



**ULUABAT GÖLÜ SU KALİTESİNİN
MODELLENMESİNDE KROM VE NİKEL
METALLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Saadet HACISALİHOĞLU



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULUABAT GÖLÜ SU KALİTESİNİN MODELLENMESİNDE KROM VE
NİKEL METALLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Saadet HACİSALİHOĞLU

Prof. Dr. Feza KARAER
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2016

TEZ ONAYI

Saadet HACISALİHOĞLU tarafından hazırlanan "Uluabat Gölü Su Kalitesinin Modellenmesinde Krom ve Nikel Metallerinin Değerlendirilmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Feza KARAER

Başkan: Prof. Dr. Feza KARAER
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Prof. Dr. Erdem Ahmet ALBEK
Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Doç. Dr. Olcay TOPAÇ ŞAĞBAN
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Doç. Dr. N.Kamil SALİHOĞLU
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Yrd. Doç. Dr. Aşkın BİRGÜL
Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik
Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.


Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
28/09/2016

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28/09/2016

Saadet HACISALİHOĞLU

ÖZET

Doktora Tezi

ULUABAT GÖLÜ SU KALİTESİNİN MODELLENMESİNDE KROM VE NİKEL METALLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Saadet HACISALİHOĞLU

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Feza KARAER

Çalışma alanımız Uluabat Gölü'nde, Ağustos 2013 – Temmuz 2014 tarihleri arasında göl içerisinde on noktadan, göle giriş ve çıkış yapan akarsulardan ve beş farklı noktasal kaynaktan aylık su, sediment ve plankton örnekleri toplanmış, çeşitli fizikokimyasal analizler ve krom-nikel metallere konsantrasyonları belirlenmiştir. Ölçülen su ve sediment kalitesi parametrelerinin konsantrasyon dağılımları, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) modeli yardımı ile değerlendirilmiştir.

Su, sediment ve plankton örneklerindeki metal konsantrasyonları (Cr-Ni), Delft3D modeli kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada, bilgisayar destekli modelleme aracı olarak “WL/Delft Hydraulics” bağımsız araştırma enstitüsü tarafından geliştirilen Delft3D modüler modelleme sisteminin 3.28.10 sürümü kullanılmıştır. Delft3D-FLOW (hidrodinamik modül) ve Delft3D-WAQ (su kalite modülü) modüllerinin bir arada kullanılması ile Uluabat Gölü için, dinamik su kalite modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Hidrodinamik modelleme neticesinde, akım hızlarının göle giren/çıkan debilerden lokal etkiler dışında etkilenmediği gözlenmiş olup, yıl boyunca etkili olan rüzgarın göl yüzeyinde bölgesel türbülanslar oluşturduğu ve gölde karışım sağladığı gözlenmiştir. Su kalitesi modellemesi çalışmaları neticesinde, farklı senaryolar oluşturulmuş, bu senaryolar ışığında gölde metal kirliliği seviyelerinin değişimleri değerlendirilmiş, muhtemel sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Uluabat Gölü, Su Kalitesi, Modelleme, Delft-3D.

2016, xii + 189 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

ASSESSMENT OF CHROMIUM AND NICKEL IN MODELING OF WATER QUALITY OF ULUABAT LAKE

Saadet HACISALIHOĞLU

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Feza KARAER

Lake Uluabat is our study work, between August 2013 - July 2014, water, sediment and plankton samples were collected each month, from ten points in the lake, input and output streams of the lake and five different point sources. Various physicochemical analysis were made and chromium-nickel metal concentrations were determined. The concentration distribution of water and sediment quality parameters was evaluated with the help of Geographic Information System (GIS) model.

Metal concentrations (Cr-Ni) in plankton samples, were modeled using Delft3D model. The 3.28.10 version of Delft3D modular modeling system developed by “WL/Delft Hydraulics” independent research institution has been used as computer aided modeling tool in the thesis. Dynamic water quality modeling for the Lake Uluabat has been realized through the use of Delft3D-FLOW (hydrodynamic module) and Delft3D-WAQ (water quality module) modules together. According to the results of hydrodynamic model studies, it has been observed that the velocities are not affected except for local impacts by inflows and outflows in the lake; it has also been noted that the wind effect throughout the year creates turbulences on the lake surface, thus leading to mixture in the lake. As a result of water quality modeling, different scenarios were created. According to these scenarios, the change of metal pollution levels in the lake has been evaluated, the likely consequences are interpreted.

Key words: Lake Uluabat, Water Quality, Modelling, Delft-3D.

2016, xii + 189 pages.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

“Uluabat Gölü Su Kalitesinin Modellenmesinde Krom ve Nikel Metallerinin Değerlendirilmesi” isimli tez çalışması, Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı OUAP-2013/6 nolu projeden edinilen maddi destek sayesinde bölümümüze kazandırılan yazılım ile tamamlanmıştır.

Öncelikle beni iyi bir insan olarak yetiştirmek için ellerinden gelen her şeyi yapan sevgili anneme ve babama, her zaman yanımda olan, hayattaki en büyük destekçilerim canım kardeşlerime,

Yüksek öğrenimim boyunca değerli fikirlerinden ve yardımlarından faydalandığım, çeşitli projelere beni dahil ederek, farklı bir çalışma alanının önemde açılmasını sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Feza KARAER’e,

Ayrıca, çalışmamın her aşamasını yakından takip eden, görüş ve önerileriyle yol gösteren değerli hocalarım Prof. Dr. Hüseyin S. BAŞKAYA ve Prof. Dr. Erdem A. ALBEK’e, özellikle CBS konusunda beni yönlendiren ve kendimi geliştirmemi sağlayan, zamanını esirgemedi yardımcı olan sevgili hocam Doç. Dr. Ertuğrul AKSOY’a,

Modelleme çalışmasında yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşım Sonay ONUR’a, arazi ve laboratuvar çalışmalarında önemli desteklerini gördüğüm öğrencilerim Fatma Nur EVİRGEN ve Doğan GÖKAY’a,

Son olarak da doktora öğrenimim boyunca maddi ve manevi olarak büyük güven ve destek veren, gösterdiği sabır ile her daim yanımda olan değerli eşim Talat HACISALİHOĞLU’na,

Sonsuz teşekkür ederim.

Saadet HACISALİHOĞLU
28/09/2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Özet	ii
Abstract	iii
Önsöz ve Teşekkür	iv
Simgeler ve Kısaltmalar Dizini	vii
Şekiller Dizini	viii
Tablolar Dizini	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Uluabat Gölü Genel Özellikleri	3
2.2. Metaller ve Özellikleri	4
2.2.1. Krom	7
2.2.2. Nikel	8
2.3. Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları	8
2.4. Yüzeysel Sular İçin Matematiksel Modelleme Yaklaşımı	9
2.5. Model Kalibrasyonu, Doğrulaması ve Performans Değerlendirilmesi.	16
2.5.1. Hidrodinamik Modelleme	16
2.5.1.1. Göllerde Vejetasyon	18
2.5.2. Su Kalite Modellemesi	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. Örnekleme Programı	22
3.2. Örnek Alma Noktaları	22
3.3. Örnek Alma Metodu ve Örnekleyiciler	24
3.4. Suda Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi.....	25
3.5. Sedimentte Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi.....	26
3.6. Ağır Metal Analizleri	27
3.6.1. Örneklerin Analize Hazırlanması	27
3.6.1.1. Suda Çözünmüş, Partikül Maddeye Tutunmuş ve Sedimentteki Ağır Metallerin Analize Hazırlanması.....	27
3.6.1.2. Sedimentte Bulunan Ağır Metal Fraksiyonlarının Analize Hazırlanması	27
3.6.2. Ağır Metal Tayini ve ICP-OES Cihazı Çalışma Prensibi	28
3.7. Veri Değerlendirme Yöntemleri	30
3.7.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Su ve Sediment Kalitesi Parametrelerinin Haritalandırılması	30
3.7.2. Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi.....	33
3.7.3. Ölçüm Sonuçlarının Standart Değerler ile Karşılaştırılması....	33
3.7.4. Uluabat Gölü Ötrofikasyon Seviyesinin Belirlenmesi.....	33
3.7.5. Delft-3D Modelleme Programı	34

3.7.5.1.	Delft-3D Flow Modülü	35
3.7.5.2.	Delft-3D WAQ Modülü	40
3.7.6.	Su Kalite Model Performansını Değerlendirme Yöntemi.....	43
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI	46
4.1.	Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	46
4.2.	Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi	56
4.3.	Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının GIS ile Değerlendirilmesi	62
4.4.	Uluabat Gölü Trofik Seviyesinin Belirlenmesi	66
4.5.	Noktasal Kaynaklardan Gelen Kirletici Yüklerin Hesabı	67
4.6.	Su, Sediment ve Planktonda Ölçülen Cr ve Ni Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi	71
4.7.	Delft3D-Flow Modülü Uygulaması için Giriş Dosyalarının Hazırlanması	83
4.7.1.	Uluabat Gölü Su Bütçesi	83
4.7.2.	Uluabat Gölü Su Seviyesi	87
4.7.3.	Uluabat Gölü Su Sıcaklığı	88
4.7.4.	Meteorolojik Veriler	89
4.7.5.	Uluabat Gölü Grid Ağı	91
4.7.6.	Uluabat Gölü Batimetri Haritası	93
4.7.7.	Uluabat Gölü Taban Pürüzlülüğü Durumu.....	95
4.7.8.	Uluabat Gölü'nde Delft3D-Flow Modülü Uygulaması	97
4.7.9.	Hidrodinamik Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması	103
4.8.	Delft3D-WAQ Modülü Uygulaması için Giriş Dosyalarının Hazırlanması	108
4.8.1.	Delft3D-WAQ Modülü Başlangıç Koşulları	109
4.8.2.	Metal Proseslerinin Tanımlanması	111
4.8.2.1.	Adsorbe Olmuş Maddelerin Sedimentasyonu (Sed_HM).....	111
4.8.2.2.	Adsorbe Olmuş Maddelerin Resüspanasyonu (Res_HM).....	112
4.8.2.3.	Ağır Metallerin Dağılımları (PARTWK_i ve PARTS1/2_i).....	113
4.8.2.4.	Yüzey Sedimentinin Kompozisyonu.....	115
4.8.3.	DELFT3D-WAQ Modülünün Kalibrasyon ve Doğrulaması.....	125
4.8.3.1.	Su Kolonundan Sedimente Geçen Ağır Metal Akılarının Belirlenmesi	126
4.8.3.2.	Su Kalite Modeli Kalibrasyonu ve Değerlendirmesi.....	128
4.8.3.3.	Su Kalite Modeli Doğrulaması ve Değerlendirmesi.....	139

4.8.4. Geliştirilen Senaryoların Değerlendirilmesi.....	147
5. SONUÇLAR.....	164
KAYNAKLAR.....	173
ÖZGEÇMİŞ.....	187



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

F_x	x doğrultusundaki Reynolds gerilmesi
F_y	y doğrultusundaki Reynolds gerilmesi
h	Toplam su derinliğini,
M_x	x doğrultusundaki çökme ya da dış kaynaklara bağlı momentum
M_y	y doğrultusundaki çökme ya da dış kaynaklara bağlı momentum
P_x	x doğrultusundaki basınç bileşeni
P_y	y doğrultusundaki basınç bileşeni
S	Deşarja ya da su çekilmesine, yağışa ve buharlaşmaya bağlı birim alan başına katkı
u	x doğrultularında derinlik ortalamalı hız bileşeni
v	y doğrultularında derinlik ortalamalı hız bileşeni
ζ	Su yüzeyi kotunu,
ν_v	Dikey Eddy viskozite katsayısını,
ω	Sigma koordinat sisteminde dikey hız bileşenini
n	Manning katsayısı
k_s	Nikuradse pürüzlülük uzunluğu
CFL_{wave}	Courant sayısı
Δt	Zaman aralığı
g	Yerçekimi ivmesi
H	Yerel su derinliği
Δx	x doğrultusundaki grid ağı boyutu
Δy	y doğrultusundaki grid ağı boyutu
ρ	su yoğunluğu
ζ	su seviyesi

Kısaltmalar

Açıklama

DEM	Sayısal Yükseklik Modeli
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
MKP	Mustafakemalpaşa
NOAA	Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi
USACE	Amerikan Askeri Mühendisleri Birliği
USEPA	Amerikan Çevre Koruma Ajansı
USGS	Amerikan Jeolojik İnceleme Kurumu
RMSE	Ortalama Karekök Hatası
RRMSE	Relatif Ortalama Karekök Hatası

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Doğal sulardaki çözünmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal türleri	6
Şekil 2.2. Göllerde zonasyon	18
Şekil 3.1. Uluabat Gölü Örnekleme Noktaları	23
Şekil 3.2. Su, sediment ve plankton örnekleyicilerinin kullanımı sırasında çekilen fotoğrafları	25
Şekil 3.3. Uluabat Gölü 1:25000 ölçekli topoğrafik haritası ve tampon bölge kapsamı	32
Şekil 3.4. Uluabat Gölü tampon bölge uydu görüntüsü	32
Şekil 3.5. Delft-3D yazılımının modülleri	35
Şekil 3.6. Delft-3D Flow modülünün kullanımı	36
Şekil 3.7. Hidrodinamik yazılımın derinlik elemanları	37
Şekil 4.1. Su kalitesi parametrelerinin aylık değişimi	53
Şekil 4.2. Sediment kalitesi parametrelerinin aylık değişimi	54
Şekil 4.3. Su kalitesi parametrelerinin örnekleme noktalarına göre dağılımı...	64
Şekil 4.4. Sediment kalitesi parametrelerinin örnekleme noktalarına göre dağılımı	65
Şekil 4.5. Uluabat Gölü trofik durum indeksi	66
Şekil 4.6. Uluabat Gölü noktasal kaynaklara ait debi değerlerinin değişimi...	68
Şekil 4.7. Uluabat Gölü giriş ve çıkış su kaynaklarına ait debi değişimleri.....	68
Şekil 4.8. Metal fraksiyonları aylık değişimleri	74
Şekil 4.9. Cr ve Ni Konsantrasyonlarının Örnekleme Noktalarına Göre Dağılımı	82
Şekil 4.10. Uluabat Gölü Günlük Su Seviyesi Değişimi	88
Şekil 4.11. Uluabat Gölü Su Sıcaklığı Değişimi	88
Şekil 4.12. DMİ Karacabey İstasyonu Sıcaklık, Yağış, Buharlaşma Değişimi.	90
Şekil 4.13. Uluabat Gölü Sınır Alan 'Land Boundary' Dosyası	91
Şekil 4.14. Uluabat Gölü 'Grid' Dosyası	92
Şekil 4.15. Uluabat Gölü Eş Yükselti Eğrileri	94
Şekil 4.16. Model Araçları ile oluşturulan Uluabat Gölü Batimetri Haritası....	94
Şekil 4.17. QUICKIN modülünde oluşturulan Uluabat Gölü Batimetri Haritası.....	95
Şekil 4.18. Uluabat Gölü Vejetasyon Durumu	96
Şekil 4.19. Derinlik Ortalamalı Simülasyon Akım Hızı Haritaları	100
Şekil 4.20. Örnek Alma Günlerinde Simüle Edilmiş Su Sıcaklığı Haritaları...	103
Şekil 4.21. Uluabat Gölü'nde ölçülen ve tahmin edilen su seviyesi değerlerinin karşılaştırılması (1. İstasyon).....	104
Şekil 4.22. Uluabat Gölü'nde ölçülen ve tahmin edilen su seviyesi değerlerinin karşılaştırılması.....	105

Şekil 4.23. Uluabat Gölü'nde ölçülen ve tahmin edilen göl su sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması	106
Şekil 4.24. Uluabat Gölü'nde ölçülen ve tahmin edilen göl su sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması	107
Şekil 4.25. Su kalite modülü kalibrasyon ve doğrulama prosedürü.....	125
Şekil 4.26. Partikül halindeki Cr ve Ni için kalibrasyon grafiği.....	130
Şekil 4.27. Sedimentteki Cr ve Ni için kalibrasyon grafiği.....	131
Şekil 4.28. Su kalite model kalibrasyonu ve ölçüm sonuçları (Cr-çözünmüş)..	132
Şekil 4.29. Su kalite model kalibrasyonu ve ölçüm sonuçları (Cr-partikül)....	133
Şekil 4.30. Su kalite model kalibrasyonu ve ölçüm sonuçları (Cr-sediment)...	134
Şekil 4.31. Su kalite model kalibrasyonu ve ölçüm sonuçları (Ni-çözünmüş)..	135
Şekil 4.32. Su kalite model kalibrasyonu ve ölçüm sonuçları (Ni-partikül)....	136
Şekil 4.33. Su kalite model kalibrasyonu ve ölçüm sonuçları (Ni-sediment)...	137
Şekil 4.34. Su kalite model doğrulaması ve ölçüm sonuçları (Cr-çözünmüş)..	140
Şekil 4.35. Su kalite model doğrulaması ve ölçüm sonuçları (Cr-partikül).....	141
Şekil 4.36. Su kalite model doğrulaması ve ölçüm sonuçları (Cr-sediment)....	142
Şekil 4.37. Su kalite model doğrulaması ve ölçüm sonuçları (Ni-çözünmüş)..	143
Şekil 4.38. Su kalite model doğrulaması ve ölçüm sonuçları (Ni-partikül).....	144
Şekil 4.39. Su kalite model doğrulaması ve ölçüm sonuçları (Ni-sediment)....	145
Şekil 4.40. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Çözünmüş-Cr model sonuçlarının karşılaştırılması	150
Şekil 4.41. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Partiküler-Cr model sonuçlarının karşılaştırılması.....	151
Şekil 4.42. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Sediment-Cr model sonuçlarının karşılaştırılması.....	152
Şekil 4.43. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Çözünmüş-Ni model sonuçlarının karşılaştırılması.....	153
Şekil 4.44. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Partiküler-Ni model sonuçlarının karşılaştırılması.....	154
Şekil 4.45. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Sediment-Ni model sonuçlarının karşılaştırılması.....	155
Şekil 4.46. Mevcut durum (a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Çözünmüş Cr konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları.....	158
Şekil 4.47. Mevcut durum (a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Partiküler Cr konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları.....	159
Şekil 4.48. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Sediment Cr konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları.....	160
Şekil 4.49. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Çözünmüş Ni konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları.....	161
Şekil 4.50. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Partiküler Ni konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait	

alansal değişim haritaları.....	162
Şekil 4.51. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Sediment Ni konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları.....	163



TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Uluabat Gölü örnekleme noktaları koordinat bilgileri	24
Tablo 3.2. Delft-3D WAQ başlangıç koşulları parametreleri ve birimleri.....	42
Tablo 3.3. Model Performans Sınıfları.....	45
Tablo 4.1. Uluabat Gölü su kalitesi mevsimsel değerleri	46
Tablo 4.2. Uluabat Gölü sediment kalitesi mevsimsel değerleri	47
Tablo 4.3. Uluabat Gölü su kalitesi aylık değişimi	50
Tablo 4.4. Uluabat gölü sediment kalitesi aylık değişimi	51
Tablo 4.5. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği	55
Tablo 4.6. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri	55
Tablo 4.7. Su kalitesi parametreleri anova tablosu	57
Tablo 4.8. Sediment kalitesi parametreleri anova tablosu	59
Tablo 4.9. Sediment kalitesi parametrelerinin birbirleri ile ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri	60
Tablo 4.10. Su kalitesi parametrelerinin birbirleri ile ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri	61
Tablo 4.11. Çalışma dönemine ait aylık ortalama debi değerleri	67
Tablo 4.12. Noktasal kaynaklara ait su kalitesi parametreleri istatistiksel değerleri	70
Tablo 4.13. Kirletici kaynaklara ait yıllık toplam kirletici yükleri	71
Tablo 4.14. Uluabat Gölü metal konsantrasyonlar göl ortalamaları ve değişimleri	72
Tablo 4.15. Metallerin çözünmüş formdaki konsantrasyonları ile suyun fizikokimyasal özellikleri arasındaki r korelasyon katsayıları	76
Tablo 4.16. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller ile diğer parametrelerin ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayıları	76
Tablo 4.17. Su ve sediment kalitesi parametreleri ile sedimentteki toplam metaller arasındaki r korelasyon katsayıları	77
Tablo 4.18. Sudaki metal konsantrasyonları ile sedimentte bulunan metallerin farklı kimyasal fraksiyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları	78
Tablo 4.19. Uluabat Gölü çözünmüş metal konsantrasyonları ortalamaları ve uluslararası standart değerler	79
Tablo 4.20. Uluabat Gölü çözünmüş metal konsantrasyonları ortalamaları ve ulusal standart değerler	80
Tablo 4.21. Uluslararası sediment kalite değerleri ve Uluabat Gölü sediment konsantrasyonları	81
Tablo 4.22. Çalışma Döneminde Uluabat Gölü'nden Çıkan Aylık Su Miktarı.	85
Tablo 4.23. Çalışma Döneminde Uluabat Gölü'ne Gelen Aylık Su Miktarı	86
Tablo 4.24. Çalışma Döneminde Uluabat Gölü Genel Su Bütçesi	87
Tablo 4.25. Hidrodinamik Modelde Kullanılan Kalibrasyon Parametreleri	98
Tablo 4.26. Dispersiyon aralıkları.....	109

Tablo 4.27. Başlangıç koşulları ve birimleri.....	109
Tablo 4.28. PARTWK_(i) eşitliklerinde kullanılan parametrelerin tanımları.	122
Tablo 4.29. PARTS1/2_(i) eşitliklerinde kullanılan parametrelerin tanımları.	123
Tablo 4.30. Çökelme ile ilgili olarak PARTWK_(i) and PARTS1/2_(i) eşitliklerinin parametrelerinin tanımları.....	124
Tablo 4.31. PARTWK_(i) denklemlerinin çıktı parametreleri tanımları.....	124
Tablo 4.32. PARTS1/2_(i) denklemlerinin çıktı parametreleri tanımları.....	125
Tablo 4.33. Model kalibrasyonunda kullanılan parametre ve değişkenlerin değerleri.....	129
Tablo 4.34. Su Kalite Modeli Kalibrasyon Dönemi İstatistiksel Değerlendirmesi.....	138
Tablo 4.35. Su Kalite Modeli DoğrulamaDönemi İstatistiksel Değerlendirmesi.....	147



1. GİRİŞ

Su, bütün canlıların yaşayıp gelişmesi için vazgeçilmez, doğal ve sınırlı bir kaynaktır. Türkiye'nin de taraf olduğu Ramsar Sözleşmesinde sulak alanlar "*Doğal ya da yapay, sürekli ya da mevsimsel, tatlı, acı ya da tuzlu, durgun ya da akan su kütleleri, bataklıklar, turbalıklar ve gelgitin çekilmiş anında derinliği altı metreyi aşmayan deniz suları*" olarak tanımlanmıştır (Sarmaşık 2012). Ramsar Sözleşmesi kapsamına alınan ve Türkiye'nin önemli bir sulak alanı olan Uluabat Gölü, nüfusun, ekonominin ve endüstrinin hızlı geliştiği bir havza içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle de Uluabat Gölü uzun yıllardan beri evsel ve endüstriyel sularla ve yağmur sularının neden olduğu yüzeysel akışlar ile kirletilmektedir.

İnsanlara birçok faydalar sağlayan sulak alanlar, tropikal ormanlardan sonra birim alanda en yüksek organik madde üreten ekosistemlerdir. Suları tatlı, tuzlu ve acı olabilen sulak alanları, haliçler, açık kıyılar, taşkın ovaları, tatlı su bataklıkları, göller, turba alanları ve bataklık ormanları vb. gibi ekosistemler teşkil etmektedir. Sulak alanlar ekonomik öneme sahip olma, su kuşlarına yaşama ortamı olma, nadir görülen veya endemik olan çok sayıda bitki ve hayvan türlerinin barınmasına imkan sağlama, su taşkınlarını önleme, kıyı şeridi stabilizasyonu, tarım için gerekli su seviyesini koruma, suyun depolanmasını sağlama, suyu temizleme ve rekreasyon imkanları sağlama vb. gibi birçok işlevi de yerine getiren doğal bir zenginliktir (Dugan 1990).

Ancak hızlı nüfus artışı, yanlış alan kullanımları, sanayileşme, kentsel büyümeler gibi daha birçok unsurun sonucu olarak pek çok sulak alan doğal olarak yok olma ya da doğal özelliğini ve işlevini kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Sulak alanların korunması ve geliştirilmesi ile ilgili gerekli önlemler ve tedbirler alınmadığı sürece, telafisi mümkün olmayan bozulmalara ve dolayısıyla yok olmaya doğru gidecektir (Demir ve ark. 2011). Çalışma alanımız Uluabat Gölü, Bursa kent merkezinin 34 km batısında yer almaktadır ve bölgenin en önemli sulak alanlarından birisidir. Nisan 1998 tarihinde Ramsar sözleşmesi kapsamına alınmıştır. Ancak son yıllarda bölgemiz için çok değerli olan Uluabat Gölü birçok önemli değerini kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya bulunmaktadır. Uluslar arası platformlarda ekolojik önemi vurgulanan Uluabat Gölü, konumu nedeniyle doğal ve antropojenik baskı unsurları ile tehdit altındadır. Göl havzasında çok sayıda yerleşim yeri, iş yeri, sanayi bölgeleri, tarım arazileri ve maden

ocakları bulunmaktadır. Bu durum, gölün su kalitesinin azalmasına, trofik seviyesinin ve doğal yapısının gün geçtikçe bozulmasına, gölde ağır metal kirliliğinin artışına neden olmaktadır (Karaer ve ark. 2009, Katip ve ark. 2011). Son yıllarda büyük bir ilgi alan ağır metal kirliliği, önemli bir çevre sorunudur. Özellikle havzada endüstriyel faaliyetler, zirai faaliyetler, madencilik ve cevher işleme proseslerinin gerçekleştiriliyor olması durumun ciddiyetini ve çalışmanın önemini daha da arttırmaktadır.

Çalışmamız kapsamında, gölden bir yıl boyunca (Ağustos 2013- Temmuz 2014) her ay su ve sediment numuneleri alınarak çeşitli analizler yapılmış, gölün hangi mevsimlerde, hangi bölgelerde ve ne ölçüde kirlendiği tespit edilmiştir. Bu duruma sebep olan kirlilik kaynakları ortaya konulmuştur. Bunun yanında çalışmamız kapsamında değerlendirilen parametrelerin mevsimsel değişimleri ve birbirleri arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Ayrıca su ve sediment kalitesinin gölde nasıl bir dağılım gösterdikleri Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımı ile tespit edilmiştir. Krom ve nikel metallerinin konsantrasyon seviyeleri suda (çözünmüş ve partiküler formda), sedimentte toplam miktar ve beş farklı fraksiyon) ve plankton numunelerinde ölçülmüştür.

Çalışmanın amacı, Uluabat Gölü'nün mevcut hidrodinamik ve su kalite durumunun belirlenerek, dinamik su kalite model aracı yardımı ile model kalibrasyonları ve doğrulamaları gerçekleştirmek ve bu sayede havzadaki mevcut noktasal ve yayılı kirlilik yüklerinin su kalitesi üzerindeki etki sırasını belirlemektir. Bu amaçla model aracı olarak "WL/Delft Hydraulics" bağımsız araştırma enstitüsü tarafından geliştirilen Delft3D modüler modelleme sistemi kullanılmıştır. Modelin çalıştırılabilmesi için, öncelikle hidrodinamik modelleme yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda göldeki akım koşulları, meteorolojik bilgiler, göl batimetrisi ve su bütçesi tespit edilip hidrodinamik modelleme yapılmıştır. Tamamlanan hidrodinamik model çalışmaları akabinde su kalitesi modellemesinde, sudaki ve sedimentteki krom ve nikel konsantrasyonları arasındaki ilişki kurularak, bu kirleticilerin davranışları ve antropojenik etkilerin su kalitesinde meydana getirdiği değişimler çeşitli senaryolar ile tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Uluabat Gölü Genel Özellikleri

Uluabat Gölü, Marmara denizinin 15 km güneyinde ve Bursa ilinin 30 km batısında, Mustafa Kemalpaşa ilçesinin doğusu ve Bursa Karacabey karayolunun güneyinde, 622000 – 648000 m doğu boylamları ile 445400 – 4440000 m kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (UTM – ED50, Zone 35). Doğu-batı yönündeki uzunluğu yaklaşık olarak 22 km, kuzey-güney yönündeki genişliği ise 10,5 km kadardır. Alanları 0,25 ha (Heybeli Adası) ile 190 ha (Halilbey Adası) arasında değişen büyüklüklerde sekiz adayı içeren, büyük ve sığ bir tatlı su gölüdür. Gölün denizden yüksekliği yaklaşık olarak 9 m'dir (Çelik 2000, Karacaoğlu 2000).

Göl ortalama 2,5 m derinliğe sahiptir. Ancak bu derinlik yıldan yıla ve yaz ile kış mevsimleri arasında önemli miktarlarda değişmektedir. Öyle ki, yaz aylarında bu derinlik 0,5-1 m kadar gerilerken, kış aylarında maksimum 4,5 m derinlik ölçülmüştür. İleri (2010) çalışmasında ortalama derinliğin kurak ve yağışlı aylarda 1,5 ile 3,47 m arasında değiştiğini tespit etmiştir. Su seviyesi genellikle kış mevsiminde yüksek ve yazları (su girdisinin az oluşu, buharlaşma ve gölden yapılan tarım amaçlı su çekimlerinin etkisiyle) düşüktür. Daha önce göl ile ilgili olarak hazırlanan raporlarda ve gölü tanıtan verilerde normal su seviyesinde göl yüzey alanı 160 km² olarak belirlenmiştir. Ancak 1998 yılında yapılan son çalışmada ise Uluabat Gölü alanının 116 km²'ye gerilediği belirlenmiştir (Karacaoğlu 2000, Aksoy ve Özsoy 2002).

Mustafakemalpaşa Çayı, gölü besleyen en önemli akarsudur. Çayın debisi ve su kalitesi iklimsel koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. 1939 ile 1969 yılları arasında 30 yıllık ortalamaya göre taşıdığı su miktarı 500 x 106 m³ ile 4000 x 106 m³ arasında değişim göstermiştir (Sarmaşık 2012).

Gölün drenajı batıda, Uluabat Köyü yöresindeki, nihayetinde Marmara Denizi'ne dökülen Kocasu Çayı vasıtasıyladır. Uluabat Gölü tipik bir sığ göldür. Sığ göllerin tipik özelliği olarak rüzgarın etkisiyle tam karışıma uğrar, ışık erişilebilirliğinin belirlendiği littoral bölgesi geniştir (Sarmaşık 2012).

Uluabat Gölü sucul bitkiler yönünden de ülkemizin en zengin sulak alanlarından biridir. Gölün hemen bütün kıyıları geniş sazlıklarla, sığ kesimleri ise su içi bitkileri ile kaplıdır. Gölde görülen en yaygın bitki grubu kamyş ve sazdır. Uluabat Gölü, Türkiye'nin en geniş nilüfer yataklarına sahiptir. Beyaz nilüfer, gölün kuzeydoğu kıyılarında ve Mustafakemalpaşa Çayı'nın göle giriş ağzında çok geniş alanları kaplamaktadır (Kurtoğlu 2006). Uluabat Gölü gerek plankton ve dip canlıları, gerek sucul bitkileri ve gerekse balık ve kuş popülasyonları açısından ülkemizin en zengin göllerinden biridir. Göl, kuşların göç yolu üzerinde yer alması, önemli kuş alanlarından Manyas Kuş Gölü'ne çok yakın mesafede (35 km) bulunması, besin maddelerince oldukça zengin oluşu ve uygun iklim koşullarının varlığı nedeniyle değişik türden kuşlara da beslenme, kışlama ve üreme olanağı sağlamaktadır (İleri 2010). Ancak, Uluabat Gölü'ndeki ekolojik ilişkiler son birkaç yıl içerisinde değişmiş, su altı bitkileri gölde hızla yok denecek kadar azalmış, bulanıklık tekrar artmış, gölün yeşile çalan rengi oluşmuş, durgun noktalarında yeşil alg tabakaları oluşmaya başlamıştır. Akdeniz (2005), uzmanlarca göle verilen atık su deşarjları ve yoğun gübre kullanımına bağlı olarak artan besin yükü (azot ve fosfor) ve etçil (turna, alabalık v.b.) balıkların aşırı avlanmasına bağlanan değişimlerin bir diğer nedeninin de gölün hidrolojisindeki değişimler olduğunu belirtmiştir.

2.2. Metaller ve Özellikleri

İnsanlara birçok faydalar sağlayan sulak alanlar, tropikal ormanlardan sonra birim alanda en yüksek organik madde üreten ekosistemlerdir. Ancak hızlı nüfus artışı, yanlış alan kullanımları, sanayileşme, kentsel büyümeler gibi daha birçok unsurun sonucu olarak pek çok sulak alan doğal olarak yok olma ya da doğal özelliğini ve işlevini kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Sulak alan ekosistemlerinin ekolojik dengenin sağlanmasında, barındırdığı biyolojik çeşitliliğin korunmasında ve ekonomik gelir kapısı olmaları bakımından büyük önem taşıdıkları ancak çoğu ülkelerde olduğu gibi yurdumuzda da birçok tehlikelerle karşı karşıya buldukları bilinmektedir. Sulak alanların korunması ve geliştirilmesi ile ilgili gerekli önlemler ve tedbirler alınmadığı sürece telafisi mümkün olmayan bozulmalara ve dolayısıyla yok olmaya doğru gidecektir (Demir ve ark. 2011). Ağır metaller çeşitli kaynaklar yoluyla göllere girdiğinde, suda çözülmüş formda bulunabilir, çözülmüş diğer maddeler ile reaksiyona

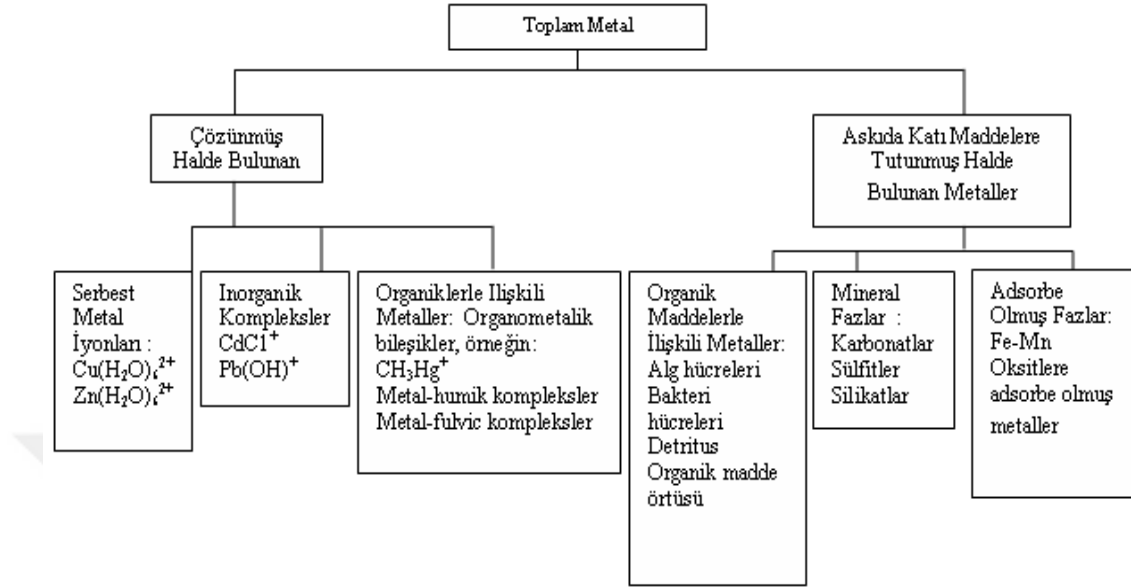
girerek kompleks oluşturabilir, organik ve inorganik partiküllerle adsorbsiyona ve asimilasyona uğrayabilirler. Ayrıca göllerde çökelme oldukça önemli bir prosestir, bu metaller çökelme ile sediment tabakasında birikim meydana getirebilmekte ve uygun şartlarda tekrar suya geçebilmektedirler. (Varol ve Şen 2012, Gao ve Li 2012).

Evsel ve endüstriyel atık sular, yağmur suları, deponi sızıntı suları, atmosferik çökelmeler, jeokimyasal yapı, erozyon ve metal madenciliği, tarımsal faaliyetler sucul çevredeki ağır metal kirliliğinin potansiyel kaynaklarını oluşturmaktadır. Bazı çevresel şartlarda ağır metaller toksik konsantrasyonlara kadar birikim gösterebilmekte sucul ekosistemdeki canlıları etkileyerek ekolojik hasara neden olabilmektedir. Ağır metal kirliliğinin sucul organizmalar üzerinde gösterdiği direkt etki, besin zinciri yoluyla dolaylı olarak insanlara kadar ulaşmaktadır. Bu nedenle Uluabat Gölü çevresindeki tarımsal ve endüstriyel gelişmeye bağlı olarak meydana gelebilecek potansiyel ağır metal kirliliğinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır (İleri 2010). Ağır metallerin farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak sucul ortamdaki konsantrasyonları ile sucul canlılardaki biyolojik birikim ve artışları değişiklik gösterebilir. Bu yüzden, söz konusu metallerin çevredeki genel özellikleri, kaynakları, toksisiteleri, ortamdaki değişimleri ve biyolojik birikim/artış mekanizmalarının iyi bilinmesi gerekir (Ikem 2005, Türkmen 2003).

Yüzeysel sularda bulunan ağır metal türleri, suda çözünebilir, askıda, kolloid halinde ve sedimente bağlı fazlarda bulunmaktadır. Sudaki ve sedimentteki metal konsantrasyonları çökelme ve tekrar mobil hale geçme prosesleri nedeniyle değişmektedir. Şekil 2.1.'de Doğal sulardaki çözülmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal türleri gösterilmiştir (Burden ve ark. 2002). Yüzeysel suların kimyası, buldukları havzanın toprak ve kayaç yapısından etkilenmektedir. Örneğin, kalkerli (CaCO_3) topraklarda bulunan yüzeysel sularda pH 8 civarında, quartz (SiO_2) ve feldspattan oluşan granitli topraklarda bulunan sularda daha asidik olup pH 6 civarındadır. Eğer pirit (FeS_2) bulunuyorsa, mineralin oksidasyonu sonucunda metallerin çözünürlüğünü ve mobil hale geçmelerine neden olacak asidik sular meydana gelmektedir (Katip 2010).

pH 5'in altına düştüğünde, sucul ekosistemde ciddi problemler meydana gelmektedir. Mobil hale geçen ağır metaller suda dağılmakta, kil minerallerine, Fe-Mn oksitlere,

trofik seviyesi düşük göllerde alglere absorbe olmuş olan ağır metaller de serbest kalıp besin zincirine geçebilmektedir (Bradl 2005).



Şekil 2.1. Doğal sulardaki çözülmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metal türleri (Burden ve ark. 2002)

Tez çalışması kapsamında krom ve nikel metallerin seçilmesinin başlıca nedenleri şöyledir:

- Toksik ve kanserojen olmaları,
- Suda ve sedimentte farklı formlarda bulunabilmeleri,
- Çevresel şartlardan (sıcaklık, pH, alkalinite, redoks potansiyeli gibi) etkilenmeleri,
- Akuatik canlılarda yüksek oranda birikimleri,
- Bu metallerin su ile sediment arasındaki geçişlerinin incelenmesi gerekliliği,
- Metallerin bozunmamaları sebebiyle farklı mesafelere taşınabilmeleri ve bu sebeple hareketlerini tahmin edebilmek amacıyla yapılması gereken coğrafi bilgi sistemi analizi ve su kalitesi modelleme çalışmasına duyulan ihtiyaç,
- Daha önce gölde yapılmış olan metal ölçümlerinin incelenerek krom ve nikelin bu ekosistem için önemli olduğu ve irdelenmesi gerekliliği.

Dünyada ve ülkemizde krom (Cr) ve nikel (Ni) in yüzeysel sularda konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda bu metallerin suda ve

sedimentte çeşitli fraksiyonları belirlenmiştir (Ikem ve ark. 2003, Singh ve ark. 2005, Farkas ve ark. 2007, Hong-Bin ve ark. 2008, Vicente-Martorell ve ark. 2009, Yang ve ark. 2009, Varol ve Şen 2012, Gao ve Li 2012).

Su ve sedimentteki bu metallerin konsantrasyonları, bu metallerin kirliliği hakkında genel bir bilgi vermektedir. Ancak, sedimentte bulunan farklı metal fraksiyonları çevresel faktörlerin de etkisiyle zamanla suya geçebilmekte ve bu fraksiyonlar canlılarda biyolojik birikim yapabilecek olan miktar hakkında daha kesin bilgiler vermektedir. Bu fraksiyonlar, mobil, kolay serbest hale geçebilen, Mn oksitlere bağlı, organik maddeye bağlı, residual (kalıntı) ağır metal fraksiyonlarıdır. Özellikle, mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonlarının biyolojik birikim yapabilme özellikleri daha fazladır (Ikem ve ark. 2003, Vicente-Martorell ve ark. 2009, Varol ve Şen 2012). Ayrıca, metallerin organiklerle oluşturdukları bileşiklerin de mobil hale geçmelerinde etkili oldukları belirlenmiştir (Hong-Bin ve ark. 2008).

Sedimentte bulunan ağır metallerin suya geçişini, pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen konsantrasyonu, elektriksel iletkenlik, askıda katı madde dolayısıyla seki diski, alkalinite, sedimentte organik madde içeriği gibi parametreler etkilemektedir (Katip 2010, Stojanovica ve ark. 2009). Bu sebeple sudaki ve sedimentteki ağır metaller bu parametrelerle birlikte değerlendirilmelidir.

2.2.1. Krom (Cr)

Krom, kayalar, hayvan, bitki, toprak, volkanik toz ve gazlarda doğal olarak bulunan bir element olup, çevrede birkaç formu olabilir. Bunlardan en yaygını; Cr^0 , Cr^{+3} , Cr^{+6} 'dır. Çelik üretiminde, alaşım yapımında, metal endüstrisinde, krom kaplamada ve paslanmayı kontrol edici madde olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda boya, tuğla ve deri endüstrisi ile gıda koruyucu madde olarak kullanılmaktadır. Kromun farklı tipleri organizmalarda farklı toksik etkilere sahiptir (Anonim 2003). 3 Ana şekilde (Cr^0 , Cr^{+3} , Cr^{+6}) bulunabilen krom bileşikleri tatsız ve kokusuzdur. Sadece Cr^{+3} bileşikleri vücut için diyetle eser miktarlarda alınması gerekli elementlerdir. Diğer formlardaki kroma vücudun ihtiyacı yoktur. Krom partikülleri havaya karıştığında 10 gün kadar kalabilir. Toprak partiküllerine sıkıca yapışır. Suda dibe çöker, topraktan küçük miktarlarda sulara karışabilir. Havadan solunarak, suyla ve besinlerle vücuda alınabilir (İleri 2010).

Dünya sağlık örgütü, nefes yoluyla alınan yüksek dozlarda kromun akciğer kanseri riskini arttırdığını, su ve gıdayla alımların ise mide ülserine, böbrek ve karaciğer hastalıklarına ve hatta ölümlere sebep olduğunu bildirmektedir. Ayrıca bazı insanlarda şiddetli alerjik reaksiyonlar da belirlenmiştir. Balıklar sulardan bünyelerine çok miktarda Cr birikimi yapmazlar (Katip 2010). Krom bileşiklerinin tümü yüksek miktarlarda alındığında toksik olabilir, ancak Cr^{+6} , Cr^{+3} 'e göre daha toksiktir. Bazı Cr^{+6} bileşikleri kanserojendir. Akciğer kanserine neden olduğu bilinmemektedir. Krom saç, idrar, serum, kırmızı kan hücreleri ve kanda tespit edilebilir EPA' ya göre içme sularında 100 mg/l'den fazla olmaması önerilir (Nguyen ve ark. 2005).

