaklığa bağlı bir denge reaksiyonu ile karbonik asit oluşturur. Su içinde karbonat (CO₃⁻²) bulunması halinde pH > 8.3 olur [40].

d) Çözünmüş Oksijen : Dünyada bulunan oksijenin büyük bir kısmı atmosferde yer alırken bir kısmı da su içinde (özellikle okyanuslarda) çözünmüş olarak bulunur. Bu oksijen su içindeki yaşamın ana unsurunu oluşturur. Su içinde yürüyen fotosentez olayları sonucu oluşan oksijen, suyun oksijen ile doymuş hale gelmesini sağlar. Bu olaylar güneş ışığı ve karbon dioksit varlığında gerçekleşir. Bakteriler bu oksijeni kullanarak biyolojik parçalanmayı oluşturur.

Su içinde çözünmüş olarak bulunabilen doymuş oksijen konsantrasyonu, su ile temas halinde bulunan havadaki oksijenin kısmi basıncı, su içinde çözünmüş olarak

bulunan tuzların konsantrasyonuna ve suyun sıcaklığına bağlıdır. Tuz konsantrasyonundaki artış oksijenin çözünürlüğünü azaltır. Sıcaklık arttıkça, bütün gazlarda olduğu gibi, çözülmüş oksijenin su içindeki çözünürlüğünde azalma görülür [43]. Çözülmüş oksijen konsantrasyonunda etkili olan faktörler Şekil 2.3’ te görülmektedir.



Şekil 2.3. Çözülmüş oksijen dengesi ve etki parametreleri [43]

f) Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) : Bir suyun kirlilik derecesini en iyi belirten kriter Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) değeridir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, su içinde bulunan organik bileşikler biyokimyasal olarak parçalayabilmek için gerekli olan oksijen miktarıdır. Bu deney, uygulamada aşağıdaki amaçlar için yapılır.

- Suyun kirlilik yükünün (kirlenme derecesinin) belirlenmesi

b. Arıtma tesislerinden çıkan suyun ne derece temizlenmiş olduğunun belirlenmesi

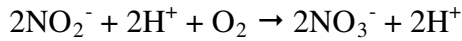
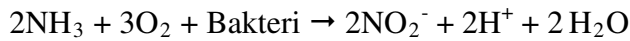
c. Arıtılmış suların çevresel kaynaklara deşarj edilmesi için yönetmeliklerde verilen sınır değerlere uygun olup olmadığının belirlenmesi

BOİ deneyleri genellikle 20 °C’ de 5 gün süreli olarak yapılır ve BOİ₅ olarak verilir. Beş gün içinde suyun ihtiva ettiği organik bileşikler biyokimyasal olarak parçalanma süreçlerinin tamamlayamazlar. En basit organik bileşiklerin bile biyokimyasal olarak bakteriler yardımı ile parçalanması çok uzun zaman alır. Su içindeki tüm organik bileşiklerin mikroorganizmalar tarafından tamamen kullanılarak parçalanması için harcanan oksijen miktarı nihai BOİ olarak bilinir. Bu değer deneysel olarak değil ancak hesapla bulunabilir [40].

Tipik bir organik bileşik olan glukoz bakteriyolojik olarak aşağıdaki reaksiyona göre parçalanır:

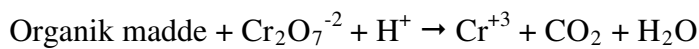


Böylece su içerisinde bulunan tüm glukoz molekülü için 6 mol oksijen gerekir ve 6 mol karbon dioksit oluşur. Protein gibi daha karmaşık organik bileşiklerde biyolojik parçalanma reaksiyonu daha karmaşıktır. Azotlu bileşiklerin nitrifikasyonu için ayrıca oksijene ihtiyaç vardır.



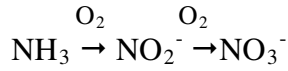
g) Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) : Suların kirlilik derecesini belirleyen önemli bir faktör kimyasal oksijen ihtiyacıdır. Potasyum dikromat veya potasyum permanganat gibi yükseltgen bileşikler kullanılarak su içerisindeki organik bileşikler kimyasal yolla parçalanabilir. Bu durum, organik bileşiklerin biyokimyasal reaksiyonlarla değil, redoks reaksiyonlarıyla yükseltgenmesi esasına dayanır. Böylece atık sulardaki organik maddelerin kimyasal yükseltgenme yolu ile parçalanması için gerekli olan oksijen miktarı belirlenebilir [45-47]. Kimyasal yolla su içinde biyolojik olarak parçalanabilen organik bileşiklerden daha fazlası parçalanabilir. Yani KOİ değeri genel olarak BOİ değerinden büyüktür.

Bu oksidasyon olayını gösteren bir örnek reaksiyon;



Görüldüğü gibi, krom (+6) değerinden (+3) değerine indirgenirken, organik madde karbon dioksit'e yükseltgenmektedir. Bu sırada kullanılan oksijen miktarına Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) adı verilir [48].

h) Nitrit (NO_2^-) : Su içinde azot genel olarak amonyum, amin, nitrit ve nitrat halinde bulunur. Amino gruplar, toprak içinde çürüyen bitkisel proteinlerden oluşurlar. Amonyum iyonu ise esas olarak ürenin ve atmosferik azotun bitki köklerinde tutulması ile oluşur. Bu iyon su ve toprakta bulunan bazı mikroorganizmaların etkisi ile nitrifikasyon reaksiyonları sonucu nitrit ve nitrate dönüşür. Bazı bakteriler ise denitrifikasyon olayı ile nitrat ve nitriti anaerobik olarak azota dönüştürür [40].

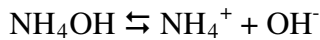
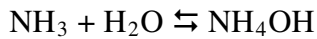


Doğal sular içinde bulunan nitrit kısa süre içerisinde nitrate dönüşecektir.

i) Nitrat (NO_3^-) : Su içinde bulunan azot başlıca, toprak içinde çürüyen bitkisel proteinlerin amino gruplarından kaynaklanır. En önemli nitrat kaynaklarından biri de, atmosferik azotun şimşek olaylarında havadaki oksijen ile birleşerek azot oksiti haline dönüşmesinden kaynaklanır. Oluşan azot oksitleri nitrik asite dönüştürerek yağmur suları ile toprağa karışır. Bu sebeple yüzey suları ve sığ kuyularda nitrate daha çok rastlanır. Su içinde bulunan nitrat, nitrite indirgenirse toksik etki gösterir [44].

j) Amonyum (NH_4^+) : Amonyum suya azotlu organik bileşiklerin bozulması yolu ile girmektedir. Evsel atık sularda yaklaşık 10-20 mg/L amonyum ve organik amin bileşikleri bulunur. Azotlu organik bileşikler suda parçalanarak amonyak oluşturur.

Amonyak su içinde çözüldüğünde su ile reaksiyona girer ve amonyum hidroksiti oluşturur.



Doğal suların pH derecesi 8 civarında olduğundan bu sular içinde bulunan amonyak büyük bir oranda NH_4^+ iyonu halinde bulunur. Amonyakın zehir etkisi NH_3 şeklindedir. Böyle olunca yüksek pH derecelerinde amonyakın toksik etkisi fazlalaşır. Balıklar için sudaki zehirli olan amonyak 0.2-20 mg/L NH_3 aralıklarında olduğu zaman söz konusu olur.

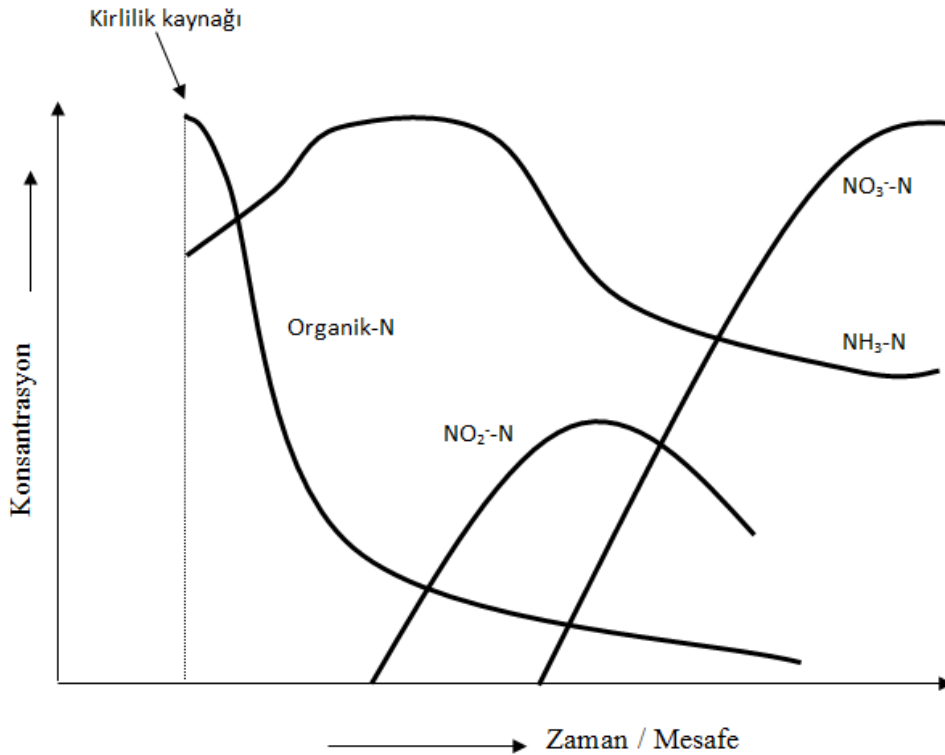
Yüzeysel sularda genellikle 0.1-1.0 mg/L arasında amonyak azotu bulunur. Yeraltı sularında amonyak çok azdır. Bu durum amonyak azotunun toprakta bulunan bakteriler yardımı ile amonyak azotunu nitrate dönüştürmesinden ileri gelir. Suda amonyak azotunun bulunması suyun yeni kirlenmiş olduğunu gösterir. Daha sonra amonyak

azotu, sudaki mevcut bakteriler sayesinde oksitlenerek olarak önce nitrite sonra da nitrata dönüşür [44].

k) Organik Azot : Sularda ve atıksularda bulunan başlıca azot bileşikleri nitrat azotu, nitrit azotu amonyum azotu ve organik azottur. Azot çevriminde bulunan bu türler, biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda birbirlerine dönüşebilmektedir.

Organik azot, -3 değerlikli oksidasyon kademesinde organik olarak bağlı azottur. Organik azot protein, peptid ve üre gibi doğal maddelerin dışında çok sayıda sentetik organik maddeyi de içermektedir. Organik azot konsantrasyonu, göl sularında rastlanan birkaç yüz $\mu\text{g/L}$ ' den kanalizasyon sularında karşılaşılan 20 mg/L ' ye kadar uzanan geniş bir aralıkta bulunabilmektedirler [49].

Şekil 2.4' te organik bir kirlenici kaynağın akarsuyu kirlettiği noktadan itibaren azotlu bileşiklerde meydana gelen değişimler görülmektedir. Kirlenme noktasından itibaren organik azot hızla azalmakta ve tükenmektedir. Amonyak azotu kirlenmeye bağlı olarak bir artış göstermekte ve daha sonra azalma eğilimine geçmektedir. Kirlenme noktasından belirli bir mesafe sonra başlangıçta hızlı bir artış gösteren nitrit azotu daha sonra azalmaktadır. Nitrat azotu, azot çevrimine bağlı olarak nitrit azotu artışından etkilenmekte ve artarak devam etmektedir.



Şekil 2.4. Bir akarsuda organik kirlenme noktasından itibaren azotlu bileşiklerde görülen değişim [50]

l) Fosfor : Fosfor doğada başlıca apatit minerali ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$) olarak bulunur. Fosfat gübre olarak tarımda fazla miktarda kullanılmaktadır. Bu nedenle sulama yapılan bölgenin drenaj sularında aşırı miktarlarda bulunmaktadır. Bir başka kullanım yeri ise deterjan ürünlerinin katkı maddesi olarak kullanılmasıdır. Evsel atık sular yaklaşık olarak 15-30 mg/L fosfat içerir.

Fosfat su içinde genellikle H_2PO_4^- ve HPO_4^{2-} iyonları halinde bulunur. Bu iyonların dağılımı pH' a bağlıdır. Doğal sulara karışan fosforlu sular, bu sularda ortaya çıkan ötrofikasyon olayının başlıca sorumlusudur. Bazı bitkiler aşırı fosfor etkisi ile anormal büyüme gerçekleştirir. Bu ise suda bulunan çözünmüş oksijenin kısa sürede tükenmesine neden olur. Doğal su kaynaklarında ötrofikasyon için minimum fosfat limiti 50 $\mu\text{g/L}$ ' dir. Sularda bulunan fosfat, alüminyum ve demir tuzları ile çöktürülerek uzaklaştırılabilir [40].

m) Klorür : Klorür, suda tat ve aşındırma problemi yaratır. Fazlası tuzluluk hissi verir. Şebeke sistemini, şofbenleri, çamaşır ve bulaşık makinelerini olumsuz yönde etkiler. Sürekli içimi halinde böbrek ve yüksek tansiyon problemleri ortaya çıkabilir. Ayrıca, izleyici bir parametredir. Artması halinde ya deniz katkısı ya da endüstriyel bir kirlenmeden şüphe edilmelidir.

Klorür (Cl^-), tüm tabii ve kullanılmış sularda çok yaygın şekilde bulunan bir iyondur. Doğada en fazla miktarlarda bulunan halojen olarak bilinir. Yeraltı sularına çözünme yoluyla ya da tuzlu su - tatlı su girişimleri sonucu katılabilir. Sularda NaCl şeklinde, ayrıca CaCl_2 ve MgCl_2 olarak bileşikler halinde bulunur. Eğer sudaki klorür içeriği NaCl tuzundan ileri geliyorsa, 250 mg/L klorür konsantrasyonu suda belirgin bir tuzluluk tadı oluşturmaya yeterlidir. Eğer klorür konsantrasyonu Ca^{++} ve Mg^{++} katyonlarıyla birlikte bulunuyorsa 1000 mg/L' de bile suda tuzlu bir tat oluşturmaz. Kullanılmış sulardaki klorür içeriği, içme sularına nazaran çok daha fazladır. Çünkü insan diyetinin temel maddelerinden olan tuz (NaCl) dışkı ve idrar vasıtasıyla atılır. İnsan üründe günde kişi başına 6 gr kadar klorür atılmaktadır. Yüksek oranda klorürü içeren sular metalik borulara ve yapılara zararlıdır [51].

2.8. Parametre Belirleme

Kimyasal proseslerin kontrolü, optimizasyonu ve tasarımı için parametre belirleme önemli ve gerekli bir işlemdir. Parametre belirleme prosedürü uygulanırken, modelden

elde edilen tahmin değerleri ile deneysel veriler arasındaki farkı minimize etmek amaçlanır.

Kimyasal proseslerin dinamik davranışının sağlıklı olarak öngörülebilmesi için gerekli temel iki koşul; iyi bir model ve güvenilir bir çözüm (ya da benzetim) algoritmasıdır. Bir modelin prosesi tam olarak temsil edip edememesi büyük ölçüde, model içindeki parametrelerin (hız sabitleri, aktarım parametreleri vb. gibi) doğru belirlenmesine bağlıdır. Oysa bu parametreler, yerine göre hem çok sayıda olabilirler hem de bir parametre oldukça geniş bir sayısal aralıkta değerler alıyor olabilir. Bu noktanın fazla vurgulanmadığı çalışmalarda, genellikle parametreler ya literatürden hazır alınarak kullanılmış ya da çoğu durumlarda bir deneme/yanılma yaklaşımı ile belirlenmiştir.

Sayısal olarak parametre belirlenmesi için uygulanan en genel strateji, benzetim sonuçları ile gözlem sonuçları arasındaki farka göre tanımlanan bir amaç fonksiyonunun minimuma indirilmesidir. Bu konuda ilk akla gelen yaklaşım ise en küçük kareler yöntemidir. Bu ve benzeri bazı yöntemlerin kimya mühendisliğinde parametre belirlenmesinde kullanıldığı çalışmalara literatürde rastlanmaktadır. Bu alanda kinetik modellerin aydınlatılması ve hız sabitlerinin bulunması üzerinde yoğunlaşmıştır.

Gudi vd. (1995) biyoreaktörde parametre belirleme çalışması yapmışlardır. Çalışmada, kimyasal proses endüstrisinde analizlemenin her bileşen için eş sıklıkta yapılamadığı noktasından hareketle adaptif ‘değişken örnekleme’ (*‘multirate’*) bir Kalman filtresi ve parametre belirlenmesi stratejisi önermişlerdir. Ancak, uyguladıkları strateji sürekli zaman alanında ayrıntılı doğrusal olmayan modellerle doğrudan kullanılabilecek durumda değildir [52].

Parametre belirleme problemlerinin formülasyonu ve istatistiği üzerinde farklı çalışmalar yapılmıştır. Stewart vd. (1992), çok yanıtlı modeller için yaklaşımlar geliştirmiştir. Ancak modelin dinamik olarak kullanılmasından dolayı bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Bu tür diferansiyel model tipleri sayısal olarak çözülebilmektedir [53].

Bilardello vd. (1993), bu eşitlikleri hızlı bir şekilde çözen ve içeriğini açık bir şekilde veren Gauss-Newton tipine benzer bir yaklaşım öne sürmüştür [54]. Kim vd. (1991), tahmin problemlerinde ‘on-line’ ve ‘off-line’ sistemlerin çözümü için genel bir integrasyon yöntemi ile NLP (Nonlinear Programming) ' yi birleştirerek kullanan bir yaklaşım önermiştir [55].

Tjoa ve Biegler (1991) özel geliştirilmiş SQP (Sequential Quadratic Programming) ile birlikte dikey teknikleri kullanan daha farklı bir yaklaşım öne sürmüşlerdir [56]. 1992 yılında parametre tahmini için genel bir SQP algoritması geliştirilmiştir [57].

Akarsularda parametre belirleme probleminin çözümü için kontrol vektör parametrelemesine dayalı, duyarlılık fonksiyonları bilgisi gerektirmeyen integrasyon temelli optimizasyon olarak adlandırılan pratik bir yaklaşım kullanılmıştır. Bir seri kinetik ifadeli örnek üzerinde denenen yaklaşım daha sonra Yeşilirmak nehri model parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır [6, 36].

2.8.1. Parametre Belirlemede Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri

Parametre belirleme için, deneysel ölçümlerle model benzetim sonuçları arasındaki farkın ifade edildiği bir objektif fonksiyonun minimizasyonu gereklidir. Bunu sağlamak için uygun ve etkin bir optimizasyon tekniği kullanılır.

SQP optimizasyon yöntemleri, doğrusal olmayan programlama (NLP) problemlerinde önemli bir konuma sahiptir. SQP yönteminin etkinlik, kesinlik ve çözüm başarı yüzdesi bakımından başarılı olduğu bilinmektedir [6, 31]. Yöntemin teorisi aşağıda belirtildiği gibidir.

- Her bir ana iterasyondaki yaklaşıma göre, quasi-Newton güncelleme prosedürü kullanılarak Lagrangian fonksiyonunun Hessian'ı hesaplanır
- Bu değer QP alt probleminin çözümünde kullanılır.
- QP' den elde edilen çözüm, doğrusal arama ('line search') yöntemine göre arama yönünün belirlenmesinde kullanılır.

Literatürde SQP için çeşitli araştırmalar yapılmıştır [58]. SQP yönteminin matematiksel ifadesi Eşitlik (2.1 – 2.13)' te özetlenmiştir.

Lagrangian fonksiyonu;

$$L(x, \lambda) = f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x) \quad (2.1)$$

QP Alt Problemi;

$$\begin{aligned} \min_{d \in \mathbb{R}} \quad & \frac{1}{2} d^T H_k d + \nabla f(x_k)^T d \\ \nabla g_i(x_k)^T d + g_i(x_k) &= 0 \quad i = 1, \dots, me \\ \nabla g_i(x_k)^T d + g_i(x_k) &\leq 0 \quad i = me + 1, \dots, m \end{aligned} \quad (2.2)$$

QP alt problem için bir QP algoritması kullanılarak çözüme gidilebilir. Buradan elde edilen çözüm bir sonraki iterasyon için kullanılır.

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k \quad (2.3)$$

α_k , adım büyüklüğü parametresi olup doğrusal arama yöntemine göre hesaplanır ve amaç fonksiyonunda önemli bir azalma sağlanır. Lagrangian fonksiyonunun Hessian' ı (H_k), pozitif tanımlı bir matristen oluşur. H_k ' nin güncellenmesi için *BFGS* (Broyden, Fletcher, Goldfarb ve Shanno) yöntemi en fazla tercih edilen yöntemlerden biridir. *BFGS* ile desteklenmiş SQP hızlı cevap alınan bir algoritmadır.

Yukarıda da belirtildiği gibi SQP optimizasyonu 3 ana adımda yürütülür.

1) Lagrangian fonksiyonunun Hessian matrisinin güncellenmesi: Her bir ana iterasyonda, Lagrangian fonksiyonu için Hessian pozitif tanımlı olarak quasi-Newton yaklaşımına göre *BFGS* yöntemi kullanılarak hesaplanır. Burada λ_i ($i=1,..m$) Lagrange çarpanıdır.

$$H_{k+1} = H_k + \frac{q_k q_k^T}{q_k^T s_k} - \frac{H_k^T H_k}{s_k^T H_k s_k} \quad (2.4)$$

Eşitlik (3.32) de yer alan s_k , aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$s_k = x_{k+1} - x_k \quad (2.5)$$

$$q_k = \nabla f(x_{k+1}) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla g_i(x_{k+1}) - \left[\nabla f(x_k) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \nabla g_i(x_k) \right] \quad (2.6)$$

Hessian' ın güncelleştirilmesinde $q_k^T s_k$ pozitif tanımlı olması gerekir. Bu şarttan dolayı, $q_k^T s_k$ pozitif değilse q_k eleman elemana modifiye edilerek $q_k^T s_k > 0$ olması sağlanır. Ancak, hala $q_k^T s_k > 0$ değilse, q_k sabit bir skalar çarpanlı v vektörü ile modifiye edilir (Eşitlik 3.35).

$$q_k = q_k + wv \quad (2.7)$$

$$v_i = \nabla g_i(x_{k+1}) g_i(x_{k+1}) - \nabla g_i(x_k) g_i(x_k) \quad (2.8)$$

Eğer,

$$(q_k)_i w < 0 \quad \text{ve} \quad (q_k)_i (s_k)_i < 0 \quad (i=1,...,m) \quad (2.9)$$

ise, $v_i = 0$ değilse $q_k^T s_k$ pozitif olana kadar w belirli oranda arttırılır.

2) SQP yönteminin her bir ana iterasyonunda bir QP alt problemi çözülmesi:

A_i $m \times n$ lik bir A matrisinin i . satırı olmak üzere

$$\begin{aligned}
\min_{d \in \mathbb{R}} \quad & q(d) = \frac{1}{2} d^T H d + c^T d \\
& A_i d = b_i \quad i = 1, \dots, me \\
& A_i d \leq b_i \quad i = me + 1, \dots, m
\end{aligned} \tag{2.10}$$

şeklinde ifade edilir.

Gill vd. (1981) tarafından önerilen yöntemle benzer olan bu metot ‘projeksiyon yöntemi’ olarak ta bilinir. Çözüm iki nokta ihtiva eder;

1. Uygun (*feasible*) noktanın hesaplanması
2. Uygun noktanın iteratif ardışık bir genellenmesinin içerildiği bu noktada çözüme yakınsanır.

Bu yöntemde, çözüm noktasında aktif sınırlamaların (kısıtlar) bulunması için gerekli olan bir aktif set (A_k) tanımlanır. Çoğu QP algoritmaları, aktif ayarlama yöntemi kullanır. Her bir k iterasyonunda, A_k ’nın güncellenmesi gerçekleştirilir.

3) Doğrusal arama ve amaç fonksiyonu hesabı: QP alt probleminin çözümünde bir d_k vektörü oluşturulur ve bu vektör sonraki iterasyon için kullanılır.

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k \tag{2.11}$$

Amaç fonksiyonu Eşitlik (3.40)’ta verildiği gibidir.

$$\Psi(x) = f(x) + \sum_{i=1}^{me} r_i g_i(x) + \sum_{i=me+1}^m r_i \max[0, g_i(x)] \tag{2.12}$$

r_i , penaltı parametresi olup, Eşitlik (3.41)’e göre hesaplanır.

$$r_i = (r_{k+1})_i - \max_i \left\{ \lambda_i \frac{1}{2} ((r_k)_i + \lambda_i) \right\} \quad i = 1, \dots, m \tag{2.13}$$

Doğrusal arama metodu, sınırlamalı ve sınırlamasız optimizasyon yöntemlerinde alt problemlerin çözümü için tarama yönünü belirlemede sıkça kullanılır. Minimum değer boyunca arama yönü, Fibonacci, altın aralık gibi veya interpolasyon ya da ekstrapolasyon içeren polinom yöntemleri (kuadratik, kubik gibi) prosedürlerinden biri kullanılarak belirlenir. Polinom interpolasyon yöntemleri, minimize edilen fonksiyon sürekli ise en etkin yöntem olarak kabul edilir [59].

2.8.2. Dinamik Optimizasyon

Bir akarsu sistemi modellendikten sonra modele ait kinetik parametrelerin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi modelin doğru sonuçlar üretmesi açısından önemlidir. Modelde

yer alan bu parametrelerin en uygun değerlerinin bulunması için dinamik bir optimizasyon probleminin çözümü gerekir. Bu alt bölümde dinamik optimizasyon problemlerinin tanımı ve çözüm yöntemleri konusuna değinilecektir.

Dinamik optimizasyon problemleri genel olarak Eşitlik (2.14)' te verildiği gibi tanımlanır:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Objektif Fonksiyon} & J = \Psi(x, u, t) \\
 \text{Sınırlamalar} & dx/dt = f(x) \\
 \text{Eşitlik sınırlaması} & h(x) = 0 \\
 \text{Eşitsizlik sınırlaması} & g(x) < 0
 \end{array} \tag{2.14}$$

Burada J , minimize ya da maksimize edilmesi istenilen objektif fonksiyonu; x hal değişkenleri vektörünü, u kontrol (optimizasyon) parametresini, f ise x ' e bağlı vektör fonksiyonunu ifade etmektedir. Ψ , h ve g birer fonksiyonu, t zamanı göstermektedir. h ve g sistem için öngörülen eşitlik ve eşitsizlik sınırlamalarını temsil etmektedir.

Dinamik optimizasyon yönteminin çözümü için geliştirilmiş çeşitli stratejiler mevcuttur. Burada kullanımı etkin ve kolay olan Doğrusal olmayan programlama (NLP) haline dönüştürme yöntemine yer verilmiştir.

Yöntem uygulanırken, optimizasyon problemi kesikli zaman alanına dönüştürülerek ('diskretizasyon') sonlu boyutta doğrusal olmayan program haline getirilir. Problemi kesikli zaman alanına dönüştürmede iki durum söz konusudur:

1. Tüm değişkenleri kesikli zaman alanına dönüştürmek:

Bu yöntemi uygulamak için, önce sonlu farklar yaklaşımı, daha sonra da ortogonal kollokasyon teknikleri kullanılmıştır. Optimizasyon probleminin içinde ayrıca bir integrasyon işleminin yer almaması yöntemin tek avantajıdır. Değişken sayısının çok fazla olması ve sınır koşullarının ancak çözüm sonunda sağlanabilmesi dezavantaj olarak sayılabilir.

2. Yalnızca karar (optimizasyon) değişkenlerini kesikli zaman alanına dönüştürmek:

Sadece karar değişkenlerinin kesikli zaman alanına dönüştürülmesi ile bir kontrol vektörü oluşturulur. Bu vektörün elemanları, zaman dilimlerindeki aranan değerler olacaktır. Bir kere bu değişkenler zaman alanına bölündükten sonra aynı zaman diliminde diğer değişkenleri farklı isimlerle atamaya gerek kalmayacaktır. Tüm zaman dilimi içerisinde diğer değişkenler, integrasyonla sürekli olarak belirlenebilir. Bu yöntem ilk yöntemle göre daha avantajlıdır. Çünkü;

- a) Değişken sayısı daha az olur,

b) Diferansiyel–cebirsel denklem takımları zaman dilimlerinde sürekli formda çözüldüğü için zaman ufku boyunca değişik noktalarda, dilimlerin ara yüzeylerinde, eşitlik/eşitsizlik sınırlamaları tanımlanabilir.

c) Kesikli zaman alanına dönüştürme hatası, her zaman dilimindeki integrasyon için adım aralığını ve/veya hata toleransını değiştirmek mümkün olduğu için daha kolay kontrol edilebilir.

Zaman ufkunu aralıklara bölmek, sonrasında her bölmeyi kendi içinde daha küçük kontrol parçalarına ayırmak kontrol vektör parametrelemesi yöntemi olarak adlandırılır [60]. İntegrasyonla bir aralığın sonunda elde edilen değerler, onu takip eden aralık için başlangıç değerleri olarak atanmakta ve bu şekilde ilerleyerek zaman ufkunun sonuna ulaşılmaktadır. Böylece problem sonlu boyutlu bir NLP haline dönüştürülmüş olur. Dinamik optimizasyon problemlerinin çözümü için kontrol vektör parametrelemesine dayalı, ancak duyarlılık fonksiyonları bilgisini gerektirmeyen pratik bir yaklaşım getirilmiştir [61]. Bu yaklaşım çeşitli çalışmalarda kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [6,31]. Bu çalışmalarda, problemin çözümü için izlenen yol şu şekildedir. Sadece karar değişkenleri ‘diskretize’ edilerek ‘kontrol vektörü’ oluşturulmuş, optimizasyon değişkenlerinin başlangıç değerlerinden başlayarak her aralıkta model integre edilmiş, bu arada bir aralığın sonunda elde edilen hal değişkeni değerleri, takip eden aralık için başlangıç değerleri olarak atanmıştır. Bu şekilde ilerlenerek zaman ufkunun sonuna ulaşıldığında objektif fonksiyonunun değeri elde edilebilmiştir. Bu şekilde ortaya çıkan doğrusal olmayan program, MATLAB® [62] optimizasyon paketi içinde, sınırlandırılmış çok değişkenli fonksiyonun minimum değerini iteratif olarak hesaplayan hazır bir fonksiyon yardımıyla çözülmüştür.

MATLAB® [62] optimizasyon paketinde *fmincon* adı ile yer alan bu algorithmada doğrusal olmayan programlama yöntemlerinden en gelişmiş olarak bilinen SQP yöntemi kullanılmaktadır. SQP yönteminin çalışma prosedürü daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Pratik ve uygulanması kolay olan bu yöntem kullanılarak, çok sayıda örnek problem çözülmüş ve başarılı sonuçlar alınmıştır [30, 31, 63].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Akarsu Modellemesi

Yüzeysel sulardaki kalite parametre konsantrasyonlarının zaman içindeki değişimleri adveksiyon, difüzyon ve ayrışma olaylarının birlikte matematiksel modellerde yer almasıyla açıklanabilir. Adveksiyon, yüzeysel sularda akım yönündeki kütleli hareket olarak tanımlanır. Alıcı ortama verilen kirleticiler advektif hareketle birlikte taşınır. Difüzyon, süspansiyon halindeki maddelerin, su içinde konsantrasyon gradyenine bağlı olarak gerçekleşir. Akışkan ortamlardaki difüzyon, genellikle molekül hareketlerinden kaynaklanan moleküler difüzyon ve türbülansların neden olduğu türbülanslı difüzyon olarak iki kısımda meydana gelir. Su kirliliği ve kontrolü uygulamalarında moleküler difüzyonun etkisi ihmal edilebilir mertebede olduğundan uygulamada dikkate alınmaz. Türbülanslı difüzyon ve advektif hareketlerin hız farklılıklarının alıcı su ortamlarında birlikte meydana getirdikleri madde taşınımı ve yayılma olayı dispersiyon olarak tanımlanır. Konsantrasyonların, zamanla o andaki değeriyle orantılı olarak değişimine birinci dereceden ayrışma, sabit oranda değişimine sıfırıncı dereceden ayrışma denir.

Noktasal bir kaynaktan akarsuya deşarj edilen bir madde, su ortamında farklı iki taşınım sürecinin etkisi altında yayılmaya başlar. Bunlardan birincisi, adveksiyon ve ikincisi ise difüzyondur. Adveksiyon sürecinin ifade edildiği temel denklem, akarsuyun bir hacim elemanı üzerine kurulan eşitlik ile açıklanabilir.

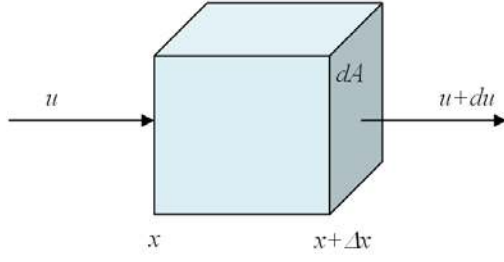
İkinci taşınım süreci olan türbülanslı difüzyon, konumsal konsantrasyon farklılıklarından meydana gelir ve bu durum Fick yasası ile açıklanabilir.

Genelde akarsularda adveksiyona nazaran difüzyon ihmal edilebilecek düzeydedir. Ancak büyük akarsularda, bazı zamanlarda ve akarsuyun bazı yerlerinde (haliçler), hızın çok küçüldüğü, dolayısıyla kirlilik taşınımının türbülanslı difüzyonla gerçekleştiği durumlar vardır. Akarsuyun birim hacim elemanı için adveksiyonla taşınım mekanizması Şekil 3.1' de verilmiştir.

Şekil 3.1' de görülen hacim elemanı üzerinde tek boyutlu kütle korunum denkliği kurulduğunda;

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.1)$$

ifadesi elde edilir.



Şekil 3.1. Akarsuyun birim hacim elemanı için adveksiyonla taşınım

Türbülanslı difüzyon için Fick yasasından;

$$J = -D\nabla C \quad (3.2)$$

yazılabilir. Burada D : Difüzyon katsayısıdır. (3.1) ve (3.2) eşitliklerinden,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.3)$$

bulunur.

Sonuçta, adveksiyon ve difüzyon olaylarını içeren genel eşitlik aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \pm S = 0 \quad (3.4)$$

S : Kütlenin su ortamına yerel bir kaynaktan girmesi veya çıkması durumunda meydana gelecek konsantrasyon değişimi olup, aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

Burada;

$$S = \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)_{\text{kaynak}} \quad (3.5)$$

Akarsu sistemleri ile haliçlerdeki taşınım mekanizmaları göl ve denizlerdekine göre daha iyi tanımlanabilir. Akarsu sistemlerinde mevcut olan biyolojik, kimyasal ve fiziksel etkileşimler ve tepkimeler göl ve denizlere göre daha iyi tanımlanmıştır. Bu nedenle akarsu sistemlerine ait su kalite modelleri göl ve denizlere ait modellerden daha güvenilir bir sonuç üretir.

3.2. Seri Bağlı Tam Karıştırılmalı Reaktör Yaklaşımı

Akarsuyun dinamik modellemesinde seri bağlı tam karıştırılmalı tepkime kabı (CSTR) yaklaşımı yapılmıştır [6, 32]. Seri bağlı tam karıştırılmalı tepkime kabı (CSTR)

yaklaşımı Şekil 3.2’ de şematik olarak gösterilmiştir. Model oluşturmada; akarsu her yerde tam karışmalı, akış hızı ve kesit alanı sabit, kimyasal ve biyolojik tepkime hızları hesap elemanı içinde sabit olduğu varsayımları yapılmıştır.

Seri bağlı CSTR varsayımı ile oluşturulmuş model 11 tane hal değişkenine ait diferansiyel eşitlikler ve bir seri cebirsel eşitlikler içermektedir. Bu hal değişkenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Amonyum azotu
- Nitrit azotu
- Nitrat azotu
- Organik azot
- Organik fosfor
- Çözünmüş fosfor
- Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
- Çözünmüş oksijen
- Koliform
- Klor
- Yosun

Yukarıda belirtilen hal değişkenlerinin matematiksel ifadeleri Eşitlik (3.6 – 3.28)’ de verilmiştir.