2.2.2. Nikel (Ni)

Esas olarak çevrede oksijen ve sülfürle bileşik oluşturan bir element olup, volkanlardan kaynaklanır ve bütün topraklarda bolca bulunur. Saf nikel, sert, gümüş renkli bir metal olup alaşımları oluşturmak üzere diğer metallerle birleşir. Genellikle toprak ve sedimentteki demir ve mangan içeren parçacıklara bağlı olarak bulunur (İleri 2010).

Havada çok düşük miktarda bulunabilir, balık, bitki ve hayvanlarda pek bulunmaz. İnsan ve hayvanlar için esansiyel olan ve çok düşük miktarlarda olan nikelin yokluğunda, insanlarda kronik bronşit ve nefes darlığı problemleri bildirilmektedir. Bazı nikel bileşikleri kanserojen olarak kabul edilebilir. İnsanlara en fazla nikel hava, gıda ve sigara yoluyla bulaşır. EPA' ya göre içme sularında 0,04 ppm'den az olmalıdır (Özdilek 2002, Türkmen 2003).

2.3. Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları

Günümüzde çevre analizleri için artık geniş kapsamlı alan bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çevre hakkında daha sağlıklı bilgi sahibi olmak ve çevre kirliliğinin önlenmesine ilişkin daha doğru kararlar verebilmek ancak söz konusu çevrenin tüm özellikleriyle bilinmesine bağlıdır. Bu anlamda, çevreye ait verilerin öncelikle toplanması, sayısal ortamda depolanması ve konumsal analizlere olanak sağlayacak şekilde sorgulanması için gerekli ortamların hazırlanması zorunludur. Coğrafi bilgi sistemleri, bu anlamda kullanılan en etkili teknolojik araç olarak görülmektedir. Bilgisayar ortamında oluşturulan arazi modelleri, bilhassa uydu görüntüleri ile

desteklenen mevcut konum bilgileriyle, çevre hakkında kullanıcılara çok yönlü dinamik bir sorgulama ortamı sunmaktadır (Richards 2003). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), son yıllarda, klasik arşivleme yöntemlerinin yetişemeyeceği kadar çok ve değişik türdeki verilerin yönetilmesinde kullanılan önemli bir araçtır. Bunun yanında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin en önemli yararlarından birisi de coğrafi varlıklara ilişkin olaylar üzerine “doğru kararların” verilebilmesine yardımcı olmasıdır. Çok değişik uygulama alanları bulunan Coğrafi Bilgi Sistemleri, doğal çevre ile ilgili verilerin toplanmasında, yönetilmesinde, sorgulanmasında ve analizinde ayrıca çevreyle ilişkili olaylar üzerine doğru karar vermede kullanılan etkili teknolojik bir araçtır (Yomralıoğlu ve Akça 2002).

CBS uygulamaları 6 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Temel kartografik materyalin hazırlanması,
2. Örnekleme noktalarının CBS ortamına aktarılması,
3. Veri tabanlarının hazırlanması,
4. Konumsal analizler,
5. Sonuç haritalarının üretimi,
6. Sonuç haritalarının kontrolü.

Elde edilen haritalar çeşitli standartlar ile kıyaslanarak mevcut durum tespiti yapılabilir (İleri 2010).

2.4. Yüzeysel Sular İçin Matematiksel Modelleme Yaklaşımı

Matematiksel modeller, su akışını ve diğer prosesleri, genellikle bilgisayar tarafından nümerik olarak çözülmesi gereken, matematiksel eşitlikleri kullanarak simüle eder. Hidrodinamik ve su kalite modellemesinde, matematiksel model, genellikle doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklem kümeleridir. Matematiksel modeller üç temel kategoriye göre sınıflandırılabilir: (1) ampirik (istatistiksel) veya mekanistik, (2) deterministik veya stokastik ve (3) analitik veya nümerik. Örneğin, üç boyutlu (3D) hidrodinamik modellerin büyük çoğunluğu, mekanistik, deterministik ve nümerik modellerdir (Ji 2008).

Ampirik (istatistiksel) modeller, genellikle gözlenen verilerin istatistiksel uydurma denklemlerinden türetilmiş, basit matematiksel ilişkiler olarak ifade edilirler. Genellikle

basit matematiksel ilişkileri kullanırlar (Ji 2008). Ampirik modeller grafiksel yaklaşımlardır. Bu modeller, su kütlesinin fiziksel dinamiklerini açıklamayamazlar (USEPA 1999).

Mekanistik modeller ise su sistemini yöneten fiziksel, kimyasal ve biyolojik mekanizmalara dayanır. Su kalite ve hidrodinamik modellemede, prosesleri simüle etmek için, ampirik formülasyonlara ihtiyaç duyulur. Yüzeysel su sistemi modellemesinde, ampirik ve mekanistik modeller genellikle birlikte çalışırlar (Ji 2008).

Deterministik modellerde, aynı girdiler daima aynı çıktıları verir (USEPA 1999). Her bir model bileşeni ve girdi tam olarak, matematiksel eşitlikler ile hesaplanır, rastgele bileşenler içermez. Buna karşılık, stokastik modeller rastgele bileşenleri ve girdileri içerir. Stokastik modeller, su kütlesinin belirli istatistiksel özelliklerine odaklanır. Örneğin, bir nehirin stokastik modeli, akış hızını olasılık dağılımı, ortalama ve varyans açısından simüle eder, belirli bir zaman için belirli akış hızları vermez. Diğer taraftan deterministik modeller, su kütlesinin belirli fiziksel proseslerini türetir. Yukarıda verilen örnekteki akış hızlarının belirli bir zaman için hesaplanması deterministik model ile yapılabilir. Genellikle, deterministik modeller, sistem içi fiziksel prosesleri simüle etmek için kullanılır (Ji 2008).

Analitik model, su kütlesindeki prosesleri tanımlayan diferansiyel denklemlere matematiksel çözümler getirir. Genellikle, tek boyutlu (1D) kararlı hal koşulları için uygundur (Ji 2008). Analitik modeller genellikle; karmaşık nümerik modellerin doğruluğunun kontrolünde nispeten basit sistemlerin birinci derece tahminlerini sağlamada ve su kütlesinde hidrodinamik ve su kalite proseslerine ilişkin bilgi sağlamada kullanılır. Örneğin, Streeter-Phelps denklemi, nehir boyunca ÇO konsantrasyonlarının tahmininde analitik çözümleri kullanır (Ji 2008).

Yüzeysel sulara kullanılan pek çok model genellikle analitik yöntemler ile çözümlenemeyecek kadar karmaşıktır ve bu modellerin çözümlenebilmesi için nümerik tekniklerin kullanılması zorunludur (Ji 2008). Nümerik model, doğal prosesleri kısmi diferansiyel denklemleri kullanarak çözümlenme yaklaşımıdır. Yaklaşım, sistemin veya proseslerin alansal ve zamansal bileşenlerinin, nümerik ayrıklaştırmasını kullanır (USEPA 1999). Ayrıklaştırılmış denklemler kümesi, bilgisayar koduna (bilgisayar

modeli) dönüştürülür. Giriş veriler ve model parametreleri bilgisayara girilerek model nümerik olarak çözümlenir (Ji 2008).

Nümerik modeller, zamanla değişiminin tanımlanıp tanımlanmamasına göre (1) kararlı hal modelleri ve (2) dinamik modeller olarak iki gruba ayrılır (McCutcheon 1989). Kararlı hal modelleri, model değişkenlerinin zamana bağlı olarak değişiklik göstermediği modellerdir. Model, zamandan bağımsız sonuçların elde edilmesinde, girdi değişkenlerinin sabit değerlerini kullanır (USEPA 1999, Ji 2008). Dinamik modeller, sistemin fiziksel davranışını veya prosesleri ve bunların zamansal değişikliklerini tanımlayan ve simüle eden modellerdir (USEPA 1999). Kararlı hal modeli, akış, sediment ve kirletici yüklerinin, yıllık ölçekte oldukça az değişkenlik gösterdiği bazı nehirler gibi, sınırlı su kütleleri için kullanıma uygun olabilir (Ji 2008).

Mercan (2006), çalışmasında değişik uzunluktaki süreler için nümerik modelleme yaparak göl yönetimine yeni bir bakış açısı getirmeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda, Beyşehir Gölü'nün hidrodinamik modeli, ısı ve su dengesini kurmuştur. Kurulan üç boyutlu hidrodinamik model; i) on yıllık kesintisiz bir dönem (1992-2001 su yılı), ii) en kurak bir yıllık dönem (2001 su yılı), iii) en çok yağış alan bir yıllık dönem (1996 su yılı), iv) ortalama bir yıllık dönem (1998 su yılı) olmak üzere dört ayrı durum için Elcom 3D programını kullanarak çalıştırmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, uzun dönem modelleme yardımı ile kısa dönem modellemeden elde edilen bilgiden daha fazla bilgi elde edildiğini ve bu bilgilerin gölün yönetimi için hayati öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Winnipeg Gölü ve Hecla Adası geçitinde yapılan bir çalışmada, bölgedeki değişen akım koşullarının temel nedenlerini araştırmak amacıyla MIKE21 modeli uygulanmıştır. Çalışma sonucunda gölde birincil olarak rüzgar kaynaklı akım ve dalgalanmalar meydana geldiği tespit edilmiş, ancak geçitin hidrodinamik koşullar üzerine etkisinin düşük miktarda olduğu vurgulanmıştır (Dupont 2010).

Makrofitler özellikle haliç ve nehirlerde, yatak sabitleyici, filtre, besin kaynağı ve bakım alanı olarak önemli rol oynamaktadır. Ancak dünya çapında, makrofit popülasyonları giderek artan antropojenik baskı altında kalmaktadır. Bu nedenle Dijkstra ve Uittenbogaard (2010) sucul bitki örtüsü ile akım arasındaki dinamik etkileşimi

açıklayacak sayısal bir simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu tarz modelleme çalışmaları, koruma ve restorasyon çalışmaları, bitki örtüsü, dalgalar, akıntılar ve sediment taşınımı arasındaki etkileşim hakkında daha fazla bilgi elde etmemize yarar sağlayacaktır. Makrofitlerin şekillenmesi, belirli bir bölgede yer alması türbülans ve akış koşullarına bağlıdır. Modellemede Zostera Marina'daki deniz otları kullanılmıştır. Model iki kısımdan oluşur, türbülans modeli ve akım ile birleştirilmiş, güç dengesine dayalı, bitki konumu ve kaldırma kuvvetini dikkate alan, bitki büküm simülasyonudur. Model, bitkiler üzerinde önemli etkileri olan akım hızı profilleri ve türbülans karakterlerini tahmin eder. Çeşitli kütle dengesi, hız profilleri ve akış denklemleri yardımı ile model çalıştırılmıştır. Beş farklı senaryo farklı Chezy ve Reynolds sayıları ile derinlik ve akış hızına bağlı olarak modellenmiştir. Sonuçta, doğrulama verilerinin sınırlı olmasına rağmen, bölgede giderek artan akım hızının, yatak kayma gerilmesinin artmasına ve makrofitlerin giderek artacağına dikkat çekmişlerdir.

Lindim ve ark. (2011), Portekiz'de bulunan Alqueva adlı büyük su rezervinde su kalitesi ve hidrodinamik modelleme çalışması yürütmüşlerdir. Bölge özellikle antropojenik etkiler ile yüksek nutrient yüküne maruz kalmaktadır. Bu nedenle üç boyutlu sonlu elemanlar hidrodinamik modeli RM10 ile ötrofikasyon modülü birlikte çalıştırılmıştır. Nutrient zenginliği ve ötrofikasyon parametreleri su kalitesinde özellikle insan kaynaklı, dikkate değer parametrelerdir. Çalışmada, toplam fosfor ve azot yüklerinin hesaplanması, rezervuara noktasal ve yaygın kaynaklardan gelen girdiler ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Su sıcaklığı, rüzgar, su kotu, klorofil a, besin maddeleri, çözülmüş oksijene ait yükler ile de simülasyon gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışması sonucunda, su sıcaklığı, klorofil a, çözülmüş oksijen ve nutrientlerin zamana ve mekana bağlı gerçek (sahada ölçülen) sonuçları ile model sonuçlarının birbirleri ile tutarlılığı ispatlanmıştır, ilgili parametrelerin su kalitesi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Ayrıca, yerel iklim özellikleri ile birlikte, özellikle rezervuarın jeomorfolojik ve hidrolojik özelliklerinin rezervuarda farklı ekolojik bölgelerin oluşmasına sebep oldukları tespit edilmiştir.

Dargahi ve Setegn (2011), Etiyopya'da Tana Gölü'nde üç boyutlu hidrodinamik model ile havza modellenmiş kombinasyonunu uygulamışlardır. Bölgede giderek artan su ihtiyacının zamanla ihtiyacı karşılayamayacağı endişeleri, su seviyesinde yaşanan

düşüşler, gölde bu çalışmanın uygulanmasına ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönlendirmiştir. GEMSS (Yüzey suları için geliştirilmiş çevre modelleme sistemi) adlı üç boyutlu hidrodinamik model ile fiziksel tabanlı hidrolojik havza modeli olan SWAT modellerini kullanmışlardır. Göle ait batimetri çıkarılmıştır. Üç boyutlu hidrodinamik model, havza modeli ile kombinlenerek, çalışma başarı ile sonuçlandırılmıştır. Gölde akış yapısı, büyük bir sirkülasyon ve ikincil akış bölgeleri ile karakterize edilmiştir. Çalışmada, su yüzeyindeki geniş akım sirkülasyonunun, hakim rüzgar ve kıyı etkileşiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir. İkincil akışların hız farklılıkları ve katmanlaşma etkisi ile gölde hidrodinamik kararsızlıklara sebep oldukları görülmüştür. Bu yüzden planlanmış süreçteki su çekiminin akış rejimi üzerinde önemli değişikliklere sebep olmayacağı vurgulanmıştır.

Borgne Gölü ve Biloxi Sazlığı'nın hidrodinamik ve tuzluluk modellenmesi çalışmalarına bir başlangıç yapılması amacıyla yaptığı çalışmada Heuvel (2010), hidrodinamik bir model (Delft3D- FLOW) kullanarak dinamik dengeyi simüle etmiştir. Modeli gel-git yayılımına göre kalibre eden Heuvel, çalışma sonucunda ileri modelleme çalışmalarına öneri olarak gel-git yayılımından olmayan su seviyeleri ve akımlarının mevcut alanın sınır koşullarına eklenmesini ve bu nedenle çalışma alanının tüm Misisippi Nehri'ni kapsayacak şekilde genişletilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Mengoni ve Mosselman (2006) yaptıkları çalışmada, akarsu erozyonunun, akarsularda kıyı kenar çizgisinin geri çekilmesindeki rolünü araştırmışlar ve bu amaçla Cecina Nehri'ndeki (Central Italy) aktif çekilmeyi analiz etmişlerdir. Nehir yatağındaki morfodinamik süreçleri modellemek amacıyla Delft3D-FLOW modülü kullanılmış, sayısal simülasyonlardan elde edilen bilgilerin değerlendirilmesi sonucunda, az akışın en yüksek taban kayma gerilimini oluşturduğu, fazla akışın ise daha az taban kayma gerilimi oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Bielecka ve Kazmierski (2003), Vistula Gölü'nde tuzluluk ve akım alanını belirlemek amacıyla, Delft3D-FLOW hidrodinamik modelini kullanarak, genel varsayımlar ve ön sonuçlar elde etmişlerdir. Model, eğrisel ortogonal gridler kullanmaktadır ve grid hücrelerinin boyutları değişkendir (200 m'den 1300 m'ye kadar). Dikey doğrultuda 11 katman mevcuttur. Baltık Boğazı'ndan su geçişi, açık sınır şartları olarak tanımlanmıştır. Ayrıca farklı iki durum için, 10 adet açık sınır şartı tanımlanmıştır:

Baltık Boğazı'nda su seviyesi değişimleri ve Vistula Gölü'ne akışlar. Rüzgar etkisi de modelin çalıştırılmasında önemlidir. Model, 1998 yılı tuzluluk verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Delft3D modeli yılın büyük bölümünde, uygun şekilde su seviyesi ve tuzluluk değişimlerini modellemiştir.

Kuang ve arkadaşları (2009), Taihu Gölü'nün Gonghu kesiminde yaptıkları çalışmalarında su yüzeyinde gözlenen kütleli kirlilik kümelerinin nedenini araştırmışlardır. Bunun sebebinin rüzgar, sıcaklık, yağış ve dip sedimanın havalanması sonucu karışarak suyu bulandırması olduğu tespit edilmiştir. Sonrasında ise bu hidrodinamik koşulları DELFT 3D- FLOW modülünü kullanarak simüle etmişlerdir. Model girdileri ve çıktıları tespit edilerek modele girilmiştir. Ortogonal küresel koordinat sistemi kabul edilip, batimetri haritası üzerinde gridler oluşturulmuş, rüzgar, sıcaklık ve yağışın diğer parametrelere etkisi incelenmiştir. Sığ olan bu gölde, bu modül yardımıyla, çeşitli varsayımlar yapılmış ve modül Navier-Stokes eşitliklerini çözerek sonuç bulmuştur. Sonuçta düşük rüzgar hızı, düşük yağış miktarı ve yüksek sıcaklık ile dip sedimanın karışımının bu kirli su kümelerinin oluşumuna neden olduğu gözlenmiştir.

Koçal (2006), Porsuk Barajı su kalitesini özellikle ötrofikasyon parametreleri açısından incelenmiş, besi maddesi modeli kullanılmıştır. Bölgede yayılı kaynaklardan gelebilecek yüklerin hesaplanmasında bir su bütçesi modeli olan GROWA alt modelini kullanmıştır. GROWA modelinin giriş verilerinin hazırlanması aşamasında bir Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan ArcView® yazılımını kullanmıştır. Besi maddesi modülünde kullanılan reaksiyon sabitleri değiştirilerek model için en uygun reaksiyon sabiti değeri belirlenmiştir. Daha sonra gölün hacim değerleri değiştirilerek, hacim değişikliğinin model sonuçlarına etkisi incelenmiş, elde edilen sonuçların bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yayılı kirletici kaynakların modellenmesi, doğal kaynakların korunmasını ve sürdürülebilir yönetimini önemli ölçüde desteklemektedir. Güzel (2010) çalışmasında SWAT modelini kullanarak Köyceğiz Dalyan Havzasında çalışmıştır. Öncelikle ihtiyaç duyulan veri toplanmış, birleştirilmiş ve türetilmiştir. Bir sonraki adımda gerekli olan model girdi dosyaları SWAT'ın ihtiyaçlarına göre hazırlanmıştır. Tüm bunların sonucunda SWAT modeli Köyceğiz Dalyan Havzası için çalıştırılmıştır. SWAT

modelleme sonuçlarına göre, yaz aylarında yüzeysel akışın azaldığı görülmüştür. Diğer taraftan aynı dönemde yeraltı suyu nehirleri beslemeye devam etmektedir. Yüzey altı akışı da yaz aylarında nehirleri beslemeye devam etmektedir. Tarım alanlarında kullanılan sulama suyunun yüzey altı akışı beslediği düşünülmüştür. Köyceğiz Gölü'nün çevresindeki düşük kotlu bölgelerde yeraltı suyu akışının yüksek olduğu görülmüştür. Yağış ile birlikte nitratın havzadan nehirlere taşınımı artmaktadır. Havzadan nehirlere gelen nitrat yükünün büyük bir kısmı yeraltı suyu ile taşınmaktadır. Namnam akarsuyu debisi ve taşıdığı nutrient yükü açısından Köyceğiz Dalyan sistemi için önemli olduğu belirlenmiştir.

Kaçıkoç (2013), Eğirdir Göl'ün de mevcut hidrodinamik ve su kalite durumunun belirlenmek amacıyla, dinamik su kalite model aracı yardımı ile modelleme yapmıştır. pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen(ÇO), azot formları, fosfor formları ve klorofil-a (Chl-a) parametreleri aylık olarak, toplam organik karbon parametresi ise mevsimlik olarak izlenmiştir. İzlenen parametrelerin alansal ve zamansal değişimleri değerlendirilmiştir. Havzadaki noktasal ve yayılı kirlilik yükleri hesaplanmıştır. Toplam azot toplam fosfor oranları (TN/TP) hesaplanarak, göldeki sınırlayıcı element belirlenmiştir. Ayrıca trofik seviye indeksi (TSI) değerleri hesaplanarak, gölün trofik durumu saptanmıştır. Çalışmada hidrodinamik su kalite modeli kullanılarak, Eğirdir Gölü Havzası'ndaki yayılı ve noktasal kirlilik kaynaklarının modele entegrasyonu yapılmış, model kalibrasyonları, doğrulamaları gerçekleştirilmiş ve senaryolar geliştirilmiştir. Tez çalışmasında, bilgisayar destekli modelleme aracı olarak "WL/Delft Hydraulics/Delft3D" modeli kullanılmıştır. Hidrodinamik model çalışmaları sonuçlarına göre, hızların göle giren/çıkan debilerden lokal etkiler dışında etkilenmediği gözlenmiş olup, yıl boyunca etkili olan rüzgarın göl yüzeyinde yer yer türbülanslar oluşturduğu ve gölde karışım sağladığı gözlenmiştir. Buna ek olarak, derelerden gelen debilerin göl suyu sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi bulunmadığı ve Eğirdir Gölü su sıcaklığının meteorolojik koşullara bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmıştır. Su kalite model çalışmaları sonucunda, yıl boyunca hakim rüzgarın etkisi ile sürekli karışım halinde olan gölde, hidromorfolojik yapının, nutrient (azot ve fosfor) dinamikleri üzerinde etkisinin olduğu saptanmıştır. Tarım alanlarından gelen yayılı kirlilik yüklerinin arttırılmasının veya azaltılmasının nutrient yükleri üzerindeki etkisinin en fazla olduğu sonucu elde edilmiştir.

2.5. Model kalibrasyonu, doğrulaması ve performans değerlendirilmesi

Modelleme uygulamalarında kalibrasyon ve doğrulama gerekli ve önemli adımlardır (Donigian 2002). Kalibrasyon modellemenin ilk aşama testidir (Himesh ve ark. 2000). Model kalibrasyonu, arazi gözlemleri ve model tahminlerinin karşılaştırılması yoluyla model parametreleri için tahminler elde edilen süreçtir (Manivanan 2008). Eğer farklılıklar varsa modeli karakterize eden katsayılar düzeltilmektedir. Başka bir deyişle kalibrasyonda model parametrelerinin alıcı ortamın özelliklerine göre değerleri bulunur (Chapra 1997). Bu ayar, teorik olarak savunulabilir parametre ve girdilerin, tutarlı ve rasyonel veri setini dahil etmektir (Thomann ve Muller 1987). Böylelikle çalıştırılan modelin güvenilirliği artmaktadır (Himesh ve ark. 2000).

Model doğrulaması ise, kalibrasyonda kullanılan veri setinden bağımsız bir başka veri setini kullanarak, kalibre edilmiş modelin tahmin kapasitesinin ve doğruluğunun test edilmesi adımdır (Kaçikoç 2013).

Model performansı, model kalibrasyon/doğrulama sonuçlarının, ölçüm değerleri ile uyumundan yola çıkılarak, genellikle, grafiksel karşılaştırmaları ve istatistiksel testleri içeren ve kantitatif yöntemler yardımı ile değerlendirilir. Akış simülasyonları gibi sürekli kayıt edilen verilerin mevcut olduğu durumlarda her iki yöntem de kullanışlıdır. Ancak, günlük, aylık ve yıllık değerler gibi sınırlı sayıda ölçüm değerlerinin karşılaştırılmasının, istatistiksel yöntemler ile yapılması, performans değerlendirilmesinde daha kullanışlıdır (Donigian 2002). Her iki yaklaşımın da avantaj ve dezavantajları vardır. Kalitatif karşılaştırma, model sonuçlarının alansal ve zamansal şeklinin sunumunda oldukça kullanışlıdır ancak model kullanıcısının deneyim ve karar verme yetisine bağlıdır. Kantitatif karşılaştırma ise, kalitatif karşılaştırmaya göre daha objektiftir. Ancak, model performansının şeklini tanımlama yeteneği azdır (Spaulding ve diğ. 2000).

2.5.1. Hidrodinamik modelleme

Modelleme çalışmalarının temelini hidrodinamik modeller oluşturur. Çünkü bu modeller, çalışmanın diğer kısımlarına temel oluşturacak, akıntı hızı, seviye yüksekliği, taban kayma gerilimi gibi pek çok parametre ile ilgili bilgi verirler. Temel olarak

hidrodinamik modeller, akışkan hareketlerine yönelik denklemleri kullanarak yüzey suyu akışını modellemektedirler. Bu denklemleri çözmek için kullanılan ayrıntı düzeyi, bilgisayar teknolojisi ve gerekli hesaplamaları gerçekleştirmek için sayısal yöntemlerin kullanılabilirliği tarafından yönlendirilmektedir. Bütün akış modelleri, en azından, momentumun korunumu ve hidrolik veya hidrodinamik model temeline dayanmaktadır. Hidrolik modeller genellikle hareket denklemlerinin çok basitleştiren yaklaşımlarını gerektirir. Hidrodinamik modeller ise hareket denklemleri için daha az yaklaşım kullanmaları nedeniyle hidrolik modellerden daha karmaşık bir yapıya sahiplerdir. İki ve üç boyutlu grid yapısı ile kıyıların ve batimetrisinin gerçekçi geometrisini göstermek amacıyla oluşturulan hidrodinamik modellerin, su seviyesinin, tuzluluğun, su sıcaklığının ve hızın yatayda ve dikeydeki dağılımlarının zamana bağlı eşitliklerinin çözülebilmesi için gelişmiş nümerik metotlara ihtiyacı vardır (Sarmaşık 2012).

Hidrodinamik model parametre değerleri, genellikle direk ölçümler, diğer ölçüm verilerinden tahminler, literatür değerleri ve model kalibrasyonu yoluyla elde edilir (Ji 2008). Bu modellerin kalibrasyonu sıklıkla, taban sürtünmesini belirleyen parametrelerin (taban pürüzlülük yüksekliği vb.) ve yatay momentum difüzyon katsayısının ayarlanması ile gerçekleştirilir (Ji 2008).

Özellikle üç boyutlu (3D) zamana bağlı modeller olmak üzere, hidrodinamik modeller, modelin kurulumu, kalibrasyonu ve doğrulaması için kapsamlı veri setlerine ihtiyaç duyarlar. Hidrodinamik modellerin aşamaları aşağıda sıralanmıştır (Ji 2008):

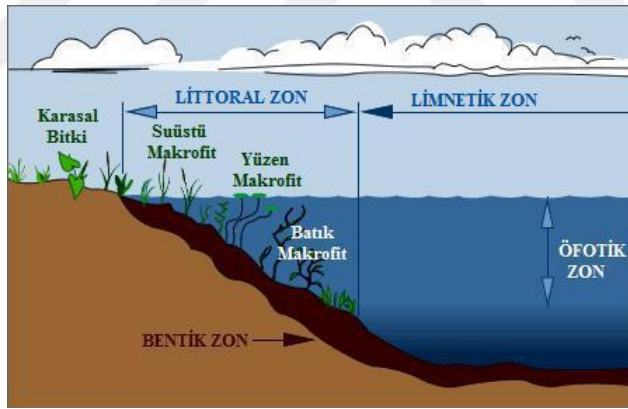
- 1) Gerekli model uygulama türünün belirlenmesi (boyutluluk, zamana bağımlılık, durum değişkenleri vb.),
- 2) Model girdilerinin hazırlanması (batimetri, rüzgar, dışsal yükler, girişler, açık sınır koşulları vb.),
- 3) Model kalibrasyonu,
- 4) Model doğrulaması.

Su kütlelerinin günlük ve mevsimlik değişimlerini simüle etmek için, bazı meteorolojik verilerin, modele saatlik (veya daha kısa periyotlarda) girilmesi gerekir. Örnek vermek gerekirse, rezervuarlarda karışım prosesinde itici güç genellikle rüzgar ve su ile hava arasındaki ısı transferidir. Buna göre, rüzgar hızının günlük ortalaması, saatlik rüzgar

hızlarından oldukça küçük olabilir ve bu durum sisteme gerçekten daha az rüzgar enerjilerinin girilmesi ile sonuçlanır. Yine aynı örnekte, hava sıcaklığının günlük ortalama olarak sisteme girilmesi de rezervuarda sıcaklığın gün içindeki değişiminin etkisinin hesaba katılmamasına neden olur (Ji 2008). Hidrodinamik modellerin kalibrasyonu ve doğrulamasında genellikle, yüzey su seviyesi, hız, su sıcaklığı ve tuzluluk model durum değişkenleri kullanılır. Bu değişkenlerin, model kalibrasyonunda ve doğrulamasında kullanılabilmesi için model alanı içinde ölçülmüş olmaları gerekir (Ji 2008).

2.5.1.1. Göllerde Vegetasyon

Bir göl ekosistemi ekolojik özellikleri yönünden Bentik ve Limnetik Zon olmak üzere iki büyük bölüme ayrılır. Göllerde bulunan zon ve alt zonlara ait şematik gösterim Şekil 2.2.'de verilmiştir. Bentik zon kıyı çizgisinden başlayarak gölün en derin bölgesine kadar olan tüm dipleri içerir. Limnetik zon ise göl çukurunu dolduran ve bentik zon örten su külesinden oluşmuştur (Kocataş 2003).



Şekil 2.2. Göllerde Zonasyon (Sarmaşık 2012)

Sıcaklığın su kolunu boyunca tabakalaşmasının gerçekleştiği limnetik zon, tabakalaşmaya bağlı olarak Epilimnion, Termoklin ve Hipolimnion olmak üzere üç tabakaya ayrılabilir. Her tabaka kendine özgü fiziksel ve kimyasal koşullara sahiptir. Ayrıca bu bölgede tabana kadar ışık penetrasyonu genellikle gerçekleşmez (Sarmaşık 2012).

Bentik zon derinliğe ve içerdiği bitki türlerine göre Supralittoral Zon, Littoral Zon, Sublittoral Zon ve Derin Zon olmak üzere dört bölümde incelenmektedir. Su dışında kalan göl sahili Supralittoral zon, zaman zaman dalgalarla ıslanmaktadır. Littoral Zonda, zengin bitki örtüsü içeriği derinliğe göre farklılık göstermektedir. Şekil 2.2.'de de görüldüğü gibi kıyı kesiminde saz, kamış gibi su üstü makrofitler, daha sonra nilüfer gibi yaprağı su üstünde bulunan yüzen makrofitler, en son olarak da su sümbülü, su şamdanı gibi batık makrofitler bir gölün Littoral zonunu oluşturmaktadır (Peter ve Lodge 2009). Eğimin oldukça fazla olduğu Sublittoral zonda ise ölmüş bitki ve hayvan artıkları depolanmaktadır. Derin zon ise ancak derin göllerde bulunmaktadır (Kocataş 2003).

Bir göl ekosisteminde littoral zon, yapısal ve işlevsellik açısından birçok gölün önemli bir bölümüdür. Dünyadaki birçok gölün küçük olması nedeniyle, toplam göl alanında büyük bir miktarını littoral zon oluşturur. Ayrıca littoral zon karasal yüzeysel akış, yeraltı suyu veya akarsu bağlantılarında göle gelen materyallerin taşınımını etkilemekte, bu durum ise littoral zondaki ve diğer göl ekosistemindeki biyolojik ve fiziksel prosesleri etkilemektedir. Makrofitler ve omurgasızlar açısından en üretken alan littoral zondur (Peter ve Lodge 2009). Göllerin yapısına göre değişiklik gösteren littoral zon derin göllerde çok dar iken, özellikle sığ göllerde oldukça geniştir (Kocataş 2003, Lewis 2009).

Sığ göllerin durumunu açıklayan alternatif kararlı durumlar teorisine göre, göller iki kararlı durumda bulunmaktadırlar; baskın su üstü ve batık makrofitlerin söz konusu olduğu berrak su durumu ve alglerin sucül bitkilere nazaran daha baskın olduğu bulanık su durumu (Sheffer 2004, Akdeniz 2005). Yararlı ve dengeleyici mekanizma sağladıklarından batık makrofitler sığ göllerde berrak su durumunun korunmasında kritik bir rol oynamaktadırlar. Sedimentin tekrar askıya geçişinin azalmasına, alglerin nütrient sınırlanmasına, alglerin büyümesini sağlayan allelopatik bileşiklerin salgılanmasına neden olmaktadır. Bu özellikleri makrofit açısından zengin olan littoral zonun özellikle sığ göller için önemini vurgulamaktadır (Özen 2006). Bunların yanında makrofitlerin akış direncini arttırdığı ve iletim kapasitesinin azalmasına neden olduğu bilinmektedir (Karakurt 2009). Özellikle sığ göllerde hidrodinamik davranış

genelde gölde su yüzüne çıkan makrofit, batık makrofit ve makrofit bulunmayan alanların toplam gölalanı içerisinde dağılımına ve kapladıkları alana bağlı olmaktadır.

Literatürde yapılmış birçok çalışma ile desteklenen (Cardoso 2005, Larmaei ve ark. 2009, Madsen ve ark. 2001, Kees ve ark. 2010, Ebrahimi ve ark. 2008) makrofitlerin akış direncini etkileyişi Uluabat Gölü için de önem oluşturmaktadır. Alternatif kararlı durumlar teorisinin geçerli olduğu gölde, bulunduğu durumu koruma eğilimi bulunmasına karşın su rejimindeki değişim, azot ve fosfor gibi besin yükleri ile askıda katı madde miktarının artması veya azalması (Akdeniz 2005) gibi nedenlerle kararlı durumlar arasında geçiş yapması söz konusudur. Özellikle su yüzüne çıkan makrofitlerden, sazlık ve yüzen makrofitlerden, nilüfer yatakları Uluabat Gölü'nün ekolojik özelliklerinin bir parçasıdır. Bunlar mevsimsel olarak değişiklik göstererek göldeki akışa karşı direnç oluşturmakta ve akış hızını düşürmektedir.

2.5.2. Su kalite modellemesi

Su kalitesi tahmini veya simülasyonu için kullanılan araçlar, su kalitesi modelleri olarak adlandırılır. Bu modeller, noktasal ve noktasal olmayan kirlilik yükleri, alıcı ortamın karakteristiği ve meteorolojik verilerin yardımı ile su kalitesi tahmini yapar. Çoğu alıcı su ortamlarında, su seviyeleri, hızlar, akışlar, sıcaklık ve kalite, zamana ve alana göre değişim gösterir. Su kalite modelleri, doğal olaylar ve insan kaynaklı kirlilikleri tahmin etmek, anlamak ve bu kirlenmelere karşı tedbirler alabilmek için yönetim politikaları geliştirme imkanları sağlayan dünya çapında yaygın kullanıma sahip araçlardır (Wool ve diğ. 2001). Modellerin kullanımı, göl içi trofik seviyelerin belirlenmesinden, havzadan gelen kirlilik yüklerinin hesaplanmasına kadar geniş uygulamaları içerir (Gibson ve diğ. 2000). Su kalite modelleri, su kütlelerinde gerçekleşen su kalite süreçlerinin matematiksel olarak ifade edilmesini sağlar. Su kalite modelleri, hidrodinamik modeller ve sediment taşınımı modelleri ile karşılaştırıldığında, alg biyolojisinin karmaşıklığı, nutrient ve sucul bitkiler arasındaki lineer olmayan etkileşimler, sediment yatağı ve su kolonu arasındaki etkileşim gibi faktörlere bağlı olarak, su kalite modelleri ile çalışmak çok daha zordur. Su kalite modelleri, hidrodinamik taşınımı, dışsal girişleri ve sistem içindeki kimyasal ve biyolojik reaksiyonları dikkate alır. Su kalite modelleri, suyun hareketini ve karışımını tanımlayan hidrodinamiklere dayanır. Hidrodinamik, meteoroloji ve atmosfer fiziği

hakkında bilgi sahibi olmak, su-hava arasındaki dışsal yükleri ve koşulları özelleştirmek için gereklidir. Modelleme ile ayrıca, çözünmüş ve partikül maddelerin akıbetinin belirlenmesi için kimyasal kinetiklerden ve biyokimyadan da yararlanır (Kaçıkoç 2013).

Hidrodinamik modeller, su kalite modelleri için adveksiyonu, dispersiyonu, dikey karışımı, su sıcaklığını ve tuzluluğu içeren gerekli temel bilgileri sağlarlar. Su kalite modelleri, hidrodinamik modellere direkt veya aktarmalı olarak iki farklı şekilde bağlanabilir. Direkt yaklaşımda, hidrodinamik taşınım ve su kalite prosesleri eş zamanlı olarak simüle edilir. Aktarmalı yaklaşımda ise, hidrodinamik simülasyon bağımsız olarak yürütülür ve buradan elde edilen sonuçlar su kalite modeline aktarılır (Ji 2008).

Su kalite modelleri kütle dengesi prensibine dayanır. Su kalite proseslerinin matematiksel olarak ifade edilmesi için, hidrodinamik ve sediment modellerine göre çok daha fazla ampirik formülasyonlar kullanılır. Su kalite modellerinde, ilgili prosesler arasındaki karşılıklı etkileşimlerin karmaşıklığından dolayı, su kalite parametrelerinin ayarlanması ciddi uzmanlık gerektirir. Sistemi iyi bir şekilde simüle edebilmek için, modellenecek proseslerin ve sistemi kontrol eden faktörlerin çok iyi şekilde anlaşılmış olması oldukça önemlidir (Ji 2008).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Örnekleme Programı

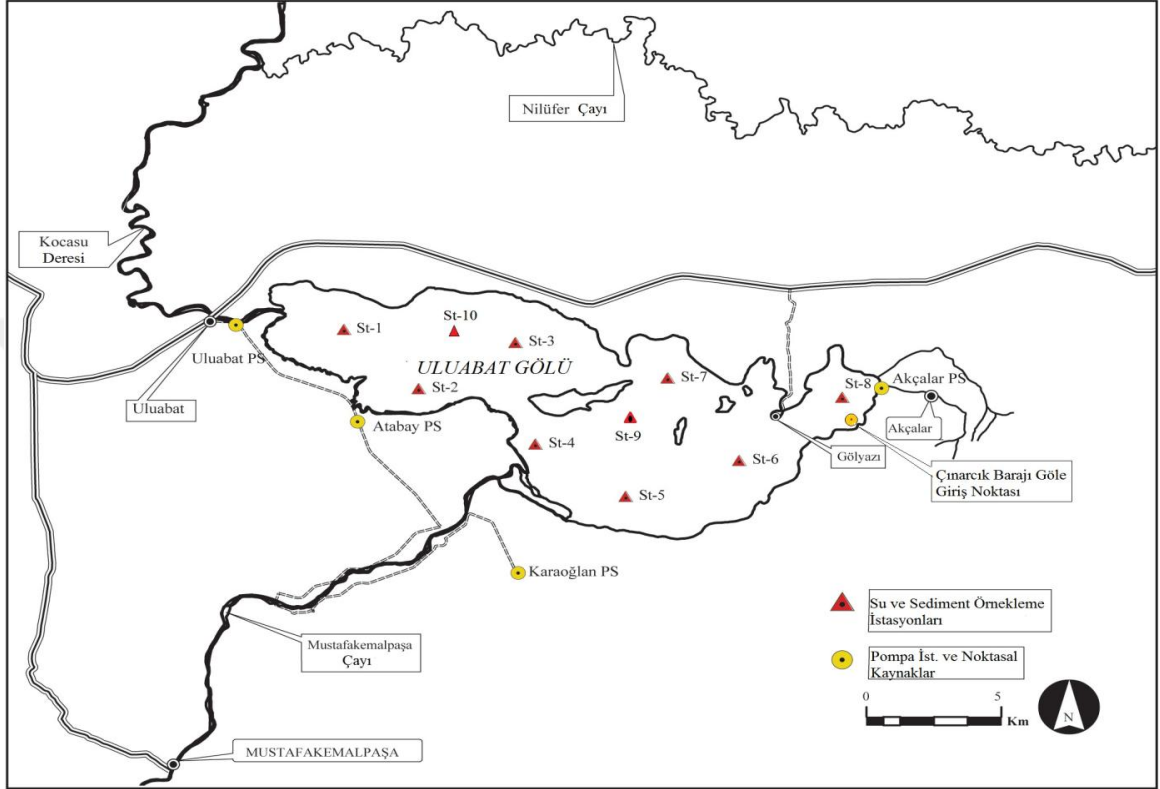
Uluabat Gölü'nde suda ve sedimentte çeşitli parametrelerin konsantrasyonlarını tespit etmek amacıyla planlanan bu çalışma kapsamında bir örnekleme programı hazırlanmış ve uygulanmaya çalışılmıştır. Ağır metal ve iz elementlerin suda çözülmüş ve askıda katı maddelere bağlanmış halde bulunan formları ile sedimentte mobil halde bulunanlar, kolay serbest hale geçebilenler, Fe-Mn oksitlere bağlı, organik maddelere bağlı ve kalıntı halinde bulunan fraksiyonları incelenmiştir. İncelenen ağır metal ve iz elementler Cr ve Ni' dir. Gölün su ve sediment kalitesinin tespit edilmesi amacıyla suda; sıcaklık (T), pH, elektriksel iletkenlik (EC), oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), toplam çözülmüş katılar (TDS), toplam alkalinite, toplam sertlik, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI), askıda katı madde (AKM), klorofil- a (Chl-a), seki derinliği (SD), amonyum azotu (NH₄-N), nitrat azotu (NO₃-N), kjeldahl azotu, toplam Azot (TN), fosfat fosforu (PO₄-P), toplam Fosfor (TP) parametreleri incelenmiştir. Sedimentte ise, sıcaklık, pH, EC, NH₄-N, NO₃-N, TN, TP, PO₄-P, % organik madde içeriği ve nem içeriği ölçülmüştür. Suda ve sedimentte yapılan incelemeler dışında, Uluabat Gölü'nde plankton numuneleri alınarak Cr ve Ni elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir.

Su ve sedimentte ölçülen parametreler 1 yıl süre ile aylık olarak kirletici kaynaklara olan uzaklıklar, farklı derinlikler ve hidrodinamik özellikler göz önüne alınarak seçilen göl içindeki 10 ölçüm istasyonunda ve sadece suda ölçülen parametreler gölü besleyen Mustafa Kemal Paşa Çayı'nda, gölün boşalmasını yapan Kocasu Çayı'nda, evsel ve endüstriyel atık suların deşarj edildiği Akçalar Deresi'nde, ayrıca, sulama sularının geri dönüş yaptığı ve atık suların deşarj edildiği DSİ'ye ait olan Uluabat, Atabay ve Karaoğlan Pompa istasyonlarında olmak üzere toplam 16 noktada incelenmiştir. Örnek alma çalışmaları 2013 Ağustos ayında başlanarak 2014 Temmuz ayında tamamlanmıştır.

3.2. Örnek Alma Noktaları

Coğrafik koordinatları 40°10' kuzey ve 28°35' doğu olarak bilinen Uluabat Gölü'nde, çalışmanın amacına yönelik olarak göl içerisinde 10 nokta, göle giriş yapan Mustafa

Kemal Paşa Çayı (MKP Çayı), gölden çıkışı sağlayan Kocasu Çayı ve 4 farklı noktasal kaynak belirlenmiştir. Belirlenen toplam 16 örnekleme noktası Şekil 3.1.'de görülmektedir. Bu noktaların koordinatları GPS (Global Positioning System) ile tespit edilmiş ve bu veriler doğrultusunda örnek alma noktaları haritalandırılmıştır.



Şekil 3.1. Uluabat Gölü Örnekleme Noktaları

Bu noktaların belirlenmesi aşamasında, bir fizibilite çalışması yapılarak etraftaki önemli kirletici kaynaklar, akarsular ve bölgelerin hidrodinamik özellikleri dikkate alınmıştır. Ayrıca gölde daha önce çalışmalarda bulunmuş kişi ve kuruluşların görüşleri alınmıştır. Bu doğrultuda gölün tamamını temsil ettiği düşünülen ve önceki çalışmalarda da kullanılmış olan göl içi on noktadan numune alınması kararlaştırılmıştır.