Amonyum azotu [6, 29]

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta_3 \cdot N_4 - \beta_1 \cdot N_1 + \frac{\sigma_3}{d} - F_1 \cdot \alpha_1 \cdot \mu \cdot A + (N_1^0 - N_1) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.6)$$

Burada,

$$F_1 = \frac{P_N \cdot N_1}{(P_N \cdot N_1 + (1 - P_N) \cdot N_3)} \quad (3.7)$$

Nitrit azotu [6, 29]

$$\frac{dN_2}{dt} = \beta_1 \cdot N_1 - \beta_2 \cdot N_2 + (N_2^0 - N_2) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.8)$$

Nitrat azotu [6, 29]

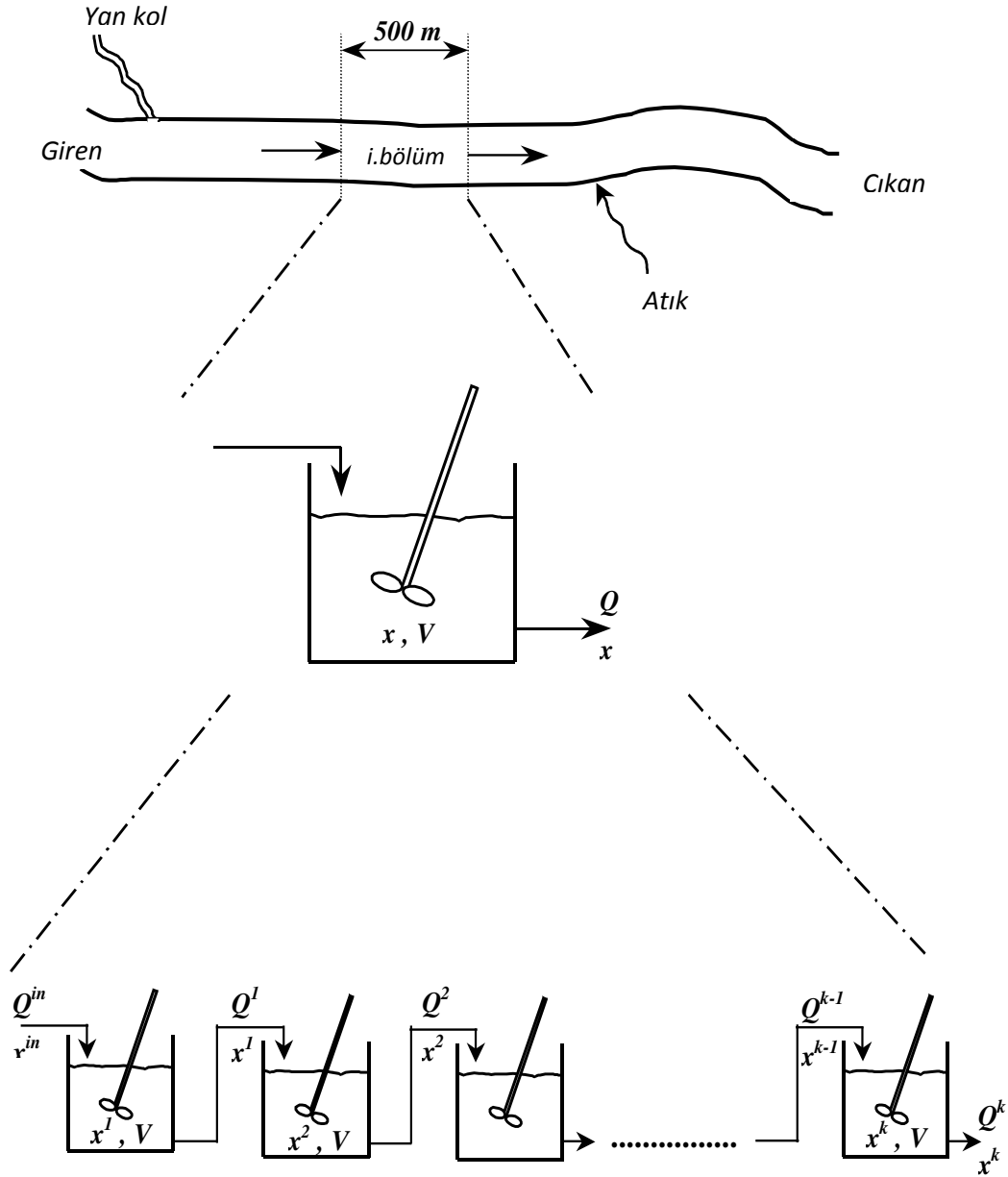
$$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2 \cdot N_2 - (1 - F_1) \cdot \alpha_1 \cdot \mu \cdot A + (N_3^0 - N_3) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.9)$$

Organik azot [6, 29]

$$\frac{dN_4}{dt} = \alpha_1 \cdot \rho \cdot A - \beta_3 \cdot N_4 - \sigma_4 \cdot N_4 + (N_4^0 - N_4) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.10)$$

Organik fosfor [6, 29]

$$\frac{dP_1}{dt} = \alpha_2 \cdot \rho \cdot A - \beta_4 \cdot P_1 - \sigma_5 \cdot P_1 + (P_1^0 - P_1) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.11)$$



Şekil 3.2. Akarsuyun modellenen hacim elemanı [6,32]

Çözülmüş fosfor [6, 29]

$$\frac{dP_2}{dt} = \beta_4 \cdot P_1 + \frac{\sigma_2}{d} - \alpha_2 \cdot \mu \cdot A + (P_2^0 - P_2) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.12)$$

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ)[6, 29]

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 \cdot L - K_3 \cdot L + (L^0 - L) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.13)$$

Çözünmüş oksijen (ÇO) [6, 29]

$$\frac{dO}{dt} = K_2 \cdot (O^* - O) + (\alpha_3 \cdot \mu - \alpha_4 \cdot \rho) \cdot A - K_1 \cdot L - \frac{K_4}{d} - \alpha_5 \cdot \beta_1 \cdot N_1 - \alpha_6 \cdot \beta_2 \cdot N_2 + (O^0 - O) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.14)$$

$$\ln O^* = -139.34410 + \left(\frac{1.575701105}{T} \right) - \left(\frac{6.642308107}{T^2} \right) + \left(\frac{1.2438001010}{T^3} \right) - \left(\frac{8.6219491011}{T^4} \right) \quad (3.15)$$

$$O_p = O^* \cdot P \cdot \left[\frac{(1 - P_{wv} / P) \cdot (1 - \theta \cdot P)}{(1 - P_{wv}) \cdot (1 - \theta)} \right] \quad (3.16)$$

$$\ln P_{wv} = 11.8571 - \left(\frac{3840.70}{T} \right) - \left(\frac{216961}{T^2} \right) \quad (3.17)$$

$$\theta = 0.000975 - (1.426 \cdot 10^{-5} T) + (6.436 \cdot 10^{-8} T^2) \quad (3.18)$$

Koliform [6, 29]

$$\frac{dE}{dt} = -K_5 \cdot E + (E^0 - E) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.19)$$

Konservatif olmayan bileşen [6, 29]

$$\frac{dR}{dt} = -K_6 \cdot R - \sigma_6 \cdot R + \frac{\sigma_7}{d} + (R^0 - R) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.20)$$

Klorofil a (Fitoplankton yosun) [6, 29]

$$\frac{dA}{dt} = \mu \cdot A - \rho \cdot A - \frac{\sigma_1}{d} \cdot A + (A^0 - A) \cdot \frac{Q}{V} \quad (3.21)$$

Alg spesifik büyüme hızı [43];

$$\mu = \mu_{\max}(FL) \cdot \left[\frac{2}{1/FN + 1/FP} \right] \quad (3.22)$$

Alg-Işık ilişkisi [43];

$$FL = \left(\frac{1}{\lambda \cdot d} \right) \cdot \ln \left[\frac{K_L + I}{K_L + I \cdot e^{-\lambda \cdot d}} \right] \quad (3.23)$$

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_1 \cdot \alpha_0 \cdot A + \lambda_2 \cdot (\alpha_0 \cdot A)^{2/3} \quad (3.24)$$

Alg-besin ilişkisi;

$$F_N = \frac{N_e}{N_e + K_N} \quad (3.25)$$

$$F_p = \frac{P_2}{P_2 + K_p} \quad (3.26)$$

Burada, F_N ve F_p Monod yaklaşımına göre ifade edilmiş olup, sırasıyla azot ve fosfor alg büyüme limit faktörleridir [43].

$$N_e = N_I + N_3 \quad (3.27)$$

N_e : Kullanılabilir inorganik azotun etkin lokal konsantrasyonu, mg-N/L

N_I : Amonyum azotu konsantrasyonu, mg-N/L

N_3 : Nitrat azotu konsantrasyonu, mg-N/L

Yukarıda ifade edilen eşitliklerin içerdiği hız sabitlerinden bir bölümü sıcaklıkla değişim göstermektedir. Bu sabitler, 20 °C referans sıcaklık için Streeter-Phelps eşitliğine (Eşitlik 3.28) göre düzeltme yapılarak kullanılır [43].

$$p_T = p_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (3.28)$$

p : Sıcaklığa bağlı parametre

T : Sıcaklık (°C)

θ : Düzeltme katsayısı

Benzetimde kullanılacak hız sabitleri ve sıcaklık düzeltme katsayıları Çizelge 3.3' te listelenmiştir.

Çizelge 3.1. Sıcaklık düzeltme katsayıları [43]

Hız sabiti	Düzeltilme katsayısı (θ)	Hız sabiti	Düzeltilme katsayısı (θ)
ρ	1.047	K_3	1.024
σ_1	1.024	K_4	1.060
σ_2	1.074	K_5	1.047
σ_3	1.074	K_6	1.000
σ_4	1.024	β_1	1.083
σ_5	1.024	β_2	1.047
σ_6	1.024	β_3	1.047
σ_7	1.000	β_4	1.047
K_1	1.047	μ	1.047
K_2	1.024		

3.3. Optimizasyon Çözüm Algoritması

Tez çalışmasında kullanılan akarsu modeli için, optimizasyonla belirlenmesi gereken 33 adet parametre mevcuttur. Bu parametreler, güçlü bir optimizasyon tekniği olan SQP (Sequential Quadratic Programming) ile hesaplanmıştır.

Problem matematiksel olarak Eşitlik 3.29' daki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x; \theta), \quad x(t^0) = x^0, \quad t^0 \leq t \leq t^s \quad (3.29)$$

Burada x , hal değişkenlerini ve θ , model parametrelerini göstermektedir. Bu dinamik optimizasyon problemi aşağıda belirtilen adımlar kullanılarak çözülmüştür [30].

1. Optimizasyon değişkenlerinin başlangıç değerlerinden başlayarak her aralıkta modelin integre edilmesi.
2. Her bir aralığın sonunda hesaplanan hal değişkeni değerlerinin, takip eden aralık için başlangıç değerleri olarak kullanılması.
3. Zaman ufkunun sonuna varıldığında objektif fonksiyonunun hesaplanması

Objektif fonksiyon Eşitlik (3.30)' da verilen tüm hal değişkenleri için hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen değerler arasındaki hata farkının kareleri toplamı olarak seçilmiştir. Diferansiyel denklemler 4. dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

$$J = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_{d,ij})^2 \quad (3.30)$$

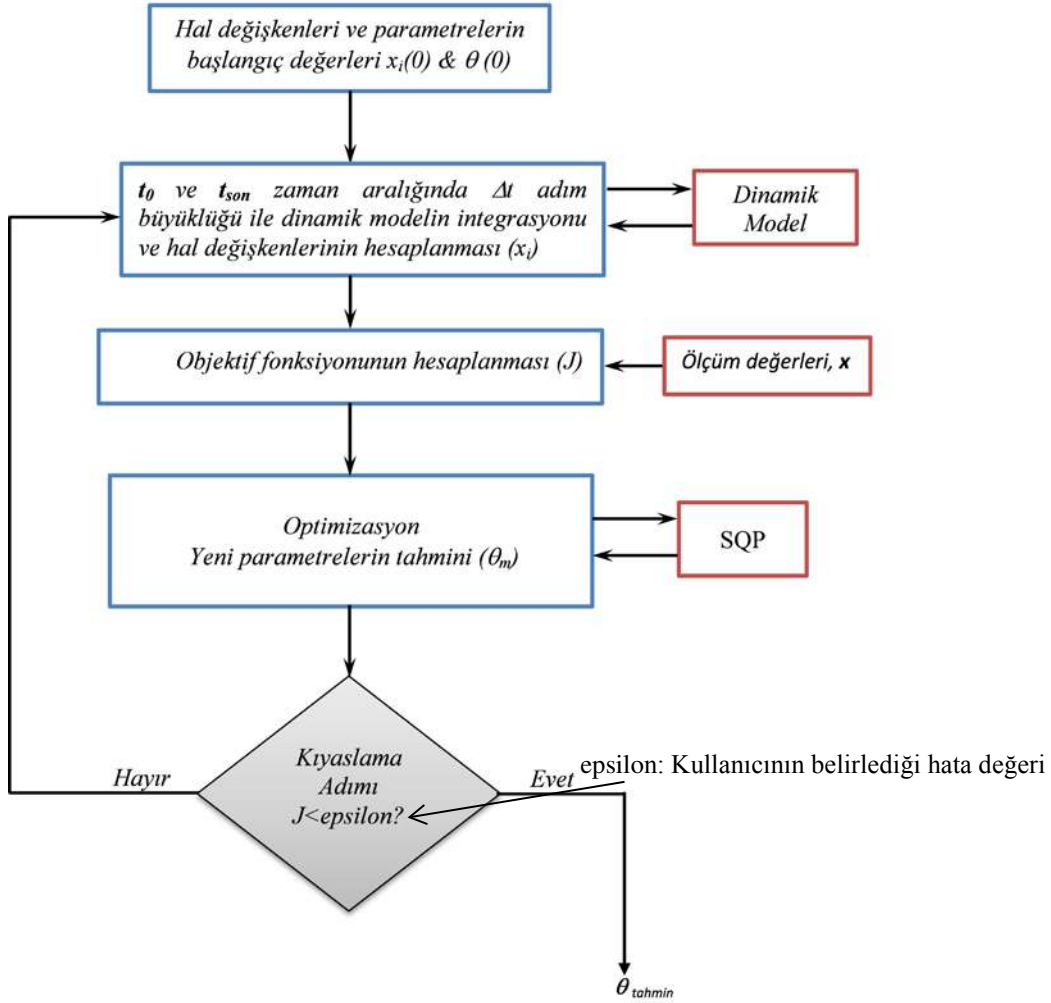
Burada J : objektif fonksiyonu, x : hesaplanan değerleri, x_d : deneysel ölçüm değerlerini, n : hal değişkenlerinin sayısını ve m : gözlem sayısını göstermektedir.

Parametrelerin başlangıç değerleri kullanılarak her bir ölçüm aralığında model denklemlerinin nümerik integrasyonu yapılarak hal değişkenlerinin değerleri hesaplanır.

Hesaplanan hal değişkeni değerlerinin deneysel ölçümlerle kıyaslanması için bir objektif fonksiyon seçilmelidir. Sonrasında bir optimizasyon algoritmasına göre objektif fonksiyonunun minimize edilmesi ve optimum parametrelerin hesaplanması gerekir. Bulunan parametrelerin uygunluğu tercih edilen optimizasyon algoritması ile ilişkilidir.

Hesaplanan parametreler modelde kullanılarak ve nümerik integrasyon işlemi yapılarak objektif fonksiyon değişimine göre işlemler tekrarlanır. Belirlenen hata

kriterine ulaşıldığında optimizasyon işlemi sonlandırılır. Şekil 3.3’ te verilen akış diyagramında parametre optimizasyonu için gerekli ana basamaklar gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Parametre belirleme temel adımları [31, 32]

Parametre belirlemede kullanılabilen optimizasyon algoritmaları;

- quasi-Newton
- Nelder-Mead Simplex
- Gauss-Newton
- Levenberg-Marquardt
- Sequential Quadratic Programming (SQP)
- Sezgisel algoritmalar (Genetik, Tavlama Benzetimi gibi)

olarak sıralanabilir.

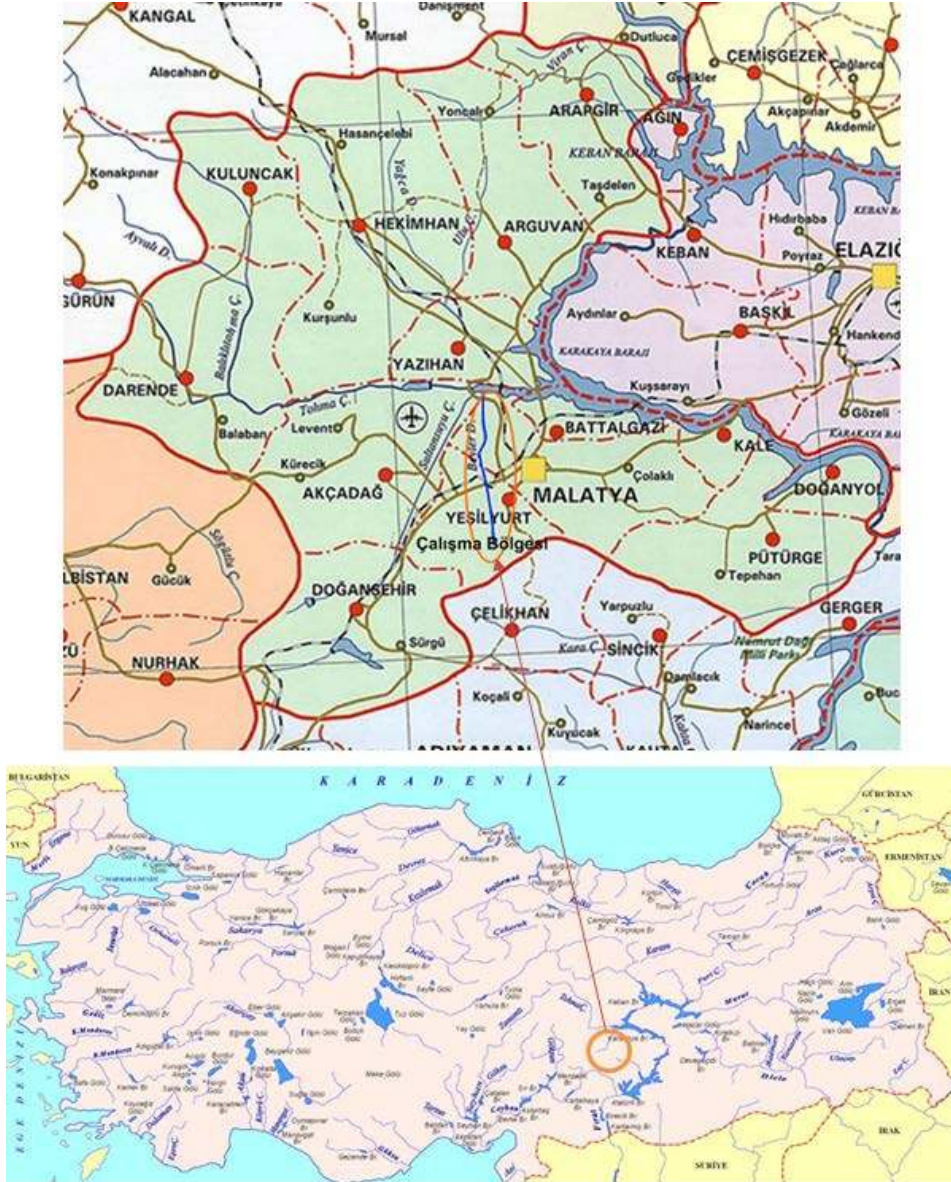
Doğrusal olmayan optimizasyon problemleri için çeşitli yöntemler olmasına karşın, çoğunlukla ‘Gauss-Newton’, ‘Levenberg-Marquardt’ ve SQP algoritmaları

kullanılmaktadır [59]. Bu çalışmada, akarsu model parametrelerinin belirlenmesi için, optimizasyon bölümünde güçlü bir teknik olan SQP yöntemi kullanılmıştır.