GPS ile tespit edilen örnek alma noktalarının koordinatları şu şekildedir,

Tablo 3.1. Uluabat Gölü Örnekleme Noktaları Koordinat Bilgileri

İstasyon no	X (Doğu) m	Y (Kuzey) m
1	626865	4451240
2	629634	4448777
3	633217	4450699
4	633953	4446460
5	637299	4444284
6	641498	4445781
7	638853	4449214
8	645313	4448410
9	637470	4447638
10	631064	4451502
MKP Çayı	626061	4440190
Kocası Çayı	623020	4451392
UPİ	622891	4451426
APİ	627393	4447402
KPİ	633263	4441067
Akçalar Deresi	646797	4448799

* UPİ: Uluabat Pompa İstasyonu

* APİ: Atabay Pompa İstasyonu

* KPİ: Karaoğlan Pompa İstasyonu

3.3. Örnek Alma Metodu ve Örnekleyiciler

Su ve sediment örneklerini toplamak için 2 farklı örnekleyici kullanılmıştır. Örnekler eş zamanlı toplanmıştır. Örnek alma çalışmaları, noktaların GPS cihazı kullanılarak belirlenmesi ve üstü açık bir kayık ile çalışmaların yapılması nedeniyle yağış ve sisin olmadığı zamanlarda yürütülmüştür. Uluabat Gölü sığ bir göl olması nedeniyle su örnekleri göl içindeki tüm noktalardan yüzeyden 0,5 m aşağıdan, Kemmerer and Van Dorn su örnekleyicileri olarak bilinen derinlik boyunca örnek alabilen standart su numune alma aleti ile alınmıştır. Alınan su numunesi, tüm örneklerin taşındığı koyu renkli daha önceden HNO₃ ve deiyonize su ile temizlenmiş olan polietilen (PE) şişelere aktarılmıştır (APHA 1998). Noktasal kirlenici kaynaklardaki su örnekleri en kesitin orta kısmından şişeler manuel olarak alınmıştır. Sediment örnekleri 0-10 cm'lik yüzey kısmından olmak üzere ekman sediment örnekleyicisi ile alınmıştır. Ekman sediment örnekleyicisi her türlü tane boyutunda örnekleri alabilen ve örnek kaybının daha az olduğu bir alet olması nedeniyle tercih edilmiştir. Sediment örnekleri HNO₃ ve deiyonize su ile yıkanmış PE kaplara konularak laboratuara taşınmıştır (APHA 1998, İleri 2010). Su ve sediment örneklerinin konulduğu PE kaplara örneğin alındığı noktayı,

günü ve saati belirten etiket yapıştırılmıştır. Ayrıca, örneklerin alımı sırasında, plastik eldivenler kullanılmıştır (APHA 1998). Su ve sediment örnekleri ile eş zamanlı olarak plankton numuneleri toplanmış ve bu numunelerde metal analizleri yapılmıştır. Plankton numuneleri, plankton kepçesi yardımıyla su yüzeyinde gezdirilerek toplanmış, önceden temizlenmiş cam şişelere aktarılmış ve soğutucularda laboratuvar ortamına getirilmiştir. Örnek alma işlemleri için kullanılan örnekleyiciler Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Su, sediment ve plankton örnekleyicilerinin kullanımı sırasında çekilen fotoğrafları

3.4. Suda Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi

Fiziksel ve kimyasal analizler için belirlenen 17 noktadan plastik kaplara alınmış olan su örnekleri en kısa sürede laboratuvara getirilerek 100 ml'lik koyu renkli cam şişelere aktarılarak ve 40 mg/l $HgCl_2$ eklenerek 4°C'de 1 hafta buzdolabında saklanmıştır. Analizler 1 hafta içerisinde tamamlanmıştır. Ancak canlı organizmalara dayalı olarak yapılan ölçümler olması sebebiyle BOI_5 parametresi aynı gün ölçülmüştür.

Su numunelerinin alınması sırasında sahada, Sıcaklık (T), pH, Elektriksel İletkenlik (EC), Çözünmüş Oksijen (DO), Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP), Klorofil- a (Chl-a), Toplam Çözünmüş Katılar (TDS) HydroBios marka multiprop cihaz kullanılarak ölçülmüştür. Su derinliği (WL) ve Seki Derinliği (SD) seki diski ile yerinde ölçülmüştür. Laboratuvar ortamında ise, askıda katı madde (AKM) 103-105°C'de kurutularak gravimetrik yöntemle, sertlik ve alkalinite titrasyon metodu ile, BOI_5 , KOI parametreleri standart metotlara göre (APHA 1998), NH_4-N , NO_3-N , TN (Toplam Azot) su buharı destilasyonu yöntemiyle (Bremner ve Mulvaney 1982), PO_4-P , TP (Toplam Fosfor) askorbik asit yöntemiyle (APHA 1998) ölçülmüştür.

Akarsu Debisi, DSİ I. Bölge Müdürlüğünce belirlenmiş olan istasyonlara yerleştirilmiş daimi eşellerle veya eşel olmayan istasyonlarda AOTT marka Muline ile doğrudan ölçüm ile tespit edilmiştir. DSİ'ye ait sulama amaçlı çalışan Uluabat, Atabay, Karaoğlan Pompa İstasyonlarına ait debiler DSİ 1. Bölge Müdürlüğü'nden alınan aylık deşarj edilen su hacmi kullanılarak hesaplanmıştır. Su derinliği sediment örnekleri alınırken belirli aralıklarla işaretlenmiş uzatma ipi yardımıyla ölçülmüş olup, Gölyazı'da bulunan EİE'ye (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) ait eşel ile yapılmış aylık ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Uluabat Gölü'ne deşarj olan noktasal kirletici kaynakların ağır metal, bazı iz elementler ve diğer su kalitesi parametrelerine ait göle getirmiş oldukları yükler debi ve konsantrasyon değerlerinin çarpımlarıyla ton/ay veya ton/yıl cinsinden belirlenip değerlendirilmiştir. İlgili sonuçlar araştırma bulguları kısmında verilmiştir.

3.5. Sedimentte Ölçülen Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerin Analizi

Sediment numuneleri göl içindeki 10 noktadan olmak üzere 10 cm'lik üst tabakadan ekman sediment örnekleycisi ile alındıktan sonra sıcaklığı ölçülüp, plastik kaplarla laboratuara getirilmiştir. Örnekler 2 mm'lik elekten elenerek ölçüme hazır hale getirildikten sonra, NH₄-N, NO₃-N, Kaçar'ın (1994) bildirdiği gibi potasyum klorür (KCL) ekstraksiyonu ve ardından buhar destilasyonu ile, TN (Toplam Azot) ise standart metotlarda bildirilen nitrik asit, sülfürik asit karışımında yaş yakma yapılarak ekstrakte edilmiş ve ardından buhar destilasyonu ile ölçüm yapılmıştır (Bremner and Mulvaney 1982), Orto Fosfat (PO₄-P) Kaçar'ın (1994) bildirdiği gibi sodyum bikarbonat yöntemi ile ekstrakte edilen numuneler, Standart Metotlarda belirtilen askorbik asit yöntemi gereğince 880 nm dalga boyunda spektrofotometrede, Toplam Fosfor (TP), Standart Metotlara göre asit ekstraksiyonu ve arkasından askorbik asit yöntemi ile ölçülmüştür (APHA 1998). pH ve iletkenlik 1/5 sediment örneği tartılarak (10 g sediment örneği 50 ml deiyonize su ile karıştırılır) 30 dakika çalkalanıp, pH ve elektriksel iletkenlik problemleri ile ölçülmüştür (Radojevic ve Bashkin 1999). % Organik madde, sabit tartıma getirilmiş sediment örneğinin 500⁰C'de en 4 saat tutulması sonucunda meydana gelen ağırlık farkından belirlenmiştir (Radojevic ve Bashkin 1999). % Nem, sabit tartıma getirilmiş sediment örneğinin 105⁰C'de 24 saat tutulması sonucunda meydana gelen ağırlık farkından belirlenmiştir.

3.6. Ağır Metal Analizleri

3.6.1. Örneklerin Analize Hazırlanması

3.6.1.1. Suda Çözünmüş, Partikül Maddelere Tutunmuş ve Sedimentteki Ağır Metallerin Analize Hazırlanması

Suda çözünmüş ve partikül maddelere tutunmuş halde bulunan ağır metallerin belirlenebilmesi için örnekler önceden ağırlığı tartılmış 0,45 µm gözenek çapındaki milipore filtre kağıdından süzülmüştür. Filtre edilmiş su örneği sırasıyla deterjan, su, nitrik asit, mili-Q su ile temizlenmiş cam şişelerde % 2 (v/v) konsantre nitrik asit ile asitlendirilerek 4⁰C'de buz dolabında korunmuştur. Partikül maddeyi içeren filtre kağıtları havada kurutulduktan sonra tekrar tartılarak 4/1 v/v HNO₃/HCl karışımı ile mikrodalga cihazı kullanılarak parçalanıp, soğuduktan sonra mili-Q su kullanılarak 30 ml'ye seyreltilmiştir. Sediment numuneleri, havada kurutulduktan sonra 0,2 mm elekten elenip, aqua regia çözeltisi HCl/HNO₃ (3/1 v/v) ile mikrodalga cihazında parçalandıktan sonra mili-Q su ile 50 ml'ye seyreltilmiştir. Plankton numuneleri de 0,5 g alınarak, asitle parçalanmış ve son hacim 50 ml'ye tamamlanmıştır. Parçalama işlemleri, numuneler HP500 teflon kaplara konularak, CEM marka, Mars 5 model mikrodalga aletinde yapılmıştır. Mikrodalgada parçalama işlemleri üç aşamalı olarak programlanmıştır. Cihaz, 1. aşamada, 1 dakika 5 psi (1 psi=6.89 kPa), 2. aşamada 5 dakika 25 psi ve 3. aşamada 60 dakika 120 psi'de çalıştırılmıştır (Nguyen ve ark. 2005).

3.6.1.2. Sedimentte Bulunan Ağır Metal Fraksiyonlarının Analize Hazırlanması

Ağır metallerin kimyasal fraksiyonlarının belirlenebilmesi için havada kurutulmuş sediment örnekleri, 0,2 mm'lik elekten elendikten sonra 100 ml'lik polipropilen tüplerde tartılıp ardışık ekstraksiyonlara maruz bırakılmıştır (Katip 2010). Belirlenen fraksiyonlar şöyledir:

F1 (Mobil ağır metaller): Bir ekstraksiyon 1 M NH₄NO₃

F2 (Kolay serbest hale geçebilen metaller): Bir ekstraksiyon 1 M CH₃COONH₄ (pH 6.0)

F3 (Mn-oksitlere bağlı ağır metaller): Bir ekstraksiyon 0,1 M NH₂OH-HCl+1 M CH₃COONH₄ (pH 6.0) ve iki ekstraksiyon 1 M CH₃COONH₄ (pH 6.0)

F4 (Organik maddeye bağılı ağır metaller): 0,025 M NH₄-EDTA (pH 4.6) ve iki ekstraksiyon 1 M CH₃COONH₄ (pH 4.6)

F5 (Kalıntı halindeki ağır metaller): Sedimentte bulunan toplam ağır metallere fraksiyonların toplamı çıkarılarak belirlenmiştir.

Ekstrakte edilen tüm numunelerin ağır metal konsantrasyonları, indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometre (ICP-OES) cihazı ile okunmuştur.

3.6.2. Ağır Metal Tayini ve ICP-OES Cihazı Çalışma Prensipleri

Kimyasal analizlerde ilk kullanılan atomik spektrometri tekniği emisyon spektrometredir. Alev püskürtülen elementlerin yaydığı ışıktan kalitatif analiz yapılmasına dayanan alev testleriyle başlamış, metallere ark ve kıvılcım atomlaştırma teknikleri kullanılarak analiz edilmesiyle devam etmiştir. Günümüzde ise en çok başvurulan atomlaştırma teknikleri plazma kaynaklıdır. Doğru akım plazma (DCP) ve mikrodalga ile oluşmuş plazma (MIP) kaynakları çeşitli analizlerde kullanılmaktadır. Ancak, plazma kaynaklarının en önemlisi indüktif eşleşmiş plazma (ICP)'dir. Atomik emisyon spektrometri ile atomik absorpsiyon spektrometri arasındaki en önemli fark, absorpsiyon analizlerindeki atomlaştırıcının görevi sadece atomlaştırma iken, emisyon analizlerindeki atomlaştırıcının hem atomlaştırma hem uyarma işlevi görmesidir. Yüksek sıcaklığı ve inert atmosferi, plazmayı alev veya grafit fırına göre daha etkin bir kaynak yapmaktadır. Bu sayede, AAS ile duyarlı sonuç elde edilemeyen refrakter bileşiklerin analizi de kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Çok sayıda elementin aynı anda veya çok kısa sürede ölçülmesi de önemli avantajlarından birisidir. Plazma, nötr gaz, kation ve elektron içeren iletken bir gaz karışımı olarak tanımlanabilmektedir. Plazma gazı olarak argon (Ar) kullanıldığından, indüktif eşleşmiş plazmada Ar, iyonlaşmış Ar ve elektron bulunduğunu söyleyebiliriz. İndüktif eşleşmiş plazma iç içe üç kuvars borudan oluşan hamlac (torch) ile oluşturulur. Argon, en dış ve ara borudan helezonik bir şekilde geçerek borunun ucuna, indüksiyon bobininin sardığı bölüme ulaşmaktadır. Genellikle bakırdan yapılmış, su soğutmalı indüksiyon bobini, hamlaca, 27 veya 40 MHz frekansında ve 0.5-1.5 KW arasında güç sağlar. Bu güç sayesinde hamlacın ucunda manyetik alan yaratılmaktadır. Tesla bobini adı verilen sistemle kıvılcım oluşturularak argonun iyonlaşması sağlanır. Plazma artık hazırdır. Numune çözeltilisi bir peristaltik pompa yardımıyla sisleştiriciye gönderilir ve argon ile çarpıştırılarak aerosol

üretilmektedir. Küçük çaplı damlacıklar taşıyıcı argon ile en içteki ince borudan hamlaca ulaşmaktadır ve atomlaşma/iyonlaşma gerçekleşmektedir.

ICP-OES cihazlarında ölçüm dikey veya yatay plazma pozisyonlarında yapılabilmektedir. Bazı firmalar her iki plazma pozisyonunda da ölçüm yapan cihazlar üretmişlerdir. Yatay plazmanın dikey plazmaya üstünlüğü daha duyarlı sonuçlar vermesidir. Ancak, bu pozisyon dikey plazmaya göre daha dar lineer çalışma aralığına sahiptir. İndüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometri (ICP-OES), AAS' ye göre daha geniş çalışma aralığı, multielement tayin yapabilme özelliği, termal bozunmaya karşı dirençli (refrakter) elementlerin tayininde daha duyarlı sonuç vermesi gibi özellikleriyle, metal tayinlerinde AAS ile birlikte en sık başvurulan tekniktir. ICP-OES tekniğinin AAS tekniklerine kıyasla, inert Ar atmosferinde daha etkin bir atomlaştırma yapması, multielement ölçüm yapma özelliği ve lineer çalışma aralığının daha geniş olması gibi avantajları vardır. AAS tekniklerine göre dezavantajı, cihazın fiyatı ve işletim masrafının daha yüksek olmasıdır (Varian Seminer Notları 2007).

ICP Cihazı İçin Mikrodalga Parçalama Yöntemi

İnorganik elementlerin analizleri için numuneleri sıvı hale dönüştürmek gerekmektedir. Bu sebeple belirli bir sıcaklık altında ekstraksiyon işlemi yapılarak iz elementler buldukları katı veya sıvı numuneden bir çözücü ile sıvı hale aktarılmaktadır. Ekstraksiyon işlemi hot plate üzerinde açık bir kapta veya belirli bir basınç altındaki sızdırmaz tüplerde yapılabilmektedir. Hot plate üzerinde, açık kapta yapılan parçalama işlemi, ucuz ve kolay yapılabilmesine karşın, yavaş gerçekleşmekte, yoğun çalışma gerektirmekte ve kirlilikten etkilenebilmektedir. Belirli basınç ve sıcaklık altında ve kapalı kaplarda yapılan parçalama işlemi ile kullanılan kimyasalların kaynama sıcaklığının üstüne (200⁰C ve üzeri) çıkılabilmektedir, kirlenme azalmaktadır, düşük miktarda kimyasal madde tüketimi olmaktadır, az miktarda numune ile çalışılabilmektedir (0,5-1 g) ve çalışma süresi daha kısa zaman almaktadır. Mikrodalga parçalama yönteminin basit, güvenli, etkili, hızlı olduğu ve aynı zamanda da kapalı sistem olması sebebi ile elementlerin kaybını engellediği ve kirlenme olasılığını azalttığı görülmüştür. Mikrodalga parçalamada, farklı asitler kullanılarak parçalama seviyeleri belirlenmektedir. Çalışma kapsamında, numunelerin parçalama işlemleri, CEM marka, Mars5 model mikrodalga cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Ağır metal okumaları, BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Laboratuvarı'nda VARIAN marka ICP-OES cihazının VISTA-MPX modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Okumaların yapıldığı ICP-OES cihazı incelenmiş, farklı çalışmalarda yapılan sonuçlar ve yöntemler karşılaştırılmış ve cihaz hakkında bilgi edinilmiştir. Okumalara uygun hale getirebilmek amacıyla cihazın kalibrasyon çalışmaları yapılmış ve ölüm sonuçlarının konsantrasyon seviyeleri belirlenerek uygun standartlar hazırlanmıştır. Standartların hazırlanmasında, 1000 µg/ml'lik (% 5 HNO₃) standart stok çözeltisi kullanılmıştır. Ağır metal konsantrasyonlarının suda çözünmüş halde, partikül halinde ve sedimentteki konsantrasyon değerlerinin çok farklı büyüklüklerde olması sebebiyle düşük, orta ve yüksek olmak üzere ppb ve ppm seviyesinde, üç farklı standart seri hazırlanmıştır. Düşük standart seri; 0,0095, 0,019, 0,039, 0,078, 0,1562 ppm. Orta standart seri; 0,1562, 0,3125, 0,625, 1,25, 2,5 ppm, Yüksek standart seri; 2,5, 5, 10, 20, 50 ppm'dir. Cihazının kalibrasyonu 500 ppm'lik Merck Mn çözeltisinden hazırlanan 5 ppm'lik çözelti kullanılarak yapılmıştır. Sediment rneklerinin okumalarının doğrulanmasında referans materyali olarak kullanılan ERM-CC135a (European reference materials) rneklerin ekstraksiyon metotlarını ve cihazın ölümlerinin performanslarını kontrol edebilmek amacıyla incelenmiştir. İkili okumalar yapılarak elde edilen sonuçlar ve referans materyalinin konsantrasyonları karşılaştırılmıştır.

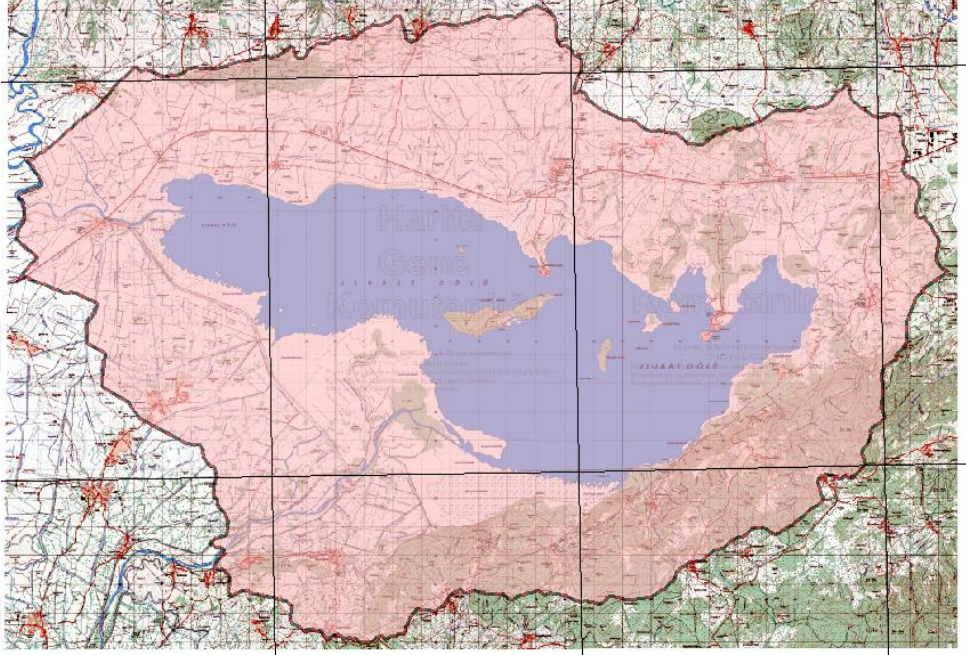
3.7. Veri Değerlendirme Yöntemleri

3.7.1. Coğrafik Bilgi Sistemi İle Su ve Sediment Kalitesi Parametrelerinin Haritalandırılması

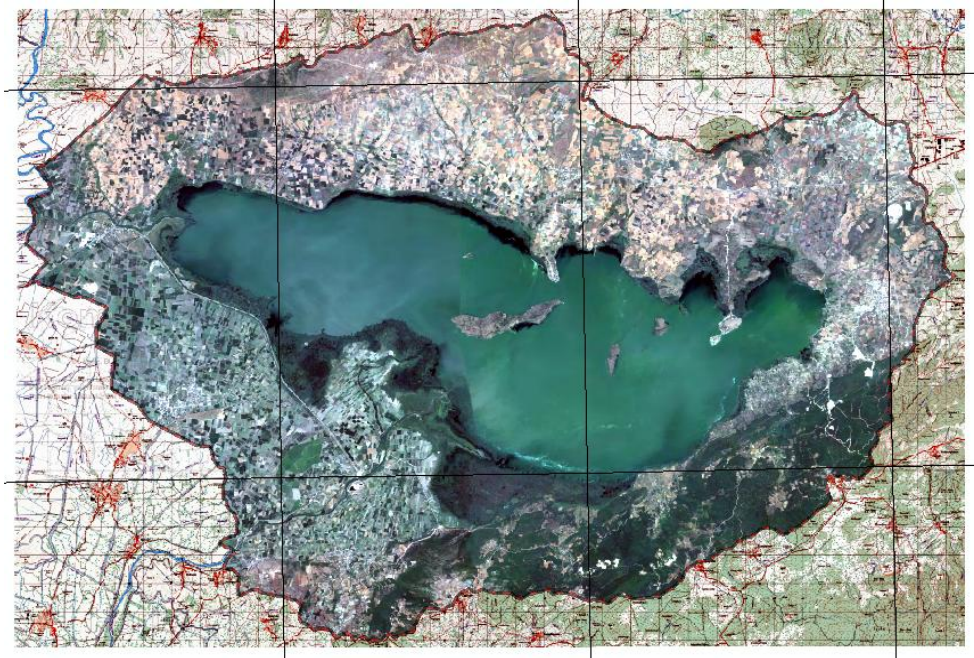
Coğrafi bilgi sistemleri, konumsal verilerin toplandığı, konumsal bilgiyi görüntüleyebilen, grafik ve nitelik bilgilerinin eş zamanlı kullanıldığı, farklı bilgi kaynaklarından gelen verileri bütünleştirerek yönetim, planlama ve analiz problemlerinin zmne katkıda bulunan, bilgi alış verişinde standardizasyonu ve harita ile tabloların kombinasyonunu sağlayan özelliktedir. Böylece, sayısal akıllı haritalar yardımıyla sorgulama amaçlı veri tabanlarını ve istatistiksel analizleri kullanarak, bilginin sınıflandırılmasını sağlamakta, nesnelere ve olaylardan, sonuçları tahmin etmekte ve stratejik planlamada ne çıkmaktadır (Yomralıoğlu 2000, Akbaş 2008).

Bu çalışmada, Ağustos 2013 ve Temmuz 2014 yılları arasında Uluabat Gölü su ve sediment kalitesinde meydana gelen değişim CBS kullanılarak irdelenmiştir. Bu doğrultuda çalışma alanında belirlenen 10 adet istasyondan Ağustos 2013 ve Temmuz 2014 dönemlerinde alınan su ve sediment numuneleri analizlenmiş ve coğrafi bilgi sistemleri veritabanına aktarılarak su ve sediment kalitesindeki değişimi gösteren çeşitli sorgulamalar yapılmıştır. Sonuç olarak su kalitesindeki değişim açık bir şekilde ortaya konmuş ve kirliliği önlemek amacıyla alınabilecek önlemleri belirlemede etkin bir araç elde edilmiştir. Çalışma sırasında bütüncül bir yaklaşım içerisinde numune alma noktalarını içeren göl paftaları ele alınmış, raster haritalar elde edilmiştir. Daha sonra söz konusu paftalar ArcGIS 10.1 programı yardımıyla sayısallaştırılarak vektörel formatta topoğrafik haritalara dönüştürülmüştür. Ağustos 2013'den Temmuz 2014'e kadar, göl üzerinde belirlenen 10 adet istasyondan numuneler alınmış ve gerekli analizler yapılmıştır. Bütün analiz değerleri, öncelikle Excel de oluşturulan veritabanında saklanarak, daha sonra ArcGIS 10.1 coğrafi bilgi sistemleri programına aktarılmıştır. Her bir parametre için, Ağustos 2013 ve Temmuz 2014 ayları arasındaki değişimi temsil eden haritalar hazırlanmıştır. Haritaların hazırlanmasında "Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (Inverse Distance Weighted, IDW)" kullanılmıştır. IDW enterpolasyon tekniği örneklem nokta verilerinden enterpolasyonla grid üretmede çoğunlukla tercih edilen ortak bir yöntemdir. IDW enterpolasyon tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalarda daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayandırılır. Bu teknik enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı da azaltan ve örneklem noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar. Arazi çalışmalarında GPS ile istasyon yerleri belirlenmiştir. Koordinat alınan istasyondan aynı zamanda su ve sediment örnekleri de alınmıştır. Bu örneklerde her parametre için yapılan analiz sonuçları belirlenen koordinatlar ile veri tabanı mantığı çerçevesinde birleştirilmiştir. Arcview programı ile bu veriler arcview dosya formatı olan shp dosyalarına dönüştürülmüştür. Her bir parametre IDW metodu ile enterpole edilerek grid formatında katmanlar oluşturulmuştur. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin konumsal analiz enterpolasyon araçları Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (IDW) kullanılarak noktasal veriler alansal verilere dönüştürülmüştür. Böylece her bir parametre için tematik haritalar üretilmiştir.

Çalışma kapsamında Harita genel Komutanlığı tarafından UTM 6° ED50 koordinat sisteminde üretilmiş olan 12 adet 1:25.000 ölçekli sayısal Topoğrafik harita ArcGIS ortamında birleştirilmiş, Uluabat Gölü Tampon Bölge Sınır kapsamı temel alınarak ekstrete edilmiş ve sonuçta Uluabat Gölü'nün Tampon Bölge sınırlarını içerecek biçimde 1:25.000 ölçekli sayısal Topoğrafik haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Uluabat Gölü 1:25000 ölçekli topoğrafik haritası ve Tampon Bölge Kapsamı



Şekil 3.4. Uluabat Gölü Tampon Bölge Uydu Görüntüsü

Uluabat gölü Tampon bölge sınırlarına ait uydu görüntüsü Bursa İl sınırları kapsamında üretilmiş olan yüksek çözünürlüklü Worldview2 uydu görüntüsünün Uluabat Gölü Tampon Bölge sınırları kullanılarak ekstrakte edilmesi ile edilmiş ve 1:25000 ölçekli olarak veri tabanına eklenmiştir (Şekil 3.4).

3.7.2. Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

İstatistiksel hesaplamalarda SPSS 22.0 istatistik programı kullanılmıştır. İncelenen tüm parametrelere ait konsantrasyonların yıllık ve mevsimsel olarak ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri hesaplanarak, göldeki konsantrasyonların aylar ve istasyonlar arasındaki farklılıklarının, ağır metal konsantrasyonlarının farklılıklarının önemli olup olmadığı varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Ayrıca birbirleriyle ilişkili olduğu düşünülen parametreler arasında r korelasyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Farklılıkların ve ilişkilerin önemliliği $p = 0,05$ 'e göre değerlendirilmiştir. Grafiklerin çiziminde SigmaPlot 10.0 versiyonu kullanılmıştır.

3.7.3. Ölçüm Sonuçlarının Standart Değerler ile Karşılaştırılması

Su ve sediment kalitesi fizikokimyasal parametreleri ve krom, nikel metallerinin konsantrasyonları izleme sonrası, Ulusal ve uluslar arası standartlar ile kıyaslanmış, toksik sınırları belirlenmiş, göldeki kirliliğin mevcut durumu tespit edilmiştir.

3.7.4. Uluabat Gölü Ötrofikasyon Seviyesinin Belirlenmesi

Göllerde ötrofikasyon seviyesinin belirlenmesi amacı ile trofik seviye indeksi (TSI) oluşturulmuştur. TSI, göllerin mevcut ötrofik durumunun geçmişi ile karşılaştırılarak belirlenmesinde oldukça etkili bir yöntemdir. TSI değerleri klorofil-a ($\mu\text{g/l}$), seki derinliği (m), toplam fosfor ($\mu\text{g/l}$) ve toplam azot (mg/l) konsantrasyonları kullanılarak hesaplanmaktadır. Belirlenen TSI değerlerinin ortalamaları alınarak bir sonuç TSI değeri bulunmaktadır. Carlson (1977) Carlson'un belirlemiş olduğu nümerik skala 0-40 oligotrofik; 40-50 mesotrofik, >50 ötrofik şeklindedir. Oligomesotrofik seviye ($30 < \text{TSI} < 40$), mesotrofikten ötrofik seviyeye geçiş ($40 < \text{TSI} < 60$), ötrofikten hiperötrofik seviyeye geçiş ($60 < \text{TSI} < 70$) ve hiperötrofik seviye ($\text{TSI} > 70$) şeklinde sınıflandırma yapılabilir (Coelho ve diğ. 2007).

Carlson'un belirlemiş olduğu ve Uluabat Gölü'nün trofik seviyesinin hesaplanmasında kullanılan formüller şu şekildedir:

$$\begin{aligned} 1. \text{TSI}_{SD} &= 10 * \left(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right) & 2. \text{TSI}_{CHL} &= 10 * \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln CHL}{\ln 2} \right) \\ 3. \text{TSI}_{TP} &= 10 * \left(6 - \frac{\ln \frac{48}{TP}}{\ln 2} \right) & 4. \text{TSI}_{TN} &= 10 * \left(6 - \frac{\ln \frac{1.47}{TN}}{\ln 2} \right) \end{aligned}$$

3.7.5. Delft-3D Modelleme Programı

Modelleme, belirli hedeflere ulaşmak için gerçek bir sistemin simülasyonu veya performansını değerlendiren temel bilgi ve deneyimin uygulanması prosesidir (Khandan 2002). Yüzeysel su kalitesi modelleri ile suların fiziksel, kimyasal ve diğer çevresel faktörlerin zamansal ve bölgesel değişimleri incelenerek, su kalitesi ve su miktarı birlikte ele alınmaktadır. Böylelikle, su otoritelerine planlanan iyileştirme ve geliştirme çalışmalarının sonuçlarını değerlendirme olanağı sunulmaktadır (Ekdal ve Tanık 2008). Tüm dünyada ve ülkemizde su kaynaklarının korunması ve daha etkin kullanılabilmesi için su kalite modellerinin etkin bir yönetim aracı olarak kullanımına dair birçok örnekler verilebilmektedir (Kaçıkoç 2013). Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler ve modelleme teknolojilerinde sürekli ilerlemelerin sonucu olarak, daha fazla hassasiyet ve daha geniş uygulamalar elde edilmiş ve nümerik modellerin çevresel etkilerin değerlendirilmesi alanındaki kullanımı gelişmiştir (Hok-shing 2006).

Tez çalışmasında kullanılan Delft-3D modeli, havzadaki atık yüklerini, hidrolojisini ve üç boyutlu olarak su kalitesini modelleyebilen bir modeldir, ArcGIS programı ile bağlantılı olarak çalışabilmektedir. Göllerde, su kalitesi ve miktarı ile ilgili olan problemler için teknik ve ekonomik olarak uygun çözümler üretmek üzere kullanılan bir yazılımdır. Delft-3D modelleme programının 3.28.10 versiyonu kullanılmıştır. Bu model Hollanda'da bulunan "WL/Delft Hydraulics" bağımsız araştırma enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Delft3D, iki veya üç boyutlu akış, sediment taşınımı ve morfolojisi, dalgalar, su kalitesi ve ekoloji gibi süreçleri ve bunlar arasındaki

etkileşimleri simüle edebilen, esnek, birleşik bir modelleme yazılım paketidir. Delft3D birbirleri ile bağlantılı ve bütünleştirilmiş modüllerden oluşmaktadır. Bu modüller;



Şekil 3.5. Delft-3D Yazılımının Modülleri

- Hidrodinamik modül – Delft3D-FLOW
- Dalga modülü – Delft3D-WAVE
- Su kalitesi modülü – Delft3D-WAQ
- Partikül izleme modülü – Delft3D-PART
- Ekoloji modülü – Delft3D-ECO
- Sediment taşınım modülü – Delft3D-SED
- Morfodinamik modülü – Delft3D-MOR'dur.

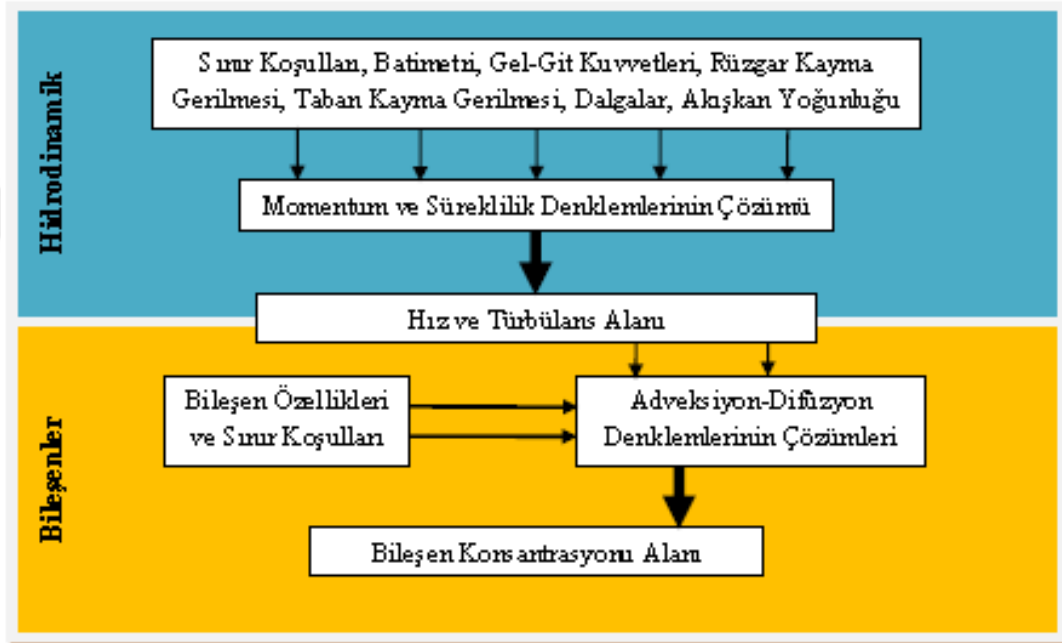
Bu modelleme programı sayesinde Uluabat Gölü için dinamik su kalite modelleme çalışması yürütülmüştür. Delft3D modeli, altı olay ve bu olayların birbirleri ile ilişkilerinin zaman ve uzaysal değişimlerini simüle eder. Prensipite farklı durumlar için uygun iken, model genellikle sahil, nehir ve haliç bölgelerinin modellenmesinde kullanılmaktadır (WL / Delft Hydraulics 2010a).

3.7.5.1. Delft-3D Flow Modülü

Delft-3D Flow (Hidrodinamik Modül), sığ sulardaki kararsız akışı simüle eder. Gelgit, rüzgar, hava basıncı, yoğunluk farkları, dalgalar, türbülans, kuruma ve taşkın etkilerini kapsamaktadır.

Nümerik hidrodinamik modelleme sistemi olan Delft-3D Flow, sıg sular da ve Bousinesq yaklaşımı ile sıkıştırılmayan akışkan için Navier-Stokes eşitliklerini çözümler. Sistem eşitlikleri, yatay momentum eşitlikleri, süreklilik eşitliği ve taşınım (adveksiyon-difüzyon) eşitliklerini içerir.

Şekil 3.6'da modülün kullanımı şematik olarak gösterilmiştir. Bu prosedür her hesaplama adımında tekrarlanmalıdır.



Şekil 3.6. Delft-3D FLOW Modülünün Kullanımı

Delft-3D Flow modülünde kullanılan, 2 boyutlu (2D, derinlik ortalamalı) eşitlikler şöyledir; (WL / Delft Hydraulics 2010a).

Süreklilik Eşitliği;

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = S \quad \dots\dots\dots(1)$$

Burada;

ζ: su yüzeyi kotunu (m),

h: toplam su derinliğini (m) (Şekil 3.7),

u,v: x, y doğrultusunda hız bileşenlerini (m/s),

S: deşarj ya da su çekilmesi, yağış ve buharlaşmaya bağlı birim zamanda birim alan

başına katkıyı temsil etmektedir (m/s).

Yatay momentum eşitlikleri;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{g}{C^2} \frac{u^2}{h} + HDT_x \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{g}{C^2} \frac{v^2}{h} + HDT_y \dots\dots\dots(3)$$

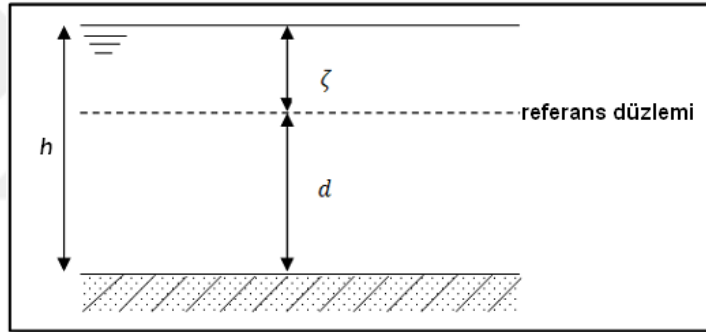
Burada;

g: yerçekimi ivmesi (m/s²),

C: chezy katsayısı (m^{1/2}/s),

h: toplam su derinliği (m),

HDT: yatay difüzyonu (m/s²) ifade etmektedir.



Şekil 3.7. Hidrodinamik yazılımın derinlik elemanları (WL/Delft Hydraulics 2010a)

Delft-3D Flow modülünde, taban direncinin hesaplanmasında kullanılan Chezy katsayısı (C), 3 farklı formülasyon yardımı ile elde edilebilir (WL/Delft Hydraulics 2010a), bunlar:

1. Chezy formülasyonu: C = Chezy katsayısı

2. Manning formülasyonu:

$$C = \frac{\sqrt[4]{h}}{n} \dots\dots\dots(4)$$

Burada;

h: toplam su derinliği (m),

n: manning katsayısını (m^{1/3}/s) ifade eder.

3. White Colebrook formülasyonu:

$$C = 18 \log_{10} \frac{12H}{k_s} \dots\dots\dots(5)$$

Burada;

H: toplam su derinliği (m),

k_s : Nikuradse pürüzlülük yüksekliğini (m) ifade eder.

Delft-3D FLOW modülü; madde ve ısı taşınımını, adveksiyon-difüzyon eşitlikleri ile çözümler sağlar (WL / Delft Hydraulics, 2010a).

$$\frac{\partial[(d+\zeta)C]}{\partial t} + \frac{\partial[(d+\zeta)uC]}{\partial x} + \frac{\partial[(d+\zeta)vC]}{\partial y} + \frac{\partial(\omega C)}{\partial \sigma} = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h(d+\zeta) \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h(d+\zeta) \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] + \frac{1}{d+\zeta} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[D_v \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right] - \lambda_d(d+\zeta)C+S$$

Burada;

C: çözülmüş madde, tuzluluk veya ısı konsantrasyonu,

D_h , D_v : yatay ve düşey dispersiyon (yayılm) katsayılarını,

ω : sigma koordinat sisteminde dikey hız bileşeni,

λ_d : Birinci derece parçalanma prosesi ifadesi,

d: referans düzlemi altında kalan taban yüksekliği,

S: birim alan başına kazanç ve kaybı,

σ : döndürülmüş düşey koordinat (sigma koordinat) sistemini temsil eder.

Zaman Aralığı

Stelling'e göre (1984), sığ su denklemleri için sağlam bir çözücü, aşağıdaki talepleri karşılaması gerekmektedir;

- Sağlamlık (koşulsuz kararlı)
- Doğruluk (an az ikinci derece tutarlılığı)
- Uygunluk (hem zamana bağlı hem de kararlı hal problemleri için)
- Etkinlik (hesaplama için)

Sığ su denklemlerinde zaman bütünleşmesinin doğru sağlanması, uygun seçilen zaman aralığı ile doğrudan bağlantılıdır. Zaman aralığı ise dalga yayılımı için kullanılan

Courant sayısı olarak tanımlanan CFLwave'e dayalıdır. Zaman aralığı ve CFLwave arasındaki bağıntı aşağıda verilmiştir (WL / Delft Hydraulics 2010a).

$$CFL_{wave} = 2\Delta t \sqrt{gh\left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2}\right)} \dots\dots\dots (6)$$

Burada;

CFLwave : Courant sayısı

Δt : Zaman aralığı

g : Yerçekimi ivmesi

h : Yerel su derinliği

Δx : x doğrultusundaki grid ağı boyutu

Δy : y doğrultusundaki grid ağı boyutu

Courant sayısı, yayılma hızı ve zaman aralığı arasındaki ilişkiyi vermektedir. Bunun yanında zaman aralığının büyüklüğü toplam işlem zamanını belirlemektedir. Toplam işlem sürecini azaltmak için, doğruluk ve kararlılıktan kayıp yaşanmasını önleyecek uygunlukta, en büyük zaman aralığının seçilmesi gereklidir (Dortch ve diğ. 2008).

Genel olarak, Courant sayısı 10 değerini aşmamalıdır. Ancak daha küçük mekansal ve zamansal varyasyonlar ile ilgili problemler için, Courant sayısı gerçekte daha büyük alınabilir (WL / Delft Hydraulics 2010a).

Hidrodinamik modülden elde edilen sonuçlar, Delft-3D'nin tüm diğer modüllerinde kullanılabilir. Sonuçlar, dinamik bir şekilde, bir iletişim dosyası aracılığı ile modüller arasında değiştirilebilir. Çözünmüş madde ve kirletici konsantrasyonları gibi temel su kalitesi parametreleri, hesaplamalarda kullanılabilir. Ancak, daha kompleks su kalitesi simülasyonlarında, hidrodinamik modül, uzak alan su kalitesi modülü (WAQ), nutrient fitoplankton modülü (ECO), yakın alan partikül izleme modülü (PART) ile birleştirilir (WL / Delft Hydraulics 2010a).

3.7.5.2. Delft-3D WAQ Modülü

Delft-3D WAQ, 2 veya 3 boyutlu olarak kullanılabilen su kalitesi modelidir. Bu model önceden tanımlanmış hesaplama bölmelerinde adveksiyon-difüzyon-reaksiyon eşitliklerini çözümler. Delft-3D WAQ hidrodinamik bir modül değildir, bu nedenle akım ortamı bilgilerini Delft-3D Flow modülünde hesaplanan hidrolik koşulları (akım hızları, su kodları, yoğunluk, tuzluluk vb.) kullanır. Delft-3D WAQ modelinin tahminini yapabileceği su kalite değişkenleri (WL/Delft Hydraulics, 2010b);

- Ağır metaller
- Alglar
- Askıda sediment
- Bakteriler,
- BOI ve KOI
- Bozunabilir maddeler
- Çözünmüş oksijen
- Konservatif maddeler
- Nutrientler
- Organik maddeler
- Organik mikro kirleticilerdir.

Delft-3D WAQ fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesleri açıkça belirtme imkanı da sağlar (WL/Delft Hydraulics, 2010b). Bunlar;

- Çökme ve yeniden askıya geçme,
- Yeniden havalanma,
- Alg büyümesi ve ölümü,
- Organik maddenin mineralleşmesi,
- (de)nitrifikasyon,
- Ağır metallerin adsorpsiyonu ve
- Organik mikro-kirleticilerin buharlaşması prosesleridir.

Delft3D-WAQ geniş bir uygulanabilirliğe sahiptir. Tek gereksinimi su sisteminin hidrodinamik tanımlanmasının mevcut olmasıdır. Bu modelin uygulama çalışmaları,

ötrofikasyon, tabakalaşmış sistemlerde çözünmüş oksijen düşmeleri, kirlilik yüklerinin nutrient konsantrasyonundaki etkisi ve birincil üretim, ağır metal taşınımı gibi birçok uygulama içerir (WL/Delft Hydraulics, 2010b).

Delft-3D WAQ, çok çeşitli maddeler için, adveksiyon-difüzyon eşitliklerini kullanarak, taşınım ve su kalite proseslerini nümerik olarak simüle eder. Teorik olarak, su kalite modülü, her bir hesaplama hücresi için kütle dengesini sağlar.

Adveksiyon-difüzyon eşitliklerinin, kararlı maddeler için kütle korunumu ve Fick kanunlarına göre, genel formülasyonlarının basitleştirilmiş biçimleri aşağıda verilmiştir (WL/Delft Hydraulics, 2010b);

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U_i \frac{\partial C}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} E_i \frac{\partial C}{\partial x_i} \dots\dots\dots(7)$$

Burada;

- C: konsantrasyonu, ML^{-3} ,
- t: zamanı, T,
- u_i : i yönündeki ortalama hızı, LT^{-1} ,
- x_i : i yönündeki uzaklığı, L,
- E_i : i yönündeki difüzyon katsayısını ifade eder.

Taşınım için sonlu hacim yöntemi adveksiyon difüzyon eşitliklerini çözmek için nümerik bir metottur. Bu hesaplama yöntemi ile devam eden ve y ve z yönünde taşınım bölümünün eklenmesi ile oluşan 3 boyutlu adveksiyon difüzyon eşitliği aşağıdaki gibidir (WL/Delft Hydraulics, 2010b);

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V_x \frac{\partial C}{\partial x} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - V_z \frac{\partial C}{\partial z} + S + f_R(C, t) \dots\dots\dots(8)$$

Burada;

- D_x, D_y, D_z : x, y, z doğrultularındaki dispersiyon (yayılm) katsayılarını,
- S: deşarj ve atık yüklerini,
- v_x, v_y, v_z : x, y, z doğrultularındaki hız bileşenlerini,

- $f_R(c,t)$: biyolojik, bakteriyolojik, ekolojik, kimyasal veya diğer reaksiyonları temsil eder.

Eşitlikteki, yatay doğrultudaki dispersiyon kullanıcı tarafından girilirken, su kolonu boyunca düşey doğrultudaki dispersiyon hidrodinamik hesaplamadan elde edilir.

Delft-3D WAQ modülünün bir aracı olarak bilinen proses kütüphanesinde prosesler oluşturulması gerekmektedir. Burada, ağır metallerin tanımlanan prosesleri için gerekli başlangıç koşulları ölçüm değerleri baz alınarak modülün istediği birimler doğrultusunda modele tanımlanacaktır.

Ölçülecek parametreler ve birimleri Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.2. Delft-3D WAQ Başlangıç koşulları parametreleri ve birimleri

Parametre	İstenen Birim
Çözünmüş Ağır Metal	g/m^3
Partiküler Ağır Metal	g/m^3
Sedimentteki Ağır Metal	$g/segment$

Model suda çözünmüş, askıdaki, sedimentin yüzey tabakasındaki (S1) ve alt tabakadaki (S2) toplam metal konsantrasyonlarını, sedimentin yüzey ve alt tabakasında bulunan çözünmüş ve askıdaki formda bulunan metalleri de modelleyebilmektedir.

Bu bağlamda oluşturulabilecek prosesler şunlardır,

- Adsorbe olmuş maddelerin sedimantasyonu: bu proses partikül halinde bulunan (askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan) maddelere adsorbe olmuş organik mikro kirleticilerin, ağır metallerin ve fosforun sedimantasyon akılarını hesaplamaktadır.
- Adsorbe olmuş maddelerin resüspansiyonu: bu proses organik mikro kirletici fraksiyonlarının ve partikül maddelere adsorbe olmuş olan ağır metallerin resüspansiyon akılarını hesaplamaktadır.
- Ağır metallerin dağılımları: dağılım prosesi, herhangi bir maddenin çözünmüş, adsorbe olmuş ve çökelmiş türleri arasındaki dağılımı göstermektedir. Ağır metaller, inorganik maddelere (IM1-3), ölü organik maddelere (partikül organik karbon, POC ve

çözünmüş organik madde, DOC) ve fitoplanktonlara (Alg) adsorbe olmaktadır. Ağır metallerin dağılımına denge süreci olarak tanımlanan sorpsiyon neden olmaktadır. Denge prosesi lineer dağılım katsayısıyla ilgilidir. Lineer dağılım katsayısı da organik karbon miktarına ya da inorganik partikül maddenin kuru ağırlığı miktarına bağlıdır. Çözünmüş organik karbon için belirlenen katsayı, partikül organik karbon için belirlenen katsayının bir oranı olmasına rağmen dağılım katsayısı inorganik ve organik madde bileşimine göre farklı olabilmektedir. İnorganik maddenin adsorbsiyon kapasitesi, demir hidroksitler, alüminyum hidroksitler, mangan oksit ve illit gibi kil minerallerine bağlıdır. Bundan başka adsorbsiyon pH, redoks potansiyeli ve kompleks oluşumuna önemli olarak bağlı, sıcaklığa ise zayıf şekilde bağlıdır. Redoks potansiyeline olan bağlılık demir ve manganın düşük redoks potansiyelinde indirgenmesiyle ilişkilidir. Düşük redoks potansiyeli sedimentteki adsorbsiyon kapasitesinin düşmesine neden olur. Kompleks oluşumu metale özgüdür ve hidroksil, bikarbonat, klorit, sülfid, sülfat gibi ligandların çok olmasına bağlıdır. Bu nedenle sedimentteki kompleks oluşumu su kolonundakinden çok daha güçlüdür.

Bu proses aşağıdaki maddeler için uygulanmaktadır,

- Sülfürle bileşik oluşturan metaller Cd, Cu, Zn, Ni, Hg, Pb (Grup 1)
- Hidroksitle bileşik oluşturan metaller Cr (Grup 2)
- Anyonik formda olan metaller As (Grup 3).

Bu gruplardaki dağılım, önemli ölçüde oksitleyici-indirgeyici koşullar altında model tarafından tanımlanan çeşitli denklemler yardımı ile belirlenmektedir(WL/Delft Hydraulics, 2010b).

Gölün hidrodinamik durumu da baz alınarak seçilecek metal prosesleri (Cr ve Ni için) belirlenerek uygun senaryolar ile model çalıştırılacak ve metallerin mevcut koşullardaki davranışları bu şekilde değerlendirilecektir.

3.7.6. Su Kalite Model Performansını Değerlendirme Yöntemi

Modelleme çalışmalarında, kullanılan modelin, su sistemini gerçekçi olarak temsil ettiğini ispat etmek son derece önemlidir. Ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için, “kalitatif karşılaştırma” ve “kantitatif karşılaştırma” olmak

üzere 2 genel yaklaşım vardır. Kalitatif karşılaştırma, ölçüm sonuçları ve simülasyon sonuçlarının oluşturulan grafikler yardımı ile görsel olarak kıyaslanmasına dayanır. Kantitatif karşılaşmada ise, istatistiksel analizlerden faydalanılarak, ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının uyumunun, sayısal olarak kıyaslanması sağlanabilir (Kaçıkoç 2013).

Tez çalışmasında, hidrodinamik modelin performansı, kalitatif (görsel) karşılaştırma yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Su kalite modeli simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçlarının uyumunun değerlendirilmesi için ise kalitatif (görsel) ve kantitatif (istatistiksel) karşılaştırmaların kombinasyonu kullanılmıştır.

Su kalitesi model performansı 3 ayrı istatistiksel gösterge ile değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki lineer regresyon ile *determinasyon katsayısı* (R^2), ikincisi *ortalama karekök hatası* (RMSE) ve üçüncüsü *relatif ortalama karekök hatası* (RRMSE) değerleridir. Kalibrasyon ve doğrulama işlemleri sonucunda ölçümler ile model sonuçları arasındaki uyum R^2 değeri ile, ölçümler ile model sonuçları arasındaki hata oranı ise RMSE ve RRMSE değerleri ile hesaplanmıştır.

Model performansını test etmek için uygulanan lineer regresyona ilişkin eşitlik aşağıda görülebilir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Burada;

x ve y : sırasıyla ölçülen ve model sonucunda tahmin edilen değerler,

β_0 : y -eksenini kestiği nokta,

β_1 : regresyon doğrusunun eğimi,

ε : hata terimidir.

Bu uygulama için $\beta_0=0$ ve $\beta_1=1$ ve $\varepsilon=0$ ideal şartları tanımlar. İdeal şartlar model ile ölçüm sonuçlarının tam uyumudur. Lineer regresyondan elde edilen determinasyon katsayısı (R^2) ise model tahminleri ile ölçümler arasındaki doğrusal uyumluluk ölçütüdür. İdeal şartlarda $R^2=1.0$ değerine ulaşılır ve model tahminleri ile ölçümler tamamen uyumludur denilir (Çakmakçı ve diğ. 2010, Ramos ve diğ. 2011).

Tablo 3.3. Model Performans Sınıfları (Parajuli ve diğ. 2008)

R ² aralığı	Sınıf
≥0,90	Mükemmel
0,89≥R ² ≥0,75	Çok iyi
0,74≥R ² ≥0,50	İyi
0,49≥R ² ≥0,25	Makul
0,24≥R ² ≥0,0	Zayıf

Model performans sınıfını test etmek için belirlenen R² değerleri Parajuli ve diğ.'nin belirlemiş oldukları sınıflandırmaya göre sınıflandırılabilir. Buna göre model geçerliliği test edilir.

Model performansını test etmek ve hata oranını belirlemek için hesaplanan RMSE ve RRMSE değerlerine ilişkin eşitlikler aşağıda görülebilir:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (X_i - Y_i)^2}{N}} \dots\dots\dots(9)$$

$$RRMSE = \frac{RMSE}{X_{ort}} * 100 \dots\dots\dots(10)$$

Eşitlikte x_i ölçülen değerleri, y_i simülasyon sonucu elde edilen değerleri, x_{ort} ölçüm değerlerinin ortalamasını, N ise veri sayısını ifade etmektedir. RMSE, model performanslarının değerlendirilmesinde sıkça kullanılan istatistiksel bir yöntemdir ve RMSE değerinin, sıfıra eşit olması en iyi model performansının sağlandığını gösterir. RMSE, simüle edilen her bir değişkenin sahip olduğu birimi alır. RRMSE ise elde edilen farklı birimlere sahip olan RMSE değerlerini, standartlaştırır ve standart değişimin yüzde olarak ifade edilmesini sağlar. RRMSE yardımı ile hata değerleri yüzde olarak ifade edildiğinde, simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçlarının uyumunun değerlendirilmesinde, daha açık bir karşılaştırma yöntemi geliştirilmiş olur (Kaçıkçıoğlu 2013).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Göllerdeki su ve sediment kalitesinin değerlendirilebilmesi için havzanın karakteristiğinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Havzadaki kullanım alanlarının (Tarımsal, ormanlık alanlar, yerleşim alanları), su seviyesinin, uzun dönem yağış ve debi ortalamalarının, belirlenmesi önemlidir. Daha sonra, fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler yorumlanmaktadır (Katip 2010).

Uluabat Gölü su ve sediment kalitesinin belirlenmesi üzerine yapılan bu çalışmada çeşitli fizikokimyasal analizler yapılmıştır. Bir yıllık izleme süreci sonrasında bu parametrelerin mevsimsel değerleri Tablo 4.1 ve 4.2’ de, aylık değişimleri ise Tablo 4.3 ve 4.4’de sunulmuştur. Örnekleme noktalarına bağlı değişim ise GIS’e göre değerlendirilmiş ve bir sonraki başlık altında sunulmuştur.

Tablo 4.1. Uluabat Gölü Su Kalitesi Mevsimsel Değerleri
(Ağustos 2013 - Temmuz 2014 İzleme Süreci)

Parametre	Ort±SD	Max-Min	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
AKM (mg/l)	29,02±19,9	92-4	31,2	28,2	35,0	21,6
Alkalinite (mg CaCO ₃ /l)	238,4±17,0	285-193	235,3	234,4	227,6	256,4
BOI (mg/l)	23,3±11,3	50-5	26,9	25,5	12,6	28,2
Çöz.Oksijen (mg/l)	10,1±1,0	12,3-7,3	9,1	9,6	11,1	10,6
İletkenlik (µs/cm)	628,4±37,9	766-530	597,9	641,6	641,1	632,8
Klorofil-A (mg/m ³)	5,7±4,4	16,07-0,14	6,62	8,91	3,69	3,79
KOI (mg/l)	71,9±41,6	192-16	78,9	110,8	36,7	61,3
NH ₄ -N (mg/l)	0,32±0,79	6,3-0	0,28	0,84	0,09	0,07
NO ₃ -N (mg/l)	1,00±1,92	9,8-0	2,21	1,15	0,53	0,11
Kjeldahl-N (mg/l)	13,47±3,06	23,1-9,1	15,9	13,8	12,6	11,4
TN (mg/l)	14,48±4,58	32,9-8,4	18,1	15,0	13,1	11,5
ORP (mV)	367,59±59,73	546-250	318,2	362	391,5	398,6
pH Parametresi	8,54±0,17	9,1-8,1	8,5	8,6	8,5	8,4
Sertlik (mgCaCO ₃ /l)	314,06±21,71	394-260	298,6	307,8	317,7	332,0
Sıcaklık (°C)	16,31±6,37	26,4-5,8	22,3	17,3	9,0	14,1
TDS (mg/l)	401,66±0,02	500-300	397	407	403	400
PO ₄ -P (µg/l)	38,88±15,43	74,4-20,6	50,4	46,5	32,2	26,3
TP (µg/l)	61,87±15,22	131,7-38,7	77,5	64,1	51,6	54,2
Seki Derinliği(m)	0,69±0,53	2,2-0,18	0,46	0,60	0,74	0,97
Derinlik(m)	1,96±0,51	3,2-0,6	1,82	1,61	2,24	2,16

Tablo 4.2. Uluabat Gölü Sediment Kalitesi Mevsimsel Değerleri
(Ağustos 2013 - Temmuz 2014 İzleme Süreci)

Parametre	Ort±SD	Max-Min	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar
pH	8,3±0,35	8,98-7,3	8,457	7,917	8,41	8,48
EC(μs/cm)	319,6±67,4	601-219	368,4	322,8	284,9	302,5
Organik Md.(%)	3,69±0,49	4,6-2,1	3,90	3,74	3,43	3,70
Nem içeriği(%)	24,2±4,9	35,3-15,3	19,75	25,01	27,55	24,58
NH ₄ -N(mg/kg)	72,77±56,70	273-7	105	105,46	34,53	46,08
NO ₃ -N(mg/kg)	11,55±38,37	336-0	18,6	24,5	0	3,0
TN (mg/kg)	3302,83±1697,89	8260-700	4690	4246,6	1960	2314,6
PO ₄ -P (mg/kg)	99,63±81,16	301,0-2,5	105,4	23,3	99,9	169,8
TP (mg/kg)	330,61±288,72	1233,6-11,5	336,5	57,35	357,4	571,1

Yüzeysel suların karakterizasyonunun değişmesinde, potansiyel olan doğal ya da antropojenik etkilerin değerlendirilmesi önemlidir (Akbal ve diğ. 2011). Uluabat Gölü suyunun fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi sonucunda, parametrelerin mevsimsel olarak değişiklik gösterdiği görülmektedir. Bir su kütlesinin genel karakterinin belirleyen en önemli parametrelerden biri de sıcaklıktır (Singh ve diğ. 2008). Pek çok fizikokimyasal faktör ortam sıcaklığından önemli düzeyde etkilenir. Tablo 4.1 ve 4.2’de görüldüğü üzere mevsimler arasındaki farklılıklar, yaz boyunca artan sıcaklık ve buharlaşma konsantrasyonlarda artışa, kışın meydana gelen yağışlar ve havzadan gelen yüzeysel akışlar nedeni ile meydana gelen seyrelmelere bağlanmıştır (Singh ve diğ. 2008).

Sıcaklık, toplam azot, toplam fosfor maksimum değerlerini yazın, minimum değerlerini kışın almıştır. Nitrat azotu, kjeldahl azotu, fosfat fosforunun maksimum değerleri yazın, minimum değerleri ise ilkbahar aylarında ölçülmüştür. Toplam fosfor, ilkbahar mevsiminde fotosentezin hızlanması sonucunda alglerin fosforu kullanmasının ve yağışların artmasıyla gölde seyrelmenin meydana gelmesi nedeni ile artmış olabileceği düşünülmüştür. pH değerlerinin mevsimsel ortalamaları birbirine yakın olmakla beraber en yüksek değer yaz mevsimi içerisinde Temmuz ayında (9,1) görülmüştür. Doğal suların pH aralıkları 6 ile 9 arasında bulunmaktadır. Bileşimleri ise asit ve baz ilişkilerinden etkilenmektedirler. Fotosentez, solunum gibi biyolojik aktiviteler, CaCO₃’ün çökmesi ya da çözünmesi CO₂’yi azaltıp artırdığı için pH’ı etkilemektedir.

Oksitlenme reaksiyonları pH'ı düşürürken, denitrifikasyon ve sülfatın indirgenmesi pH'ı artırmaktadır (Stumm ve Morgan 1996). Temmuz ayındaki yüksek pH değerinin nedeni olarak yaz aylarında artan fotosentez sırasında planktonların çözünmüş inorganik karbonu asimile etmeleri sırasında asidik özelliğin azalması ve alkalitenin artmasının olabileceği düşünülmüştür (Hacısalıhoğlu ve diğ. 2016).

Sularda organik kirlenmeyi gösteren parametrelerden olan çözünmüş oksijen, BOI ve KOI konsantrasyonlarının değişimleri incelendiğinde, BOI maksimum değerine ilkbahar, KOI ise sonbahar mevsiminde ulaşmıştır, yaz mevsimi değerlerinin de oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Minimum değerleri ise kış mevsiminde ölçülmüştür. Sıcaklık ile ters ilişkili olan çözünmüş oksijen parametresinin ise en yüksek değeri kış mevsiminde, en düşük değeri ise yaz mevsiminde ölçülmüştür. Bunun sebebinin yaz aylarında mikrobiyal aktivitenin artması sebebiyle organik maddelerin bozunma hızları artmaktadır. Bu nedenle de çözünmüş oksijen seviyesi düşmekte, KOI ve BOI konsantrasyonları da artmaktadır. Bahar ve kış aylarında yağmurların ve rüzgarların şiddetinin artmasıyla sirkülasyon oluşması ve gölü besleyen su debilerinin artması sonucu meydana gelen karışımların etkisiyle göl suyu tekrar oksijen kazanmaktadır. Ayrıca seyrelmenin artmasıyla organik kirleticilerin konsantrasyonları düşmektedir (Katip 2010).

Askıda katı madde miktarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, en yüksek kış mevsiminde, en düşük ilkbahar mevsiminde ölçüldüğü görülmüştür. Yaz mevsiminde de yüksek konsantrasyona sahip olduğu görülmektedir. Uluabat Gölü sığ bir göl ve konumu itibari ile çok fazla rüzgara maruz kalmaktadır. Askıda katı madde miktarının artması, sediment karışımının meydana gelmesi nedeniyle olabileceği düşünülmüştür. Zira göl genel durum itibari ile saat 14.00'den sonra aşırı rüzgara maruz kalmakta ve sedimentin havalanması ile kahverengi hal almaktadır. Bunun dışında MKP Çayı'nın da göle yüksek miktarda katı madde taşıdığı bilinmektedir (Aksoy ve Özsoy 2002, Katip 2010, İleri 2010, Sarmaşık 2012, Karaer ve diğ.2012). Ayrıca yaz aylarında alglerin çoğalmaya başlaması ile de katı madde miktarının artması olağandır (Stumm ve Morgan 1996).

Gölde su derinliği incelendiğinde beklendiği üzere en yüksek seviyenin kış aylarında, en düşük seviyenin ise kurak geçen sonbahar aylarında ölçüldüğü tespit edilmiştir.

Işık geçirgenliğinin bir göstergesi olan seki derinliği çözünmüş minerallere bağlı olarak oluşan renge, aşırı yağışların getirdiği askıda katı maddelere, rüzgarın etkisi nedeni ile oluşan dalgalanma ile meydana gelen sedimentin tekrar suya karışmasıyla ve alg miktarına bağlı olarak değişmektedir. Seki derinliğinin en yüksek olduğu dönem ilkbahar mevsimi, en düşük olduğu dönem ise yaz mevsimidir. Yaz mevsiminde akarsu debilerinin azalması, gölde su seviyesinin düşük olması, hakim rüzgarın etkisiyle sirkülasyonlar meydana gelmesi, göle karışan askıda katı madde miktarının artması gibi nedenlerle, seki derinliği değerlerinde düşüşler olduğu düşünülmektedir.

Sedimentteki kirlilik parametrelerinin mevsimlere göre değişimleri incelendiğinde, fosfor fraksiyonları dışında diğer parametrelerin birbirlerine yakın değerlere sahip oldukları belirlenmiştir.

Sediment kalitesi parametrelerinin mevsimsel değişiminde, elektriksel iletkenlik, organik madde içeriği, amonyum azotu, toplam azot parametrelerinin en yüksek yaz mevsiminde, en düşük konsantrasyonlarının ise kış mevsiminde ölçüldüğü tespit edilmiştir. Toplam fosfor ve fosfat fosforu konsantrasyonlarının ise en yüksek ilkbahar mevsiminde, en düşük sonbahar mevsiminde ölçüldüğü görülmektedir. Sedimentin nem içeriği ise tahmin edilebileceği üzere, yaz mevsiminde en düşük, kış mevsiminde en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Yüzeysel sularda fosfor konsantrasyonunun azalmasında, çökeltme önemli bir mekanizmadır (İleri 2010). Çökeltme ile oluşan net kayıp sığ göllerde çok azdır. Bunun sebebi, stabil olmayan tabakalaşma, çöken materyalin tekrar askıda hale geçmesi ve nutrientlerin sedimentten serbest hale geçerek suya karışmasıdır. Bu nedenlerden dolayı, sığ göller derin göllere göre daha yüksek fosfor konsantrasyonuna ve fitoplankton biyomasına sahiptirler (Hejzlar ve Vyhnalek 1998).

Uluabat Gölü su ve sediment kalitesinin zamansal değişimleri göl ortalamaları alınarak tablolar halinde aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4.3. Uluabat Gölü Su Kalitesi Aylık Değişimi

Aylar	Ağustos 13	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz 14
pH	8,4±0,1	8,5±0,1	8,5±0,1	8,6±0,1	8,5±0,0	8,5±0,1	8,6±0,1	8,5±0,1	8,43±0,15	8,4±0,0	8,3±0,1	8,7±0,17
EC(µs/cm)	618,3±17,8	623,9±18,1	637,9±28,6	663,2±44,9	636,7±49,6	642,3±54,4	644,5±19,6	652,2±15,7	628,5±3,0	617,8±22,0	582,0±35,3	593,6±32,6
Sıcaklık (°C)	24,9±0,8	22,9±0,1	14,7±1,0	14,4±0,6	6,8±0,8	9,1±0,3	11,0±0,3	9,4±0,6	15,4±0,2	17,5±0,2	24,4±0,8	24,6±1,0
TDS (mg/l)	400,0±0	400,0±0	400,0±0	420,0±0,04	400,0±0	410,0±0,0	400,0±0	400,0±0	400,0±0	400,0±0	390,0±0	400,0±0
ORP (mV)	322,8±54,5	338,2±38,6	344,6±34,4	403,2±41,6	331,7±41,0	430,6±47,3	412,2±50,8	373,8±22,0	416,5±32,3	405,5±39,8	363,5±33,5	268,5±23,6
ÇO (mg/l)	8,1±0,8	8,9±0,6	10,0±0,6	10,0±0,6	11,0±0,1	11,0±0,2	11,2±0,2	11,5±0,34	10,0±0,2	10,1±0,3	9,9±0,1	9,3±0,2
Alkalinite (mg/l)	235,0±6,2	236,4±7,5	239,0±9,6	228,0±15,8	218,7±14,0	232,3±21,3	231,8±12,6	257,2±5,5	254,7±16,0	257,2±9,0	241±8,8	230±17,2
Sertlik (mg/l)	300,8±9,3	304,2±4,0	304,6±8,4	314,8±27,0	309,0±14,9	321,0±30,4	323,2±18,3	333,6±7,5	329,6±13,4	333,0±12,4	309,0±22,0	286,0±19,6
AKM(mg/l)	47,6±22,4	30,4±20,5	7,6±6,3	46,7±28,8	52,0±16,6	30,0±10,0	23,2±11,4	22,0±14,4	20,4±12,3	22,4±11,0	24,4±12,7	21,6±12,6
NH ₄ -N(mg/l)	0,6±0,5	0,6±0,4	1,2±2,2	0,6±0,7	0,07±0,2	0,1±0,4	0,07±0,2	0,0±0,0	0,0±0,0	0,2±0,4	0,2±0,33	0,00±0,0
NO ₃ -N(mg/l)	4,8±2,4	3,1±1,7	0,2±0,5	0,0±0,0	0,0±0,0	1,1±2,8	0,4±1,3	0,07±0,2	0,0±0,0	0,2±0,6	0,3±0,49	1,47±1,06
Kjeldahl -N (mg/l)	18,4±2,1	16,3±1,9	14,8±2,9	10,5±2,2	12,9±1,7	13,5±2,9	11,4±2,1	11,3±2,3	11,4±1,4	11,6±1,7	13,8±1,6	15,5±1,1
TN (mg/l)	23,3±4,1	19,4±2,9	15,1±3,0	10,5±2,2	12,9±1,7	14,7±5,6	11,9±2,6	11,4±2,3	11,4±1,4	11,9±1,9	14,1±1,7	17,01±2,0
PO ₄ -P (µg/l)	64,9±14,2	57,7±12,7	43,9±8,2	38,0±8,7	40,6±7,2	30,1±7,0	25,9±6,5	25,9±4,9	25,8±3,7	27,3±4,7	37,0±11,8	49,2±14,3
TP (µg/l)	75,7±12,3	68,9±6,3	59,1±7,5	64,3±5,5	59,9±8,6	48,8±5,3	46,07±4,6	48,9±3,9	55,8±6,1	57,9±6	66,0±8,0	90,79±23,7
KOI(mg/l)	128,0±33,7	132,4±17,2	137,6±15,4	62,4±15,9	57,4±18,3	25,6±13,5	27,2±7,7	51,2±10,1	67,2±14,7	65,6±17,6	52,8±31,1	56,0±15,5
BOI(mg/l)	23,9±7,0	27,6±7,2	28,4±7,5	20,6±3,8	19,5±2,4	10,6±5,6	7,9±3,6	18,3±9,6	31,7±11,3	34,7±9,5	30,0±13,9	27,0±10,9
Seki Der. (m)	0,2±0,1	0,4±0,1	0,7±0,3	0,6±0,3	0,2±0,1	0,9±0,1	0,9±0,5	1,0±0,5	0,9±0,4	0,9±0,5	0,7±0,2	0,3±0,1
Su Der. (m)	1,36±0,4	1,5±0,3	1,7±0,3	1,6±0,2	2,6±0,3	2,1±0,3	2,0±0,4	2,1±0,3	2,0±0,3	2,3±0,6	2,1±0,4	1,9±0,3
Klorofil-a (µg/l)	12,5±3,4	11,3±2,9	10,6±2,5	4,7±3,7	3,7±3,6	3,1±3,7	4,1±4,1	4,4±3,5	3,6±2,3	3,3±1,1	3,2±2,4	4,1±2,1

Tablo 4.4. Uluabat Gölü Sediment Kalitesi Aylık Değişimi

Aylar	Ağustos 13	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz 14
pH	8,1±0,07	7,7±0,1	7,6±0,1	8,3±0,1	8,5±0,2	8,4±0,2	8,2±0,0	8,5±0,0	8,7±0,1	8,2±0,05	8,6±0,1	8,6±0,1
EC(μs/cm)	344,5±65,2	335,5±40,2	317,6±41,3	315,3±43,4	318,2±33	283,2±39,7	253,4±32,5	257,9±35,9	280±26,3	369,7±91	383,8±82,0	377±74,6
Org. Madde(%)	3,8±0,3	3,7±0,3	3,8±0,5	3,6±0,4	3,6±0,4	2,9±0,4	3,6±0,4	3,6±0,4	3,6±0,4	3,8±0,4	3,7±0,3	4,0±0,4
Nem içeriği(%)	20,3±0,7	22,5±1,5	24,8±5,1	27,7±4,6	27,8±4,1	27,8±5,2	27,0±5,2	26,8±3,7	26,5±3,6	20,3±2,5	19,9±2,5	18,9±1
NH ₄ -N(mg/kg)	192,5±40,4	154,0±51,7	105±56,4	57,4±22	41,3±14,1	22,4±11,3	39,9±18,6	35,7±12,9	45,5±14,8	57,0±13,2	58,1±17,1	64,4±15,7
NO ₃ -N(mg/kg)	53,2±43,9	21,7±43,9	42±104	9,8±26,4	0,0±0,00	0,0±0,0	0,0±0,00	2,8±5,9	3,5±4,9	2,8±3,6	1,4±2,9	1,4±4,4
TN (mg/kg)	6160±912	5068±1191	4746±1031	2926±1527	2170±1096	1876±988	1834±1042	1988±1009	2268±802,3	2688±826,4	3682±834,9	4228±655,9
PO ₄ -P (mg/kg)	12,5±7,39	15,6±10,02	18,2±19,1	36,0±22,5	38,2±18,8	106,9±25,9	154,4±44,9	182,8±59,0	168,5±54,6	158,2±73,8	199,5±66,9	104,2±54,7
TP (mg/kg)	28,2±16,9	53,2±34,2	50,5±31	68,2±23,9	73,1±21,2	349,3±109,9	649,9±268,1	655,2±272,8	603,2±211,4	454,9±223,7	497,9±129,8	483,3±129,5

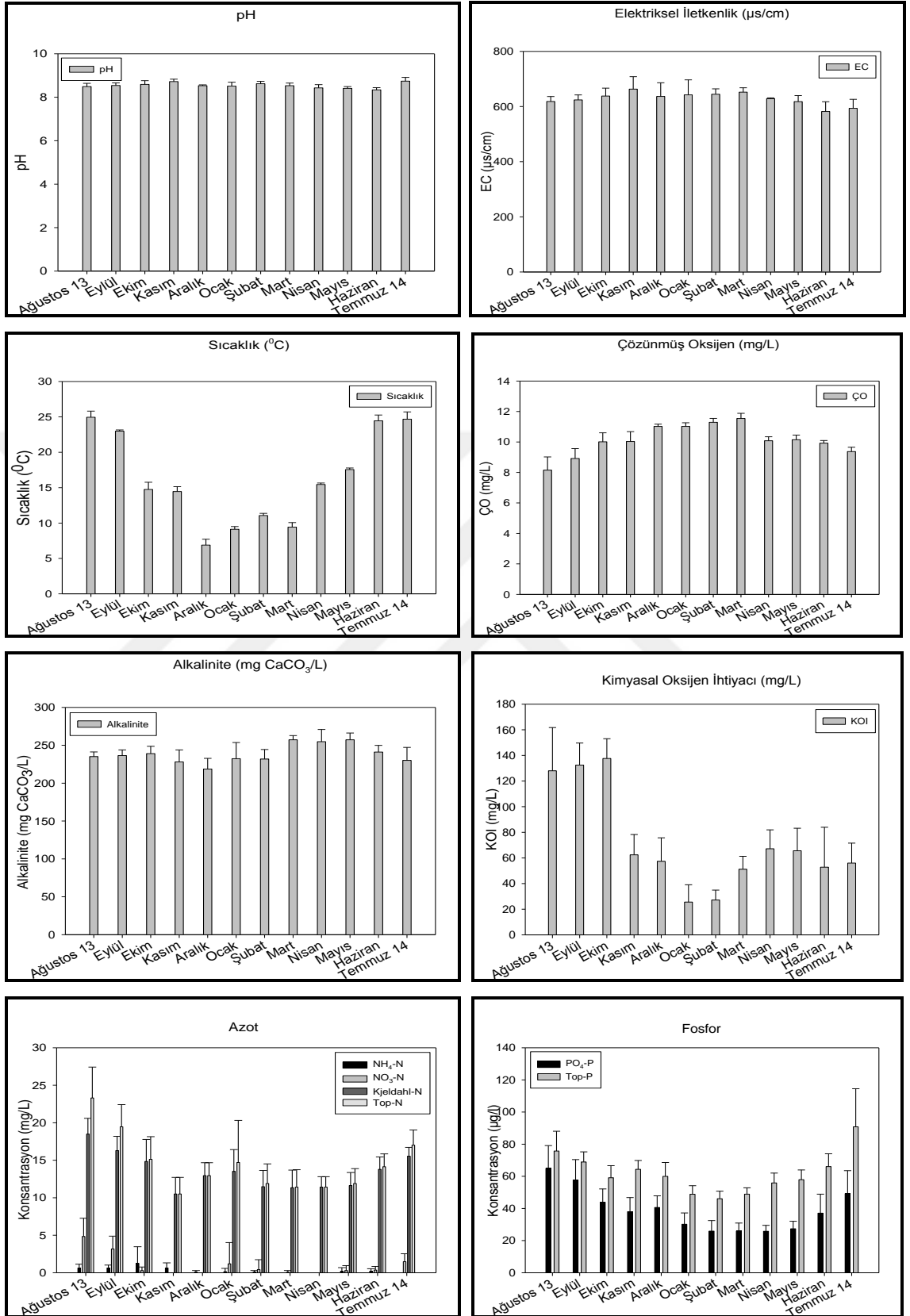
Tablo 4.3 incelendiğinde parametrelerin aylık olarak değişimler gösterdiği görülmektedir. pH'nin en yüksek değeri Temmuz ayında (8,7), en düşük değeri Haziran ayında (8,3), EC'nin en yüksek değeri Kasım ayında (663,2 $\mu\text{s/cm}$), en düşük değeri Haziran ayında (582 $\mu\text{s/cm}$), TDS'nin en yüksek değeri Kasım ayında (420 mg/l), en düşük değeri Haziran ayında (390 mg/l), ORP ise en yüksek değeri Ocak ayında (430,6 mV), en düşük değeri Temmuz ayında (268,5mV) olarak ölçülmüştür. Toplam alkalinite konsantrasyonu en yüksek değeri Mart ve Mayıs aylarında (257,2 mg/l), en düşük değeri Aralık ayında (218,7mg/l), toplam sertlik en yüksek değeri Mart ayında (333,6mg/l), en düşük değeri Temmuz ayında (286mg/l), AKM'nin en yüksek değeri Aralık ayında (52 mg/l), en düşük değeri Ekim ayında (7,6mg/l) olarak ölçülmüştür.

Sudaki azot formlarının ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TKN, TN) en yüksek değerlerinin Ağustos ayında, en düşük değerlerini Mart ve Nisan aylarında ölçüldüğü tabloda görülmektedir. Toplam fosfor konsantrasyonlarının en yüksek değeri Temmuz ayında (90,8mg/l), en düşük değeri Şubat ayında (46mg/l) tespit edilmiştir. Klorofil-a parametresi en yüksek değeri Ağustos ayında (12,5 $\mu\text{g/l}$), en düşük değeri Ocak ayında (3,1 $\mu\text{g/l}$) ölçülmüştür.

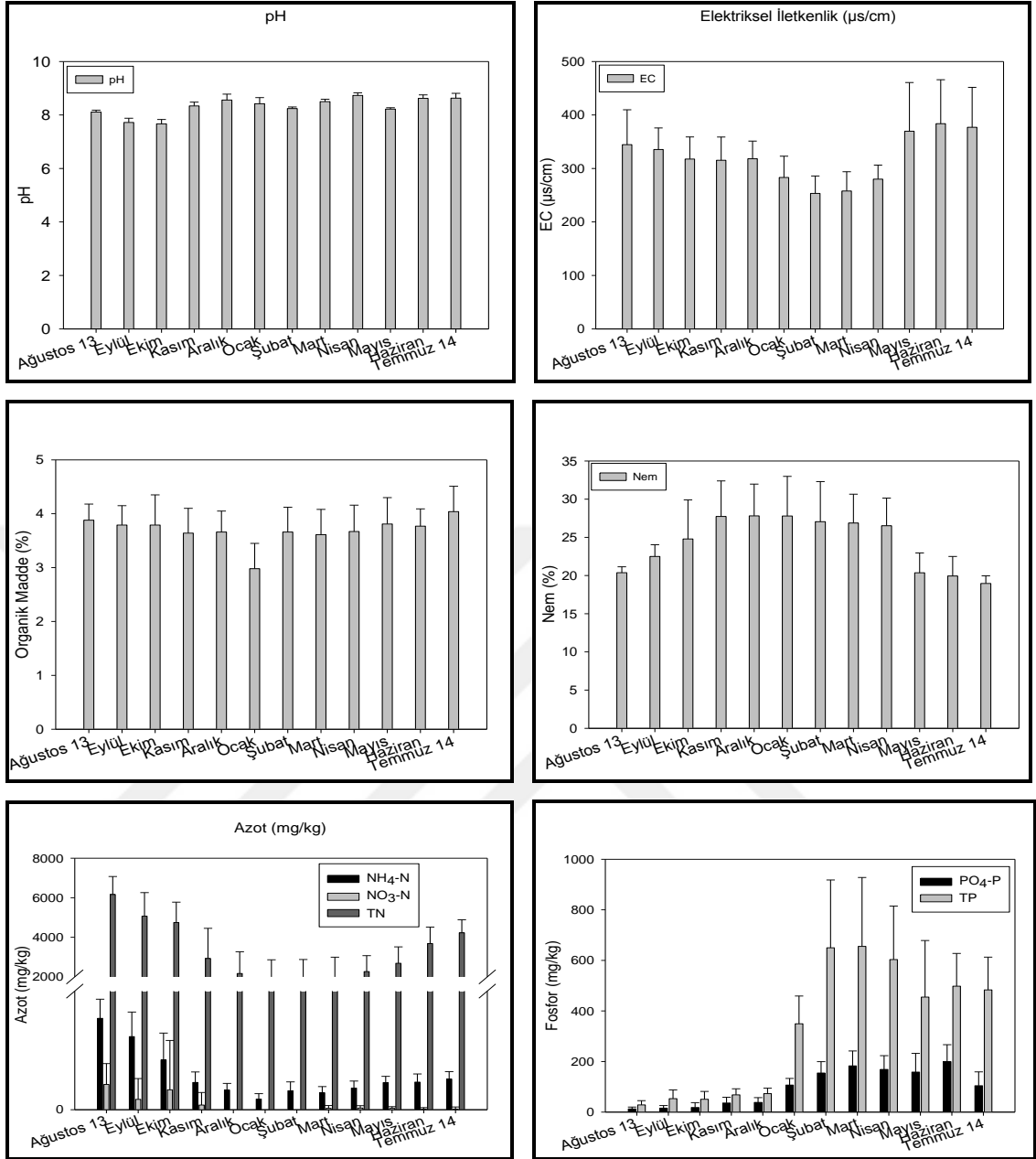
Genel olarak bu değişimler, yaz aylarında mikrobiyal aktivitenin artması sebebiyle olmaktadır. Bu sayede, organik maddelerin bozunma hızları artmaktadır. Bu nedenle de çözülmüş oksijen seviyesi düşmekte, KOI ve BOI konsantrasyonları da artmaktadır. Bahar ve kış aylarında yağmurların ve rüzgarların şiddetinin artmasıyla gölde sirkülasyon oluşması ve gölü besleyen su debilerinin artması sonucu meydana gelen karışımların etkisiyle göl suyu tekrar oksijen kazanmaktadır. Debi artışı ile de konsantrasyonlarda seyrelemeler meydana gelmektedir.

Tablo 4.4 incelendiğinde ise genel olarak bazı azot ve fosfor formları dışında (arakesit geçişleri olabileceğinden) sediment kalitesinin aylık değişimlerinde çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Çünkü gölde hidrolik bekleme süresi 43gün olarak tespit edilmiştir. Bu da, her ay alınan yüzey sedimentinin kısa süreli birikimi söz konusu olamayacağından büyük farklılık göstermesi beklenmemiştir.

Uluabat Gölü su ve sediment kalitesi parametrelerine ait bazı aylık değişim grafikleri Şekil 4.1 ve 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Su Kalitesi Parametrelerinin Aylık Değişimleri



Şekil 4.2. Sediment Kalitesi Parametrelerinin Aylık Değişimleri

Uluabat Gölü'nde yapılan izleme çalışması sonucu elde edilen verilerin tümü, "Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği (2012)" ve "Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (2004)" (SKKY)'inde verilen Kıtaçi Yüzeysel Suların Kalitelerine Göre Sınıflandırılması ve Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne göre değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da sunulmuştur. Tablolar incelendiğinde, Uluabat gölü, sıcaklık, çözünmüş oksijen, nitrat azotu 1. Sınıf, pH, iletkenlik, amonyum azotu, toplam fosfor açısından 2. Sınıf, KOI, BOI ve toplam

kjeldahl azotu açısından ise 4. Sınıf su kalitesine sahip olduğu görülmektedir. Bu değerlendirme bir yıllık izleme sonuçlarının ortalamaları alınarak yapılmıştır. Ancak bazı aylarda çeşitli parametrelerde yönetmelik değerlerinin de üzerine çıktığı görülmüştür (maksimum ve minimum değerler incelenebilir). Ülkemizde “Sediment Kalitesinin” belirlenmesine yönelik bir yönetmelik bulunmadığı için sediment kalite parametreleri kıyaslanamamış, metal içerikleri ise uluslar arası standartlara göre kıyaslanmış ve ilerleyen bölümlerde bilgilerinize sunulmuştur. Sonuç olarak, Uluabat Gölü su kalitesi fizikokimyasal parametreler açısından değerlendirildiğinde 4. Sınıf su kalitesine sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 4.5. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği (2012)

Parametre	Su Kalite Sınıfları				Bu Çalışma
	1	2	3	4	
T (°C)	≤25	≤25	≤30	>30	16.3±6,37
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	<6.0 or >9.0	8.54±0.17
EC (µs/cm)	<400	400-1000	1001-3000	>3000	628.4±37.9
ÇO (mg/l)	>8	6-8	3-6	<3	10.1±1.05
KOI (mg/l)	<25	25-50	50-70	>70	71.9±41.6
NO ₃ -N (mg/l)	<5	5-10	10-20	>20	1.005±1.9
NH ₄ -N (mg/l)	<0.2	0.2-1	1-2	>2	0.32±0.79
TKN (mg/l)	0.5	1.5	5	>5	13.48±3.06
TP (mg/l)	<0.03	0.03-0.16	0.16-0.65	>0.65	0.062±0.015

Tablo 4.6. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (2004)

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları				Bu Çalışma
	I	II	III	IV	
A) Fiziksel ve inorganik- kimyasal Parametreler					
1) Sıcaklık (°C)	25	25	30	> 30	16,3
2) pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0 dışında	8,54
3) Çözünmüş oksijen (mg O ₂ /L)	8	6	3	< 3	10,1
4) Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L)	0,2 ^a	1 ^a	2 ^a	> 2	0,32
5) Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	5	10	20	> 20	1,005
6) Toplam fosfor (mg P/L)	0,02	0,16	0,65	> 0,65	0,062
7) Toplam çözünmüş madde (mg/L)	500	1500	5000	> 5000	401,6
B) Organik parametreler					
1) Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	25	50	70	> 70	71,9
2) Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) (mg/L)	4	8	20	> 20	23,35
3) Toplam organik karbon (mg/L)	5	8	12	> 12	
4) Toplam kjeldahl-azotu (mg/L)	0,5	1,5	5	> 5	13,48
C) İnorganik kirlenme parametreleri					
1) Krom (toplam) (µg Cr/L)	20	50	200	> 200	22
2) Nikel (µg Ni/L)	20	50	200	> 200	12

a: pH değerine bağlı olarak serbest amonyak azotu konsantrasyonu 0.02 mg NH₃-N/L değerini geçmemelidir.