3.4. Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi olarak Malatya ili sınırlarında bulunan Beylerderesi akarsuyu hattı seçilmiştir. Bağ ve bahçe sulamasında da kullanılan Beylerderesi 38 km uzunluktadır. Beylerderesi ve devamındaki Şahnahan deresi Organize Sanayi Bölgesi atıksu arıtma tesisi çıkış suyunu da taşımaktadır.

Şekil 3.4' te çalışma bölgesinin de belirtildiği Malatya ili haritası verilmiştir.



Şekil 3.4. Saha çalışmasının yapıldığı bölge

3.5. Analizler İçin Kullanılan Malzemeler ve Aletler

Su kaltesi analizleri için kullanılan ekipman, sarf ve cihazlar genel hatlarıyla aşağıda tanıtılmıştır.

3.5.1. Spektrofotometre

HACH marka hazır kitlerin okunduğu HACH marka DR 3900 VIS spektrofotometre kullanılmıştır.

Bu cihaz ile yapılabilecek uygulamalar:

1. Atık su, içme suyu, soğutma/kazan suyu analizleri için önceden programlanmış HACH LANGE analiz metotları
2. Absorbans ve transmittans
3. Lineer ve lineer olmayan kalibrasyon eğrileri için konsantrasyon olarak sayılabilir. Cihazın temel özellikleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2. HACH DR 3900 VIS spektrofotometre teknik özellikleri

Ekran modu	Transmittans (%), Absorbans ve konsantrasyon, tarama
Işık kaynağı	Halojen lamba
Işın teknolojisi	Spektral referans ışın teknolojisi
Dalgaboyu aralığı	320-1100 nm
Dalgaboyu oğruluğu	± 0.1 nm
Veri saklama	2000 ölçüm verisi
Programlanmış metotlar	> 200
Kullanıcı programı	100 adet
Küvet uyumluluğu	13 mm yuvarlak hücre, 1 cm ve 5 cm dikdörtgen hücre, 1 inç yuvarlak hücre, 1 inç dikdörtgen hücre
Çalışma koşulları	+10 ile 40 °C
Saklama koşulları	-30 ile 60 °C

Şekil 3.5’ te HACH DR 3900 VIS spektrofotometrenin şekli verilmiştir.



Şekil 3.5. HACH DR 3900 VIS spektrofotometre

3.5.2. Dijital Elektrokimya Cihazı

HACH marka pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve sıcaklık ölçümü yapan, tüm ilgili karakteristik parametreleri dijital halde hafızasında saklayan el tipi bir dijital elektrokimya cihazıdır.

Şekil 3.6’ da HACH marka HQ40d Multi modeli dijital elektrokimya cihazının şekli verilmiştir.



Şekil 3.6. HACH HQ40d Multi modeli dijital elektrokimya cihazı

3.5.3. Kitler

HACH marka amonyum, nitrit, nitrat ve organik azotlar; organik ve çözünmüş fosforlar; 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı, çözünmüş oksijen ve klor ölçümlerini spektrofotometre kullanılarak yapabilen LCK model kodlu hazır kitlerdir.

Şekil 3.7' de NO_2^- tayininde kullanılan HACH marka LCK341 hazır kiti verilmiştir.



Şekil 3.7. HACH marka LCK341 hazır kiti

3.6. Yapılan Ölçümler ve Analizler

Çalışma bölgesinde yapılan analizlerin büyük bir kısmı arazi tipi analizleyiciler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ile bu analizlerde kullanılan yöntemler aşağıda verilmektedir.

3.6.1. Çözünmüş Oksijen analizi

Çözünmüş oksijen analizi, numunenin alındığı yerden doğrudan HACH marka HQ40d Multi modeli dijital elektrokimya cihazına bağlanılan HACH marka LDO sensör başlığı kullanılarak tayin edilmiştir.

3.6.2. Sıcaklık ölçümleri

Numunenin alındığı istasyonlarda doğrudan HACH marka HQ40d Multi model dijital elektrokimya cihazı ile su sıcaklıkları belirlenmiştir.

3.6.3. Debi ölçümleri

Çalışma bölgesinde yaklaşık çizgisel hız, derinlik ve akarsu genişliği ölçülerek debi hesabı yapılmıştır.

3.6.4. Bulutluluk ve Meteorolojik veriler

Dijital bir termometre ile dış hava sıcaklığı tespit edilmiştir. Gözlem yoluyla ise hava durumu belirlenmiştir.

3.6.5. pH ölçümü

Numune atıksuları HACH marka HQ40d Multi modeli dijital elektrokimya cihazı ile pH jel elektrodu kullanılarak pH değerleri belirlenmiştir.

3.6.6. İletkenlik ölçümü

Numuneler doğrudan HACH marka HQ40d Multi modeli dijital elektrokimya cihazı ile iletkenlik elektrodu kullanılarak iletkenlik değerleri belirlenmiştir.

3.6.7. Su görünümü

Gözlem yoluyla suyun yüzeyine bakılarak suyun bulanık olup olmadığı tespit edilmiştir.

Laboratuvarda yapılan analizler ise aşağıda açıklanmıştır.

3.6.8. Nitrit Azotu

Analiz prensibi: Nitrit, diazonyum tuzlarını oluşturmak için asidik solüsyonda bulunan birincil aromatik aminlerle reaksiyona girer. Bunlar belirgin renkli azo boyalarını oluşturmak için bir amino veya hidroksil grubu içeren aromatik bileşenlerle

birleşir. Nitrit azotu, HACH marka LCK 341 kiti kullanılarak (hazır kit), HACH marka DR3900 spektrofotometre cihazı ile analizlenmiştir.

3.6.9. Nitrat Azotu

Analiz prensibi: Sülfürik ve fosforik asit içeren solüsyondaki nitrat iyonları 4-nitro-2,6 dimetilfenol oluşturmak için 2,6 dimetilfenol ile reaksiyona girer. HACH marka LCK 341 kiti kullanılarak (hazır kit), HACH marka DR3900 model spektrofotometre cihazı ile nitrat azotu analizlenmiştir.

3.6.10. Toplam Azot

Analiz prensibi: Organik ve inorganik olarak depolanmış nitrojen peroksodisülfat ile parçalanarak nitrat ile oksitlenir. Nitrat iyonları nitrofenol oluşturmak için sülfürik ve fosforik asit solüsyonunda 2,6 dimetilfenol ile reaksiyona girer. HACH marka LCK 238 kiti kullanılarak (hazır kit), HACH marka DR3900 model spektrofotometre cihazı ile toplam azot analizlenmiştir.

3.6.11. Amonyum Azotu analizi

Analiz prensibi: Amonyum iyonları sodyum nitro prussidin (katalizör olarak) varlığında hipoklorit ve salisilat iyonları ile pH 12.6' da reaksiyona girerek indofenol mavi oluştururlar. Amonyum azotu, HACH marka LCK 305 kiti kullanılarak (hazır kit), HACH marka DR3900 model spektrofotometre cihazı ile analizlenmiştir.

3.6.12. Klor analizi

Analiz prensibi: Klorür iyonlarının civa tiyosiyanat ile reaksiyonu sırasında civa(II) klorür oluşur. Aynı anda, eşit miktarda tiyosiyanat iyonları serbest bırakılır ve bu iyonlar demir(III) tiyosiyanat oluşturmak için demir(III) tuzlarıyla reaksiyona girer. HACH marka LCK 311 kiti kullanılarak (hazır kit), HACH marka DR3900 model spektrofotometre cihazı ile analizlenmiştir.

3.6.13. Toplam Fosfor Analizi

Analiz prensibi: Fosfat iyonları asidik solüsyonda molibdat ve antimon iyonlarıyla reaksiyona girerek antimonil fosfomolibdat karışımı oluşturur, bu da askorbik asitle fosfomolibden mavisine indirgenir. HACH marka LCK 349 kiti kullanılarak (hazır kit), HACH marka DR3900 model spektrofotometre cihazı ile analizlenmiştir. Çözünmüş ve organik fosfor değerleri cihaz kalibrasyonu ile ayrı ayrı okunmuştur.

3.6.14. Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Analiz prensibi: KOİ, mg/L olarak numunenin litresi başına tüketilen mg olarak O₂ miktarıdır. Su numunesi, gümüş sülfat katalizörünün varlığında, potasyum dikromatın asidik çözeltisiyle oksitlenmektedir. Klorür, civa sülfat ile maskelenmektedir. Oksitlenebilir bileşikler; potasyum dikromat ile tepkimeye girerek dikromat iyonlarını (Cr₂O₇⁻²) yeşil (Cr⁺³) iyonlarına indirger. 0-1500 mg/L aralığında üretilen Cr⁺³ miktarı tespit edilmektedir. Kullanılan metod EPA 410.4 ve ISO 15705 metotları ile eşdeğerdir. Matriks marka TR-COD 1500 hazır kiti kullanılarak Lovibond Multi Direct fotometre cihazı ile analizler yapılmıştır.

3.6.15. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı analizi

Analiz prensibi: 5 mg/L allylthiourea ile nitrifikasyon inhibisyonu ile 5/[n] günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı tayini (BOD₅ /BOD_[n]). Çözünmüş oksijen, içeriğinde Fe²⁺ bulunan pirokatekol türeviyle alkali solüsyonda analiz edilir ve kırmızı renk oluşur. HACH marka LCK 555 kiti kullanılarak (hazır kit) hazırlanan numuneler soğuk ortamda beş gün muhafaza edilerek HACH marka DR3900 model spektrofotometre cihazı ile analizlenmiştir.

Çalışmada Koliform ve yosun analizleri yapılmamıştır. Benzetim ve optimizasyon çalışmaları için literatür [6] verilerinden yararlanılmıştır.

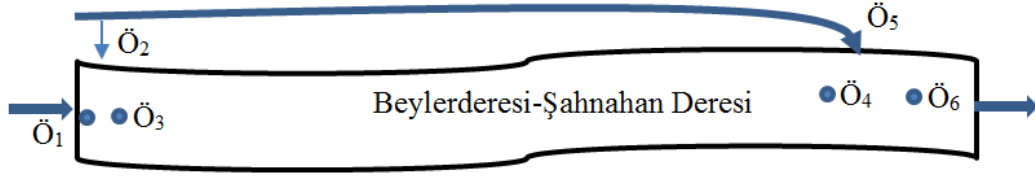
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneysel çalışmalar için, Malatya yöresinde yer alan ve kirlilik oranı yüksek olabilecek akarsu seçimi için sahada incelemeler yapılmıştır. Bunun için Malatya ili Battalgazi ilçesinde bulunan ve Malatya Atıksu Arıtım tesisinin çıkışını da içeren Boran deresi, Malatya I. Organize Sanayi arıtma tesisi çıkış suyunun karıştığı Beylerderesi ve devamındaki Şahnahan bölgesi araştırılmıştır. Şahnahan bölgesindeki Beylerderesi akarsuyunun bu noktada ciddi bir kirlenmeye maruz kalarak sulama kanallarına ve Şahnahan deresine verildiği gözlemlenmiştir. Ek olarak Organize Sanayi arıtma tesisinden çıkan suyun karıştığı Şahnahan deresi Karakaya Barajı' na doğru takip edilerek incelemeler yapılmıştır.

4.1. Saha Çalışması-I ve Deneysel Sonuçlar

Haziran 2010 tarihinde, belirlenen noktalardan örnekler alınarak bazı kirlilik parametreleri ölçülmüştür. Organize Sanayi Bölgesi' nden gelen arıtma tabi tutulmuş atık suyun fazlasının tahliye edildiği ve Şahnahan deresine karışan noktanın öncesinde, sonrasında ve karışma noktasında alınan numunelere ait çözünmüş oksijen, iletkenlik ve pH değerleri yerinde analizlenerek kayıt altına alınmıştır. Şahnahan Kasabası' ndan Tohma Köprüsü' ne doğru yaklaşık 15 km ileride I. Organize Sanayi arıtma tesisi çıkış suyu yer altından borularla taşınarak Beylerderesi' nin devamı olan Şahnahan deresine verilmiştir. Arıtma tesisi çıkış suyundan, bu suyun dereye karıştığı noktadan 50 m öncesi ve 500 m sonrasında numuneler alınarak analizlenmiştir. Bu deney seti için numune alma noktaları Şekil 4.1' de gösterilmiştir.

Yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.1' de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılağı üzere, özellikle yankol su kalitesinin çok düşük (Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun düşük, KOİ konsantrasyonunun yüksek) olduğu görülmüştür. Analiz sonuçları incelendiğinde Beylerderesi-Şahnahan bölgesinin oldukça kirli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. 12.06.2010 tarihli su kalitesi analizleri için örnek alınan noktalar

Çizelge 4.1. 12.06.2010 tarihli su kalitesi analizleri

Kirlilik Parametreleri → Ölçüm Noktaları ↓	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	pH	İletkenlik (µS/cm)	KOI (mg/L)	Su Sıcaklığı (°C)
Ö ₁	4.90	8.05	641	100	20.0
Ö ₂	0.13	9.63	6210	944	23.2
Ö ₃	1.76	9.19	3090	336	22.5
Ö ₄	6.22	7.89	410	-	21.2
Ö ₅	0.30	7.90	-	-	24.2
Ö ₆	0.88	9.72	6070	480	22.1

Ö_i : i. ölçüm noktası

Ö₁: Beylerderesi Şahnahan Bölgesi

Ö₂: Malatya I. Organize Sanayi arıtma tesisi çıkış suyu fazlasının tahliye noktası

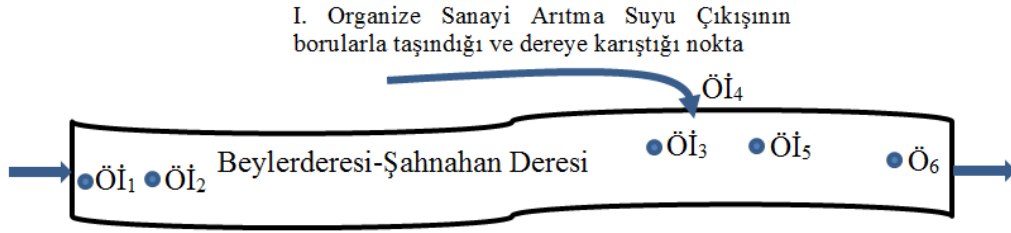
Ö₃: Malatya I. Organize Sanayi arıtma tesisi çıkış suyu fazlasının tahliye edildiği noktadan 500 m sonrası

Ö₄: I. Organize Sanayi arıtma tesisi çıkış suyunun borularla taşınarak Şahnahan deresine karıştığı noktadan 50 m öncesi

Ö₅: Malatya I. Organize Sanayi arıtma tesisi çıkış suyu

Ö₆: I. Organize Sanayi arıtma tesisi çıkış suyunun borularla taşınarak Şahnahan deresine karıştığı noktadan 500 m sonrası

Bir sonraki saha çalışmasında, Yeşilyurt Belediyesi merkez köprüden başlayarak Tohma çayına kadar uzanan yaklaşık 25 kilometrelik mesafe göz önüne alınmış ve 6 ayrı numune alma istasyonu belirlenmiştir. Bu bölgeden alınan numunelerin su kalitesi için en önemli parametrelerden biri olarak bilinen çözünmüş oksijen, iletkenlik, hava sıcaklığı, su sıcaklığı ve pH değerleri ölçülmüştür. Analiz sonuçları Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Bu saha çalışması için seçilen ölçüm istasyonları (Öİ) Şekil 4.2’ de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. 12.02.2011 tarihli su kalitesi analizleri için örnek alınan istasyonlar

Çizelge 4.2 incelendiğinde, Yeşilyurt merkezden itibaren 4. Ölçüm istasyonuna kadar su kalitesi iyi görünmektedir. Ancak, borularla karışma noktasına (Öİ₄) taşınan atıksu arıtma tesisi çıkış suyu dereye karıştıktan sonra çözünmüş oksijen parametresi bakımından su kalitesinde önemli bir düşüş gözlenmiştir. İlerleyen bölgelerde derenin kendini yenilemesi sonucu çözünmüş oksijen konsantrasyonu artmış ve su kalitesi belirli bir miktar yükselmiştir. Bu durum Şekil 4.3’ te görülmektedir. Şekilde yer alan kare noktalar ölçümleri, mavi eğri ise ölçüm değerleri için oluşturulmuş eğilim çizgisini göstermektedir. Eğilim çizgisi, çözünmüş oksijen değişiminin daha net görülmesi için eklenmiştir.

Çizelge 4.2. 12.02.2011 tarihli su kalitesi analizleri

Kirlilik Parametreleri → Ölçüm Noktaları ↓	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	pH	İletkenlik (µs/cm)	Hava Sıcaklığı (°C)	Su Sıcaklığı (°C)
Öİ ₁	8.83	8.43	441	3.5	10.5
Öİ ₂	9.95	8.29	447	3.5	9.6
Öİ ₃	9.43	8.12	411	6.5	13.3
Öİ ₄	2.89	9.89	4810	7.0	21.5
Öİ ₅	4.89	8.28	452	7.0	13.2
Öİ ₆	6.92	8.24	424	7.0	13.2

Öİ₁ : Yeşilyurt İlçe merkezi

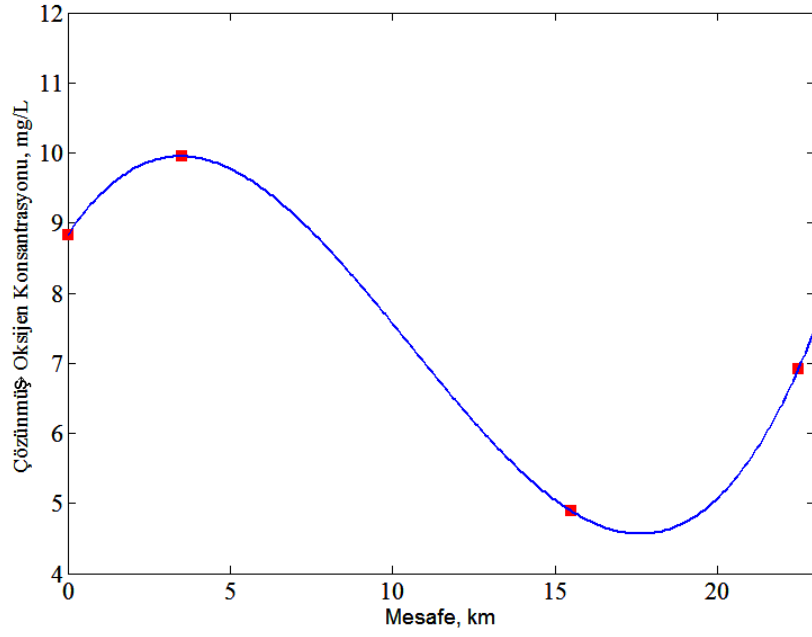
Öİ₂ : Öİ₁’ den yaklaşık 3.5 km sonrası

Öİ₃ : Öİ₂’ den yaklaşık 12 km sonrası

Öİ₄ : Atıksu arıtma tesisi çıkış suyu

Öİ₅ : Öİ₄’ ten 500 m sonrası

Öİ₆ : Öİ₅’ ten yaklaşık 7 km sonrası



Şekil 4.3. Akarsu uzunluğu boyunca çözünmüş oksijen konsantrasyonu

4.2. Saha Çalışması-II ve Deneysel Sonuçlar

Yukarıda belirtilen saha çalışmalarından sonra, dört farklı zamanda örnekleme ve analizler yapılmıştır. Bunlarda ilk üçü belirli noktalardan numuneler alınarak analizlenmiş, son deneysel çalışma ise akarsuyun dinamik davranışını ortaya koymak için zamana göre su kütlesi takip edilerek gerçekleştirilmiştir.

Bu dört deney setinden son üçü için su kalitesinin diğer önemli parametreleri de spektrofotometrik olarak incelenmiştir. 28.12.2011 tarihinde gerçekleştirilen saha çalışmalarının sonuçları Çizelge 4.3 – 4.10’ da özetlenmiştir. Analizler yapılırken, suyun çözünmüş oksijen konsantrasyonu ve fiziksel görünümü bakımından iyi olduğu tespit edilen noktalarda pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik ve diğer fiziksel durumlar incelenmiştir. Dolayısıyla, kit kullanımı gerektiren ve maliyetli olan analizleri, doğru noktalarda gerçekleştirmek için böyle bir yola başvurulmuştur.

Çizelge 4.3. Yeşilyurt ilçe merkezi Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-1)

Parametreler	Değerler
Tarih	28 Aralık 2011
Saat	12:45
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	3.5 °C
Su Sıcaklığı	10.5 °C
Su Görünümü	Berrak
Su Kokusu	Hafif Kötü Koku
Çözülmüş Oksijen	8.83 mg/L
pH	8.43
İletkenlik	441 µS/cm

Çizelge 4.4. İstasyon-1' in 3.6 km sonrasında Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-2)

Parametreler	Değerler
Tarih	28 Aralık 2011
Saat	13:06
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	3.5 °C
Su Sıcaklığı	9.6 °C
Su Görünümü	Berrak
Su Kokusu	Koku Yok
Çözülmüş Oksijen	9.95 mg/L
pH	8.29
İletkenlik	447 µS/cm

Çizelge 4.5. İstasyon-2' nin 10 km sonrasında (arıtma tesisi suyunun dereye karıştığı noktanın hemen öncesi) Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-3)

Parametreler	Değerler
Tarih	28 Aralık 2011
Saat	13:48
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	6.5 °C
Su Sıcaklığı	13.3 °C
Su Görünümü	Berrak
Su Kokusu	Koku yok
Çözünmüş Oksijen	9.43 mg/L
pH	8.12
İletkenlik	411 µS/cm

Çizelge 4.6. Arıtma tesisi çıkışı fazlasının tahliye edildiği borudan alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-4)

Parametreler	Değerler
Tarih	28 Aralık 2011
Saat	14:04
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	7 °C
Su Sıcaklığı	21.5 °C
Su Görünümü	Koyu siyah, Bulanık
Su Kokusu	Çok Kötü Koku
Çözünmüş Oksijen	2.98 mg/L
pH	9.89
İletkenlik	4.81 mS/cm

Çizelge 4.7. İstasyon-4’ ten 200 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-5)

Parametreler	Değerler
Tarih	28 Aralık 2011
Saat	14:15
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	7 °C
Su Sıcaklığı	13.2 °C
Su Görünümü	Hafif Bulanık
Su Kokusu	Kısmi Kötü Koku
Çözünmüş Oksijen	4.89 mg/L
pH	8.28
İletkenlik	452 µS/cm

Çizelge 4.8. İstasyon-5’ ten 500 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-6)

Parametreler	Değerler
Tarih	28 Aralık 2011
Saat	14:28
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	7 °C
Su Sıcaklığı	13.2 °C
Su Görünümü	Berrak
Su Kokusu	Koku Yok
Çözünmüş Oksijen	6.92 mg/L
pH	8.24
İletkenlik	424 µS/cm

Çizelge 4.9. İstasyon-6’ dan 8.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-7)

Parametreler	Değerler
Tarih	28 Aralık 2011
Saat	15:40
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	6 °C
Su Sıcaklığı	12.9 °C
Su Görünümü	Bulanık
Su Kokusu	Çok Kötü Koku
Çözünmüş Oksijen	5 mg/L
pH	8.61
İletkenlik	1033 µS/cm

Çizelge 4.10. İstasyon-7’ den 3.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-8)

Parametreler	Değerler
Tarih	28 Aralık 2011
Saat	15:02
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	6 °C
Su Sıcaklığı	13.4 °C
Su Görünümü	Bulanık
Su Kokusu	Kötü Koku
Çözünmüş Oksijen	3.35 mg/L
pH	8.83
İletkenlik	1038 µS/cm

4.3. Saha Çalışması-III ve Deneysel Sonuçlar

Sahada yapılan 3. çalışma 29.09.2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Arazi tipi cihazla pH, çözülmüş oksijen, iletkenlik ve sıcaklık değerleri ölçülmüş, alınan numuneler hızlı bir şekilde laboratuvara götürülerek spektrofotometrik tayinler yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 4.11 – 4.16’ da verilmiştir.

Çizelge 4.11. Yeşilyurt ilçe merkezi Beylerderesi’ nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-1)

Parametreler	Değerler
Tarih	29.09.2012-Cumartesi
Saat	10:20
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	23.5 °C
Su Sıcaklığı	18.5 °C
Su Görünümü	Berrak
Su Kokusu	Yok
Çözülmüş Oksijen	9.39 mg/L
pH	8.40
İletkenlik	462 µs/cm

Çizelge 4.12. İstasyon-1’ in 3.6 km sonrasında Beylerderesi’ nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-2)

Parametreler	Değerler	Parametreler	Değerler
Tarih	29.09.2012-Cumartesi	Hava Durumu	Açık
Saat	10:35	Hava Sıcaklığı	23.5 °C
Su Görünümü	Berrak	Su Sıcaklığı	16.5 °C
Su Kokusu	Yok	Nitrit Azotu	0.065 mg/L
Çözülmüş Oksijen	8.17 mg/L	Nitrat Azotu	1.6 mg/L
pH	8.06	Organik Azot	1.9 mg/L
İletkenlik	495 µs/cm	Organik Fosfor	0.076 mg/L
BOD ₅	5.5 mg/L	Çözülmüş Fosfor	0.087 mg/L
Amonyum Azotu	0.067 mg/L	Toplam Klor	8.89 mg/L

Çizelge 4.13. İstasyon-4’ ten 200 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-5)

Parametreler	Değerler	Parametreler	Değerler
Tarih	29.09.2012-Cumartesi	Hava Durumu	Açık
Saat	11:15	Hava Sıcaklığı	22.5 °C
Su Görünümü	Berrak	Su Sıcaklığı	18.8 °C
Su Kokusu	Yok	Nitrit Azotu	0.014 mg/L
Çözünmüş Oksijen	7.67 mg/L	Nitrat Azotu	2.34 mg/L
pH	7.65	Organik Azot	0.71 mg/L
İletkenlik	434 µs/cm	Organik Fosfor	0.079 mg/L
BOD ₅	5.3 mg/L	Çözünmüş Fosfor	0.027 mg/L
Amonyum Azotu	0.038 mg/L	Toplam Klor	16.1 mg/L

Çizelge 4.14. İstasyon-5’ ten 500 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-6)

Parametreler	Değerler	Parametreler	Değerler
Tarih	29.09.2012-Cumartesi	Hava Durumu	Açık
Saat	11:25	Hava Sıcaklığı	22.5 °C
Su Görünümü	Hafif bulanık	Su Sıcaklığı	20.4 °C
Su Kokusu	Hafif koku	Nitrit Azotu	0.029 mg/L
Çözünmüş Oksijen	5.73 mg/L	Nitrat Azotu	2.60 mg/L
pH	7.67	Organik Azot	1.26 mg/L
İletkenlik	953 µs/cm	Organik Fosfor	0.105 mg/L
BOD ₅	6.0 mg/L	Çözünmüş Fosfor	0.195 mg/L
Amonyum Azotu	0.473 mg/L	Toplam Klor	12.8 mg/L

Çizelge 4.15. İstasyon-6’ dan 8.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-7)

Parametreler	İstasyon 7’ nin 200 m öncesi	İstasyon 7	İstasyon 7’ nin 200 m sonrası
	Değerler		
Tarih	29.09.2012-Cumartesi		
Saat	12:05	12:00	12:10
Hava Durumu	Açık	Açık	Açık
Hava Sıcaklığı	22.5 °C	22.5 °C	22.5 °C
Su Sıcaklığı	18.4 °C	18.6 °C	18.8 °C
Su Görünümü	Hafif bulanık	Hafif bulanık	Hafif bulanık
Su Kokusu	Yok	Yok	Yok
Çözünmüş Oksijen	9.60 mg/L	9.68 mg/L	8.42 mg/L
pH	8.25	8.24	7.94
İletkenlik	738 µs/cm	763 µs/cm	608 µs/cm
BOD ₅	4.9 mg/L	-	-
Amonyum	0.028 mg/L	-	-
Nitrit	0.036 mg/L	-	-
Nitrat	2.03 mg/L	-	-
Organik Azot	1.13 mg/L	-	-
Organik Fosfor	0.088 mg/L	-	-
Çözünmüş Fosfor	0.087 mg/L	-	-
Toplam Klor	6.72 mg/L	-	-

Bu saha çalışması sırasında, Devlet Su İşleri (DSİ) tesisinden dereye elektrik üretmekte kullanılan sulama suyunun verildiği tespit edilmiş ve bu suyun dereye karıştığı bölgeden de numune alınarak analizler yapılmıştır. Bu su akımının belirli dönemlerde dereye deşarj edildiği öğrenilmiştir.

Çizelge 4.16. İstasyon-7’ den 3.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-8)

Parametreler	Değerler	Parametreler	Değerler
Tarih	29.09.2012-Cumartesi	Hava Durumu	Açık
Saat	12:40	Hava Sıcaklığı	27.5 °C
Su Görünümü	Hafif bulanık	Su Sıcaklığı	20 °C
Su Kokusu	Hafif kötü koku	pH	8.36
Çözünmüş Oksijen	8.30 mg/L	İletkenlik	628 µs/cm

4.4. Saha Çalışması-IV ve Deneysel Sonuçlar

Sahada gerçekleştirilen 4. çalışma 20.10.2012 tarihinde yapılmıştır. Arazi tipi cihazla pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik ve sıcaklık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. İstasyonlardan alınan numuneler hızlı bir şekilde laboratuvara götürülerek spektrofotometrik tayinler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.17 – 4.22’ de 4. saha çalışmasının sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.17. Yeşilyurt ilçe merkezi Beylerderesi’ nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-1)

Parametreler	Değerler
Tarih	20.10.2012-Cumartesi
Saat	09:55
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	15.5 °C
Su Sıcaklığı	15.0 °C
Su Görünümü	Berrak
Su Kokusu	Hafif Koku
Çözünmüş Oksijen	8.79 mg/L
pH	8.30
İletkenlik	501 µS/cm

Çizelge 4.18. İstasyon-1' in 3.6 km sonrasında Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-2)

Parametreler	Değerler
Tarih	20.10.2012-Cumartesi
Saat	10:15
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	16.0 °C
Su Sıcaklığı	14.5 °C
Su Görünümü	Berrak
Su Kokusu	Yok
Çözülmüş Oksijen	8.87 mg/L
pH	8.35
İletkenlik	518 µS/cm

Çizelge 4.19. İstasyon-2' nin 10 km sonrasında (arıtma tesisi suyunun dereye karıştığı noktadan hemen öncesi) Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-3)

Parametreler	Değerler	Parametreler	Değerler
Tarih	20.10.2012-Cumartesi	Nitrat Azotu	0.882 mg/L
Saat	11:10	Hava Durumu	Açık
Su Görünümü	Siyah	Hava Sıcaklığı	20.0 °C
Su Kokusu	Kötü	Su Sıcaklığı	26.1 °C
Çözülmüş Oksijen	6.99 mg/L	Organik Azot	8.4 mg/L
pH	8.30	Organik Fosfor	0.2898 mg/L
İletkenlik	5.61 mS/cm	Çözülmüş Fosfor	1.33 mg/L
Amonyum Azotu	0.140 mg/L	Toplam Klor	186.7 mg/L
Nitrit Azotu	0.060 mg/L		

Saha çalışması sırasında, Malatya II. Organize Sanayi atıksu arıtma tesisi devreye girdiğinden, I. Organize Sanayi arıtma tesisinden fazla gelen suyun tahliye edildiği borudan dereye atıksu deşarjı olmadığı görülmüştür. Bu nedenle İstasyon-4' ten örnek alınamamıştır. Buna bağlı olarak, dereye çok belirgin bir renk düzelmesi görülmüştür. II. Organize Sanayi arıtma tesisinin devreye alındığı ve bu tesisten çıkan suyun dereye deşarj edildiği tespit edilerek çalışmalara bu nokta dahil edilmiştir. Bu deşarj suyunun dereye karıştığı noktadan itibaren siyah renkte olduğu ve ilerleyen noktalarda derenin rengini bozduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.20. İstasyon-4' ten 200 m sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-5)

Parametreler	Değerler
Tarih	20.10.2012-Cumartesi
Saat	11:28
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	24.0 °C
Su Sıcaklığı	23.4 °C
Su Görünümü	Siyah
Su Kokusu	Kötü koku
Çözünmüş Oksijen	4.94 mg/L
pH	8.35
İletkenlik	4.94 mS/cm
Amonyum Azotu	0.070 mg/L
Nitrit Azotu	0.050 mg/L
Nitrat Azotu	0.791 mg/L
Organik Azot	9.5 mg/L
Organik Fosfor	0.26 mg/L
Çözünmüş Fosfor	1.23 mg/L
Toplam Klor	145.3 mg/L

Çizelge 4.21. İstasyon-6’ dan 8.5 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İst.-7)

Parametreler	200m ilerisi	Boru Kenarı	DSİ’den gelen su
	Değerleri		
Tarih	20.10.2012-Cumartesi		
Saat	12:45	12:30	12:35
Hava Durumu	Kapalı	Kapalı	Kapalı
Hava Sıcaklığı	20.0 °C	20.0 °C	20.0 °C
Su Sıcaklığı	16.7 °C	18.6 °C	16.9 °C
Su Görünümü	Hafif Bulanık	Hafif Bulanık	Hafif Bulanık
Su Kokusu	Yok	Yok	Yok
Çözünmüş Oksijen	8.75 mg/L	8.43 mg/L	8.91 mg/L
pH	8.31	8.20	8.36
İletkenlik	1200 µS/cm	1607 µS/cm	967 µS/cm
Amonyum Azotu	0.068 mg/L	0.118 mg/L	0.089 mg/L
Nitrit Azotu	0.026 mg/L	0.043 mg/L	0.035 mg/L
Nitrat Azotu	1.50 mg/L	2.06 mg/L	1.51 mg/L
Organik Azot	4.15 mg/L	3.69 mg/L	3.2 mg/L
Organik Fosfor	0.105 mg/L	0.136 mg/L	0.114 mg/L
Çözünmüş Fosfor	0.197 mg/L	0.369 mg/L	0.251 mg/L
Toplam Klor	25.2 mg/L	37.2 mg/L	47.5 mg/L

Çizelge 4.22. İstasyon-7’ den 3.5 km sonra su örneği analiz sonuçları (İstasyon-8)

Parametreler	Değerler	Parametreler	Değerler
Tarih	20.10.2012-Cumartesi	Hava Durumu	Kapalı
Saat	13:05	Hava Sıcaklığı	24.0 °C
Su Görünümü	Hafif Bulanık	Su Sıcaklığı	17.0 °C
Su Kokusu	Yok	Nitrat Azotu	1.50 mg/L
Çözünmüş Oksijen	8.71 mg/L	Organik Azot	3.54 mg/L
pH	8.38	Organik Fosfor	0.124 mg/L
İletkenlik	1313 µS/cm	Çözünmüş Fosfor	0.318 mg/L
Amonyum Azotu	0.121 mg/L	Toplam Klor	33.2 mg/L
Nitrit Azotu	0.043 mg/L		

4.5. Saha Çalışması-V ve Deneysel Sonuçlar

Tez kapsamında sunulan bu son saha çalışması 17.11.2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Yine arazi tipi cihazla pH, çözünmüş oksijen, iletkenlik ve sıcaklık değerleri ölçülmüş ve istasyonlardan alınan numuneler hızlı bir şekilde laboratuvara götürülerek spektrofotometrik ve biyolojik tayinler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.23 – 4.29’ da listelenmiştir. Bu saha çalışmasının bir kısmı diğerlerinden farklı olarak dinamik olarak yapılmıştır. Öncelikle bir başlangıç noktası seçilmiştir. Akarsuyun bu noktasından ölçüm ve örnek alınarak bir sonraki istasyona gidilmiştir. Akarsuyun çizgisel hızından yararlanılarak gidilen ölçüm istasyonunda belirlenen saatte örnekler alınarak analizler yapılmıştır. Dolayısıyla aynı su kütlesi akarsu boyunca takip edilerek değişimler gözlenmiştir. Yan kollardan gelen yük etkileri de aynı şekilde belirlenen zamanda örnekler alınarak analizlenmiştir.

Bu saha çalışmasından elde edilen verilerin bir kısmı, parametre optimizasyonu ve model benzetimi için kullanılmıştır.