4.2. Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Su ve sediment kalitesi parametrelerinin zamansal ve bölgesel değişimlerinin önemi (Anova) ve parametrelerin birbirleri ile ilişkilerini (Korelasyon) belirlemek amacı ile istatistiksel çalışma yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda SPSS 22.0 istatistik programı ile çalışılmıştır. Çalışma sonucu su ve sediment kalitesi parametreleri için elde edilen Anova tabloları Tablo 4.7 ve 4.8’de bilgilerinize sunulmuştur.

Tablolarda da görüleceği üzere hem zamansal (aylık değişim) hem de bölgesel (örnek alma noktaları) olarak değişimin önemli olup olmadığı değerlendirilmiştir.



Tablo 4.7. Su Kalitesi Parametreleri ANOVA Tablosu

Faktör : Aylar		Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	P
Sıcaklık	Gruplar arası	4787,788	11	435,253	957,447	0,000
	Grup içi	49,097	108	0,455		
	Toplam	4836,884	119			
pH	Gruplar arası	1,505	11	0,137	7,490	0,000
	Grup içi	1,973	108	0,018		
	Toplam	3,479	119			
EC	Gruplar arası	59876,692	11	5443,336	5,283	0,000
	Grup içi	111274,300	108	1030,318		
	Toplam	171150,992	119			
ÇO	Gruplar arası	109,605	11	9,964	47,250	0,000
	Grup içi	22,775	108	0,211		
	Toplam	132,380	119			
ORP	Gruplar arası	256184,092	11	23289,463	14,929	0,000
	Grup içi	168480,900	108	1560,008		
	Toplam	424664,992	119			
TDS	Gruplar arası	0,006	11	0,001	1,030	0,425
	Grup içi	0,054	108	0,000		
	Toplam	0,060	119			
Alkalinite	Gruplar arası	16457,292	11	1496,117	8,984	0,000
	Grup içi	17985,500	108	166,532		
	Toplam	34442,792	119			
Sertlik	Gruplar arası	23153,867	11	2104,897	6,903	0,000
	Grup içi	32933,600	108	304,941		
	Toplam	56087,467	119			
AKM	Gruplar arası	19252,425	11	1750,220	6,759	0,000
	Grup içi	27966,500	108	258,949		
	Toplam	47218,925	119			
KOI	Gruplar arası	166740,900	11	15158,264	41,866	0,000
	Grup içi	39102,800	108	362,063		
	Toplam	205843,700	119			
BOI	Gruplar arası	7510,842	11	682,804	9,609	0,000
	Grup içi	7674,250	108	71,058		
	Toplam	15185,092	119			
NO ₃ -N	Gruplar arası	252,951	11	22,996	13,261	0,000
	Grup içi	187,286	108	1,734		
	Toplam	440,237	119			
NH ₄ -N	Gruplar arası	16,607	11	1,510	2,822	0,003
	Grup içi	57,771	108	0,535		
	Toplam	74,378	119			
TKN	Gruplar arası	645,717	11	58,702	13,410	0,000
	Grup içi	472,781	108	4,378		
	Toplam	1118,498	119			
TN	Gruplar arası	1600,875	11	145,534	17,543	0,000
	Grup içi	895,965	108	8,296		
	Toplam	2496,840	119			
PO ₄ -P	Gruplar arası	18878,015	11	1716,183	19,581	0,000
	Grup içi	9465,845	108	87,647		
	Toplam	28343,861	119			
TP	Gruplar arası	17507,007	11	1591,546	17,051	0,000
	Grup içi	10081,048	108	93,343		
	Toplam	27588,055	119			
CHL	Gruplar arası	1358,385	11	123,490	12,939	0,000
	Grup içi	1030,774	108	9,544		
	Toplam	2389,159	119			
SD	Gruplar arası	9,995	11	0,909	7,429	0,000
	Grup içi	13,210	108	0,122		
	Toplam	23,205	119			
WL	Gruplar arası	13,106	11	1,191	8,338	0,000
	Grup içi	15,432	108	0,143		
	Toplam	28,538	119			

Faktör : Örneklem Noktaları		Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	P
Sıcaklık	Gruplar arası	7,628	9	0,848	0,019	1,000
	Grup içi	4829,256	110	43,902		
	Toplam	4836,884	119			
pH	Gruplar arası	0,519	9	0,058	2,143	0,032
	Grup içi	2,960	110	0,027		
	Toplam	3,479	119			
EC	Gruplar arası	31796,575	9	3532,953	2,789	0,006
	Grup içi	139354,417	110	1266,858		
	Toplam	171150,992	119			
ÇO	Gruplar arası	6,278	9	0,698	0,608	0,788
	Grup içi	126,102	110	1,146		
	Toplam	132,380	119			
ORP	Gruplar arası	17115,742	9	1901,749	0,513	0,862
	Grup içi	407549,250	110	3704,993		
	Toplam	424664,992	119			
TDS	Gruplar arası	0,003	9	0,000	0,647	0,755
	Grup içi	0,057	110	0,001		
	Toplam	0,060	119			
Alkalinite	Gruplar arası	3650,750	9	405,639	1,449	0,176
	Grup içi	30792,042	110	279,928		
	Toplam	34442,792	119			
Sertlik	Gruplar arası	7514,800	9	834,978	1,891	0,061
	Grup içi	48572,667	110	441,570		
	Toplam	56087,467	119			
AKM	Gruplar arası	9454,008	9	1050,445	3,060	0,003
	Grup içi	37764,917	110	343,317		
	Toplam	47218,925	119			
KOI	Gruplar arası	3261,367	9	362,374	0,197	0,994
	Grup içi	202582,333	110	1841,658		
	Toplam	205843,700	119			
BOI	Gruplar arası	2083,717	9	231,524	1,944	0,053
	Grup içi	13101,375	110	119,103		
	Toplam	15185,092	119			
NO ₃ -N	Gruplar arası	21,029	9	2,337	0,613	0,784
	Grup içi	419,208	110	3,811		
	Toplam	440,237	119			
NH ₄ -N	Gruplar arası	4,185	9	0,465	0,729	0,682
	Grup içi	70,193	110	0,638		
	Toplam	74,378	119			
TKN	Gruplar arası	173,770	9	19,308	2,248	0,024
	Grup içi	944,728	110	8,588		
	Toplam	1118,498	119			
TN	Gruplar arası	290,002	9	32,222	1,606	0,122
	Grup içi	2206,837	110	20,062		
	Toplam	2496,840	119			
PO ₄ -P	Gruplar arası	3873,679	9	430,409	1,935	0,054
	Grup içi	24470,182	110	222,456		
	Toplam	28343,861	119			
TP	Gruplar arası	4385,774	9	487,308	2,310	0,020
	Grup içi	23202,281	110	210,930		
	Toplam	27588,055	119			
CHL	Gruplar arası	179,383	9	19,931	0,992	0,451
	Grup içi	2209,776	110	20,089		
	Toplam	2389,159	119			
SD	Gruplar arası	4,324	9	0,480	2,799	0,005
	Grup içi	18,881	110	0,172		
	Toplam	23,205	119			
WL	Gruplar arası	12,191	9	1,355	9,115	0,000
	Grup içi	16,346	110	0,149		
	Toplam	28,538	119			

df: serbestlik derecesi, F: sıklık, P: önem seviyesi

Tablo 4.8. Sediment Kalitesi Parametreleri ANOVA Tablosu

Faktör : Aylar		Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	P
Sıcaklık	Gruplar arası	1262,858	11	114,805	2069,600	0,000
	Grup içi	5,991	108	0,055		
	Toplam	1268,849	119			
pH	Gruplar arası	12,919	11	1,174	52,720	0,000
	Grup içi	2,406	108	0,022		
	Toplam	15,325	119			
EC	Gruplar arası	219060,625	11	19914,602	6,678	0,000
	Grup içi	322047,700	108	2981,923		
	Toplam	541108,325	119			
NO ₃ -N	Gruplar arası	35921,900	11	3265,627	2,531	0,007
	Grup içi	139365,800	108	1290,424		
	Toplam	175287,700	119			
NH ₄ -N	Gruplar arası	294667,523	11	26787,957	32,878	0,000
	Grup içi	87995,425	108	814,772		
	Toplam	382662,948	119			
TN	Gruplar arası	231579716,667	11	21052701,515	20,396	0,000
	Grup içi	111478920,000	108	1032212,222		
	Toplam	343058636,667	119			
PO ₄ -P	Gruplar arası	572511,955	11	52046,541	26,592	0,000
	Grup içi	211381,254	108	1957,234		
	Toplam	783893,209	119			
TP	Gruplar arası	7307017,979	11	664274,362	27,457	0,000
	Grup içi	2612868,212	108	24193,224		
	Toplam	9919886,191	119			
Org Md	Gruplar arası	7,158	11	0,651	3,270	0,001
	Grup içi	21,489	108	0,199		
	Toplam	28,647	119			
Nem	Gruplar arası	1372,419	11	124,765	9,093	0,000
	Grup içi	1481,881	108	13,721		
	Toplam	2854,300	119			

Faktör : Örnekleme Noktaları		Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	P
Sıcaklık	Gruplar arası	0,143	9	0,016	0,001	1,000
	Grup içi	1268,706	110	11,534		
	Toplam	1268,849	119			
pH	Gruplar arası	0,842	9	0,094	0,711	0,698
	Grup içi	14,483	110	0,132		
	Toplam	15,325	119			
EC	Gruplar arası	208675,242	9	23186,138	7,672	0,000
	Grup içi	332433,083	110	3022,119		
	Toplam	541108,325	119			
NO ₃ -N	Gruplar arası	28393,867	9	3154,874	2,362	0,018
	Grup içi	146893,833	110	1335,398		
	Toplam	175287,700	119			
NH ₄ -N	Gruplar arası	29075,885	9	3230,654	1,005	0,440
	Grup içi	353587,063	110	3214,428		
	Toplam	382662,948	119			
TN	Gruplar arası	71842003,333	9	7982444,815	3,238	0,002
	Grup içi	271216633,333	110	2465605,758		
	Toplam	343058636,667	119			
PO ₄ -P	Gruplar arası	92590,012	9	10287,779	1,637	0,113
	Grup içi	691303,197	110	6284,575		
	Toplam	783893,209	119			
TP	Gruplar arası	1371766,366	9	152418,485	1,961	0,051
	Grup içi	8548119,825	110	77710,180		
	Toplam	9919886,191	119			
Org Md	Gruplar arası	10,697	9	1,189	7,284	0,000
	Grup içi	17,949	110	0,163		
	Toplam	28,647	119			
Nem	Gruplar arası	857,430	9	95,270	5,248	0,000
	Grup içi	1996,869	110	18,153		
	Toplam	2854,300	119			

df: serbestlik derecesi, F: sıklık, P: önem seviyesi

SPSS programında veriler değerlendirilecek faktöre göre sıralanmış, analiz sekmesi kullanılarak tek yönlü anova değerlendirmesi yapılmıştır, elde edilen sonuçlar yukarıda ANOVA tablolarında verilmiştir. Önem seviyesi $p < 0,05$ e göre değerlendirilmiştir. Genel olarak tablolar incelendiğinde su ve sediment kalitesi parametrelerinin aylara göre değişimlerinin önemli olduğu ($p < 0,05$), örnekleme noktalarına göre değişimlerinin ise bazı parametreler hariç önemli bulunmadığı ($p > 0,05$ olduğundan) tespit edilmiştir. Dolayısıyla tüm parametrelerin aylara göre değişimlerinin ortalamaları kullanılarak, parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla korelasyon analizleri yapılmış, sonuçlar aşağıda bilgilerinize sunulmuştur.

Tablo 4.9. Sediment kalitesi parametrelerin birbirleriyle ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri

Pearson rho	Sıcaklık	pH	EC	NO ₃	NH ₄	TN	PO ₄	TP	Org Md	Nem
Sıcaklık	1,000									
pH	0,219	1,000								
EC	0,360	-0,133	1,000							
NO ₃	0,291	-0,309	0,143	1,000						
NH ₄	0,309	-0,511	0,496	0,513	1,000					
TN	0,335	-0,418	0,568	0,432	0,805	1,000				
PO ₄	0,287	0,535	-0,112	-0,278	-0,439	-0,380	1,000			
TP	0,260	0,527	-0,127	-0,270	-0,465	-0,354	0,913	1,000		
Org Md	0,255	-0,058	0,318	0,100	0,305	0,304	0,083	0,063	1,000	
Nem	-0,610	0,062	-0,379	-0,230	-0,387	-0,513	-0,042	0,033	-0,106	1,000

Koyu renkli olanlar $p < 0,05$ seviyesinde önemli kabul edilmiştir.

Sediment numunelerinde incelenen bazı kirlenici parametreleri arasında olan ilişkiler incelenmiştir. Sedimentteki kirlilik parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir. İncelenen parametrelerde, sıcaklığın diğer tüm parametreler ile ilişkili olduğu görülmektedir. % organik madde'nin azot formları, iletkenlik ve sıcaklıkla ilişkilerinin önemli olduğu görülmektedir. Aynı şekilde % nem içeriğinin de sıcaklık, iletkenlik ve azot formları ile ilişkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca nutrientlerin çoğu birbirleriyle etkileşim içindedirler.

Tablo 4.10. Su kalitesi parametrelerin birbirleriyle ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayısı değerleri

Pearson rho	Sıcaklık	pH	EC	ÇO	ORP	TDS	Alkalinite	Sertlik	AKM	KOI	BOI	NO ₃	NH ₄	TKN	TN	PO ₄	TP	Chl	SD	WL	
Sıcaklık	1,000																				
pH	-0,140	1,000																			
EC	-0,475	0,098	1,000																		
ÇO	-0,796	0,050	0,380	1,000																	
ORP	-0,348	-0,008	0,313	0,426	1,000																
TDS	-0,127	0,003	0,208	0,045	0,096	1,000															
Alkalinite	0,107	-0,359	0,353	0,094	0,154	0,070	1,000														
Sertlik	-0,328	-0,127	0,502	0,428	0,388	-0,058	0,503	1,000													
AKM	-0,088	0,012	-0,041	-0,035	-0,076	0,372	-0,169	-0,123	1,000												
KOI	0,429	-0,046	-0,094	-0,609	-0,324	-0,058	0,054	-0,242	-0,038	1,000											
BOI	0,480	-0,235	-0,190	-0,512	-0,223	-0,062	0,288	-0,020	-0,080	0,652	1,000										
NO ₃	0,565	0,030	-0,331	-0,560	-0,395	-0,042	-0,045	-0,331	0,014	0,400	0,175	1,000									
NH ₄	0,359	0,069	0,114	-0,357	-0,013	0,106	-0,127	-0,143	0,035	0,366	0,159	0,225	1,000								
TKN	0,466	0,061	-0,224	-0,492	-0,398	-0,066	-0,093	-0,365	0,040	0,440	0,204	0,639	0,359	1,000							
TN	0,498	0,047	-0,226	-0,516	-0,408	-0,068	-0,081	-0,374	0,035	0,451	0,204	0,753	0,345	0,980	1,000						
PO ₄	0,419	0,026	-0,336	-0,641	-0,509	0,046	-0,349	0,558	0,285	0,487	0,318	0,472	0,343	0,520	0,528	1,000					
TP	0,623	0,010	-0,522	-0,763	-0,537	0,023	-0,328	0,572	0,248	0,465	0,418	0,461	0,291	0,387	0,407	0,760	1,000				
CHL	0,317	0,071	0,179	-0,454	-0,369	0,059	0,138	-0,066	0,114	0,565	0,265	0,382	0,304	0,463	0,466	0,360	0,346	1,000			
SD	-0,297	-0,069	0,130	0,385	0,505	-0,025	0,274	0,293	-0,474	-0,349	-0,146	-0,319	-0,113	-0,295	-0,296	-0,605	-0,512	-0,398	1,000		
WL	-0,381	-0,012	-0,110	0,448	0,205	-0,061	0,120	0,191	0,064	-0,479	-0,206	-0,174	-0,300	-0,171	-0,207	-0,183	-0,293	-0,416	0,305	1,000	

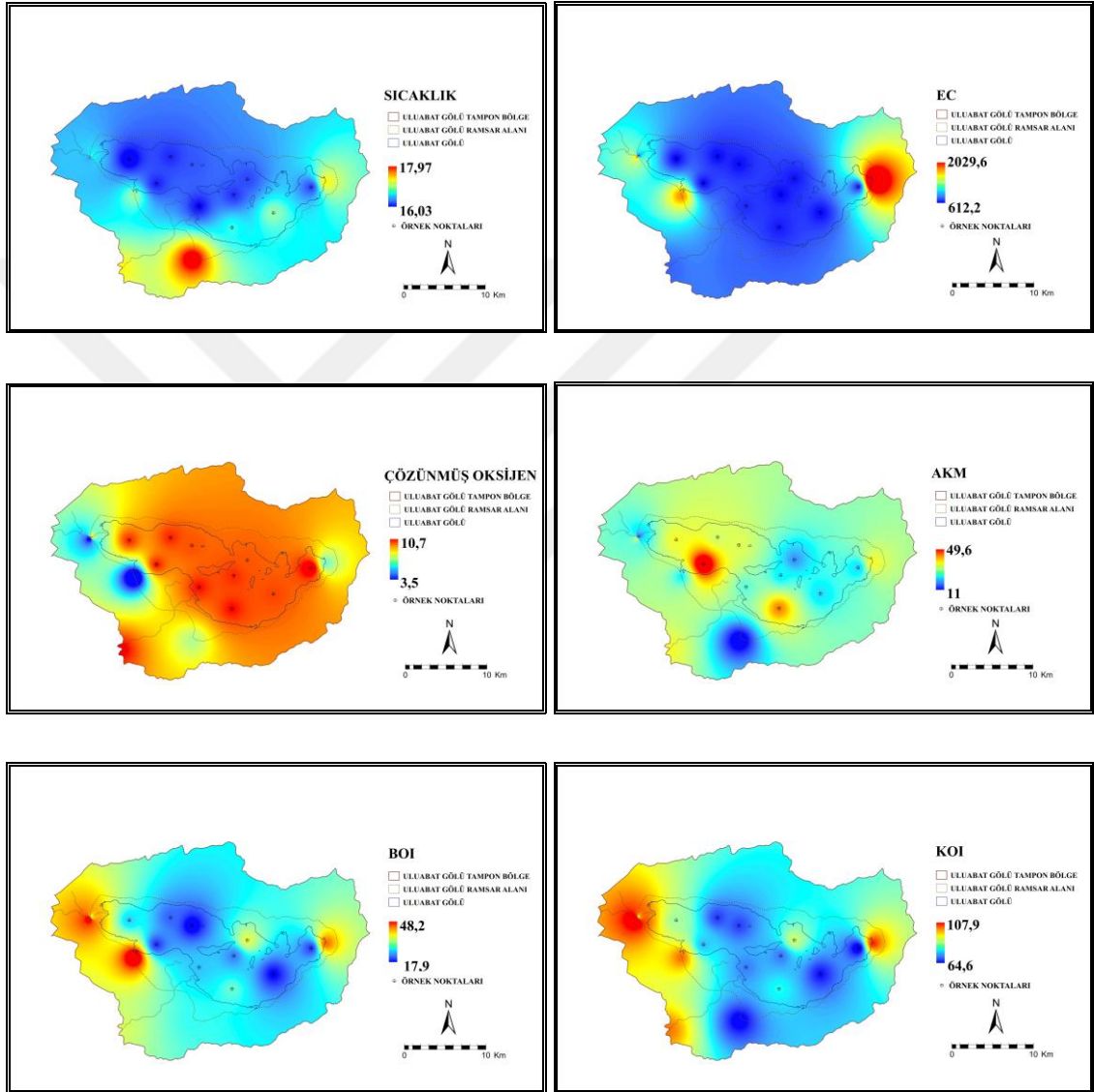
Koyu renkli olanlar p<0.05 seviyesinde önemli kabul edilmiştir.

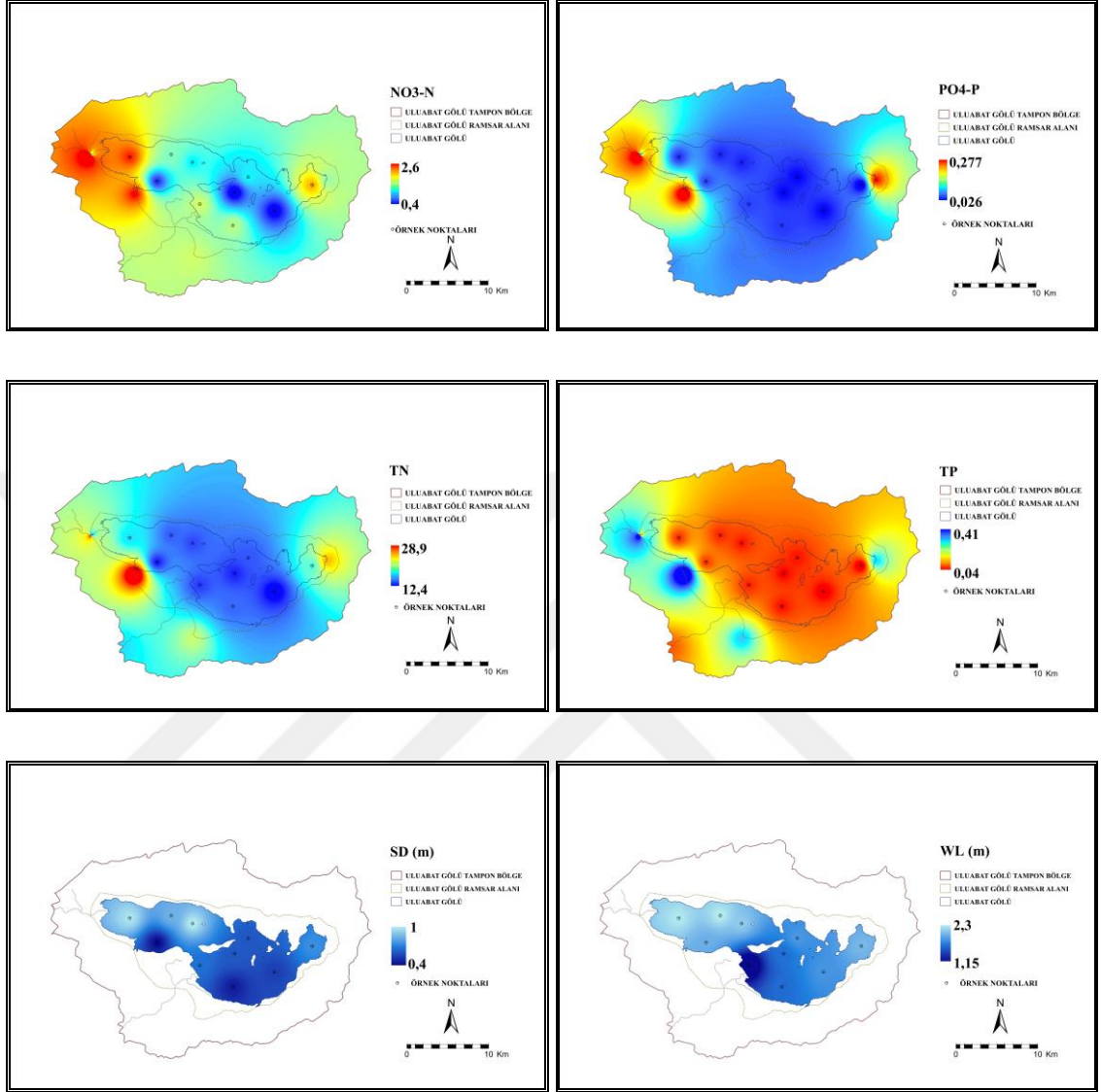
Uluabat Gölü'nde 10 örnekleme noktasının 12 aylık konsantrasyon değerleri kullanılarak elde edilen hesaplamalar sonucunda, TN, NH₄-N, NO₃-N, TP, PO₄-P, BOI, KOI, klorofil-a, seki derinliği, çözünmüş oksijen, pH ve sıcaklığın birbirleri arasındaki ilişkiler önemli bulunmuşlardır. Özellikle sıcaklık parametresinin hemen tüm diğer su kalitesi parametreleri ile ilişkili oldukları Tablo 4.10'da görülmektedir. Göldeki bulanıklığın bir göstergesi olan seki derinliğinin klorofil-a ile olan ilişkisi gibi negatif değerlikli r değerleri, parametrelerin ters orantılı olarak ilişkili olduklarını göstermektedir. Ayrıca, seki derinliğinin göldeki tüm nutrientler ile olan korelasyonları sonucunda elde edilen r değerlerinin de negatif ve önemli oldukları belirlenmiştir. Bu durumu, alglerin nutrientlerle beslenmeleri sonucunda çoğalmaları ve bunun neticesinde de bulanıklığın artarak seki derinliğinin azalmasına yol açtıkları şeklinde açıklamak mümkündür. Göldeki su kalitesinin önemli parametrelerinden biri olan çözünmüş oksijenin diğer tüm parametrelerle ilişkisi olduğu görülmektedir. Kirlilik artışıyla birlikte çözünmüş oksijenin azaldığı r değerlerinin negatif olması nedeni ile anlaşılmaktadır. KOI değerinin, su derinliği ve seki derinliği ile ilişkilerinin önemli bulunduğu da görülmektedir. Organik kirlilik nedeni ile KOI'nin arttığı ve bu nedenle de bulanıklığın yükseldiği ve seki derinliğinin azaldığını söylemek mümkündür. KOI'nin diğer tüm organik kirlilik parametreleri ile de ilişkisinin önemli olduğu görülmektedir. Sertlik ile PO₄-P arasında önemli bir ilişki bulunmuştur. CaCO₃'ün çözünmesi ile serbest kalan Ca⁺², PO₄-P ile tepkimeye girerek CaPO₄ olarak çökelmektedir (Hejzlar ve Vyhalek 1998). Bu durum PO₄-P ile sertliğin birbiri ile etkileşim halinde olduklarını göstermektedir.

4.3. Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının GIS ile Değerlendirilmesi

Çalışma alanında belirlenen 10 örnekleme noktasında Ağustos 2013 ve Temmuz 2014 dönemlerinde alınan su ve sediment örnekleri analizlenmiş ve coğrafi bilgi sistemleri veritabanına aktararak su ve sediment kalitesindeki değişimi gösteren çeşitli sorgulamalar yapılmıştır. Bütün analiz değerleri, öncelikle Excel de oluşturulan veritabanında saklanarak, daha sonra ArcGIS 10.1 coğrafi bilgi sistemleri programına aktarılmıştır. Her parametre için yapılan analiz sonuçları belirlenen koordinatlar ile veri tabanı mantığı çerçevesinde birleştirilmiştir. Arcview programı ile bu veriler arcview

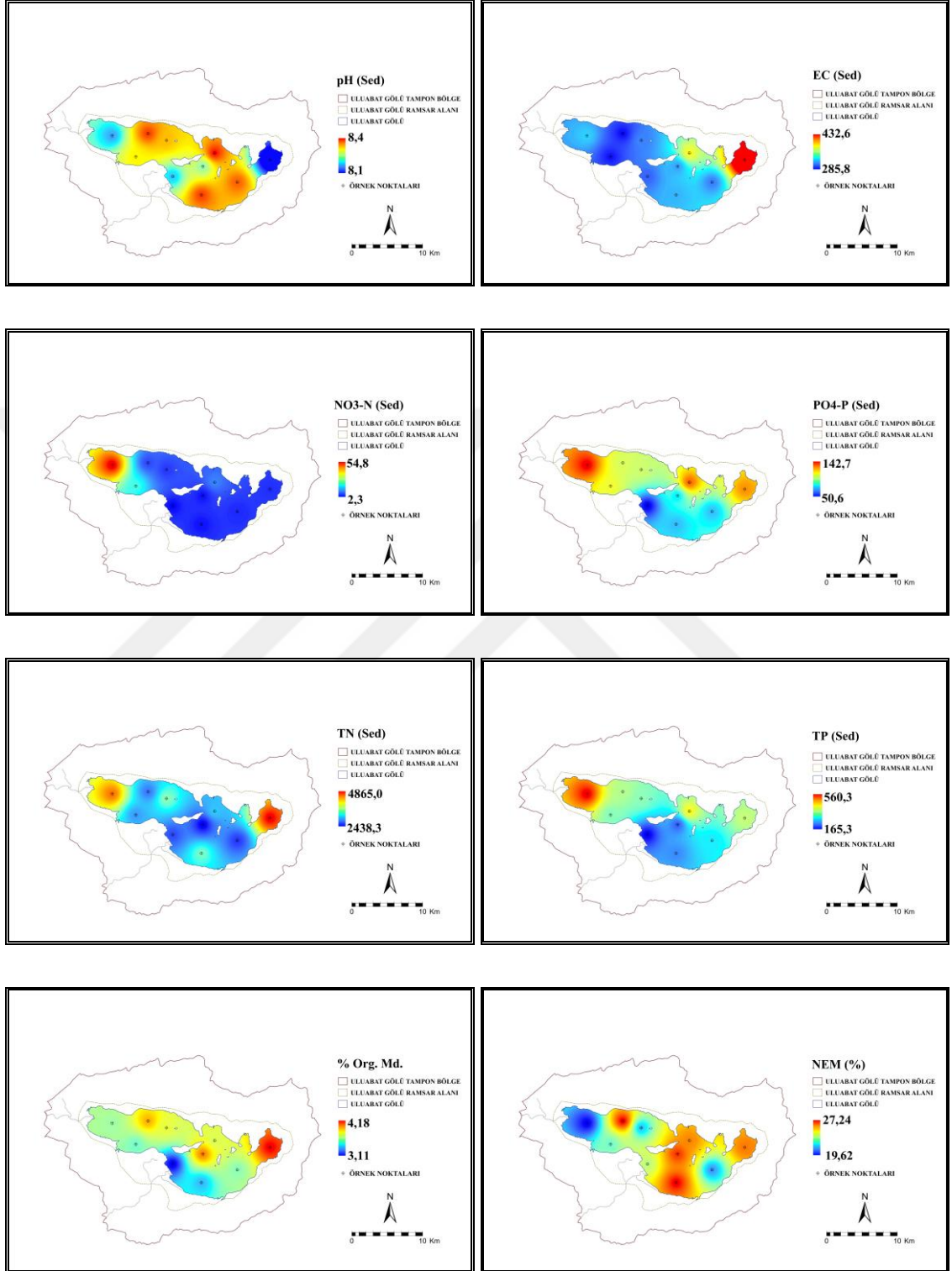
dosya formatı olan shp dosyalarına dönüştürülmüştür. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin konumsal analiz enterpolasyon araçları Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (IDW) kullanılarak noktasal veriler alansal verilere dönüştürülmüştür. Böylece her bir parametre için tematik haritalar üretilmiştir. Bu doğrultuda hazırlanan su ve sediment kalitesi parametrelerine ait üretilen haritalar Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de sunulmuştur.





Şekil 4.3. Su Kalitesi Parametrelerinin Örnekleme Noktalarına Göre Dağılımı (Kirlilik Dağılım Haritaları)

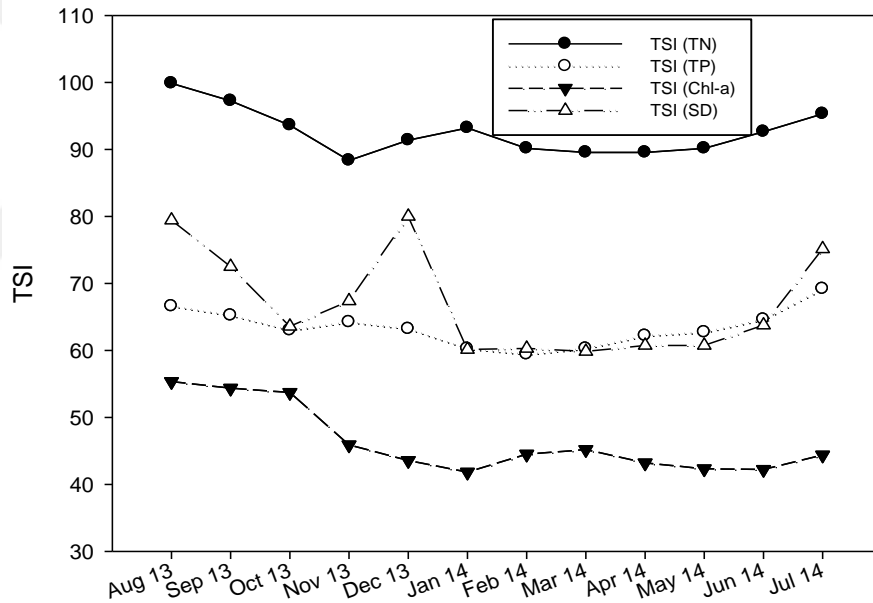
Benzer şekilde, sediment kalitesinin örnekleme noktalarına göre dağılımını gösteren haritalar hazırlanmış ve Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Sediment Kalitesi Parametrelerinin Örnekleme Noktalarına Göre Dağılımı (Kirlilik Dağılım Haritaları)

4.4. Uluabat Gölü Trofik Seviyesinin Belirlenmesi

Uluabat Gölü trofik durumu Carlson (1977) un belirlemiş olduğu skala yardımı ile tespit edilmiştir. TSI değerleri seki derinliği (SD), klorofil-a ($\mu\text{g/l}$), toplam fosfor ($\mu\text{g/l}$) ve toplam azot (mg/l) konsantrasyonları yardımı ile hesaplanmıştır. Carlson'un belirlemiş olduğu nümerik skala 0-40 oligotrofik; 40-50 mesotrofik, >50 ötrofik şeklindedir. Oligomesotrofik seviye ($30 < \text{TSI} < 40$), mesotrofikten ötrofik seviyeye geçiş ($40 < \text{TSI} < 60$), ötrofikten hiperötrofik seviyeye geçiş ($60 < \text{TSI} < 70$) ve hiperötrofik seviye ($\text{TSI} > 70$) şeklinde de sınıflandırma yapılabilir (Coelho ve diğ. 2007). Göldeki ölçüm noktalarının ortalamaları alınarak hesaplanan klorofil-a, seki derinliği, toplam fosfor ve toplam azot parametrelerinin aylık TSI değerleri değişimleri Şekil 4.5'de sunulmuştur.



Şekil 4.5. Uluabat Gölü trofik durum indeksi (TSIs) (eşik değerler: oligomesotrophic (30), mesotrophic (40), eutrophic (50), eutrophic to hypereutrophic (60), and hypereutrophic (70) states)

Şekil 4.5'de görüldüğü üzere TSI_{TN} değerleri hiperötrofik, TSI_{TP} değerleri ötrofikten hiperötrofiğe geçiş seviyesinde ve en son ayda (Temmuz 2014) hiperötrofik seviyede, $\text{TSI}_{\text{Chl-a}}$ ötrofik ve ötrofikten hiperötrofiğe geçiş seviyelerinde, TSI_{SD} ise ötrofikten hiperötrofiğe geçiş ve hiperötrofik seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. $\text{TSI}_{\text{Chl-a}}$ değerinin aylık değişiminin diğer TSI değerlerine göre daha düşük olduğu

görülmektedir. Bu durumun, gölün tabanının hemen tamamını kaplayan makrofitlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.5. Noktasal Kaynaklardan Gelen Kirletici Yüklerin Hesabı

Uluabat Gölü'nü kirleten noktasal kirlilik kaynaklarının su ve sedimente olan etkilerini belirleyebilmek amacıyla bu kirletici kaynaklara ait debi ölçümleri incelenerek, göle deşarj ettikleri yükler hesaplanmıştır.

Uluabat Gölü'nü besleyen ve kirleticilerin girişine neden olan noktasal kaynaklardan MKP Çayı, Atabay, Karaoğlan ve Uluabat Pompa İstasyonları'nın debi ölçümleri ile Yenikaraağaç sulamasına ait debi değerleri, Devlet Su İşleri (DSİ) 1.Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır.

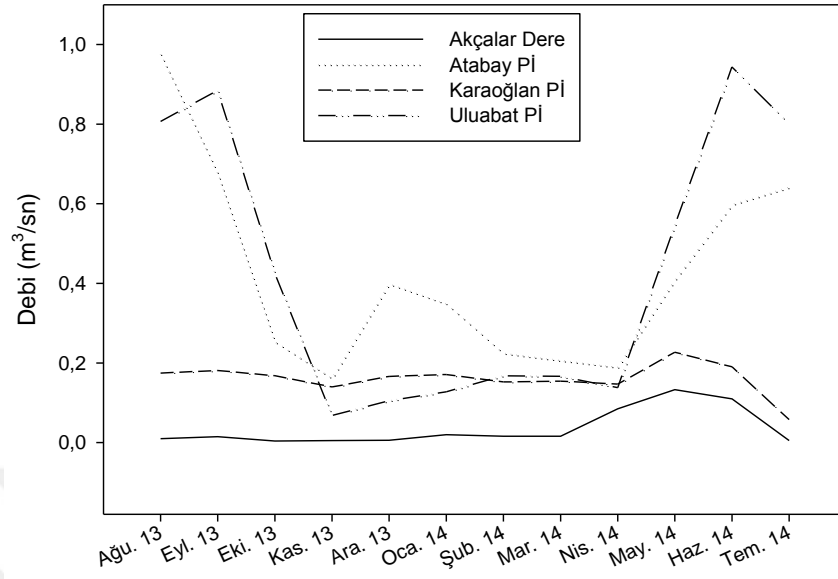
Kocasu Çayı ve Akçalar Deresi'nin debi ölçümleri arazi çalışmalarında örnek alımı esnasında hidrolog tarafından muline kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DSİ' den temin edilen göle ait (giriş ve çıkış debileri ile noktasal kaynaklar) debiler Tablo 4.11'de sunulmuştur.

Benzer şekilde aylık ortalamalarına göre hazırlanmış debi değişim grafikleri de Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de sunulmuştur.

Tablo 4.11. Çalışma Dönemine Ait Aylık Ortalama Debi Değerleri

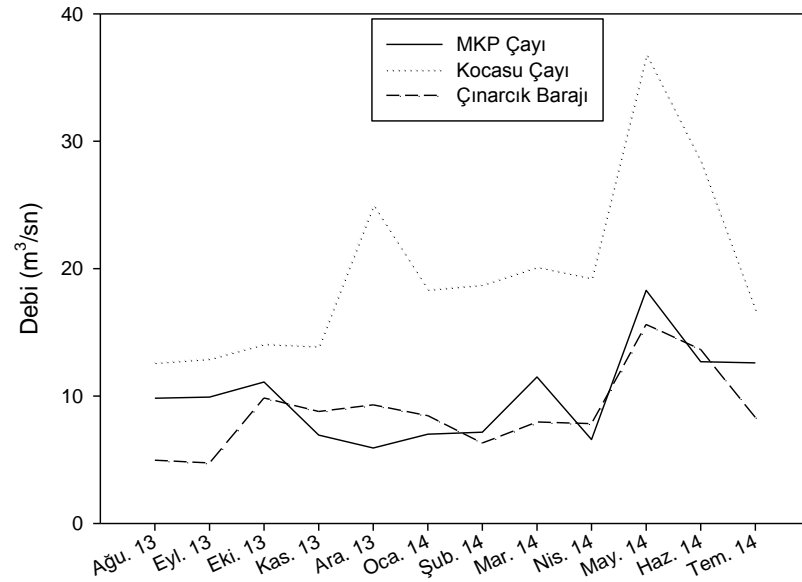
Debi (m ³ /sn)	Ağu.					Oca.						Tem.
	2013	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.	2014	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	2014
MKP Çayı	9,83	9,92	11,1	6,94	5,92	7,00	7,16	11,5	6,59	18,30	12,7	12,6
Atabay Pİ	0,97	0,67	0,25	0,16	0,39	0,34	0,22	0,20	0,18	0,40	0,59	0,64
Karaoğlan Pİ	0,17	0,18	0,16	0,13	0,16	0,17	0,15	0,15	0,14	0,22	0,19	0,05
Uluabat Pİ	0,80	0,88	0,42	0,06	0,10	0,12	0,16	0,16	0,13	0,54	0,94	0,80
Akçalar Dere	0,01	0,01	0,004	0,005	0,006	0,02	0,01	0,01	0,08	0,13	0,11	0,005
Çınarcık	4,96	4,75	9,85	8,78	9,30	8,45	6,31	7,96	7,83	15,6	13,6	8,33
Kocasu Çayı	12,6	12,9	14,0	13,92	25,0	18,3	18,7	20,15	19,2	36,8	28,4	16,7
Yenikaraağaç	1,35	0,48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,17	0,46	1,43

Noktasal Kaynaklar Debi Değişimleri



Şekil 4.6. Uluabat Gölü Noktasal Kaynaklara Ait Debi Değerlerinin Değişimi

Göle Giriş ve Çıkış Debileri



Şekil 4.7. Uluabat Gölü Giriş ve Çıkış Su Kaynaklarına Ait Debi Değişimleri

Göle giren noktasal kirletici kaynakların aylık debi değerlerinin ortalamaları alınarak belirlenen yıllık ortalamalara göre en yüksek ve en düşük değerler MKP Çayı ve Akçalar Deresi'nde 9,9633 ve 0,0354 m³/sn olarak belirlenmiştir. Kirletici kaynakların yıllık debi ortalamalarının büyüklük sıralamaları ise MKP Çayı>Uluabat P.İ.>Atabay P.İ.> Karaoğlan P.İ.>Akçalar Deresi şeklindedir. Uluabat Gölü'nü besleyen en önemli akarsu olan Mustafakemalpaşa Çayı taşımış olduğu kirleticiler nedeni ile göle oldukça yüksek miktarlarda yük boşaltmaktadır. Su seviyesi ve akarsu debileri yağışların çok olduğu dönemlerde artmaktadır. Dolayısıyla yükler de debi ile birlikte artmaktadır. Ancak bu durum konsantrasyonlarında artışı anlamında düşünülmemelidir, debi artışı nedeni ile olabileceği de düşünülebilir. Noktasal kirletici kaynaklara ait su kalitesi Tablo 4.12'de, kirletici parametrelerinin yıllık toplam yükleri ise Tablo 4.13'de sunulmuştur.