Çizelge 4.23. Yeşilyurt ilçe merkezi Beylerderesi’ nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-1)

Parametreler	Değerler
Tarih	17.11.2012-Cumartesi
Saat	10:00
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	11 °C
Su Sıcaklığı	11.8 °C
Su Görünümü	Berrak
Su Kokusu	Hafif Kötü
Çözünmüş Oksijen	8.12 mg/L
pH	8.29
İletkenlik	483 µS/cm

Çizelge 4.24. İstasyon-1' in 3.6 km sonrasında Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-2)

Parametreler	Değerler
Tarih	17.11.2012-Cumartesi
Saat	10:15
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	11.5 °C
Su Sıcaklığı	11 °C
Su Görünümü	Berrak
Su Kokusu	Yok
Çözünmüş Oksijen	8.94 mg/L
pH	8.14
İletkenlik	495 µS/cm

Çizelge 4.25. İstasyon-2' nin 10 km sonrasında (II. Organize Sanayi arıtma tesisi suyunun dereye karıştığı noktadan 500 m öncesi) Beylerderesi' nden alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon 5.a)

Parametreler	İstasyon 5' in 500 m öncesi (İstasyon 5.a)	Parametreler	İstasyon 5' in 500 m öncesi (İstasyon 5.a)
	Değerler		Değerler
Tarih	17.11.2012-Cumartesi	Hava Sıcaklığı	13 °C
Hava Durumu	Açık	Su Sıcaklığı	15.2 °C
Su Kokusu	Yok	Su Görünümü	Berrak
Çözünmüş Oksijen	9.17 mg/L	Nitrat Azotu	2.05 mg/L NO ₃ ⁻ -N
pH	8.11	Organik Azot	1.4 mg/L
İletkenlik	402 µS/cm	Organik Fosfor	0.028 mg/L
BOD ₅	11 mg/L	Çözünmüş Fosfor	0.018 mg/L
Amonyum Azotu	0.013 mg/L	Toplam Klor	7.95 mg/L
Nitrit Azotu	0.012 mg/L	Debi	4.20 m ³ /s

Çizelge 4.26. İstasyon-5.a' dan 500 m sonra arıtma tesisi çıkış suyundan alınan örneğin analiz sonuçları (İstasyon 5.b)

Parametreler	II. Organize Sanayi arıtma tesisi çıkış suyu borusu (İstasyon 5.b)
	Değerler
Tarih	17.11.2012-Cumartesi
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	13 °C
Su Sıcaklığı	21.5 °C
Su Görünümü	Siyah renkli
Su Kokusu	Hafif kötü
Çözünmüş Oksijen	7.5 mg/L
pH	8.27
İletkenlik	5.52 mS/cm
BOD ₅	56 mg/L
Amonyum Azotu	0.233 mg/L
Nitrit Azotu	0.058 mg/L
Nitrat Azotu	0.826 mg/L
Organik Azot	4.356 mg/L
Organik Fosfor	1.0 mg/L
Çözünmüş Fosfor	0.86 mg/L
Toplam Klor	976 mg/L
Debi	0.22 m ³ /s

Optimizasyon ve benzetim çalışmalarında akarsuyun ve akarsuya karışan yan kolların debileri gerektiğinden, 500 m mesafe için bir kaç tane iz elemanı dereye bırakılarak çizgisel hız hesaplanmıştır. Akarsuyun farklı bölgelerinde derinlikler ve akarsu genişliği ölçülerek, ortalama derinlik ve ortalama genişlik bulunmuştur. Bu verilerden yararlanılarak debi hesabı yapılmıştır. Yan kol karışmadan hesaplanan çizgisel hız 1.25 m/s olarak hesaplanmıştır. Derenin ortalama eni 5.6 metre, ortalama derinliği 0.6 metre olarak ölçülmüş ve debisi 4.20 m³/s olarak bulunmuştur. Yan kol deşarjından sonra derenin debisi 4.44 m³/s olarak hesaplanmış ve yan kol debisinin 220 L/s olduğu belirlenmiştir.

Bu saha çalışmasında, I. Organize Sanayi arıtma tesisinden fazla gelen suyun tahliye edildiği borudan atıksu deşarjı olmadığından yine İstasyon-4' ten örnek alınamamıştır.

Çizelge 4.27. İstasyon-5.a' dan 12 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları
(İstasyon-7.a)

Parametreler	Değerler
Tarih	17.11.2012-Cumartesi
Hava Durumu	Açık
Hava Sıcaklığı	13 °C
Su Sıcaklığı	16.4 °C
Su Görünümü	Bulanık
Su Kokusu	Hafif
Çözünmüş Oksijen	8.9 mg/L
pH	8.19
İletkenlik	945 mS/cm
BOD ₅	10.3
Amonyum Azotu	0.025 mg/L
Nitrit Azotu	0.016 mg/L
Nitrat Azotu	1.99 mg/L
Organik Azot	1.53 mg/L
Organik Fosfor	0.068 mg/L
Çözünmüş Fosfor	0.056 mg/L
Toplam Klor	32.4 mg/L

İstasyon-5.a' dan 12 km sonra akarsuya civardaki bir köyün foseptik deposundan sızan atıksuyun karıştığı görülmüş ve bu sudan örnekler alınarak analizlenmiştir. Bu atıksuyun, akarsu kalitesine etkisini incelemek için yaklaşık debi ölçümü yapılmıştır. Hesaplanan debi değeri 10 L/s' dir.

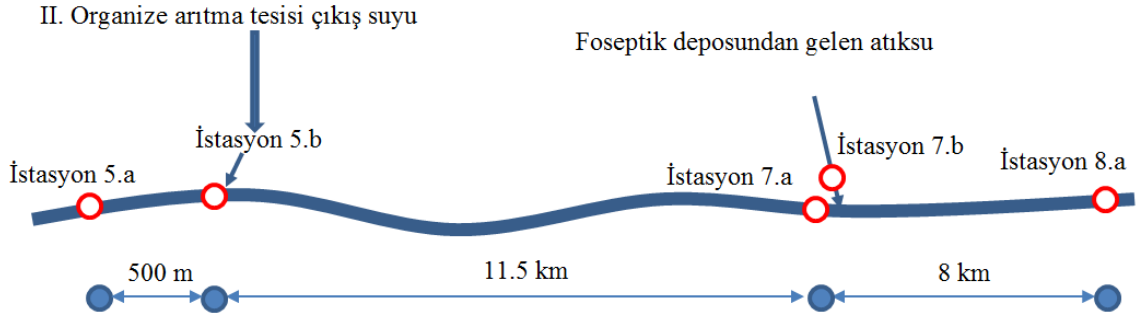
Çizelge 4.28. İstasyon-5.a' dan 12 km sonra foseptik deposundan dereye karışan atıksu örneği analiz sonuçları (İstasyon-7.b)

Parametreler	Foseptik atıksuyu	Parametreler	Foseptik atıksuyu
	Değerler		Değerler
Tarih	17.11.2012-Cumartesi	Hava Durumu	Açık
Su Görünümü	Bulanık	Hava Sıcaklığı	14 °C
Su Kokusu	Çok kötü	Su Sıcaklığı	18.5 °C
Çözünmüş Oksijen	5.10 mg/L	Nitrat Azotu	0.492 mg/L
pH	7.70	Organik Azot	32.8 mg/L
İletkenlik	871 µS/cm	Organik Fosfor	2.25 mg/L
BOD ₅	28 mg/L	Çözünmüş Fosfor	1.943 mg/L
Amonyum Azotu	8.60 mg/L	Toplam Klor	44.6 mg/L
Nitrit Azotu	0.075 mg/L		

Çizelge 4.29. İstasyon-7.b' den 8 km sonra alınan su örneği analiz sonuçları (İstasyon-8.a)

Parametreler	Değerler	Parametreler	Değerler
Tarih	17.11.2012-Cumartesi	Hava Durumu	Açık
Su Görünümü	Berrak	Hava Sıcaklığı	14 °C
Su Kokusu	Yok	Su Sıcaklığı	15.8 °C
Çözünmüş Oksijen	9.0 mg/L	Nitrat Azotu	1.97 mg/L
pH	8.38	Organik Azot	1.56 mg/L
İletkenlik	1313 µS/cm	Organik Fosfor	0.077 mg/L
BOD ₅	8.0	Çözünmüş Fosfor	0.062 mg/L
Amonyum Azotu	0.048 mg/L	Toplam Klor	21.9 mg/L
Nitrit Azotu	0.016 mg/L		

Dinamik benzetim için numunelerin alındığı istasyonlar ve mesafelerin yer aldığı şematik gösterim Şekil 4.4' te verilmiştir.



Şekil 4.4. Dinamik benzetim için numunelerin alındığı istasyonlar ve mesafeler

4.6. Parametre Belirleme Sonuçları

Akarsu modelinin ihtiva ettiği 33 adet kinetik parametre optimizasyonla belirlenmiştir. Parametre belirleme için MATLAB [62] ortamında bir program kodlanmıştır. Programdan elde edilen bulgular Çizelge 4.30’ da listelenmiştir.

Çizelge 4.30. Model parametrelerinin alt – üst limitleri ve SQP optimizasyon tekniği ile hesaplanan değerleri

Parametre	Limitler [43]		Optimum değerler (Bu çalışma)
	Alt limit	Üst limit	
α_0	10	100	10
α_1	0.07	0.09	0.09
α_2	0.01	0.02	0.02
α_3	1.4	1.8	1.80
α_4	1.6	2.3	1.61
α_5	3	4	3.4
α_6	1	1.14	1.13
ρ	0.05	0.50	0.5
σ_1	0.5	6	0.9
σ_2	*	*	0.8
σ_3	*	*	0.009

Çizelge 4.30. Model parametrelerinin alt – üst limitleri ve SQP optimizasyon tekniği ile hesaplanan değerleri (devam)

Parametre	Limitler [43]		Optimum değerler (Bu çalışma)
	Alt limit	Üst limit	
σ_4	0.001	0.1	0.1
σ_5	*	*	0.52
σ_6	*	*	3.6
σ_7	1.01	10	1.01
K_1	0.02	3.4	3.4
K_2	0	100	55.3
K_3	-0.36	1.36	1.36
K_4	*	*	0.99
K_5	0.05	4	1.53
K_6	*	*	13.04
β_1	0.1	1	1.0
β_2	0.2	2	0.2
β_3	0.02	0.4	0.024
β_4	0.01	0.7	0.01
P_N	0	1	0.9
K_P	0.001	0.05	0.002
K_N	0.01	0.30	0.19
λ_0	*	*	1.01
λ_1	0.002	0.02	0.002
λ_2	0.0164	0.0166	0.0164
K_L	1.20	6.00	1.2
$\mu_{\max}$	1.0	3.0	2.5

**değişken değerler*

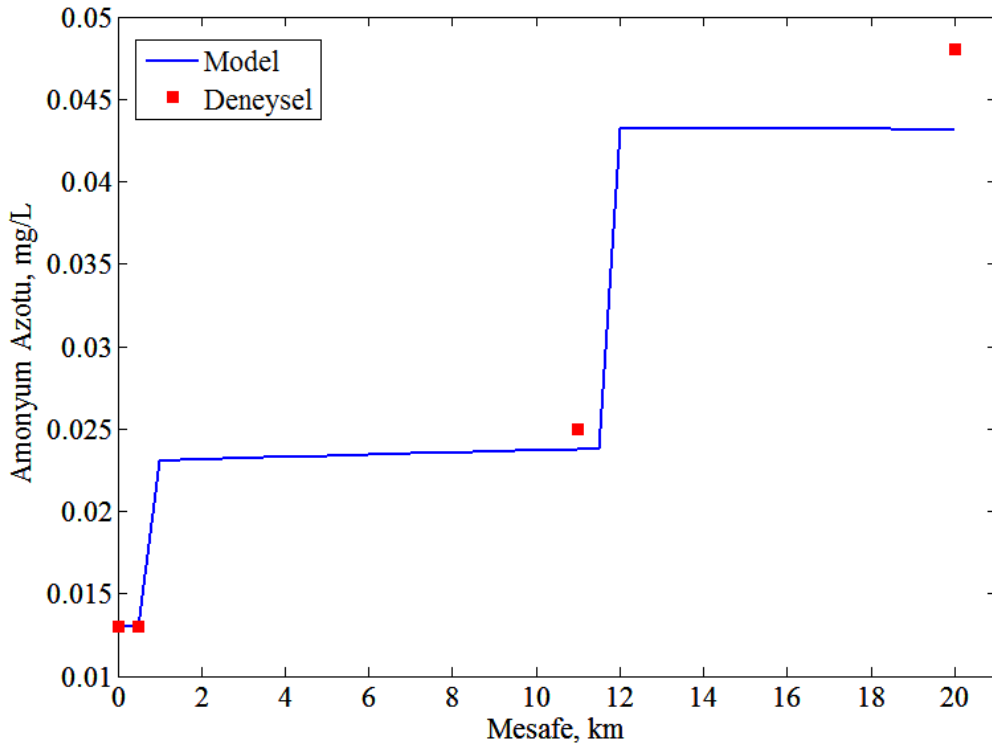
Objektif fonksiyon, klor değerleri dahil edildiğinde ölçülen tüm hal değişkenleri için 100.913 iken, klorun dışındaki hal değişkenleri için 0.0278 olarak hesaplanmıştır. Klor ölçümlerinde deneysel-model hatası yüksek olduğundan hata farkının karesi,

toplam hatayı arttırmaktadır. Ancak diğer değişkenler için hesaplanan toplam hata değerinin yeterince küçük olduğu söylenebilir.

Kinetik parametrelerin optimizasyonu yapıldıktan sonra, bulunan parametreler kullanılarak, akarsu modelinin yine MATLAB [61] ortamında benzetimi yapılmıştır.

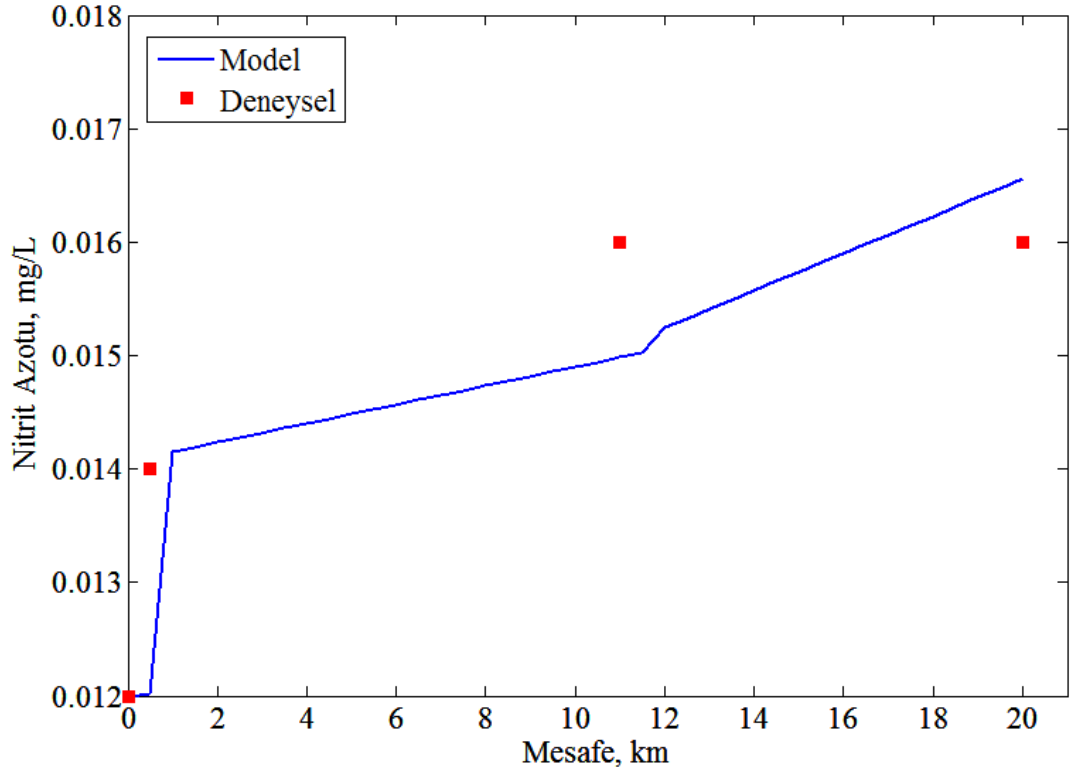
Yapılan çalışma sonucunda 9 adet hal değişkenine ait dinamik benzetimler gerçekleştirilmiş ve saha/laboratuvar çalışmalarından elde edilen deneysel verilerle kıyaslanmıştır. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca başlangıç noktasından itibaren 500. m ve 12. km mesafelerinde akarsuya karışan iki yan kolun etkisi araştırılmıştır. Kirlilik göstergelerinin bu mesafe boyunca nasıl değiştiği, akarsuyun kendini ne kadar yenileyebildiği Şekil 4.5 – 4.13’ de verilen grafiklerde görülmektedir.

Şekil 4.5 incelendiğinde; amonyum azotu, başlangıçtan 500 m sonra akarsuya karışan Malatya II. Organize Sanayi arıtma tesisi çıkış suyundan hemen etkilenecek 0.013 mg/L değerinden 0.023-0.024 mg/L değerinde bir konsantrasyona ulaşmıştır. Sonrasında, 12. km’ de karışan foseptik atıksuyu, amonyum azotu konsantrasyonunun 0.04 değerinin üzerinde çıkmasına sebep olmuştur. Amonyum azotu konsantrasyonu 19. km den itibaren azalma eğilimi göstermeye başlamıştır.



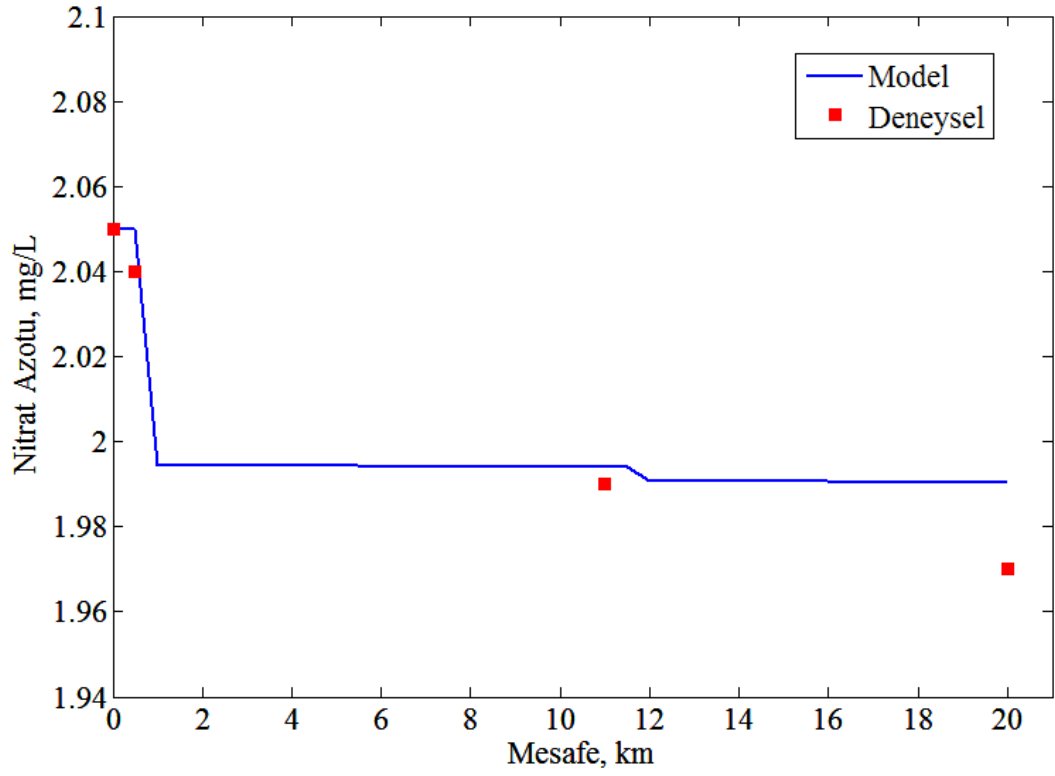
Şekil 4.5. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca amonyum azotu değişimi

Nitrit azotu, başlangıçta amonyum azotu gibi ilk yan koldan etkilenecek artmış ve yine 12. km mesafeye ulaşınca foseptik atığın etkisi hissedilmiştir. Bu etki Şekil 4.6’ dan anlaşılmaktadır.



Şekil 4.6. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca nitrit azotu değişimi

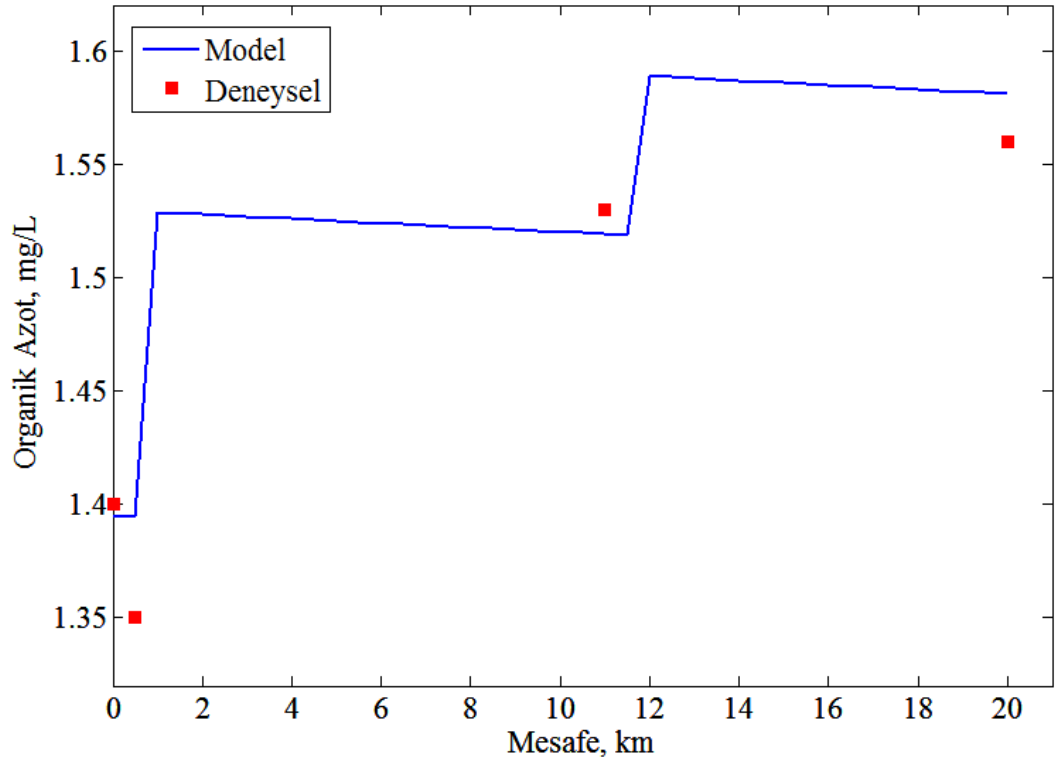
Şekil 4.7’ de göre nitrat azotu azalma eğilimi göstermiştir. Hem 500. m den sonra ve hem de 12. km den sonra nitrat azotu konsantrasyonundaki azalmalar dikkat çekmektedir. Bunun nedeni arıtmadan gelen suyun ve foseptik atıksuyunun, akarsudan daha az nitrat azotu içermesidir. Bu durum Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.28 incelendiğinde görülecektir.



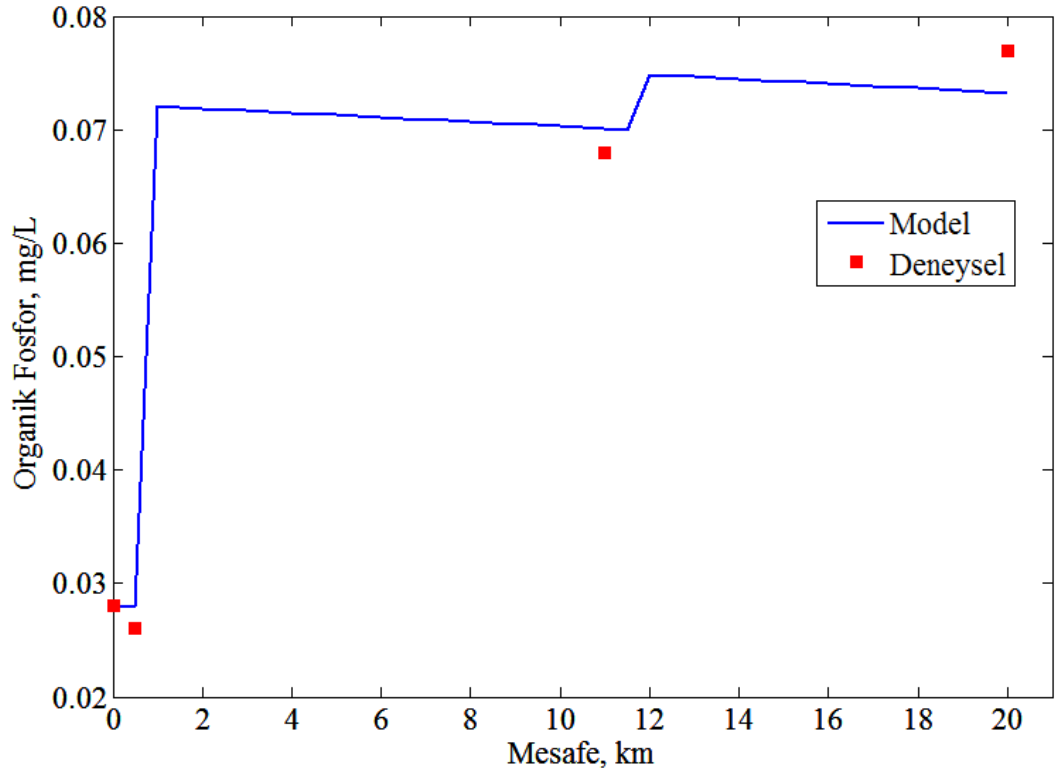
Şekil 4.7. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca nitrat azotu değışimi

Organik azot, her iki yan kol etkisiyle de artış gösterdikten sonra azalma trendine geçmiştir. Bu trende göre, eğer akarsuya başka atıksular karışmaz ise ilerleyen mesafelerde önemli bir azalma gösterecektir. Şekil 4.8 incelendiğinde organik azotun akarsu uzunluğu boyunca konsantrasyonundaki değışimin nasıl olduğu görülecektir.

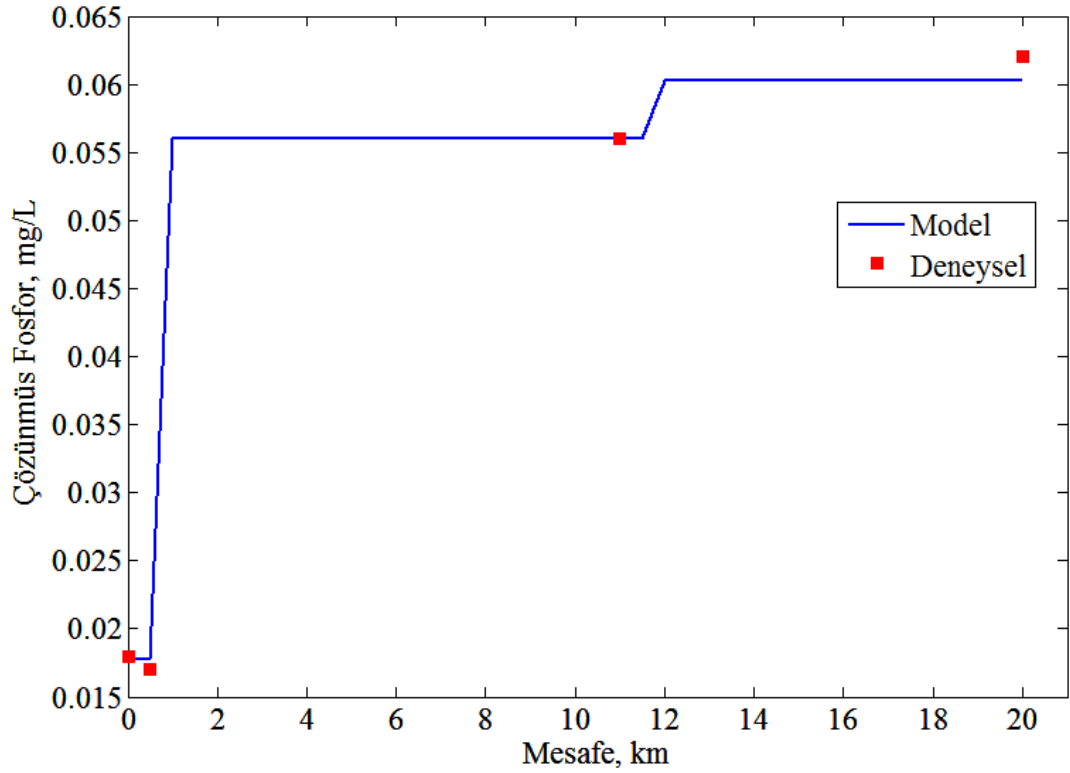
Organik fosfor ve çözünmüş fosfor konsantrasyonları benzer bir eğilimle önce 1. yan koldan gelen suyun etkisiyle önemli derecede artış göstermiştir. Sonrasında meydana gelen foseptik atıksuyunun akarsuya karışması 1. yan kol etkisine nazaran daha az olmuştur. Organik fosfor konsantrasyonu bu etkilerden hemen sonra tekrar azalma eğilimi gösterirken, çözünmüş fosfor son değeriine ulaştıktan sonra aynı konsantrasyon civarında kalmıştır (Şekil 4.9 – Şekil 4.10).



Şekil 4.8. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca organik azot değişimi



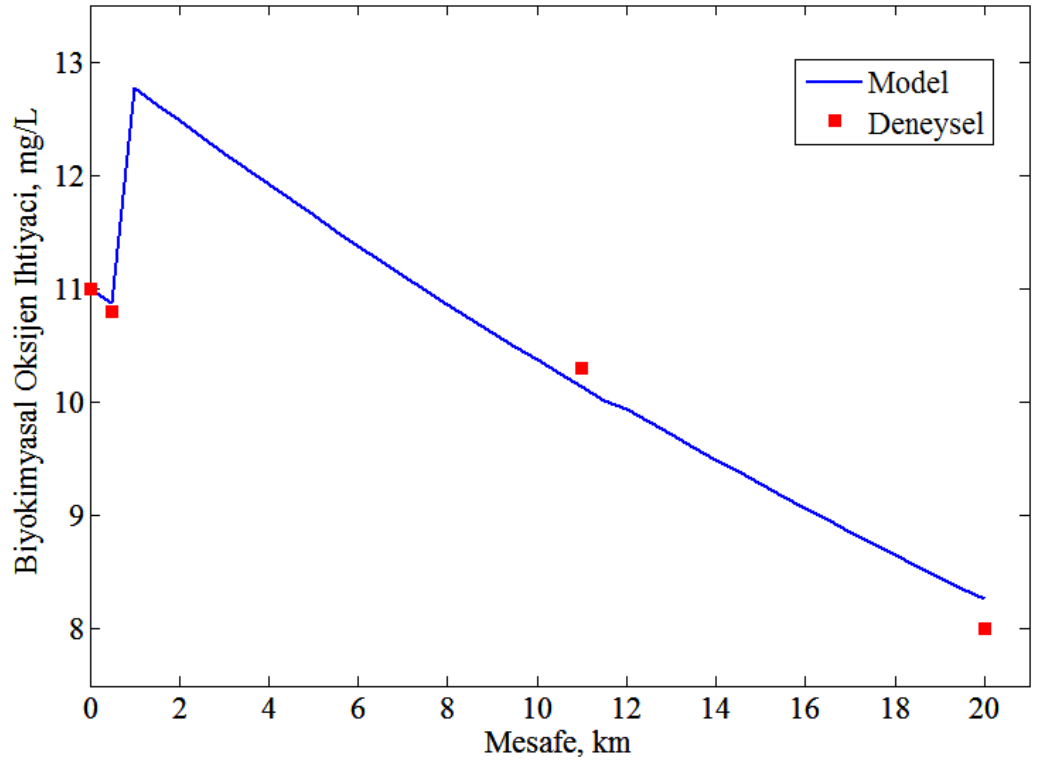
Şekil 4.9. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca organik fosfor değişimi



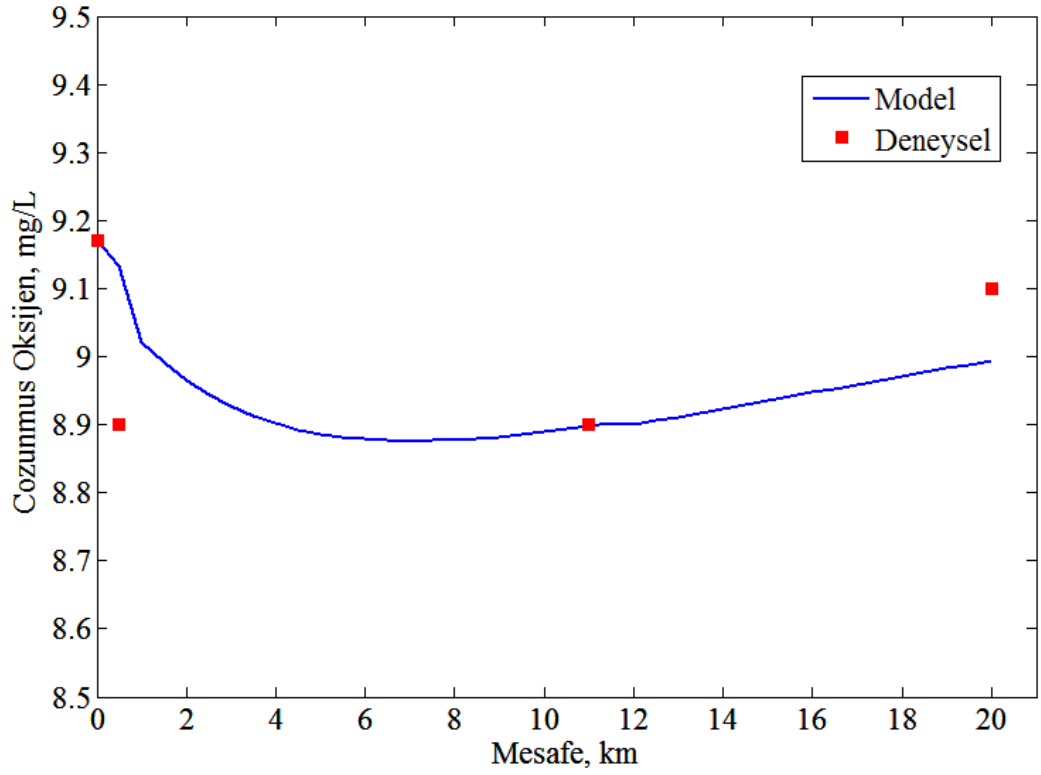
Şekil 4.10. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca çözünmüş fosfor değişimi

Bir akarsu kalitesi için en önemli parametrelerden birisi 5 günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOI_5) dır. Şekil 4.11, BOI_5 konsantrasyonunun yan kolların etkisiyle nasıl bir davranış gösterdiğini özetlemektedir. BOI_5 konsantrasyonu, ilk yan kol etkisini alınca 11 mg/L değerinden yaklaşık 13 mg/L değerlerine kadar yükselmiştir. Ancak, 12. km de akarsuya karışan 2. yan kol, BOI_5 konsantrasyonu üzerinde dikkate değer bir etki oluşturmamıştır. BOI_5 konsantrasyonunun akarsu uzunluğu boyunca azalması olumlu olup, akarsuyun kendini yenileyebildiği anlaşılmaktadır.

Akarsular için ve akarsuda yaşayan canlılar için en önemli parametre olan çözünmüş oksijen konsantrasyonu, 1. yan kol etkisinden yaklaşık 4 km sonra kurtulup, yükselişe geçmiştir. 2. yan koldan negatif bir etki almadığından çözünmüş oksijen konsantrasyonu artmaya devam etmiştir (Şekil 4.12). Yine bu durum da akarsuyun kendini yenileyebilme kabiliyetine sahip olduğunun bir göstergesi sayılabilir.

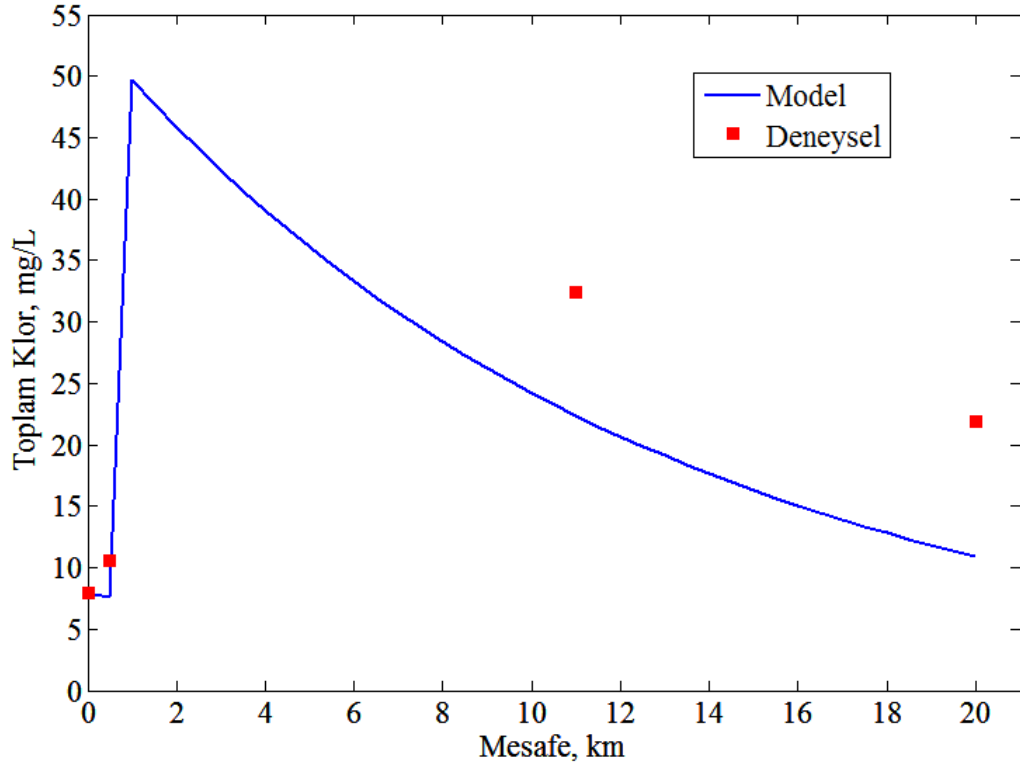


Şekil 4.11. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca BOİ₅ değişimi



Şekil 4.12. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca çözülmüş oksijen değişimi

Benzetim sonuçlarına göre klor konsantrasyonu, diğer hal değişkenlerine nazaran deneysel/model uyumu açısından en fazla sapma gösteren değişkendir. Bunun sebebi ölçüm hataları olabilir. Klor konsantrasyonu da ilk yan koldan oldukça etkilenecek yükselmiş ancak hemen sonrasında önemli bir azalma sağlamıştır (Şekil 4.13).