Tablo 4.12. Noktasal Kaynaklara Ait Su Kalitesi Parametreleri İstatistiksel Değerleri

İstasyon	MKP Çayı		Kocasu Çayı		Akçalar Deresi		Atabay Pİ		Karaoğlan Pİ		Uluabat Pİ	
	Ort±SD	Max-Min	Ort±SD	Max-Min	Ort±SD	Max-Min	Ort±SD	Max-Min	Ort±SD	Max-Min	Ort±SD	Max-Min
pH	8,21±0,20	8,48-7,83	8,52±0,24	9,20-8,28	7,81±0,24	8,40-7,42	7,73±0,23	8,10-7,19	7,60±0,21	7,92-7,19	7,84±0,13	8,02-7,61
EC(µs/cm)	729,58±94,66	860-531	629,16±29,50	675-577	2029,58±959,71	3580-954	1407,58±384,37	1774-791	730,75±47,38	787-628	1439,83±430,84	1956-843
Sıcaklık (°C)	17,22±5,94	25,8-8,4	16,80±6,36	25,1-8	17,23±6,78	26,7-5,5	16,88±6,12	25,1-8,7	17,97±5,17	25,8-11,6	16,39±6,20	24,5-6,4
ORP (mV)	382,58±65,93	478-217	345,75±57,24	480-275	395,66±71,07	485-294	402,00±47,66	487-330	355,50±71,28	476-282	371,66±49,27	485-308
TDS (mg/l)	500,0±0,042	600-400	400,0±0,00	400-400	1258,0±0,80	3500,0-500,0	933,0±0,223	1200-500	500,0±0,00	500-500	958,3±0,274	1300,0-500,0
ÇO (mg/l)	10,3±0,96	12,2-8,7	9,94±1,67	11,8-6,2	7,35±2,77	10,4-1,1	4,17±1,50	7,2-1,2	7,78±0,71	8,8-6,8	3,47±1,04	5,7-2,0
Alk (mg CaCO ₃ /l)	292,08±20,91	338-250	238,25±13,28	263-218	492,95±49,52	583-378	529,08±144,63	703-318	282,50±20,96	328-255	552,41±156,64	750-328
Sertlik(mg CaCO ₃ /l)	319,83±36,42	386-256	312,16±18,81	334-274	337,16±65,66	440-198	582,5±132,0	720-390	246,5±60,06	356-168	572,83±128,62	724-386
AKM(mg/l)	32,0±17,6	60-8	13,6±14,8	60-8	32,3±18,8	76-12	23,0±19,3	64-4	11,0±5,1	24-4,0	32,3±21,7	80-12
NH ₄ -N(mg/l)	1,108±1,44	4,2-0	0,758±1,05	3,5-0	0,991±1,24	4,2-0	1,516±1,39	5,6-0	0,233±0,54	1,4-0	1,925±3,03	10,5-0
NO ₃ -N(mg/l)	1,16±1,94	6,3-0	0,93±1,67	4,9-0	1,10±1,50	3,5-0	1,80±1,31	3,5-0	1,22±1,58	3,5-0	2,56±2,03	6,3-0
Kjeldahl-N (mg/l)	15,63±5,79	25,2-9,8	13,18±4,32	21,7-9,8	21,70±10,71	47,6-11,9	27,12±10,64	42-8,4	18,66±13,71	46,2-6,3	23,74±8,22	32,2-9,8
TN (mg/l)	16,8±6,94	26,6-10,5	14,11±5,42	22,4-7,7	22,8±11,78	51,1-11,9	28,93±10,16	42-8,4	19,89±15,11	49,7-6,3	26,30±7,67	35-13,3
PO ₄ -P (µg/l)	61,54±10,94	73,3-40,8	50,41±9,76	63-33	174,38±98,35	366,5-78,5	191,81±100,57	410,4-55,2	56,92±10,81	85,2-47,5	277,85±147,76	477,6-31,9
TP (µg/l)	81,86±12,9	102,3-60,9	75,47±11,55	96,6-63	234,01±137,64	499,3-99,2	368,28±200,65	557,8-67,6	240,09±210,82	533,5-58,3	415,43±220,88	616,2-47,3
KOI(mg/l)	90,33±73,56	256-32	80,66±43,74	160-32	93,33±45,68	192-48	90,66±24,91	128-48	65,33±18,63	96-48	108,0±35,53	160-48
BOI(mg/l)	31,70±10,81	50-20	29,33±8,62	38-18	38,62±13,78	63-20	45,25±12,54	75-25	27,0±7,57	38-13	48,25±19,72	85-23
Klorofil-a (µg/l)	3,39±2,27	8,37-0,86	2,39±1,79	6,29-0,56	3,7±1,89	8,54-1,66	7,89±3,04	12,3-3,66	9,36±10,1	30,9-1,85	11,61±6,94	29,19-4,27

Tablo 4.13. Kirletici Kaynaklara ait Yıllık Toplam Kirletici Yükleri

İstasyon	MKP Çayı	Atabay Pİ	Karaoğlan Pİ	Uluabat Pİ	Akçalar Dere
TN (ton/yıl)	5559,49	382,42	103,79	333,63	19,61
NH ₄ -N (ton/yıl)	375,40	18,99	2,46	9,41	0,79
NO ₃ -N (ton/yıl)	367,82	29,97	6,05	43,35	0,74
TP (ton/yıl)	26,45	4,53	1,19	5,36	0,35
PO ₄ -P (ton/yıl)	19,51	2,27	0,29	3,02	0,22
KOI (ton/yıl)	28848,59	968,80	553,49	1569,96	74,03
BOI (ton/yıl)	10362,83	642,64	136,63	662,52	50,58
AKM (ton/yıl)	10042,83	283,57	57,15	368,40	41,44
Cr _{Çözünmüş} (ton/yıl)	3,95	0,25	0,06	0,15	0,01
Cr _{Partikül} (ton/yıl)	0,038	0,002	0,001	0,003	0,000
Ni _{Çözünmüş} (ton/yıl)	3,56	0,59	0,39	0,38	0,24
Ni _{Partikül} (ton/yıl)	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.13’de görüldüğü üzere gölü besleyen ana kaynak MKP Çayı’nın oldukça yüksek kirletici yükü taşıdığı görülmektedir. Atabay ve Uluabat pompa istasyonları da diğer noktasal kaynaklara göre nispeten daha yüksek debi ve kirletici yüküne sahiptirler. Göle en az kirletici girişinin, debisi çok düşük olan Akçalar Deresinden geldiği görülmektedir.

4.6. Su, Sediment ve Planktonda Ölçülen Cr ve Ni Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Uluabat Gölü’nde krom ve nikel konsantrasyonları 12 ay boyunca gölden alınan su, sediment ve plankton numunelerinde izlenmiştir. Suda, çözünmüş ve partiküler maddeye tutunmuş haldeki, sedimentte ise beş farklı fraksiyon ve toplam konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu bilgiler dahilinde izleme çalışması sonrası elde edilen, bu metallerin yıllık ortalama-standart sapma ve mevsimsel değerleri Tablo 4.14’de verilmiştir.

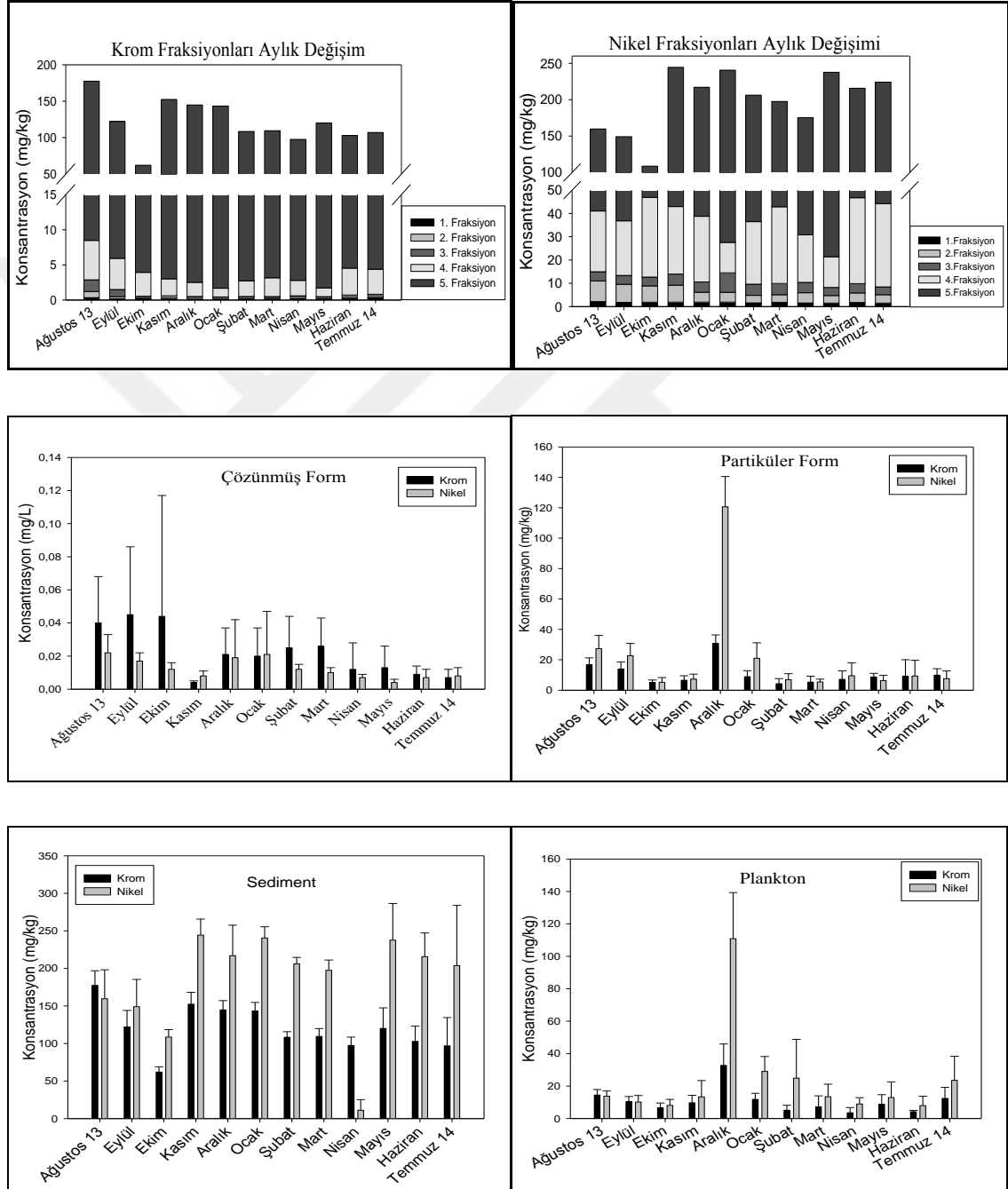
Tablo 4.14. Uluabat Gölü Metal Konsantrasyonları Göl Ortalamaları ve Mevsimsel Değişimleri

Form	Metal	Ortalama	Max-Min	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Çözünmüş	Cr	0,022±0,030	0,249-0,001	0,017±0,016	0,019±0,022	0,031 ±0,050	0,021 ±0,016
	Ni	0,012±0,012	0,091-0,000	0,007±0,004	0,013±0,010	0,012 ±0,005	0,017 ±0,019
Partikül	Cr	10,531±8,494	42,207-0,951	7,051±4,266	11,943±7,747	8,507±5,104	14,621±12,475
	Ni	20,778±32,171	159,337-1,201	7,103±5,520	14,785±12,095	11,710±9,461	49,515±53,016
Sediment	Cr	119,745±34,703	210,52-1,019	108,97±19,864	125,724±45,524	112,149±41,254	132,138±19,930
	Ni	196,274±52,328	310,282-2,058	203,484±39,325	193,024±58,008	167,350±62,712	221,238±28,585
Fraksiyon 1	Cr	0,129±0,139	0,963-0,016	0,109±0,045	0,234±0,235	0,110±0,056	0,064±0,049
	Ni	1,782±0,805	4,426-0,695	1,637±0,689	1,812±0,780	1,869±0,825	1,808±0,929
Fraksiyon 2	Cr	0,161±0,248	1,240-0,008	0,070±0,041	0,352±0,423	0,165±0,114	0,055±0,027
	Ni	5,096±2,556	12,057-1,777	3,633±1,250	5,498±3,001	7,354±2,190	3,899±1,518
Fraksiyon 3	Cr	0,547±0,488	3,091-0,044	0,346±0,090	0,880±0,731	0,605±1,482	0,358±0,059
	Ni	4,494±1,568	9,161-1,852	4,240±0,992	3,765±1,189	4,097±0,977	5,872±1,998
Fraksiyon 4	Cr	2,904±1,377	6,988-0,729	2,033±0,672	4,335±1,194	3,411±1,081	1,836±0,625
	Ni	26,671±9,545	57,263-9,821	22,168±9,252	32,925±9,545	28,894±7,282	22,695±7,823
Fraksiyon 5	Cr	116,845±32,548	200,169-43,507	106,414±20,086	123,286±37,582	107,857±41,377	129,824±20,144
	Ni	159,929±51,995	292,037-39,775	171,805±44,834	155,815±42,714	125,134±63,909	186,963±31,667
Plankton	Cr	10,571±9,221	65,610-1,284	6,520±5,747	10,343±6,236	8,883±3,915	16,536±14,314
	Ni	23,088±30,090	157,947-1,478	11,793±7,492	15,076±11,162	10,536±6,746	54,947±45,581

Gölde incelenen metal konsantrasyonları genel olarak incelendiğinde çözünmüş haldeki metallerin, yağışların olmadığı yaz aylarında ve sonbahar mevsiminde yüksek, yağışların bol olduğu kış aylarında seyrelmelerden dolayı düşük konsantrasyonlarda oldukları belirlenmiştir. Partiküler formdaki metal konsantrasyonları yağışların başlamasıyla yüzeysel akışın göle getirdiği askıda katı madde miktarının artış göstermesi ve kış mevsimine göre daha sığ olan gölün daha kolay karışmasının neden olduğu adsorbsiyon olaylarının nedeni ile kış mevsiminde artış göstermiş olabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca, havanın rüzgarlı olduğu dönemlerde dikey karışım nedeniyle dip sedimentinin suya karışması sebebiyle çözünmüş metallerin partiküllere bağlanması için uygun koşullar oluşmaktadır (Katip 2010). Sedimentteki toplam Cr ve Ni konsantrasyonları incelendiğinde, genel olarak yaz aylarında ve sonbahar başlarında yaşanan kurak sezonda konsantrasyonlar düşük, kış ve ilkbahar aylarında da yüksek konsantrasyonlar ölçülmüştür. Sedimentteki metal konsantrasyonlarını, sedimentin tane boyutu ve organik madde miktarı etkilemektedir. Ayrıca, sudaki askıda katı madde miktarı, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik ve rüzgar hızları da etkilemektedir (Cuong ve diğ. 2008, Mil- Homens ve diğ. 2006). Bu nedenle de bu parametreler ile sedimentteki toplam metal konsantrasyonları arasında korelasyon kurulması planlanmış ve ilerleyen bölümlerde bilgilerinize sunulmuştur. Sedimentte ağır metal birikim düzeyi sedimentin karakteristiğine, özellikle içerdiği organik madde tipi ve miktarına, tane büyüklüğüne, kation değiştirme kapasitesine ve mineral içeriğine göre değişim göstermektedir (Martorell ve diğ. 2009). Sedimentte incelenen ağır metallerin kimyasal fraksiyonları, mobil ağır metaller (F1), kolay serbest hale geçebilen metaller (F2), Mn-oksitlere bağlı ağır metaller (F3), Organik maddeye bağlı ağır metaller (F4) ve kalıntı halindeki ağır metaller (F5) dir. Kalıntı halinde bulunan ağır metaller, sedimentte bulunan toplam ağır metallerden bu fraksiyonların toplamı çıkarılarak belirlenmiştir. Metallerin sedimentteki kimyasal fraksiyonlarının dağılımları incelendiğinde, kalıntı fraksiyonunun (F5) en baskın, ikinci sırada ise organik maddeye bağlı fraksiyonlarının (F4) yüksek olduğu görülmektedir. Mobil (F1), kolay serbest hale geçebilir (F2) ve Mn oksitlere bağlı (F3) fraksiyonların çok düşük konsantrasyonlarda oldukları görülmektedir. Bu fraksiyonların düşük değerleri, çözünmeyen ve statik bir fraksiyon olduklarını göstermektedir (Elmacı ve diğ. 2008). Planktonda metal değişimi mevsimsel olarak incelendiğinde en yüksek konsantrasyonlarının kış mevsiminde (Cr: 16,5; Ni:54,9 mg/kg), en düşük

konsantrasyon değerleri ise ilkbahar mevsiminde (Cr: 6,5; Ni:11,8 mg/kg) tespit edilmiştir.

Metal konsantrasyonlarının göl ortalamaları alınarak hesaplanan aylık değişim grafikleri Şekil 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.8. Metal Fraksiyonları Aylık Değişimleri

Şekil 4.8 incelendiğinde Uluabat Gölü'nde çözülmüş formda Cr konsantrasyonu en yüksek değeri Eylül ayında (0,045mg/l), en düşük değeri ise Kasım ayında (0,004mg/l), çözülmüş formdaki Ni konsantrasyonları ise en yüksek değeri Ağustos ayında (0,022mg/l), en düşük değeri ise Mayıs ayında (0,004mg/l) ölçülmüştür.

Partiküler formdaki metal konsantrasyonlarının aylık değişimleri incelendiğinde, Cr konsantrasyonu en yüksek değeri Aralık ayında (30,69mg/kg), en düşük değeri ise Şubat ayında (4,27mg/kg), partiküler formdaki Ni konsantrasyonları ise en yüksek değeri Aralık ayında (120,6 mg/kg), en düşük değeri ise Ekim ayında (5,2mg/kg) ölçülmüştür.

Planktonda ölçülen metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, Cr konsantrasyonu en yüksek değeri Aralık ayında (32,7mg/kg), en düşük değeri ise Nisan ayında (3,5mg/kg), Ni konsantrasyonları ise en yüksek değeri Aralık ayında (110,9mg/kg), en düşük değeri ise Haziran ayında (7,9mg/kg) ölçülmüştür.

Sedimentteki toplam metal miktarının mevsimsel değişimine baktığımızda, Cr konsantrasyonu en yüksek değeri Ağustos ayında (177,4mg/kg), en düşük değeri ise Ekim ayında (62mg/kg), Ni konsantrasyonları ise en yüksek değeri Kasım ayında (244,4mg/kg), en düşük değeri ise Nisan ayında (11,1mg/kg) ölçülmüştür.

Sedimentin kimyasal fraksiyonlarının aylık değişimlerini incelediğimizde, F1 olarak isimlendirdiğimiz mobil fraksiyonda Cr konsantrasyonu en yüksek değeri Ağustos ayında (0,329mg/kg), en düşük değeri ise Aralık ayında (0,045mg/kg), Ni konsantrasyonları ise en yüksek değeri Ağustos ayında (2,16mg/kg), en düşük değeri ise Temmuz ayında (1,49mg/kg) ölçülmüştür. Kolay serbest hale geçebilen (F2) fraksiyonların Cr konsantrasyonu en yüksek değeri Ağustos ayında (0,88mg/kg), en düşük değeri ise Aralık ayında (0,047mg/kg), Ni konsantrasyonları ise en yüksek değeri Ağustos ayında (8,83mg/kg), en düşük değeri ise Şubat ayında (3,22mg/kg) ölçülmüştür. Mn-oksitlere bağlı ağır metal fraksiyonlarının (F3), Cr konsantrasyonu en yüksek değeri Ağustos ayında (1,65mg/kg), en düşük değeri ise Mart ayında (0,29mg/kg), Ni konsantrasyonları ise en yüksek değeri Ocak ayında (8,36mg/kg), en düşük değeri ise Temmuz ayında (3,37mg/kg) ölçülmüştür. Organik maddeye bağlı ağır metal fraksiyonlarının (F4), Cr konsantrasyonu en yüksek değeri Ağustos ayında

(5,61mg/kg), en düşük değeri ise Mayıs ayında (1,24mg/kg), Ni konsantrasyonları ise en yüksek değeri Haziran ayında (36,89mg/kg), en düşük değeri ise Ocak ayında (13,05mg/kg) ölçülmüştür. Kalıntı halindeki ağır metal (F5) fraksiyonlarının, Cr konsantrasyonu en yüksek değeri Ağustos ayında (168,9mg/kg), en düşük değeri ise Ekim ayında (58,07mg/kg), Ni konsantrasyonları ise en yüksek değeri Mayıs ayında (216,2mg/kg), en düşük değeri ise Ekim ayında (61,73mg/kg) ölçülmüştür.

Tablo ve grafiklerde de görüldüğü üzere çalışmada izleme sürecinde elde edilen tüm veriler görsel olarak sunulmuştur. Bunun haricinde parametrelerin birbirleri ile ilişkilerini belirlemek amacı ile SPSS 22.0 istatistik programı ile çalışılmıştır. Elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur.

Uluabat Gölü'nde suda çözülmüş formda bulunan ağır metaller ile fizikokimyasal özellikleri arasındaki korelasyon katsayısı $p=0,05$ 'e göre hesaplanarak aralarındaki ilişkiler belirlenmiş ve Tablo 4.15'de sunulmuştur.

Tablo 4.15. Metallerin çözülmüş formdaki konsantrasyonları ile suyun fizikokimyasal özellikleri arasındaki r korelasyon katsayıları

Pearson rho	Cr _{çöz}	Ni _{çöz}	T	pH	EC	KOI	BOI
Cr _{çöz}	1,000						
Ni _{çöz}	0,122	1,000					
T	-0,064	0,034	1,000				
pH	-0,105	-0,056	-0,140	1,000			
EC	0,317	0,318	-0,475	0,098	1,000		
KOI	0,286	0,052	0,429	-0,046	-0,094	1,000	
BOI	0,349	0,061	0,480	-0,235	-0,190	0,652	1,000

Koyu renkli olanlar $p<0.05$ seviyesinde önemli kabul edilmiştir.

Buna göre çözülmüş haldeki Cr konsantrasyonlarının, EC, KOI ve BOI ile olan ilişkileri önemli bulunmuştur. Bunların dışında diğer fizikokimyasal parametreler ile olan ilişkileri önemli bulunamamıştır. Farklı çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Katip 2010, Singh ve diğ. 2008). Suda çözülmüş halde ölçülen Ni konsantrasyonlarının ise elektriksel iletkenlik dışında diğer parametreler ile ilişkisinin önemli olmadığı tespit edilmiştir.

Benzer şekilde suda partiküler formda bulunan metal konsantrasyonları ile su kalitesi parametreleri arasındaki korelasyon katsayısı $p=0,05$ 'e göre hesaplanarak aralarındaki ilişkiler belirlenmiş ve Tablo 4.16'da sunulmuştur.

Tablo 4.16. Askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan metaller ile diğer parametrelerin ilişkilerini gösteren r korelasyon katsayıları

Pearson rho	Cr _{Par}	Ni _{Par}	T	pH	EC	Chl-a	AKM
Cr _{Par}	1,000						
Ni _{Par}	0,739	1,000					
T	0,093	-0,095	1,000				
pH	-0,145	-0,058	-0,140	1,000			
EC	-0,232	0,279	-0,475	0,098	1,000		
Chl-a	0,125	0,145	0,317	0,071	0,179	1,000	
AKM	0,458	0,509	-0,088	0,012	-0,041	0,114	1,000

Koyu renkli olanlar $p<0.05$ seviyesinde önemli kabul edilmiştir.

Tablo incelendiğinde partiküler formdaki Cr miktarının, sudaki askıda katı madde miktarı ile ilişkisi önemli ve pozitif (0,458), aynı şekilde Ni miktarının da, sudaki askıda katı madde miktarı ile ilişkisi önemli ve pozitif (0,509) bulunmuştur. Bu durum, sudaki askıda katı madde miktarı arttıkça, partiküler formdaki metal konsantrasyonunun da artacağını göstermektedir.

Su kalitesi bazı parametreleri ile sedimentin organik madde içeriğinin, sedimentteki toplam metal konsantrasyonları ile aralarındaki ilişkiyi belirlemek amacı ile korelasyon analizi yapılmış ve bulgular Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17. Su ve sediment kalitesi parametreleri ile sedimentteki toplam metaller arasındaki r korelasyon katsayıları

Pearson rho	Cr _{Sed}	Ni _{Sed}	T	pH	EC	AKM	Org Md
Cr _{Sed}	1,000						
Ni _{Sed}	0,023	1,000					
T	-0,078	0,007	1,000				
pH	0,061	-0,051	-0,140	1,000			
EC	0,009	0,290	-0,475	0,098	1,000		
AKM	0,580	0,103	-0,088	0,012	-0,041	1,000	
Org Md	0,079	0,121	0,305	0,214	-0,137	-0,145	1,000

Koyu renkli olanlar $p<0.05$ seviyesinde önemli kabul edilmiştir.

Tablo incelendiğinde sedimentteki toplam Cr miktarının, sudaki askıda katı madde miktarı ile ilişkisi önemli ve pozitif (0,580), sedimentteki toplam Ni miktarının da, suyun elektriksel iletkenliği ile ilişkisi önemli ve pozitif (0,290) bulunmuştur. Adsorbsiyon-desorbsiyon mekanizmaları, askıda katı maddenin ve sedimentin göldeki metal konsantrasyonlarını etkilemektedir. Yüzeysel sularda elektriksel iletkenlik artışını sadece sıcaklık artışına bağlamak yanlış olmaktadır. Kış aylarında da elektriksel iletkenlik parametresinin yüksek bulunması, yağışların neden olduğu yüzeysel akışlarla bir çok iyon ve partikül maddenin gölü etkilediğini, dolayısıyla yüzey sedimentinde bulunan nikel ile de ilişkisinin önemli olduğunu göstermektedir (Costello 2011).

Suda çözülmüş formdaki metal konsantrasyonları ile sedimentin kimyasal fraksiyonları arasındaki ilişkiler suya direk ya da dolaylı olarak geçen sedimentteki metallerin dinamik eşitliklerinin durumunu belirtmektedir. Sedimentteki metallerin mobil ve kolay serbest hale geçebilir fraksiyonları suya geçiş yapmaya hazır metalleri belirtmektedir. Bu bağlamda bu türler arasındaki ilişkileri belirlemek için korelasyon analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar Tablo 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.18. Sudaki metal konsantrasyonları ile sedimentte bulunan metallerin farklı kimyasal fraksiyonları arasındaki ilişkileri gösteren r korelasyon katsayıları

Pearson rho	F1	F2	F3	F4	F5	Toplam
Ni	0,389	0,104	0,257	-0,211	-0,178	0,018
Cr	0,238	0,169	0,308	0,068	0,014	0,084

Koyu renkli olanlar $p < 0.05$ seviyesinde önemli kabul edilmiştir.

Sudaki Ni konsantrasyonlarının, mobil fraksiyonlarla (F1) olan ilişkileri önemli ve pozitif (0,389) bulunmuştur. Bu nedenle sedimentteki nikelin uygun şartlarda suya hızlıca geçiş yapabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde sudaki Ni konsantrasyonları ile mobil fraksiyonun (F1) ilişkilerinin önemli, diğer fraksiyonlarla olan ilişkilerinse önemsiz olduğu Singh ve diğ. (2008) yapmış olduğu çalışmada da belirlenmiştir.

Sudaki Cr konsantrasyonlarının, Mn-oksitlere bağlı fraksiyonlarla (F3) olan ilişkileri önemli ve pozitif (0,308) bulunmuştur. Fe-Mn oksitlerin özellikle su ortamında metallerin kaynağı olduğu bilinmektedir. Oksitlerin doğada amfoter (iki yönlü) yapıda oldukları ve ortamın pH’ına bağlı olarak yüklerinin değiştiği bilinmektedir. Suyun pH’sı

genel olarak alkali olması sebebiyle oksitler negatif yüke sahiptirler ve bu nedenle katyonları tutmaları beklenmektedir (Kannan ve diğ. 2008, Davutoğlu ve diğ. 2011).

Suda çözülmüş halde bulunan krom ve nikelin yıllık ortalama konsantrasyonlarına göre toksik olma durumları ulusal ve uluslararası standartlar yardımı ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme tablolar halinde aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.19. Uluabat Gölü çözülmüş metal konsantrasyonları ortalamaları ve uluslararası standart değerler (Anonim 2006a, Anonim 2006b).

Metaller (mg/l)	WHO	EPA, Su Kalitesi Kriterleri		Bu Çalışma	Mak-Min
	İçme Suyu	CMC	CCC		
As	0,01 ^P	0,34 A,D,K	0,15 A,D,K		
B	0,5 ^T				
Cd	0,003	0,002 D,E,K	0,00025 D,E,K		
Cr		0,57 D,E,K	0,074 D,E,K	0,022±0,030	0,249-0,001
Cu	2	0,013	0,009 D,E,K		
Fe			1		
Mn	0,4 ^C				
Ni	0,02 ^P	0,47 D,E,K	0,052 D,E,K	0,012±0,012	0,091-0,000
Pb	0,01	0,065 D,E	0,0025 D,E		
Zn		0,12 D,E,K	0,12 D,E,K		

CMC: Akut

CCC: Kronik

P: Kesin olmayan değerdir. Tehlikeli olduğu bilinmektedir ancak sağlık etkileri hakkında bilgiler sınırlıdır

T: Kesin olmayan bilgidir. Hesaplanan değerler arıtılabilir seviyenin altındadır.

A: Tavsiye edilen kriter As (III) için türetilmiştir. As (V) ile benzer etkiler göstermesi nedeniyle toplam As için kabul edilmiştir

D: Tavsiye edilen su kalitesi kriteri su canlıları için oluşturulmuş kriterlerden dönüşüm faktörü (CF) ile çarpılarak oluşturulmuştur

E: Su kolonundaki sertliğin bir fonksiyonu olarak hesaplanan ve yüzeysel sular için geliştirilmiş standart değerler

K: 1995 yılında su canlıları için oluşturulmuş kriterlerden adapte edilmiştir.

Tablo 4.19 incelendiğinde, Cr ve Ni konsantrasyonları, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu standart değerleri ve Avrupa Çevre Koruma Ajansı (EPA) su kalitesi kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye göre WHO, Cr için bir sınır değer belirtmemiştir, Ni için ise 0,02 mg/l olarak belirlenmiştir. Ölçülen Ni konsantrasyonları yıllık ortalaması 0,012 mg/l olarak verilmiş ve standardın altında olduğu görülmektedir. Ancak maksimum ve minimum değerleri incelendiğinde Ni konsantrasyonu 0,091 mg/l olarak ölçülmüştür. Bu değer hem WHO'nun hem de EPA'nın CCC (kronik seviye sınır değeri) belirlemiş olduğu değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Benzer

şekilde ölçülen maksimum Cr konsantrasyonu değerinin (0,249 mg/l) EPA/CCC sınır değerini aştığı görülmektedir.

Çözünmüş formdaki metal konsantrasyonları aynı zamanda ulusal standartlar ile kıyaslanmış ve Tablo 4.20’de sunulmuştur.

Tablo 4.20. Uluabat Gölü çözünmüş metal konsantrasyonları ortalamaları ve ulusal standart değerler

Metaller (mg/l)	SKKY 2004 ^b				SKKY, Tek. Usül. Teb., 1991 ^c	SÜY 2005 ^d	TS266, 2005		Bu Çalışma
	I	II	III	IV		Tolere değer	Sınıf 1 ve sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 ve tip 2	
As	0,02	0,05	0,1	>0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	
B	1	1	1	>1	2	3	0,001	0,001	
Cd	0,003	0,005	0,01	>0,01	0,01	0,01	0,005	0,005	
Cr	0,02	0,05	0,2	>0,2	0,1	0,1	0,05	0,05	0,022±0,030
Cu	0,02	0,05	0,2	>0,2	0,2	0,01	0,1	2	
Fe	0,3	1	5	>5	5	0,7	0,05	0,2	
Mn	0,1	0,5	3	>3	0,2	1	0,02	0,05	
Ni	0,02	0,05	0,2	>0,2	0,2	0,3	0,02	0,02	0,012±0,012
Pb	0,01	0,02	0,05	>0,05	5	0,1	0,01	0,01	
Zn	0,2	0,5	2	>2	2	0,003	-	-	

Tablo incelendiğinde, Uluabat Gölü su kalitesinin Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)’inde verilen “Kıtaici Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” tablosundan (Anonim 2004) faydalanılarak yapılan değerlendirmesi sonucunda Cr açısından II. Sınıf, Ni açısından I. Sınıf su kalitesine sahip olduğu görülmektedir. SKKY Teknik Usuller Tebliği’nde verilmiş olan “Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri” Tablosu (Anonim 1991) ile karşılaştırıldığında verilen sınır değerlerin altında ve her türlü zemin için sulamaya uygun bulunmuştur. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Su Ürünleri Yönetmeliği (SUY), “İç Sulara ve Denizlerdeki İstihsal Yerlerine Dökülmesi Yasak Olan Zararlı Maddeler ve Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler Listesi, Alıcı Ortama Ait Kabul Edilebilir Değerler” (Anonim 2005a) tablosunda verilen standart değerlere göre değerlendirildiğinde, Cr ve Ni için uygun oldukları görülmektedir. TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular kriterleri (Anonim 2005b) sınıflandırma tablolarına göre Cr ve Ni için sınıf 1 tip 1 sınır değerlerinin altında bulunmuştur. Buna göre Uluabat Gölü’nün içme ve kullanma amaçlı olarak değerlendirilemeyeceği belirlenmiştir.

Tablo 4.21. Uluslararası sediment kalite değerleri ve Uluabat Gölü sediment konsantrasyonları (Anonim 1999, Anonim 2000, Burton 2002)

	As	Cr	Cd	Pb	Cu	Ni	Fe	Mn	Zn
PEL	17	90	3,53	91,3	197	36			315
SEL	33	110	10	250	110	75			820
TET	17	100	3	170	86	61			540
ERM	85	145	9	110	390	50			270
PEL-HA28	48	120	3,2	82	100	33			540
UET	17 I	95 H	3 I	127 H	86 I	43 H	4 % I	1100 I	520 M
Bu çalışma	119,745			196,274					

ERM: Etki aralığı-Medyan

I : İnfanual topluluğu etkileri

PEL: Olası etki seviyesi; kuru ağırlık

H : Hyalella azteca deneyi

SEL : Şiddetli etki seviyesi; kuru ağırlık

M : Microtox deneyi

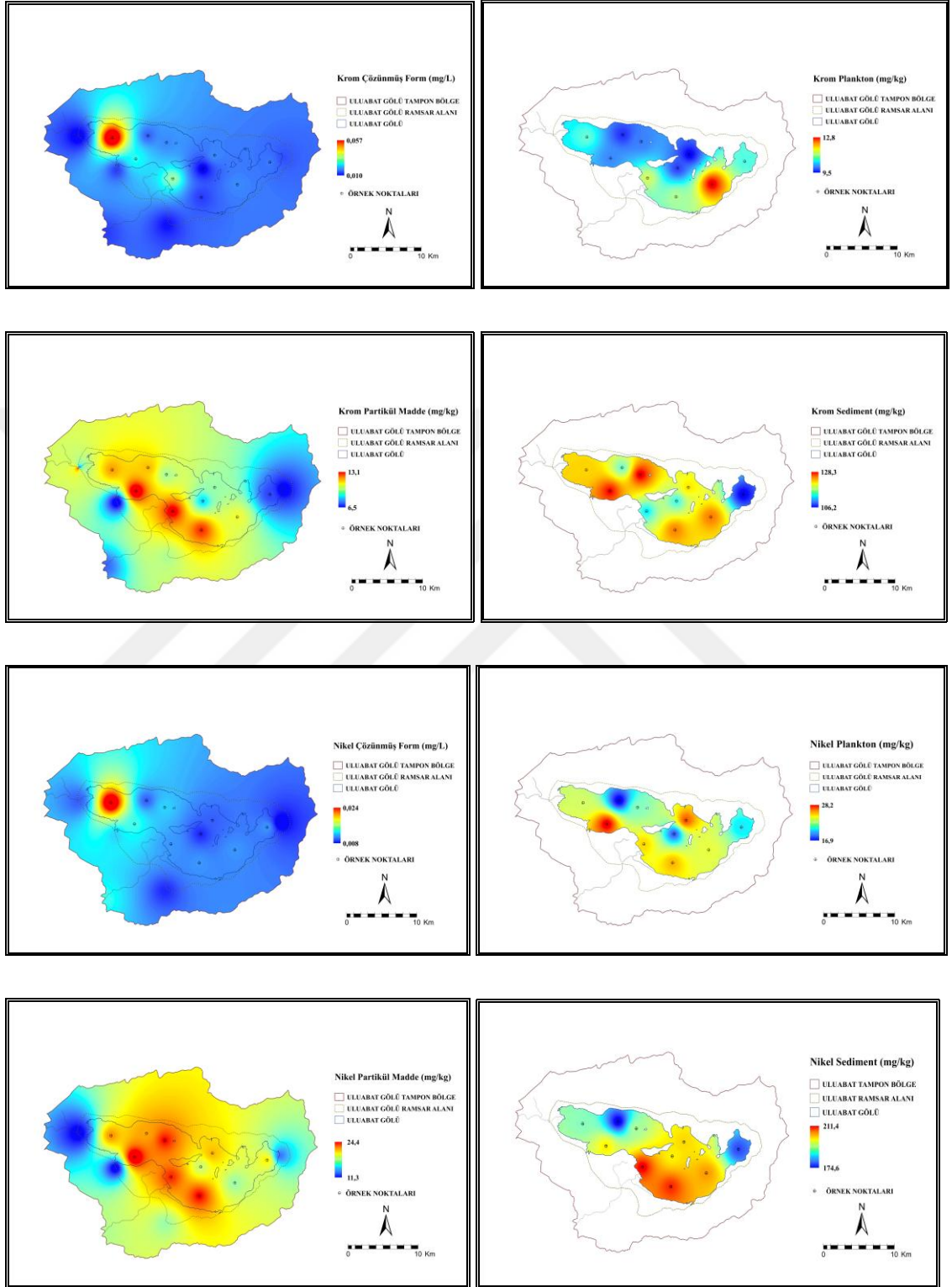
TET : Toksik etki eşik seviyesi

PEL-HA28 : Hyalella azteca için belirlenen 28 günlük olası etki seviyesi değeri ; kuru ağırlık

UET : Üst Etki Eşik seviyesi

Ülkemizde Sediment Kalitesinin belirlenmesi yönelik bir yönetmelik bulunmamaktadır. Bu nedenle sedimentteki toplam metal içerikleri uluslar arası standartlara göre kıyaslanmış, Tablo 4.21’de sunulmuştur. Gölde çözünmüş formda metal kirliliğinin yüksek olmadığı daha önceki kıyaslamalarda görülmektedir. Ancak partikül maddeye tutunmuş halde ve sedimentte yüksek metal içeriği tespit edilmiştir. Tablo 4.21’e göre de, sedimentte toplam krom ve nikelin toksik etki eşiği (TET) ve üst etki eşiği (UET) değerlerinden de yüksek olduğu saptanmıştır.

Çalışma alanında belirlenen 10 örnekleme noktasında Ağustos 2013 ve Temmuz 2014 dönemlerinde alınan su, sediment ve plankton örnekleri analizlenmiş ve coğrafi bilgi sistemleri veritabanına aktararak, Arcview programı sayesinde bu veriler arcview dosya formatı olan shp dosyalarına dönüştürülmüştür. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin konumsal analiz enterpolasyon araçları Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (IDW) kullanılarak noktasal veriler alansal verilere dönüştürülmüştür. Böylece her bir metal fraksiyonu için tematik haritalar üretilmiştir. Bu doğrultuda üretilen metal konsantrasyonlarının su, sediment ve planktonda dağılımına ait haritalar Şekil 4.9’da sunulmuştur. Bu haritalar incelendiğinde, çözünmüş formdaki Cr ve Ni konsantrasyonlarının gölün çıkışında bulunan 1. Örnekleme noktasında en yüksek değerlere sahip olduğu, diğer tüm istasyonlarda benzer ortalamalara sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.9. Cr ve Ni Konsantrasyonlarının Örnekleme Noktalarına Göre Dağılımı
(Çözünmüş, Plankton, Partiküler Madde, Sediment Dağılımları)

Bunun nedeni, gölün bekletme süresi boyunca çökelen AKM nedeni ile metallerin bu bölgede adsorbe olamaması sonucunda çözünmüş halde bulunmalarının, ayrıca Kocasu Çayı ve diğer noktasal kirletici kaynakların (Atabay ve Karaoğlan Pompa İstasyonları) bu örnek alma noktasına yakın olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

Partiküler formdaki metal dağılım haritaları incelendiğinde, özellikle 1, 2, 3, 4 ve 5. Örnekleme noktalarının bulunduğu bölgelerde yüksek oldukları görülmektedir. Bunun nedeni, bu bölgelerin daha çok rüzgar alması nedeni ile oluşan su hareketlerinin yol açtığı AKM artışı ve bu bölgelere yakın olan noktasal kaynakların (pompa istasyonları) etkilemesinin neden olabileceği düşünülmektedir.

Plankton bünyesinde bulunan metal dağılım haritaları incelendiğinde, 5, 6 ve 7. Örnekleme noktaları ile 2. Örnekleme noktalarında en yüksek değerlerin ölçüldüğü görülmektedir. Bu noktalar, akım koşullarının daha durağan olduğu ve daha sık olan noktalardır. Bu nedenle plankton üremesinin daha yoğun olduğu, dolayısıyla daha fazla metal içeriğine sahip oldukları görülmektedir.

Sedimentte bulunan metal dağılımları incelendiğinde ise, göl genelinde yüksek konsantrasyonlara sahip oldukları görülmektedir. Tersine, Akçalar bölgesinde bulunan 8. Örnekleme noktasında ise her iki metal içinde minimum değerler ölçülmüştür. Bunun nedeninin, bu bölgede bulunan Çınarcık Kuvvet tüneline salınan su ile gölün tam karışımı, hatta yüzey sedimentinde alabora ederek karışım meydana getirmesi, metallerin bulunduğu ortamda farklı fazlara geçmiş olabileceği düşünülmektedir.

4.7. Delft-3D FLOW Modülü Uygulaması için Giriş Dosyalarının Hazırlanması

4.7.1.Uluabat Gölü Su Bütçesi

Su bütçesi, bir ekosistemde belirli bir süre içinde sisteme giren su ile çıkan ve depolanan suyun denge durumunda bulunması şeklinde tanımlanabilir. Su bütçesini oluşturan parametreler; yağış, buharlaşma, yeraltı suyu beslemeleri, dereler ve çekilen su miktarları olarak kabul edilen girdi ve çıktılardır (Davraz ve diğ. 2014, Davraz ve Balın 2016).

Modelleme periyodunu kapsayan süreçte su bütçesinin hazırlanması için gerekli veriler, DSİ 1. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilerek, gölün 1 yıllık su bütçesi oluşturulmuştur. (Tablo 4.22 ve 4.23). Uluabat Gölü'nden sulama amaçlı su çeken pompa istasyonlarına ait aylık çalışma saatleri, ölçülen pompa kapasiteleri ($m^3/saat$) DSİ'den temin edilmiştir. Pompa istasyonlarının sulamaya açılış ve kapanış tarihleri de hesaba katılarak pompa istasyonlarına ait su çekimleri günlük olarak hesaplandıktan sonra aylık değerlere geçiş yapılmıştır. Meteoroloji Müdürlüğü'nden temin edilen buharlaşma değerleri (mm), tava katsayısı olarak ifade edilen 0,7 değeri ile çarpılmıştır. Göl yüzey alanı (m^2) değerlerinden toplam buharlaşma (m^3) miktarına ulaşılmıştır. Göl aynasına düşen yağış yüksekliği (mm) verileri ve göl yüzey alanı (m^2) değerlerinden toplam yağış (m^3) miktarı hesaplanmıştır. Uluabat Gölü'ne giriş ve çıkış yapan Akçalar Dere ve MKP Çayı ile gölden çıkış yapan Kocasu Çayı'na ait debi değerleri yine DSİ'den günlük olarak temin edilmiştir ve ölçtürülmüştür.

Uluabat Gölü'nün su bütçesi gerek eksik veriler ve gerekse hassas yapılamayan ölçümler nedeniyle belirli bir hata payı ile hesaplanabilmiştir. Bu hata payının içerisinde, MKP Çayı'nın topladığı akışlar hariç havzadan gelen yüzeysel akışlar, ölçüm eksikliğinden kaynaklanan hatalar ve yeraltı suyunun göl ile olan etkileşimi olabileceği düşünülmektedir.

Hacim Değişimi = Toplam Gelen Su – Toplam Çıkan Su \pm Hata

Hata değerlerinin negatif olması gölün beslendiğini, pozitif olması ise gölden kaçak olduğunu ifade etmektedir (Mercan 2006). Uluabat Gölü'nün yeraltı suyu ile etkileşim içerisinde olduğu bilinmektedir. Ancak, ölçüm eksikliği sebebiyle yer altı suyuna ait veri bulunmadığından hata payı içerisinde yer aldığı varsayılmıştır. Bu bağlamda, hidrodinamik modelleme çalışmasında, bu hata payı, yeraltı suyunun Uluabat Gölü ile olan etkileşimi ve ölçümü yapılmamış olan diğer girdiler/çıkışlar olarak modele dahil edilmiştir.