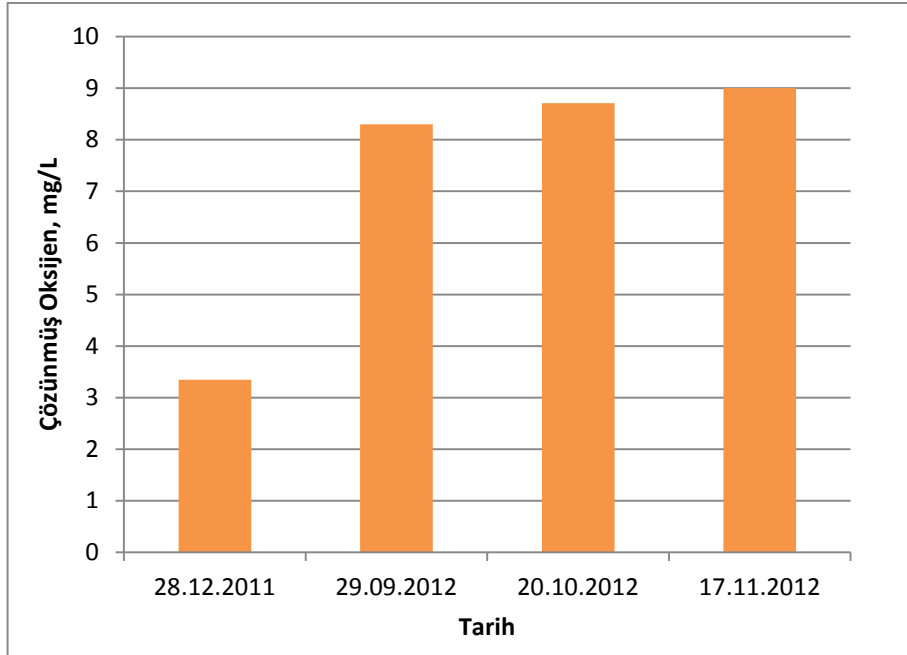
Şekil 4.13. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca toplam klor değişimi

Çizelge 4.31 incelendiğinde, bu çalışmada geliştirilen programın klor bileşeni dışında önemli ölçüde doğru öngöründe bulunduğu söylenebilir. Birçok akarsuda özellikle BOI_5 ve çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının değişimleri incelenmiş ve bu iki değişkene göre su kalitesinin değişimi değerlendirilmiştir. % Mutlak ortalama hata değerlerine bakıldığında, bir akarsu için çok önemli olan BOI_5 ve çözünmüş oksijen değişkenlerinin model yardımıyla gayet iyi öngörüldüğü söylenebilir.

Çizelge 4.31. Hal değişkenlerinin Deneysel ve Model sonuçları için % MOH değerleri

Su Kalitesi Parametreleri	% Mutlak Ortalama Hata (MOH)
Amonyum Azotu	3.85
Nitrit Azotu	5.99
Nitrat Azotu	0.43
Organik Azot	1.43
Organik Fosfor	3.88
Çözünmüş Fosfor	2.15
BOİ ₅	1.39
Çözünmüş Oksijen	0.95
Toplam Klor	27.4

Şekil 4.14, belirli tarih aralıklarında 8. İstasyonda yapılan çözünmüş oksijen konsantrasyonunu ölçüm değerlerini göstermektedir. 2011 yılının 12. ayında ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonunun, 2012 yılı ölçümlerine nazaran çok düşük olduğu grafikten görülmektedir.



Şekil 4.14. Son istasyondan ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu değişimi

2011 yılında I. Organize arıtma tesisi çıkış suyu 8. İstasyon yakınlarından dereye deşarj edilirken, 2012 yılının ölçüm alınan tarihlerinde ilgili arıtma tesisi suyu deşarjına rastlanmamıştır. Dolayısıyla, akarsuyun çözünmüş oksijen konsantrasyonu yüksek seviyelerde seyir etmiştir.

Sonuçlara göre, belirlenen optimum parametreler yardımıyla modelin dinamik benzetimi başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği söylenebilir. Akarsu modellemesi için daha önceki çalışmalarda [6, 32] kullanılan seri bağlı CSTR yaklaşımının bu çalışmada da kullanılarak farklı özelliklerdeki akarsulara da uygulanabileceği görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Malatya için sorun teşkil eden Beylerderesi akarsuyu ve devamında Şahnahan deresi için belirli zaman dilimlerinde su kalitesi parametreleri analizlenmiştir. Ayrıca çalışma süreci için dönemsel bazda akarsuyun kalitesi belirlenmiştir.

Akarsuya karışan kirletici bileşenlerin akarsu uzunluğu boyunca değişimini belirleyen, model parametrelerini optimizasyonla öngören bir program oluşturulmuştur. Akarsuyun 20 km uzunluğu boyunca yapılan benzetim sonuçları ve analiz sonuçlarından hesaplanan % Mutlak Ortalama Hata (MOH) değerleri uygun bir aralıkta bulunmuştur.

Bu tez kapsamında yazılan bilgisayar programı, eş zamanlı koruma kontrol yönteminin sağlanması için kullanılabilir niteliktedir. Dolayısıyla, muhtemel kirlilik etkenlerinin su kalitesine olası etkilerinin zamanında saptanması mümkün olabilecek, özellikle akarsu havzalarındaki yatırımlar hakkında karar alınmasına destek olarak, planlanan endüstriyel yatırımlardan akarsuyu etkileyecek kirlilik yükünün zamanla ve akarsu uzunluğu boyunca değişimi önceden tahmin edilebilecektir. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) için destek sağlanabilecektir.

Bu çalışma, Malatya yöresinde yer alan Beylerderesi akarsuyu ve devamındaki Şahnahan deresi için yapılmıştır. Yörede bulunan diğer akarsular için de detaylı çalışmalar yapılması, yörenin sahip olduğu yüzeysel su kaynaklarının kalitelerinin belirlenmesi ve aylık-yıllık kalite değişimleri incelenerek trend analizlerinin yapılması önerilmektedir.

Özellikle, Malatya Organize Sanayi' lerinin arıtma tesislerinden dereye ve dolayısıyla Karakaya Barajı' na karışan suların arıtımında yaşanan problemlerin giderilmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Her ne kadar II. Organize Sanayi için ayrı bir arıtma tesisi yapılmış olsa da bu tesisten dereye karışan suyun özellikle renk problemine sahip olduğu ve bunun için yeni çalışmalar yapılması gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M.K. Yetik, “*Akarsuların dinamik benzetiminde CBS tekniklerinden yararlanmak*”, **Doktora Tezi**, Ankara Üniversitesi, 2007.
- [2] L. Arsan, *Su Sanayisi Kurulmalı*, **Bilgi Çağı Dergisi**, 2008, 32-34.
- [3] S. Cirik ve Ş. Cirik, *Limnoloji*, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları Ders Kitapları Serisi No 21, **Ege Üniversitesi Basımevi**, Bornova-İzmir, 1991, s. 75.
- [4] K. Görmez, *Çevre Sorunları ve Türkiye*, **Gazi Kitabevi**, Ankara, 2003, s. 199.
- [5] Su Politikası Alanında Topluluk Faaliyeti için bir çalışma çerçevesi oluşturan 23 Ekim 2000 tarihli **Avrupa Parlamentosu ve Konseyi**’ nin 2000/60/EC Sayılı Direktifi.
- [6] M. Yüceer, “*Akarsularda Su Kalitesinin İzlenmesine Yönelik Yeni Bir Dinamik Benzetim Yazılımı*”, **Doktora Tezi**, Ankara Üniversitesi, 2005.
- [7] S. Alan, “*Yüzeysel Su Kalitesinin Risk Esaslı Yönetimi*”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2010.
- [8] A. Küçükbalı, “*Nilüfer çayı havzası su kalitesinin belirlenmesi ve bazı parametrelerin QUAL2E modeli ile incelenmesi*”, **Yüksek Lisans Tezi**, Uludağ Üniversitesi, 2003.
- [9] J.L. Pavoni and V. Nostrand, *Hanbook of water quality management planning*, **Reinhold company**, New York, 1977.
- [10] B.A. Cox, *A review of available in-stream water quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers*, **The Science of the Total Environment**, 314:316 (2003) 335–377.
- [11] S. Burak, İ. Duranyıldız ve Ü. Yetiş, *Ulusal Çevre Eylem Planı: Su Kaynaklarının Yönetimi*, **Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü**, 1997.
- [12] R.A. Wurbs, *Water management models – A Guide to Software*, **Prentice Hall PTR**, New Jersey, 1995, p. 227.
- [13] R.V. Thomann, *Verification of water quality models*, **J. of Environmental Engineering Division**, ASCE, 108(EE5) (1992), 923-940.

- [14] J.E. Paschal and D.K. Mueller, *Simulation of water quality and the effects of waste water Effluent on the South Plate River from Chatfield Reservoir through Denver Colorado*. Denver, CO: **Water-Resources Investigations Report**, 91-4016, 1991.
- [15] H. Cardwell and H. Ellis, *Stochastic dynamic programming models for water quality management*, **Water Resources Research**, 29(4) (1993), 803-813.
- [16] A.I. Stamou, *Improving the numerical modelling of river water quality by using high order difference schemes*. **Wat. Res.** 26(12) (1992), 1563-1570.
- [17] G.W. Choi and A. Molinas, *Simultaneous solution algorithm for channel network modeling*, **Water Resources Research**, 29(2) (1993), 321-328.
- [18] A.E. Mulligan and L.C. Brown, *Genetic algorithms for calibrating water quality models*, **Journal of Environmental Engineering**, ASCE, 124(3) (1998) 202-211.
- [19] W. Rauch, M. Henze, L. Koncsos, P. Reichert, P. Shanahan, L. Somlyódy and P. Vanrolleghem, *River water quality modelling: I. State of the art*, **IAWQ Biennial Int. Conf.** Vancouver-Canada, (1998) pp. 1-8.
- [20] S. Marsili Libelli, G. Pacini, C. Barresi, E. Petti, and F. Sinacori, *An interactive georeferenced water quality model*, **Hydroinformatics, Proc. of the 5th Int. Conf**, Cardiff, 2002.
- [21] **GREAT-ER**: Geography-referenced regional exposure assessment tool for European rivers, 2003. <http://www.great-er.org>
- [22] S.C. Chapra, *Surface Water Quality Modeling*. **WBC/ McGraw Hill**, USA, 1997.
- [23] W.S. Lung, *Water Quality Modeling for Waste Load Allocations and TMDLs*. **John Wiley and Sons Inc.**, New York, 2001.
- [24] S.A. Larmie, J. Marivoet and P. Vanouplines, *Application of QUAL2E and QUAL2E-UNCAS Models to the Densu River in Ghana*, **Proceedings of Advances in Water Pollution Control**, River Basin Management V, 1989, Editor: H. Laikari, 133-146, June 31-August 4, 1996, Rovaniemi Finland.
- [25] C.S. Melching and C.G. Yoon, *Key Sources of Uncertainty in QUAL2E Model of Passaic River*, **Journal of Water Resources Planning and Management**, March/April, 105-113, 1996.

- [26] R.R. Chaudhury, J.A.H. Sobrinho, R.M. Wright and M. Sreenivas, *Dissolved Oxygen Modeling of the Blackstone River (Northeastern United States)*, **Wat. Res.**, 32(8) (1998), 2587-2592.
- [27] A. Drolc and J.Z. Koncan, *Calibration of QUAL2E Model for the Sava River (Slovenia)*, **Wat. Sci. Tech.**, 40(10) (1999), 111-118.
- [28] United States Enviromental Protection Agency (**USEPA**). Drinking water, surface water and ground water, 2002.
- [29] E. Karadurmus and R. Berber, *Dynamic simulation and parameter estimation in river streams*, **Environmental Technology**, 25 (2004), 471-479.
- [30] M. Yuceer, I. Atasoy and R. Berber, *A software for parameter estimation in dynamic models*, **Brazilian J. of Chem. Engineering**, 25(4) (2008), 813-821.
- [31] S. Balku, M. Yuceer and R. Berber, *Control vector parameterization approach in optimization of alternating aerobic-anoxic systems*, **Optimal Control Applications and Methods**, 30:6 (2009), 573-84.
- [32] M. Yuceer, E. Karadurmus and R. Berber, *Simulation of River Streams: Comparison of a New Technique to QUAL2E*, **Mathematical and Computer Modelling**, 46:(1-2) (2007), 292-305.
- [33] D. Yudianto and X. Yuebo, *A comparison of some numerical methods in solving 1-D steady-state advection dispersion reaction equation*, **Civil Engineering and Environmental Systems**, 27:2 (2010), 155–72.
- [34] E. Karadurmuş, M.K. Yetik, M. Yüceer, İ. Atasoy, E. Semizer, A. Çalıklı, R. Berber, *On-Line Monitoring System for Yeşilirmak River Water Quality*, **EMCC-6**, Belek, Antalya, 2010.
- [35] İ. Atasoy, M. Yüceer, E. Semizer, E. Karadurmuş, M.K. Yetik, A. Çalıklı, R. Berber, *Nehir Su Kalitesi Veri Yönetimi: Hatalı Verilerin Ayıklanması*, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (**UKMK-9**), 2010.
- [36] Merkezi Gerçek Zamanlı Nehir İzleme ve Kirlilik Kontrol Sistemi, (**TÜBİTAK Proje Raporu**), Ankara Üniversitesi, 2009.
- [37] İ. Atasoy, M. Yüceer, E. Semizer, E. Karadurmuş, M.K. Yetik, B. Öz, A. Çalıklı, R. Berber, *Nehir Su Kalitesi için Trend Analizi*, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (**UKMK-9**), 2010.

- [38] M. Yüceer, İ. Atasoy, E. Semizer, E. Karadurmuş, M.K. Yetik, A. Çalimli, R. Berber, *Yeşilırmak Nehri İçin Toplam Organik Karbon Öngörü Modelleri*, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK-9), 2010.
- [39] M. Bildik, *Su teknolojisi ders notları*, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 1992.
- [40] H. Yalçın ve M. Gürü, *Su Teknolojisi*, **Palme Yayıncılık**, Yayın No: 204, Ankara, Mart, 2002.
- [41] R. Bozyiğit ve T. Karaaslan, *Çevre Bilgisi Kitabı*, **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 1998.
- [42] D. Chapman, *Water Quality Assessments, A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*, Published on behalf of UNESCO, WHO and UNEP. **Chapman & Hall**, London, U.K., 1992, p.585
- [43] L.C. Brown and T.O. Barnwell, *The enhanced stream water quality model QUAL2E and QUAL2E-UNCAS*, Documentation No. EPA/600/3-87/007, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, **U.S. Environmental Protection Agency**, Athens, Georgia, 1987.
- [44] V.N. Bulut, "Trabzon (Maçka) Kalyan Akarsuyunun Su kalitesinin Araştırılması ve modellenmesi", **Yüksek Lisans Tezi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2005.
- [45] M. Doğan, *Karadeniz Bölgesinde Su Kirliliğine Sebep Olan Faktörlerin Belirlenmesi ve Su Ürünlerinin Etkilerinin Araştırılması*, T.O.K.B., **Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları**, Trabzon, 1991.
- [46] A.B. Erden, *Çağımız ve Çevre Kirliliği*, **Kadioğlu Matbaası**, Ankara, 1990.
- [47] E.M. Stanley, *Environmental Chemistry*, **Lewis Publishers**, Seventh Edition, **CRC Press.**, New York, 2000.
- [48] M. Muslu, *Su Temini ve Çevre Sağlığı*, Cilt: 3, **İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü**, İstanbul, 1985.
- [49] **İ.T.Ü. Çevre Mühendisliği Laboratuvarı Temel Parametre Analizleri Azot tayini**, <http://web.itu.edu.tr/~itucevrelab/dokuman/Foyler/AZOT.pdf>
- [50] K. Haktanır, S. Arcak, *Çevre kirliliği*, **Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Halkla İlişkiler ve Yayın Ünitesi**, Ankara, 1998.
- [51] **Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Fakültesi**, <http://cevre.erciyes.edu.tr/dosyalar/dokumanlar/1.D%C3%B6nem%20deney%20of%C3%B6yleri/Klor%C3%BCrTayini.pdf>

- [52] R.D. Gudi, S.L. Shah and M.R. Gray, *Adaptive multivariable state and parameter estimation strategies with application to a bioreactor*, **AIChE Journal**, 41(11) (1995), 2451-2464.
- [53] W.E. Stewart, M. Caracotsios, and J.P. Sørensen, *Parameter estimation from multiresponse data*, **AIChE Journal**, 38 (1992), 641-50.
- [54] P. Bilardello, X. Joulia, J.M. Le Lann, H. Delmas and B. Koehret, *A general strategy for parameter estimation in differential-algebraic systems*, **Computers and Chemical Engineering**, 17(5-6) (1993), 517.
- [55] I.W. Kim, M.J. Liebman and T.F. Edgar, *A sequential error-in-variables method for nonlinear dynamic systems*, **Computers and Chemical Engineering**, 15(9) (1991), 663.
- [56] T.B. Tjoa and L.T. Biegler, *Simultaneous solution an optimization strategies for parameter estimation of differential-algebraic equation systems*, **Ind. Eng. Chem. Res.**, 30 (1991), 376.
- [57] W.R. Esposito and C.A. Floudas, *Global optimization for the parameter estimation of differential algebraic systems*, **Ind. Eng. Chem. Res.**, 39 (2000), 1291-1310.
- [58] P.E. Gill, W. Murray and M.H. Wright, M.H., *Practical optimization*, **Academic Press**, London, 1981.
- [59] J. Nocedal and S.J. Wright, *Numerical Optimization*, **Springer Series in Operations Research**, Springer, 1999.
- [60] V. Vassiliadis, R.W.H Sargent and C.C. Pantelides, *Solution of a class of multistage dynamic optimization problems*, **Ind. Eng. Chem. Res.**, 33(9) (1994), 2111-2122.
- [61] U. Agun ve R. Berber, *Yarı kesikli fermenterlerde besleme profilinin optimizasyonu için etkin bir yaklaşım*, **TOK2002 Bildiriler kitabı**, 2002, s. 425-434.
- [62] **The Mathworks**, Inc. 2009. www.mathworks.com.
- [63] U. Agun, “*Maya fermentasyonunda besleme hız profilinin optimizasyonu*”, **Yüksek lisans tezi**, Ankara Üniversitesi, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Ali ÇOŞKUN, 13 Ocak 1987 yılında Malatya’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Malatya’ da tamamladı. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Lisans programından 2009 yılında mezun olmuştur. 2010 yılında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda Yüksek Lisans programına başlamıştır.