Uluabat Gölü su bütçesi dağılımları tablolar halinde Tablo 4.22, 4.23 ve 4.24'de verildiği gibidir.

Tablo 4.22. Çalışma Döneminde Uluabat Gölü'nden Çıkan Aylık Su Miktarı

GÖLDEN ÇIKAN SU MİKTARI									
	Su Kotu (m)	Hacim (m ³)	Kocası Çayı (m ³)	Sulama (m ³)	Buharlaştırma (mm)	Katsayı	Göl Sahası (m ²)	Toplam Buharlaştırma (m ³)	Toplam Çıkan Su (m ³)
Ağu.13	2,50	132.000.000,00	33.782.659,20	3.639.677,76	162,10	0,70	129.500.000,00	14.694.365,00	52.116.701,96
Eyl.13	2,47	127.920.000,00	33.535.296,00	1.248.825,60	106,50	0,70	127.800.000,00	9.527.490,00	44.311.611,60
Eki.13	3,45	267.500.000,00	37.757.404,80	0,00	36,60	0,70	127.800.000,00	3.274.236,00	41.031.640,80
Kas.13	2,55	138.800.000,00	36.080.640,00	0,00	33,70	0,70	129.500.000,00	3.054.905,00	39.135.545,00
Ara.13	3,47	270.500.000,00	66.984.105,60	0,00	33,90	0,70	145.600.000,00	3.455.088,00	70.439.193,60
Oca.14	2,62	148.320.000,00	49.175.424,00	0,00	38,30	0,70	131.200.000,00	3.517.472,00	52.692.896,00
Şub.14	2,62	148.320.000,00	45.360.000,00	0,00	39,00	0,70	131.200.000,00	3.581.760,00	48.941.760,00
Mar.14	2,72	161.920.000,00	53.969.760,00	0,00	63,50	0,70	132.900.000,00	5.907.405,00	59.877.165,00
Nis.14	2,72	161.920.000,00	49.921.920,00	0,00	85,00	0,70	132.900.000,00	7.907.550,00	57.829.470,00
May.14	2,82	175.520.000,00	98.699.040,00	466.577,28	114,00	0,70	134.600.000,00	10.741.080,00	109.906.697,28
Haz.14	2,72	161.920.000,00	73.638.720,00	1.205.280,00	134,40	0,70	132.900.000,00	12.503.232,00	87.347.232,00
Tem.14	2,59	144.240.000,00	44.836.416,00	3.844.843,20	161,80	0,70	131.200.000,00	14.859.712,00	63.540.971,20

Tablo 4.23. Çalışma Döneminde Uluabat Gölü'ne Gelen Aylık Su Miktarı

GELEN											
	Su Kotu (m)	Hacim (m ³)	Çınarcık Barajı (m ³)	Atabay Pİ (m ³)	Karaoğlan Pİ (m ³)	Akçalar (m ³)	MKP Çayı (m ³)	Yağış (mm)	Göl Sahası (m ²)	Toplam Yağış (m ³)	Toplam Gelen Su (m ³)
Ağu.13	2,50	132.000.000,00	13.284.864,00	2.612.779,20	467.380,80	26.784,00	26.328.672,00	1,40	129.500.000,00	181.300,00	42.901.780,00
Eyl.13	2,47	127.920.000,00	12.312.000,00	1.755.043,20	469.152,00	38.880,00	25.733.376,00	16,60	127.800.000,00	2.121.480,00	42.429.931,20
Eki.13	3,45	267.500.000,00	26.382.240,00	677.903,04	449.703,36	10.713,60	29.730.240,00	763,40	127.800.000,00	97.562.520,00	154.813.320,00
Kas.13	2,55	138.800.000,00	22.757.760,00	417.052,80	361.324,80	12.960,00	17.988.480,00	60,80	129.500.000,00	7.873.600,00	49.411.177,60
Ara.13	3,47	270.500.000,00	24.924.386,88	1.067.074,56	445.685,76	16.070,40	15.856.128,00	38,60	145.600.000,00	5.620.160,00	47.929.505,60
Oca.14	2,62	148.320.000,00	22.632.480,00	932.618,88	458.006,40	53.568,00	18.748.800,00	30,80	131.200.000,00	4.040.960,00	46.866.433,28
Şub.14	2,62	148.320.000,00	15.265.152,00	542.142,72	368.202,24	38.707,20	17.321.472,00	20,40	131.200.000,00	2.676.480,00	36.212.156,16
Mar.14	2,72	161.920.000,00	21.320.064,00	552.286,08	413.009,28	42.854,40	30.801.600,00	42,00	132.900.000,00	5.581.800,00	58.711.613,76
Nis.14	2,72	161.920.000,00	20.295.360,00	489.628,80	380.246,40	220.320,00	17.081.280,00	112,00	132.900.000,00	14.884.800,00	53.351.635,20
May.14	2,82	175.520.000,00	41.836.608,00	1.092.519,36	608.264,64	356.227,20	49.014.720,00	96,80	134.600.000,00	13.029.280,00	105.937.619,20
Haz.14	2,72	161.920.000,00	35.354.880,00	1.549.238,40	492.480,00	285.120,00	32.918.400,00	94,40	132.900.000,00	12.545.760,00	83.145.878,40
Tem.14	2,59	144.240.000,00	22.311.072,00	1.716.586,56	154.275,84	13.392,00	33.747.840,00	4,60	131.200.000,00	603.520,00	58.546.686,40

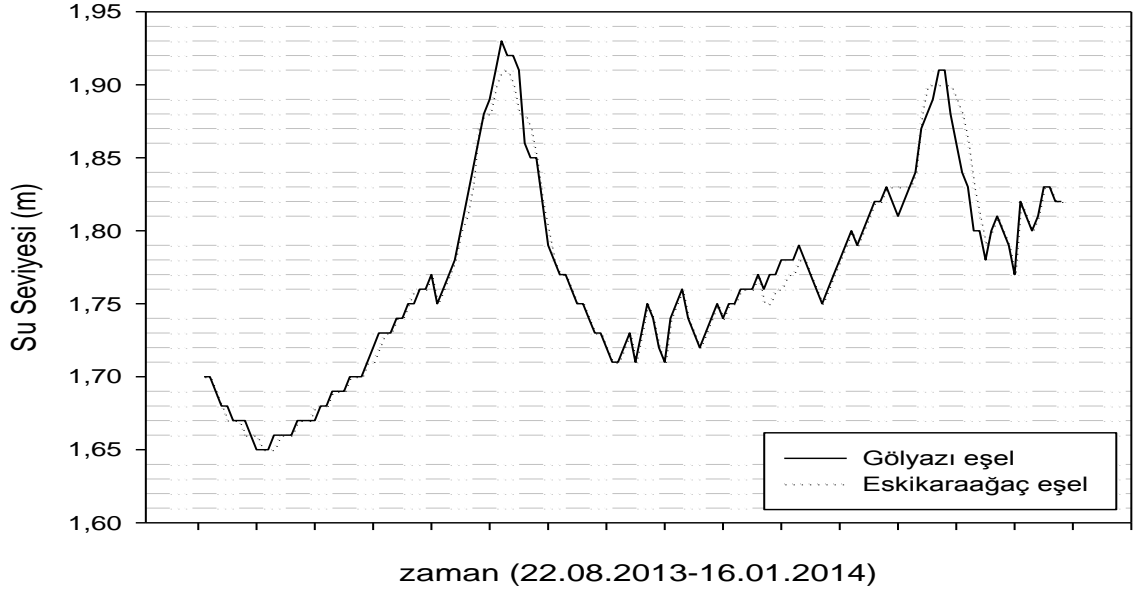
Tablo 4.24. Çalışma Döneminde Uluabat Gölü Genel Su Bütçesi

Dönem	Su Kotu (m)	Hacim (m ³)	Toplam Çıkan Su (m ³)	Toplam Gelen Su (m ³)	Gelen-Çıkan
Ağu.13	2,50	132.000.000,00	52.116.701,96	42.901.780,00	-9.214.921,96
Eyl.13	2,47	127.920.000,00	44.311.611,60	42.429.931,20	-1.881.680,40
Eki.13	3,45	267.500.000,00	41.031.640,80	154.813.320,00	113.781.679,20
Kas.13	2,55	138.800.000,00	39.135.545,00	49.411.177,60	10.275.632,60
Ara.13	3,47	270.500.000,00	70.439.193,60	47.929.505,60	-22.509.688,00
Oca.14	2,62	148.320.000,00	52.692.896,00	46.866.433,28	-5.826.462,72
Şub.14	2,62	148.320.000,00	48.941.760,00	36.212.156,16	-12.729.603,84
Mar.14	2,72	161.920.000,00	59.877.165,00	58.711.613,76	-1.165.551,24
Nis.14	2,72	161.920.000,00	57.829.470,00	53.351.635,20	-4.477.834,80
May.14	2,82	175.520.000,00	109.906.697,28	105.937.619,20	-3.969.078,08
Haz.14	2,72	161.920.000,00	87.347.232,00	83.145.878,40	-4.201.353,60
Tem.14	2,59	144.240.000,00	63.540.971,20	58.546.686,40	-4.994.284,80

4.7.2. Uluabat Gölü Su Seviyesi

Uluabat Gölü su seviyesi günlük ölçüm değerlerinin değişimi, DSI 1. Bölge Müdürlüğü'nden (Gölyazı ve Eskikaraağaç istasyonlarına ait) temin edilmiştir. Bu seviye değişimlerini gösteren grafik Şekil 4.10'da verilmiştir. Hidrodinamik model simülasyonunda su seviye değerlerinden sadece simülasyonların başladığı gün olan seviye değeri başlangıç koşulu olarak kabul edilmiştir. Modelleme çalışmasında, su seviyesi için başlangıç koşulunun tanımlanmasında kullanılan değer dışındaki tüm değerler sadece modelin kalibrasyon-doğrulama adımında kıyas yapabilmek adına kullanılmıştır.

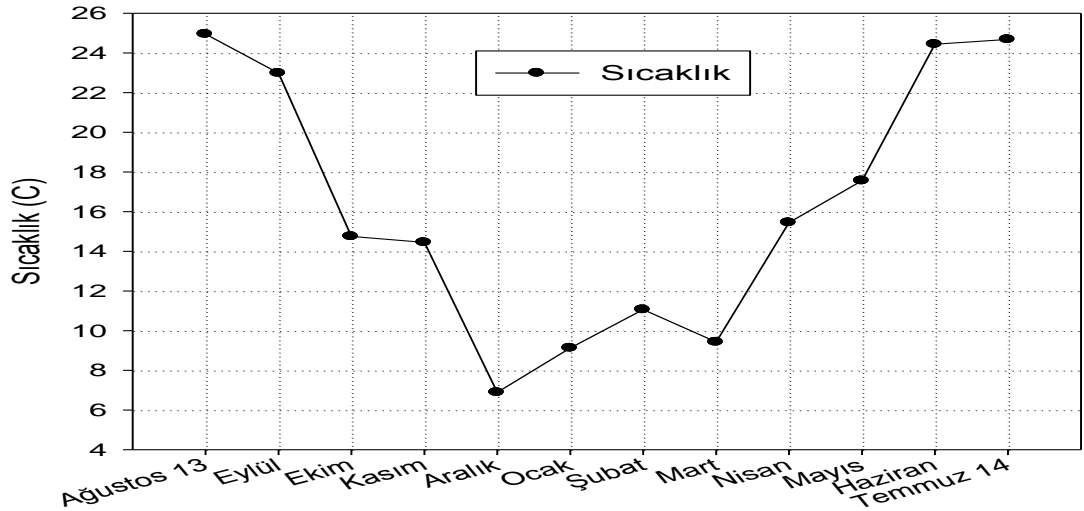
Şekil 4.10 incelendiğinde, Uluabat Gölü su seviyesi değişimlerinin mevsimsel şartlara göre değiştiği görülmektedir. Su seviyesinin düşmeye başladığı dönemlerde sıcaklık artışının yanında sulama amaçlı gölden su çekimi de söz konusudur. Bunun yanında Kocasu Çayı'na boşalma ağzına oluşturulan sedde ile gölün seviyesi kontrol altında tutulmaktadır. Su seviyesinde aşırı artış olduğu dönemlerde sedde açılarak taşkın önlenmeye çalışılmaktadır (Sarmaşık 2012).



Şekil 4.10. Uluabat Gölü Günlük Su Seviyesi Değişimi

4.7.3. Uluabat Gölü Su Sıcaklığı

Uluabat Gölü'ne ait su sıcaklığı verileri numune alınan günlerde ölçülmüştür. Bir yıllık izleme sürecinde ölçülen göle ait ortalama su sıcaklığı değişimi Şekil 4.11'de verilmiştir.

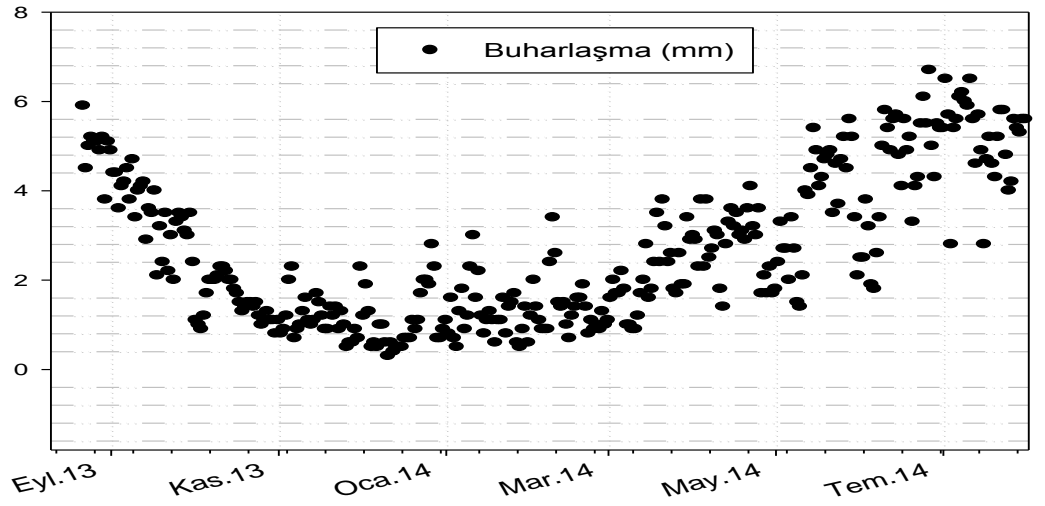
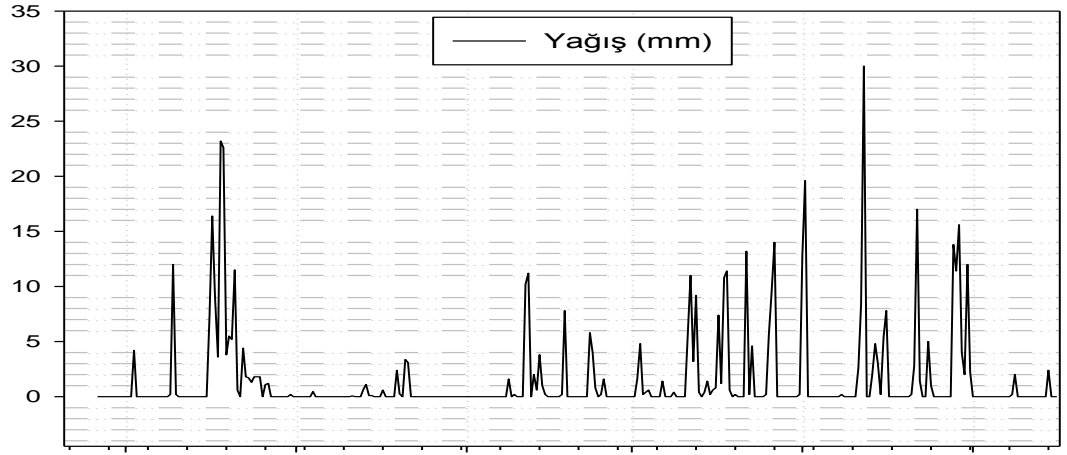
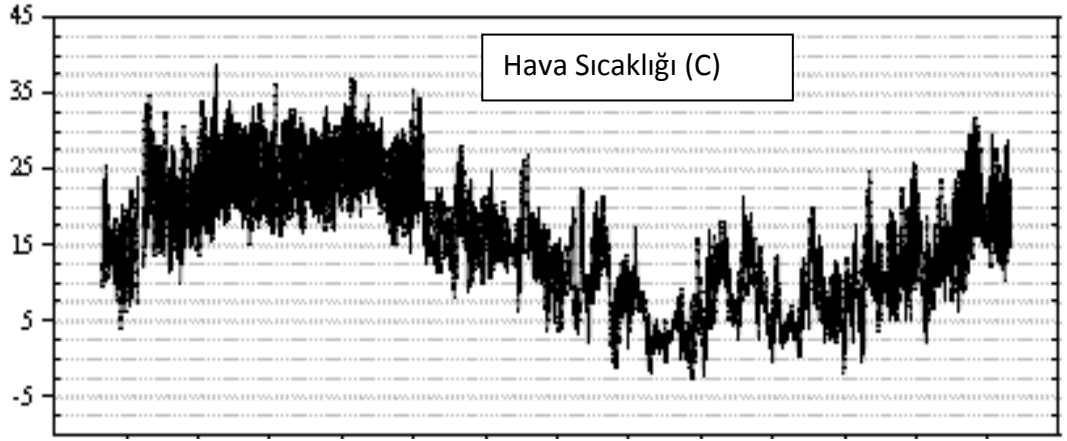


Şekil 4.11. Uluabat Gölü Su Sıcaklığı Değişimi

Hidrodinamik model simülasyonunda göle ait su sıcaklığı değerleri başlangıç koşullarının tanımlanmasında kullanılmıştır. Su sıcaklığı için başlangıç koşulu, alansal olarak önemli bir değişim göstermediğinden uniform olarak alınmıştır.

4.7.4. Meteorolojik Veriler

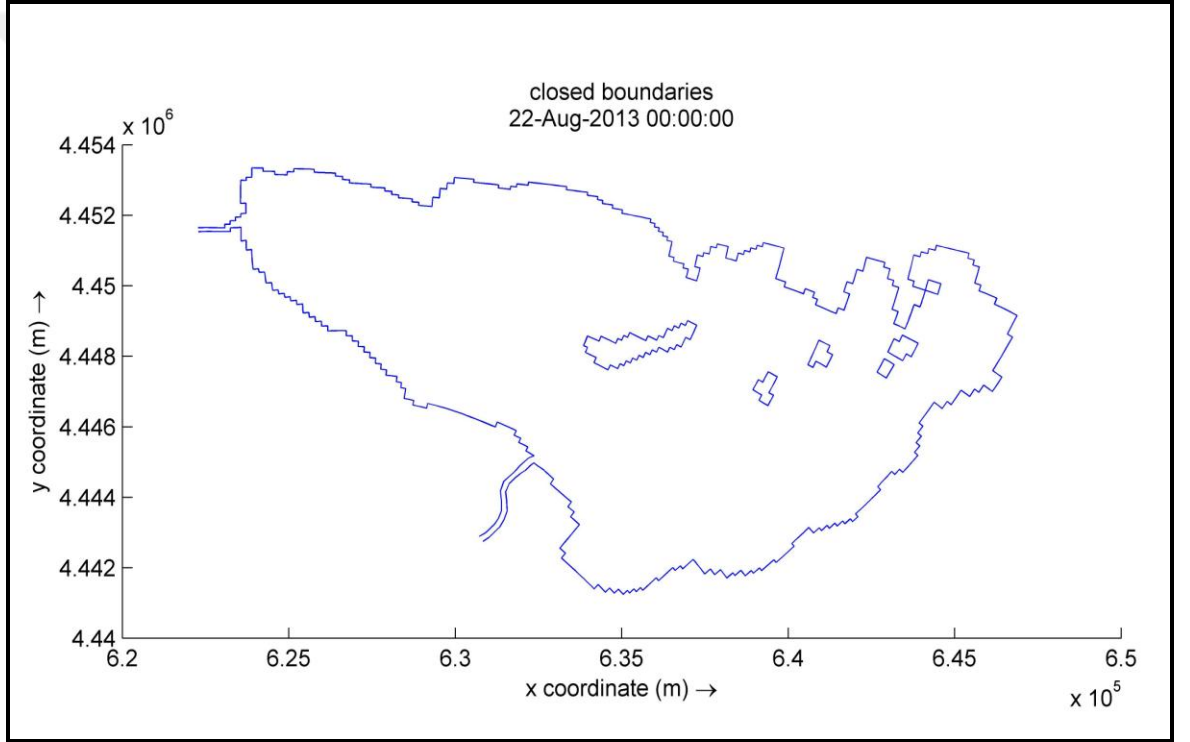
Hidrodinamik modellemede kullanılacak olan meteorolojik veriler, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Modelde kullanılacak olan bu parametreler, rüzgar hızı ve yönü, nemlilik, hava sıcaklığı, toplam radyasyon, yağış ve buharlaşmadır. Bu parametreler, Uluabat Gölü'ne en yakın meteoroloji istasyonu olan, Karacabey istasyonuna ait verilerdir. Çalışmada, saatlik değişimleri önemli olacağı için rüzgar hızı ve yönü, nemlilik, hava sıcaklığı ve toplam radyasyon değerleri saatlik, yağış ve buharlaşma verileri ise günlük olarak modele girilmiştir. Bu parametrelere ait bazı değişim grafikleri aşağıda sunulmuştur.



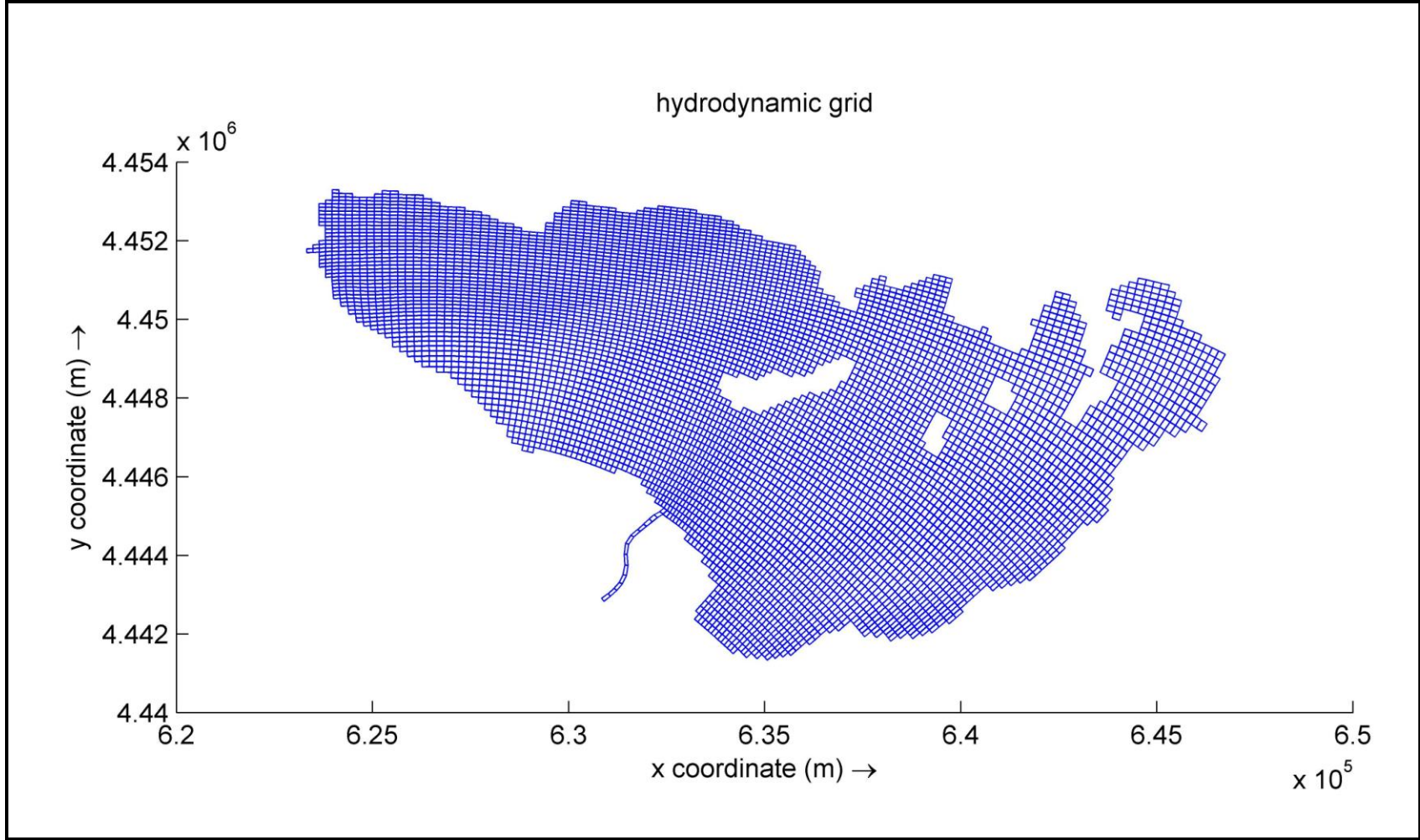
Şekil 4.12. DMİ Karacabey İstasyonu Sıcaklık, Yağış, Buharlaşma Değişimi

4.7.5. Uluabat Gölü Grid ağı

Delft-3D/Flow modülünün Uluabat Gölü'nde uygulanabilmesi için ilk aşama, alanın gridlerinin oluşturulmasıdır. Programda grid oluşturma işlemi Delft3D-RGFGRID aracı kullanılarak yapılmaktadır. Grid oluşturulması için ilk olarak alanın karasal sınırı "land boundary" (.lbd) dosyası oluşturulmuştur (Şekil 4.13). "Land boundary" dosyasından yararlanılarak grid oluşumu için gerekli olan "spline"lar çizilmiştir. Çizilen bu spline'lar (.spl) uygun dosya formatında kaydedilmiştir. Sonraki adım da ise spline'lar uygun formatta gridlere dönüştürülmüş, Uluabat Gölü için hidrodinamik grid oluşumu tamamlanmıştır (Şekil 4.14).



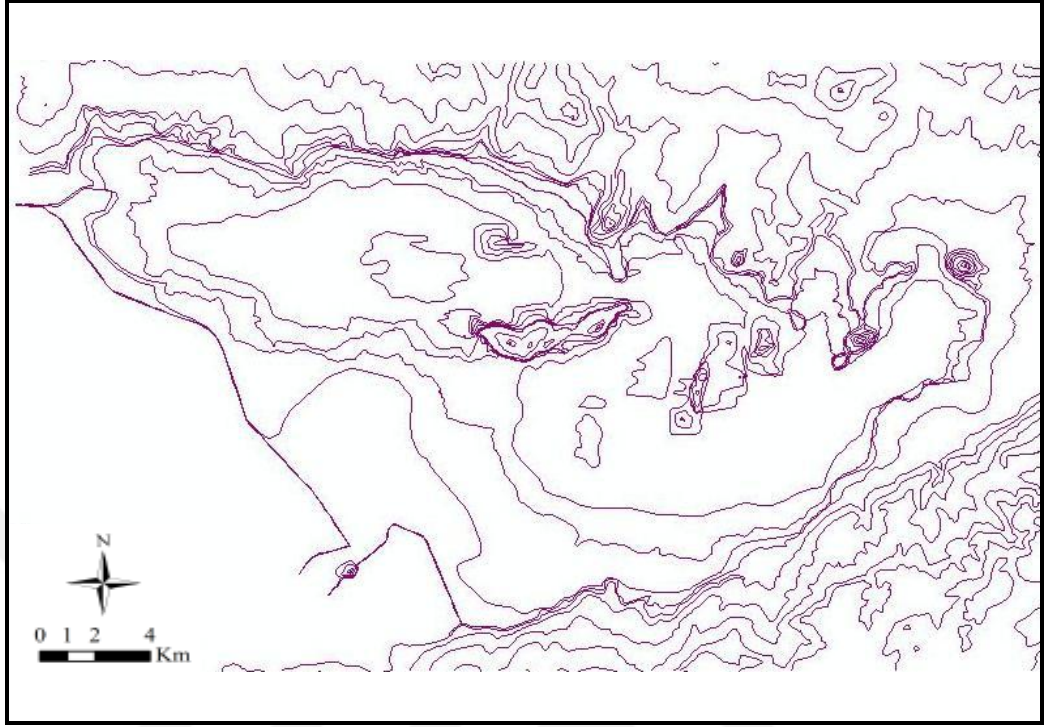
Şekil 4.13. Uluabat Gölü Sınır Alan 'Land Boundary' Dosyası



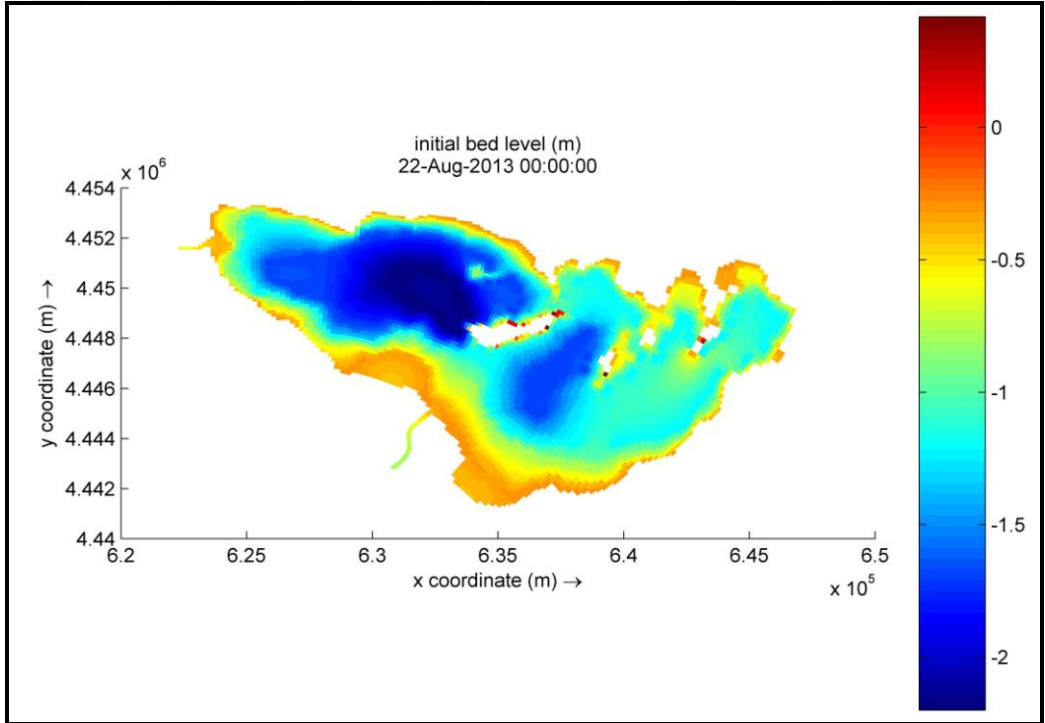
Şekil 4.14. Uluabat Gölü 'Grid' Dosyası

4.7.6. Uluabat Gölü Batimetri Haritası

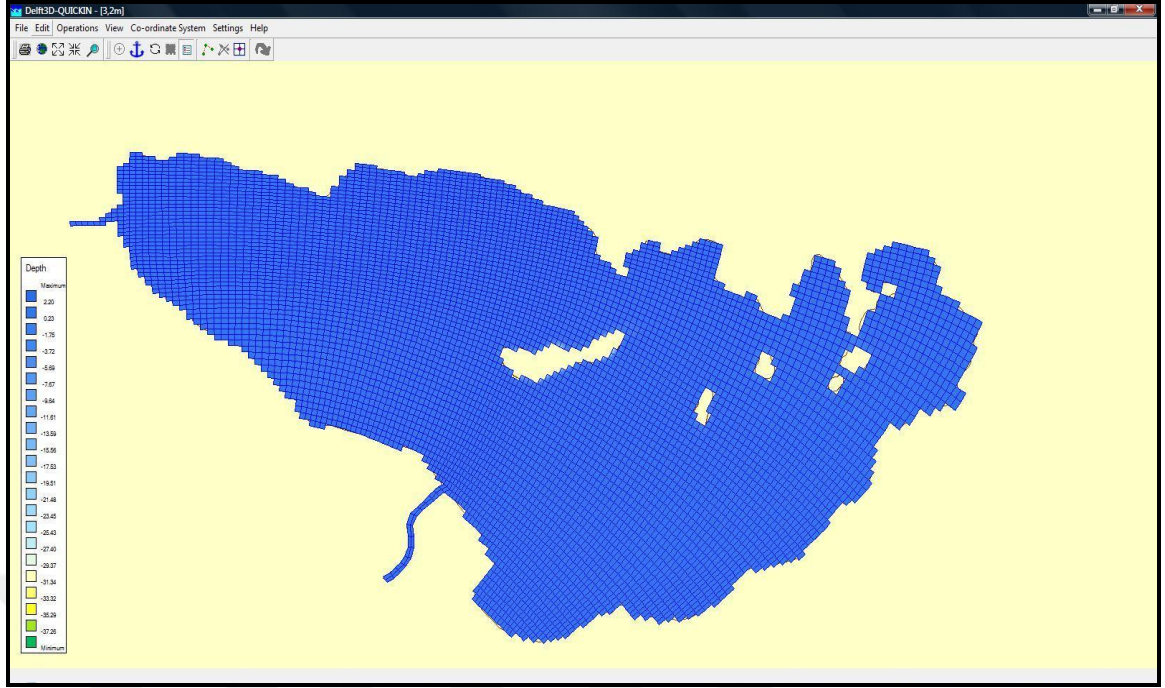
Batimetri haritasının hazırlanması için dijital SOUTH SDE-28 Echo-Sounder cihazı kullanılmıştır. Echo-Sounder cihazının coğrafi konumlandırılması, 30-60 cm hassasiyetle ölçüm yapan Magellan MobileMapper CX serisi Küresel Konumlama Sistemi (GPS) Aleti ile gerçekleştirilmiştir. Göl içerisindeki dalgalanmayı tolere edebilecek seviyedeki derinliğe Echo-Sounder cihazının dönüştürücüsü yerleştirildikten sonra cihaz ölçüm yapılabilir konuma getirilmiş, derinlik ölçümüne başlanılmıştır. Echo-Sounder ünitesinin monte edildiği kayığın, hızda yaşanan bir artışla birlikte oluşan dalgalanmalar ölçüm hassaslığını etkilediğinden 10 km/sa'lik sabit hızlı sürülmesine özen gösterilmiştir. Ölçüm alma sıklığı olarak belirlenen 5 m aralıklarla derinlik bilgileri MacroMap yazılımına kaydedilmiştir. Sonraki aşamada ArcGIS 9.1 yazılımı ile verilerin değerlendirilip batimetri haritasının oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Echo-Sounder derinlik ölçüm kayıtları toplam 38392 adet nokta verisi elde edilmiş, Uluabat Gölü'ne ait deniz seviyesine göre yükseklikleri gösteren derinlik ölçüm verileri, nokta haritası ve ilişkili öznetelik tablosu oluşturulmuştur. ArcGIS programının 3D analiz araç kutusu kullanılarak Uluabat Gölü Eco-GPS derinlik-konum nokta haritası derinlik sütunu değerlerine göre TIN düzensiz bağlantılı üçgen oluşturma yöntemi ile 2010 yılı Uluabat Gölü batimetri yüzeyi oluşturulmuştur. Zenginleştirilmiş 2010 yılı batimetri haritasının 5m x 5m boyutlu raster grid sayısal yükseklik modeli (DEM) haritaları oluşturulmuştur. Uluabat gölü raster grid DEM haritaları 0,5 m yükseklik aralıklarına göre yeniden sınıflandırılarak 0-1; 1-1,5; 1,5-2; 2-2,5; 2,5-3; 3-5; 5-10; 10-20; 20-50; 50-500 olmak üzere Uluabat Gölü 2010 yılı eş yükseklik haritası elde edilmiştir (Şekil 4.15). Batimetrik haritasının hazırlanması 2010 yılında gerçekleştirilmiş olup, izleme yapmış olduğumuz 2013-2014 yıllarında gözlenen maksimum su seviyesine göre bu harita güncellenmiştir. Elde edilen eş yükseklik haritalarından istenen hücre büyüklüğünde 2013-2014 yılı yüzey, hacim ve batimetri haritalarının oluşturulması gerçekleştirilmiştir. ArcGIS ile oluşturulan batimetri haritası, uygun dosya formatında(.xyz) Delft3D-Flow modülü, QUICKIN sekmesi yardımı ile tekrar düzenlenmiş ve Şekil 4.16 ve 4.17'de sunulmuştur.



Şekil 4.15. Uluabat Gölü Eş Yükselti Eğrileri



Şekil 4.16. Model Araçları ile oluşturulan Uluabat Gölü Batimetri Haritası

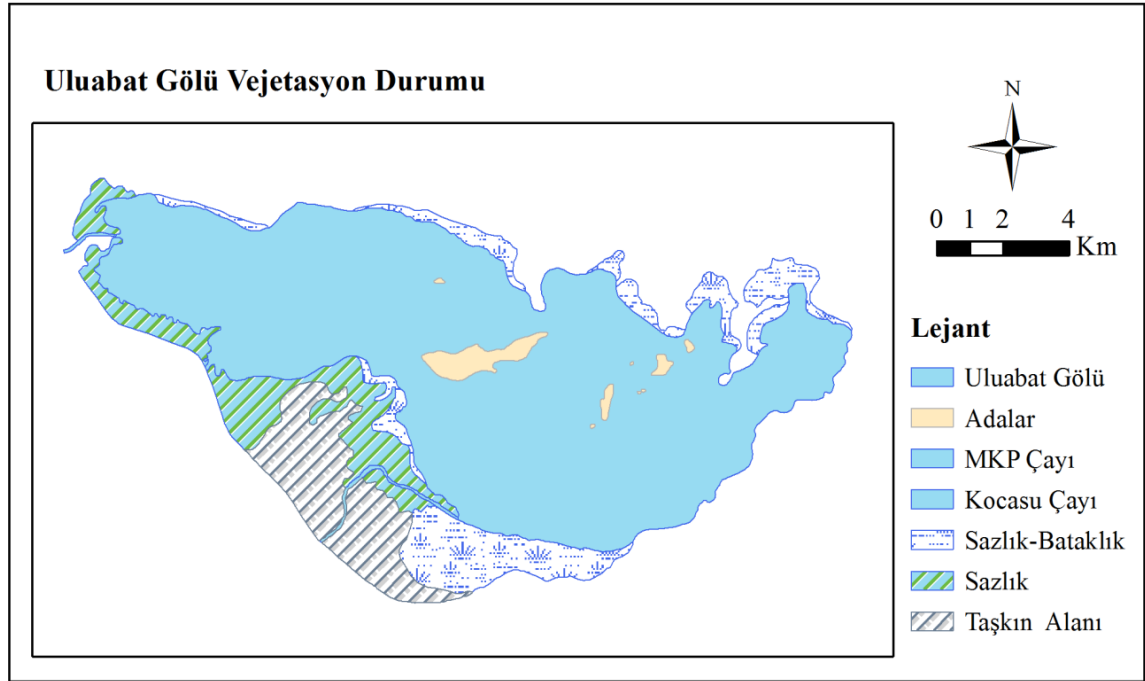


Şekil 4.17. QUICKIN modülünde oluşturulan Uluabat Gölü Batimetri Haritası

4.7.7. Uluabat Gölü Taban Pürüzlülüğü Durumu

Uluabat gölü sığ bir göl olması ve önemli büyüklükte sazlık ve bataklık bölgesi bulunması nedeniyle, taban pürüzlülüğü gölün hidrodinamik koşullarında önem taşımaktadır. Delft3D-Flow modülünde, taban pürüzlülüğü; Chezy, Manning ve White Colebrook gibi farklı formülasyonlar kullanılarak hesaplanabilmektedir. Ancak göl tabanındaki pürüzlülük hakkında herhangi bir ölçüm bulunmadığından, Manning sürtünme katsayısı için literatürden değişik değerler kabul edilerek gölün hidrodinamik davranışı duyarlılık analizi yapılarak irdelenmiştir. Göller için geçerli Manning katsayılarının büyüklükleri ile ilgili değişik literatür bilgileri mevcuttur. Özellikle sığ göllerde hidrodinamik davranış genelde gölde su yüzüne çıkan makrofit, batık makrofit ve makrofit bulunmayan alanların toplam gölalanı içerisinde dağılımına ve kapladıkları alana bağlı olmaktadır (Niepelt 2007). Delft3D-Flow modülünde, gölün farklı bölgelerine farklı taban pürüzlülüğü katsayıları tanımlanabilmektedir. Modelin bu özelliği sayesinde, gölün farklı taban karakteristikleri için farklı değerler tanımlanarak, taban pürüzlülüğündeki alansal değişimler modele girilmiştir.

Göllerdeki makrofitlerin mevcudiyetine, miktarına ve dağılımına bağlı olarak Manning sürtünme katsayısının alabileceği değerleri sunan çeşitli literatür bulunmaktadır (Sarmaşık 2012, Kees ve diğ. 2010, Larmaei ve diğ. 2009, Ebrahimi ve diğ. 2008, Çelebioğlu 2006, Cardoso 2005, Madsen ve diğ. 2001). Bu çalışma kapsamında Cardoso (2005) tarafından verilen göllerde Manning katsayısı seçme kriterleri esas alınmıştır. Cardoso (2005)'ya göre batık makrofitler için $n=0,071 \text{ s.m}^{-1/3}$; su yüzüne çıkmış makrofitler için $n=0,125 \text{ s.m}^{-1/3}$; vejetasyon barındırmayan göl alanları için $n=0,033 \text{ s.m}^{-1/3}$ kabul edilebilir. Bu bağlamda, sazlık bölge ve sazlık olmayan bölgenin belirlenmesi ve bu bölgeler için poligon dosyalarının (.pol) oluşturulması gerekmektedir. Bunun için hazırlanmış olan Uluabat gölü sazlık alanı ve vejetasyon barındırmayan alanları Şekil 4.18'de verildiği şekilde tespit edilmiştir. Modelin QUICKIN modülünde pürüzlülük dosyası hazırlanmış, Flow modülünde kullanılacak şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 4.18. Uluabat Gölü Vejetasyon Durumu

4.7.8. Uluabat Gölü'nde Delft3D-Flow Modülü Uygulaması

Flow modülü, sıvı sulardaki kararsız akışı simüle eder. Gelgit, rüzgar, hava basıncı, yoğunluk farkları, dalgalar, türbülans, kuruma ve taşkın etkilerini kapsamaktadır. Bu modül çok boyutlu bir hidrodinamik simülasyon programıdır.

Delft3D-Flow

Girdi Dosyası: tüm hidrodinamik verilerin bulunduğu ve ihtiyaç duyulan verilerin yer aldığı temel tanımlama dosyası(.mdf/master definition file)

Çıktı Dosyası: dört farklı sonuç dosyası bulunur, bunlar; history file(.trih), map file(.trim), drogue file(.trid), communication file(.com).

Delft3D-FLOW ile bir akış simülasyonu yürütmek için çeşitli bilgilere ihtiyaç duyulur. Bunlar, model alanının boyutu, yeri, sınırları, batimetrisi, geometrik ayrıntıları (dalgakıran, akım engelleyici yapılar, deşarjlar, vb.) ve simülasyon sonuçların nerede, nasıl tanımlanacağı ve/veya saklanacağıdır. Son olarak, tüm konum ile ilgili olan parametrelerin tanımlı olduğu, nümerik grid yapısının tanımlanması gerekmektedir.

Bu modülde bir simülasyonun yapılabilmesi için temel adımlar şöyledir;

- Modellenen alanın büyüklüğünün belirlenmesi,
- Açık sınırların büyüklük ve yerlerinin belirlenmesi,
- Su seviyesi, akım hızları ve deşarj türlerine göre sınır koşullarının türünün belirlenmesi,
- Karasal sınırın belirlenmesi,
- Nümerik olarak grid ağı oluşturulması,
- Nümerik olarak alanın batimetrisinin oluşturulması,
- Grid ağı üzerinde açık sınırların, deşarj noktalarının, örnek alma noktalarının, kuru alanların, vb. tanımlanması,
- Çeşitli zamanın fonksiyonu olan parametrelerin tanımlanması, örneğin, rüzgar hızı ve yönü, tuzluluk, deşarjlar, debi değerleri, vb.
- Simülasyonun başlangıç ve bitiş zamanının belirlenmesi (Luijendijk, 2001).

Delft3D-Flow, 2 boyutlu (2D, derinlik-ortalama) veya 3 boyutlu (3D) gelgit ve meteorolojik itici güçlerden kaynaklanan düzensiz akış ve taşınım olaylarını simüle eder. 3 boyutlu modelleme, yatay akış alanlarının dikey doğrultuda önemli bir değişiklik gösterdiği durumlarda kullanılır. Bu değişiklik, rüzgar kuvveti, kayma gerilmesi, korolis kuvveti, yatak topografyası veya yoğunluk değişimleri tarafından meydana gelebilir. Su kütlelerinde dikey doğrultudaki homojenliğin bozulması durumlarına, göllerde ve kıyı

sularında atıksu ve soğutma suyu dağılımı, nutrientlerin upwelling ve downwelling olayları, haliçlere tuzlu su girişimi, koylara tatlı su nehirlerinin karışımı ve göller ile denizlerde termal tabakalaşma örnek olarak verilebilir (WL / Delft Hydraulics 2010a, Egon 2009).

Uluabat Gölü her mevsim yoğun rüzgar alan, termal tabakalaşmanın olmadığı, tam karışımli, sığ bir göldür. Bu nedenle, gölde hidrodinamik model çalışmalar 2 boyutlu yürütülmüştür. Bu çalışma kapsamında daha önce de değinildiği gibi, taban pürüzlülüğü, batimetri, grid hazırlama, zaman aralığının belirlenmesi aşamalarında duyarlılık analizi uygulanarak, uygun değerler belirlenmiştir. Modelin kalibrasyonu aşamasında kullanılan hidrodinamik kalibrasyon parametreleri ise Tablo 4.25’de sunulmuştur.

Tablo 4.25. Hidrodinamik Modelde Kullanılan Kalibrasyon Parametreleri

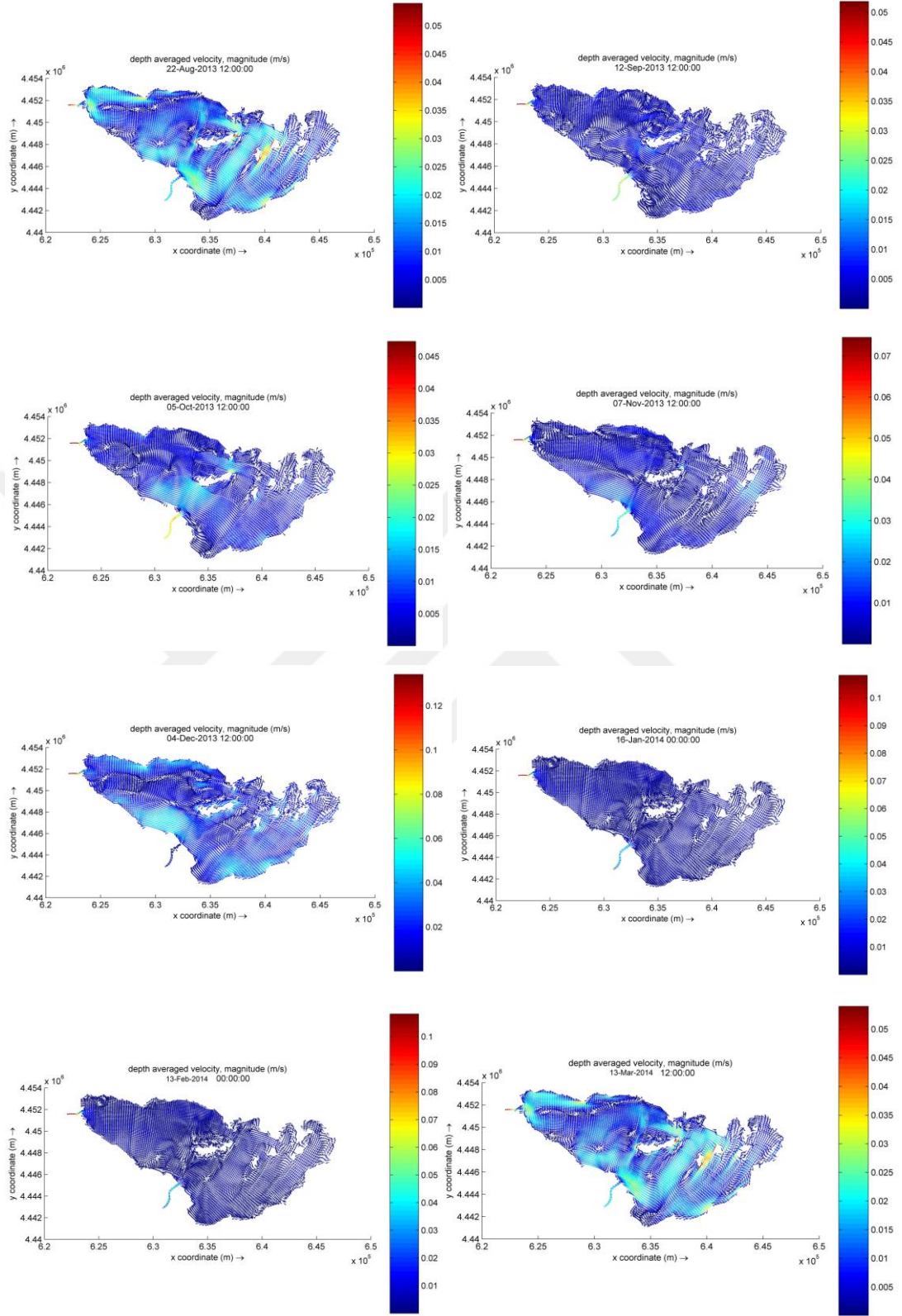
Kalibrasyon Parametresi	Değer	Alt Limit	Üst Limit	Birim
Yerçekim ivmesi	9.81	9.5	12	m.s ⁻²
Su Yoğunluğu	999.1	900	1500	kg.m ⁻³
Hava Yoğunluğu	1	0.5	1.5	kg.m ⁻³
Tuzluluk	0.44	0	100	ppt
Manning Pürüzlülük Katsayısı	n=0.071 (batık makrofit) n=0.125 (su yüzeyi makrofiti) n=0.033 (vegetasyon olmayan)	-	-	s.m ^{-(1/3)}
Rüzgar Direnç Katsayısı/Rüzgar Hızı (First Break Point)	0.00063/0	-	-	-/m.s ⁻¹
Rüzgar Direnç Katsayısı/Rüzgar Hızı (Second Break Point)	0.00723/100	-	-	-/m.s ⁻¹
Yatay Doğrultudaki Eddy Viskozite Katsayısı	1	0	100	m ² /s ⁻¹
Yatay doğrultudaki eddy difüzyon katsayısı	10	0	1000	m ² /s ⁻¹

Uluabat Gölü için hazırlanan hidrodinamik model sonuçları, Cr ve Ni metallerinin simülasyonunda, kirlilik taşınımı mekanizması olarak kullanılacaktır. Yani metal modellemesine başlamadan önce, gölün hidrodinamik modül ile simülasyonunun tamamlanmış olması, metal modellemesi öncesi hazırlanan bu dosyanın ‘coupling’ yani ‘eşleştirme’ yapılarak, metal modellemesinde kullanılabilir olması gerekmektedir. Bu çalışmada, Uluabat Gölü’nde kirlilik taşınımında, rüzgar hızı ve yönü, noktasal deşarjlar en önemli itici güçler olarak kabul edilmiştir. Delft3D-FLOW modülü kullanılarak

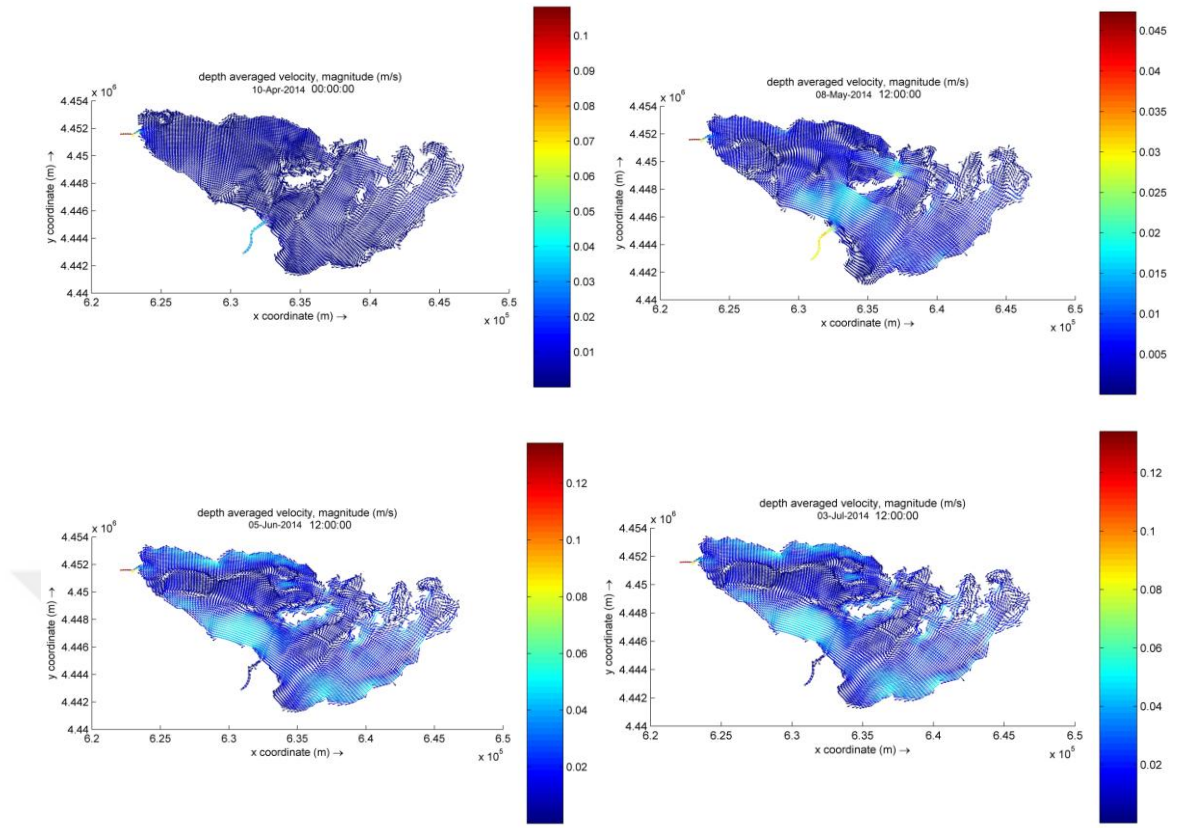
gerçekleştirilen “ısı akısı modeli” ile göl su sıcaklığı simülasyonu da gerçekleştirilmiştir. Hidrodinamik modelleme süresince, zaman aralığı 15 dakika olarak seçilmiştir. Belirlenen bu değere göre ‘Courant Number’ değerlendirilmiş (<10 olduğu kontrol edilmiştir) seçilen zaman aralığının uygunluğu tespit edilmiştir. Hidrodinamik model, 15 dakika olarak seçilmiş olan her bir zaman aralığı için (Ağustos 2013-Temmuz 2014) akım hızı ve yönü, su seviyesi, su sıcaklığı vb. veriler üretmektedir.

Akım hız ve yönlerinin değişimlerinin görselleştirilmesi amacı ile Şekil 4.19’da, izleme döneminde (Ağustos 2013-Temmuz 2014) her ay örnek almaya gidilen günler için simüle edilmiş derinlik ortalamalı hızların yönü ve büyüklüğü sunulmuştur. Hız değerlerinin gölün kıyı kesimlerinde daha yüksek olduğu gözlenmektedir bu durum, rüzgarın sığ kesimlerde daha etkili olması ile açıklanabilir. Yine, göle giren ve gölden çıkan debilerin tanımlandığı alanlarda hız değerlerinde lokal artışlar gözlenmiştir. Gölün vejetasyon olmayan bölgelerinde en yüksek $0,07$ m/sn’ye ölçülen akım hızı, vejetasyon olan bölgelerde daha düşük akım hızına sahip oldukları tespit edilmiştir. Gölde ölçülen en düşük akım hızı $0,005$ m/sn’dir. Göl giriş ve çıkışındaki türbülanslar Şekil 4.19’da göze çarpmaktadır. Göle giriş yapan akımlardan sonra hidrodinamik hareketlerde birincil faktör olarak karşımıza çıkan rüzgar verisi sabah saatlerinde artan hızıyla beraber göldeki etkinliğini arttırmakta ve öğle saatlerinden sonra etkisi azalmaktadır. Bu nedenle verilerin değerlendirilmesinde simülasyonların örnekleme günlerindeki 12:00 saati ele alınmıştır. Artan rüzgar hızının etkisiyle su yüzeyinde akıntı yönünün bölge bölge değiştiği, bununla beraber özellikle gölün batı kesiminde Çınarcık tüneli etkisi ile ve adaların bulunduğu bölgelerde farklı akım hızlarında türbülanslar oluşmaktadır.

Araştırmaları sırasında Partanen ve Hellsten (2005) su üstü makrofitlerin yoğun olduğu bölgelerde; Wallsten ve Forsgren (1989), Beklioğlu (2007) ise batık makrofitlerin yoğun olduğu bölgelerde düşük akım hızları elde etmişlerdir. Wang ve Wang (2011) su üstü ve batık makrofitleri birlikte incelediği çalışmasında, makrofit yoğunluğunun arttığı bölgelerde akım hızlarının düştüğü sonucuna ulaşmış, ancak bu sucül vejetasyonların hidrodinamik etkisini hesaba katıldığı ve katılmadığı model sonuçları arasında önemli değişiklikler olmadığını vurgulamışlardır.



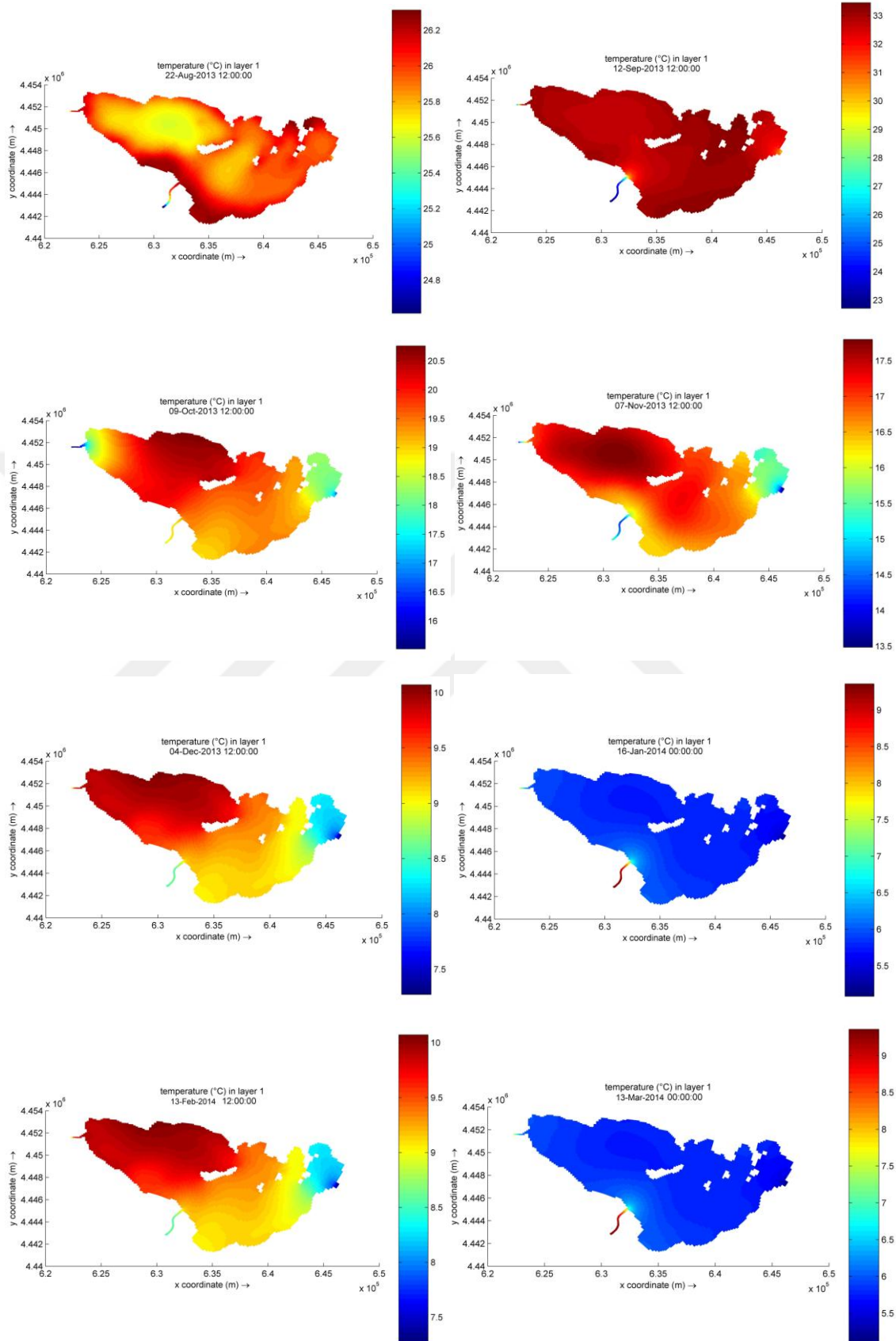
Şekil 4.19. Derinlik Ortalamalı Simülasyon Akım Hızı Haritaları (Büyüklik ve Yön)

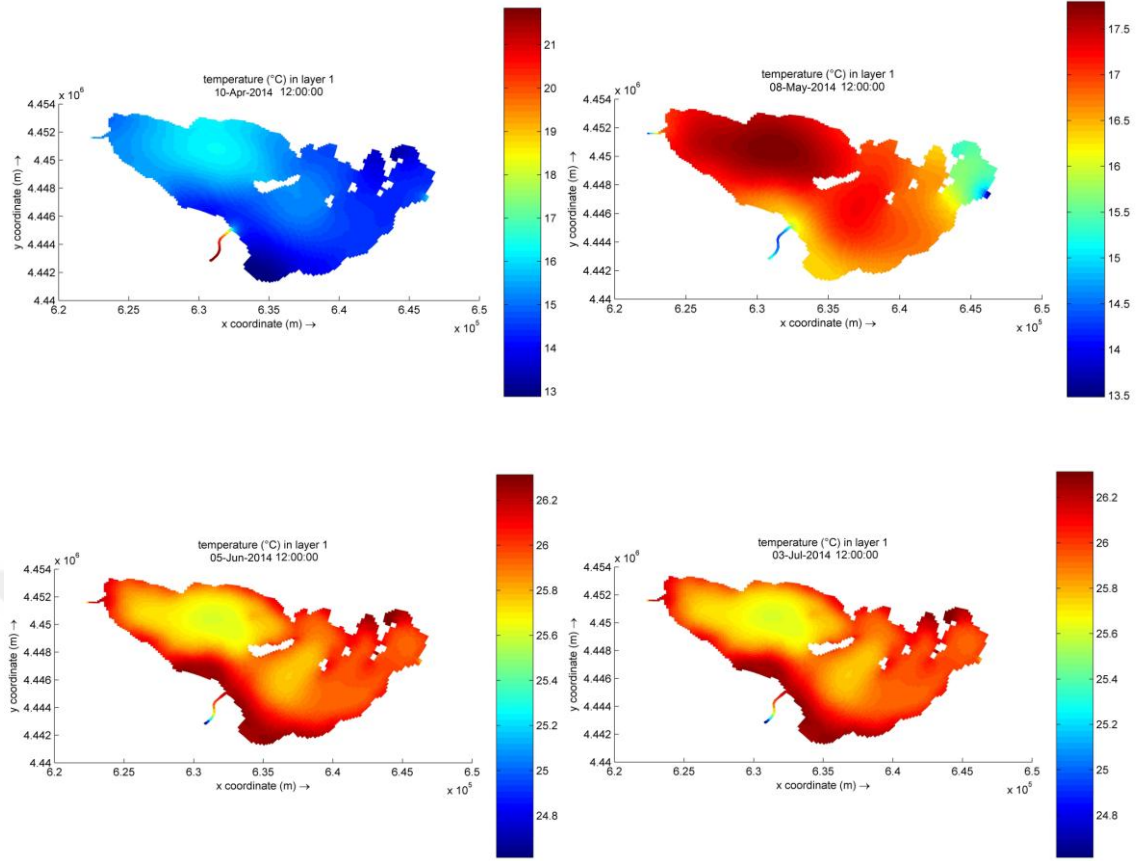


Şekil 4. 19. (Devamı) Derinlik Ortalamalı Simülasyon Akım Hızı Haritaları
(Büyüklik ve Yön)

Gölde su sıcaklığı değişimlerinin görselleştirilmesi amacı ile Şekil 4.20’de, izleme döneminde (Ağustos 2013-Temmuz 2014) her ay örnek almaya gidilen günler için simüle edilmiş haritalar sunulmuştur.

Gölde sığ olan bölgelerde, akım hızlarında olduğu gibi, su sıcaklığı da, dış etkilere daha çok tepki vermektedir (Kaçikoç 2013, Henrotte 2008). Simülasyon sonuçları incelendiğinde, gölde sığ alanların daha çabuk soğuyup/ısındığı gözlenmiştir. Gölde, akımlardan sonra hidrodinamik hareketlerde birincil faktör olarak karşımıza çıkan rüzgar verisi sabah saatlerinde artan hızıyla beraber göldeki etkinliğini arttırmakta ve öğle saatlerinde etkisi azalmaktadır. Bu nedenle sıcaklık verisinin değerlendirilmesinde simülasyonların örnekleme günlerindeki 12:00 saati ele alınmıştır. Gölde simüle edilmiş en yüksek su sıcaklığı 33⁰C, en düşük su sıcaklığı ise 5,5⁰C olarak tespit edilmiştir.



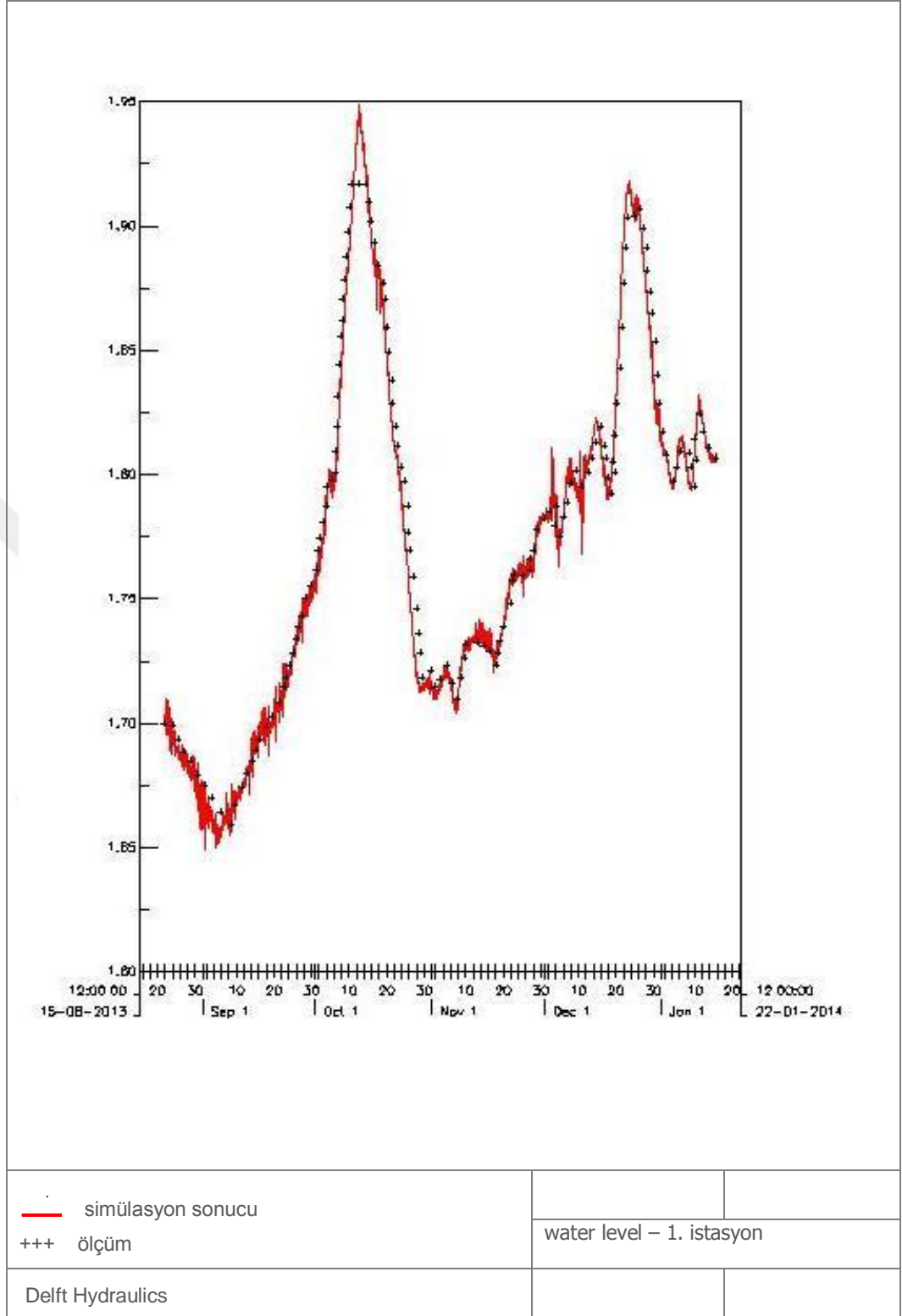


Şekil 4.20. Örnek Alma Günlerinde Simüle Edilmiş Su Sıcaklığı Haritaları

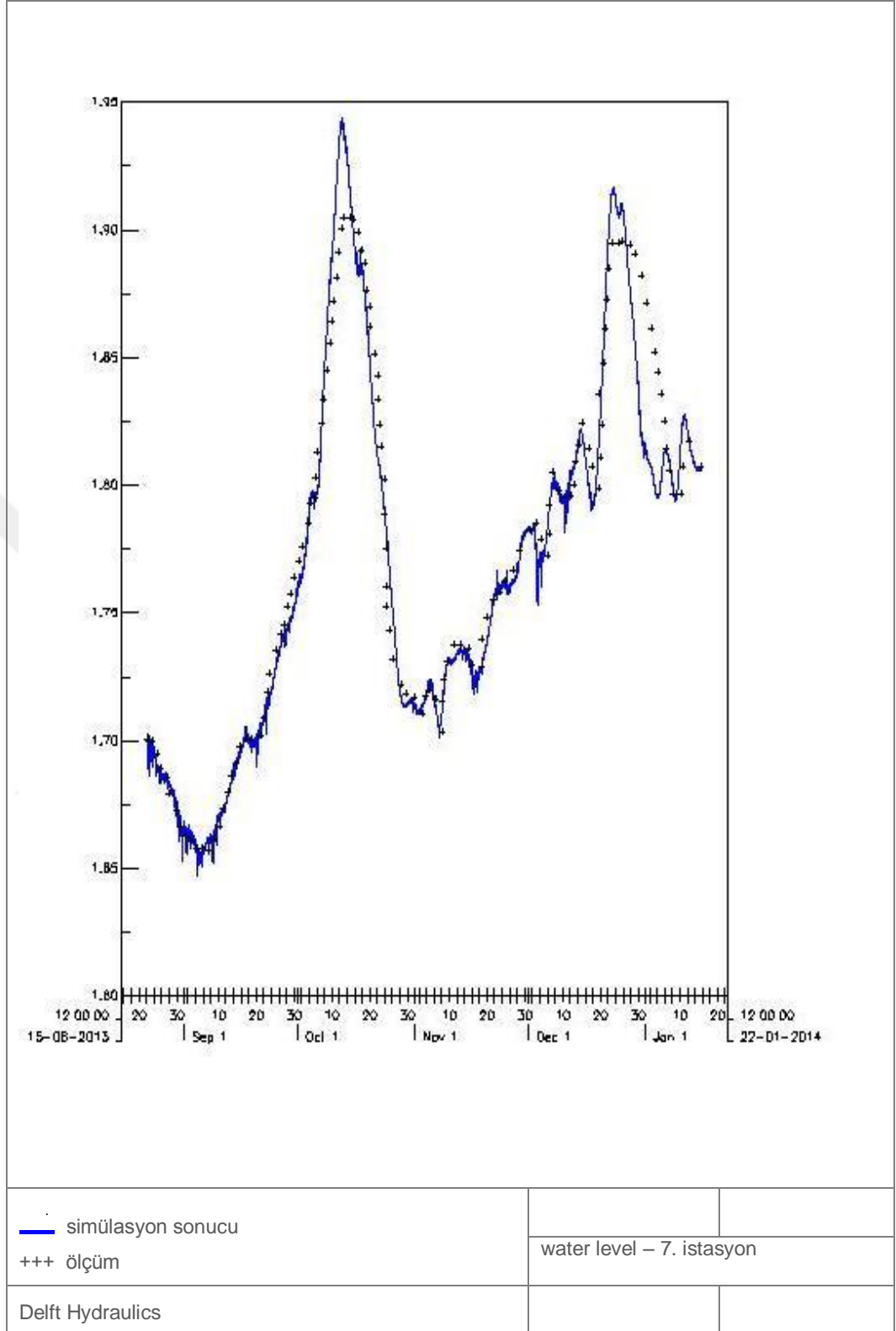
4.7.9. Hidrodinamik Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması

Uluabat Gölü hidrodinamik modelleme çalışması, Ağustos 2013–Temmuz 2014 tarihleri arasında yürütülmüş olan arazi çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin ve ilgili kurumlardaki mevcut verilerin kullanılması ile yürütülmüştür. Model kalibrasyonu ve doğrulama adımları modelleme çalışmasının temelini oluşturur (Mercan 2006). Model kalibrasyonu ve doğrulama çalışmaları kapsamında, kullanılmakta olan su kalite modeli öncelikle bir set veri ile kalibrasyona tabi tutulmuştur, sonra başka bir döneme ait bir set veri ile model doğrulaması yapılmıştır. Buna göre Ağustos 2013-Ocak 2014 dönemleri arası “Kalibrasyon Dönemi”, Ocak 2014-Temmuz 2014 arası ise “Doğrulama Dönemi” olarak belirlenmiş ve buna göre çalışmalar yapılmıştır.

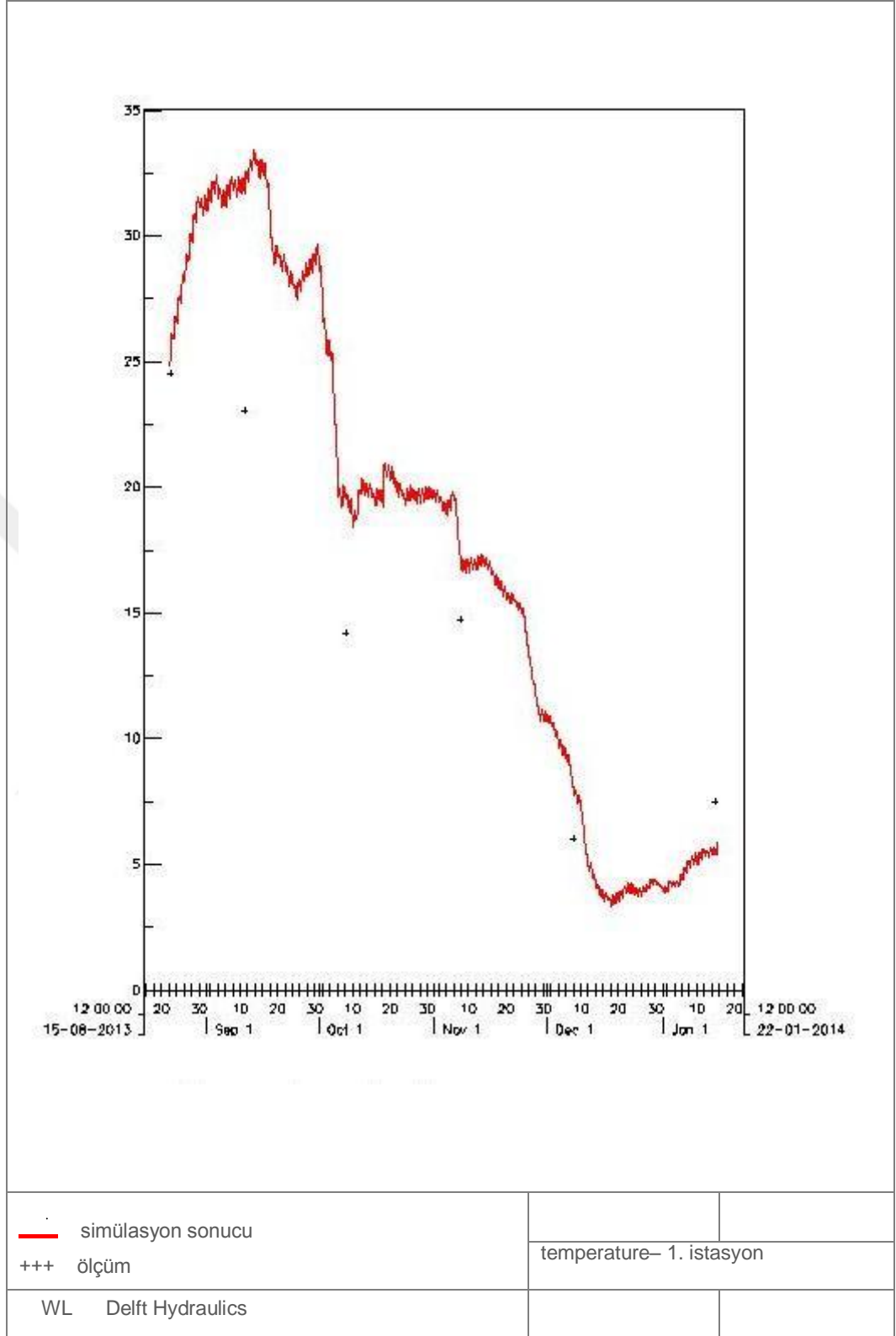
Su kalitesi için modelleme çalışmalarında, birincil kalibrasyon parametresi, su dengesi korunduğundan emin olmaktadır. Su seviyesi değişimi ölçümleri daha önce de bahsedildiği üzere, DSİ’den temin edilmiş, ölçümü olmayan akımlar için ise gerekli



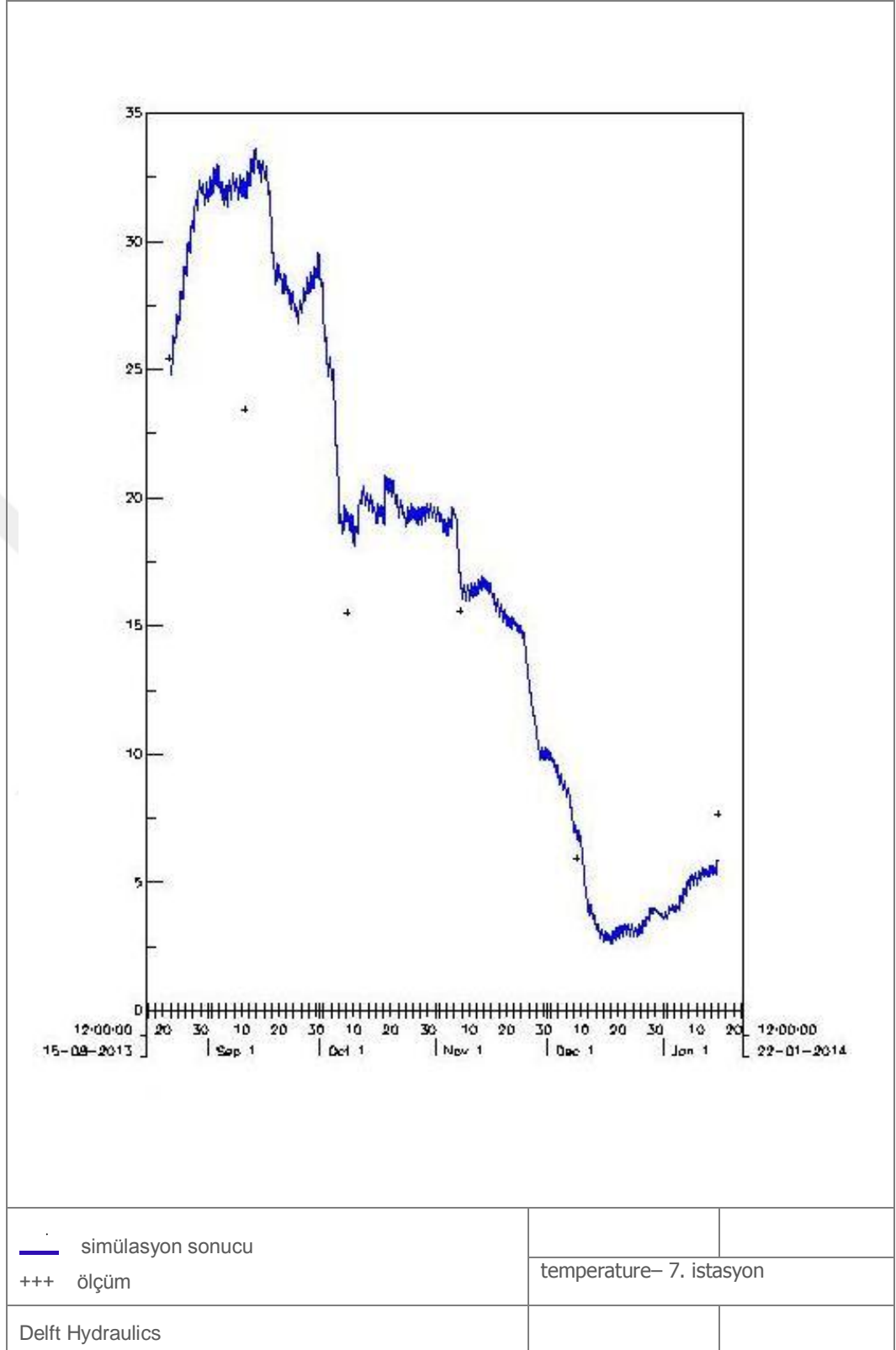
Şekil 4.21. Uluabat Gölü'nde ölçülen ve tahmin edilen su seviyesi değerlerinin karşılaştırılması (1. İstasyon)



Şekil 4.22. Uluabat Gölü'nde ölçülen ve tahmin edilen göl su seviye değerlerinin karşılaştırılması (7.İstasyon)



Şekil 4.23. Uluabat Gölü'nde ölçülen ve tahmin edilen göl su sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.24. Uluabat Gölü'nde ölçülen ve tahmin edilen göl su sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

ölçümler yaptırılmıştır. DSI su seviyesi değerlerini iki farklı noktada günlük olarak ölçmektedir (Gölyazı ve Eskikaraağaç eşelleri). Ölçülen bu günlük değerler ile modelin simüle ettiği değerlerin kıyaslanması temel amaçtır.

Hidrodinamik modelin kalibrasyonu ve doğrulaması için, su seviyeleri ve göl suyu sıcaklığı için ölçülen/tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. Uluabat Gölü'nün hidrodinamik modellemesi için kullanılan, Delft3D-Flow modelinin tahminleri ve arazi ölçümleri, Şekil 4.21 - 4.24'de görüldüğü gibi, hem su seviyesi hem de su sıcaklığı parametreleri için oldukça uyumludur. Daha öncede belirtildiği gibi, Uluabat Gölü'nün su bütçesi, gerek eksik veriler ve gerekse hassas yapılamayan ölçümler nedeniyle belirli bir hata payı ile hesaplanabilmiştir. Şekil 4.21 – 4.24'deki simülasyon sonuçlarında meydana gelen salınımların, bu hatanın giderilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.8. Delft3D-WAQ Modülü Uygulaması için Giriş Dosyalarının Hazırlanması

Metallerin modellenmesi için, hidrodinamik model sonuçları kullanılarak su kalitesi modeli ile çalışılmıştır. Modellenen metallerin suda çözülmüş ve askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan formları, sedimentteki toplam konsantrasyonları ve planktondaki birikim seviyeleri incelenmiştir. Su kalitesi modelleme çalışmaları kapsamında, Cr ve Ni için simülasyon gerçekleştirilmiştir. Su kalite modeli kalibrasyon ve doğrulama aşamalarında, ölçümü yapılmış olan bu metallerle ait konsantrasyon değerleri ile model çıktısı olarak elde edilen değerler kullanılmıştır.

Su kalite modülünde herhangi bir maddenin simülasyonunun yapılabilmesi için Processes Library Configuration Tool (PLCT) aracı kullanılır (WL / Delft Hydraulics, 2010c). Bu aracı kullanarak proses dosyalarını hazırlama 4 adımda gerçekleştirilir. Bunlar;

- 1) Simülasyonu yapılacak maddelerin seçimi,
- 2) Proseslerin seçimi,
- 3) Proses parametrelerinin seçimi,
- 4) Ekstra proseslerin tanımlanmasıdır.

Su kalitesi modülünde kullanılacak hidrodinamik bilgiler, modelin hidrodinamik modülünden yapılan eşleştirme (coupling) ile Delft3D-WAQ modülüne çağırılmaktadır. Bu eşleştirmeye beraber çalışma dönemine ait batimetri, seviye, hız ve debi değerleri hazır olarak modüle gelmekte ve çalışma alanının tanımlanması yapılmıştır.

Dispersiyon hızı arazide belirlenememiş, literatür verisinden faydalanılmıştır. EPA Watershed and Water Quality Modeling Technical Support Center tarafından WASP 7.0 eğitimlerinde dispersiyon hızı için verilen değerler modelde kullanılmıştır. Bu değerler Tablo 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.26. Dispersiyon aralıkları

Yön	Tipik Aralık (m ² /sn)	Alınan Değer
Dikey	10 ⁻³ to 10 ⁻¹	-
Boylamsal (1. Yön)	10 ⁻¹ to 10 ⁴	0,1
Yanal (2. Yön)	10 ⁻² to 10 ⁰	0.01

Hidrodinamik model sonuçlarından Uluabat Gölünde olan akım hızlarının düşük olduğu görülmüştür. Dispersiyonun akım hızındaki değişimlerden etkilendiği bilinmektedir (EPA 2010). Bu nedenle göldeki dispersiyonu etkileyen düşük akım hızları nedeniyle, verilen aralıkların minimum değerleri modele girilmiştir.

4.8.1. Delft3D-WAQ Modülü Başlangıç Koşulları

Delft3D-WAQ modülünün bir aracı olarak bilinen proses kütüphanesinde (PLCT) oluşturulan prosesler sisteme çağırılmıştır.

Ağır metallerin tanımlanan prosesleri için gerekli başlangıç koşulları ölçüm değerleri, modülün istediği birimler doğrultusunda düzenlenmiştir. Ölçüm değerleri ve istenen parametre birimleri aşağıda Tablo 4.27'de gösterilmiştir.

Tablo 4.27. Başlangıç koşulları ve birimleri

Parametre	Ölçülen Birim	İstenen Birim
Çözünmüş Ağır Metal	g/m ³	g/m ³
Partiküler Ağır Metal	mg/kg	g/m ³
Sedimentteki Ağır Metal	mg/kg	g/segment

Çözünmüş ağır metal konsantrasyonu: çözünmüş metallerin konsantrasyonları istenen birimle aynı olması nedeniyle herhangi bir hesaplama yapılmadan modüle direk girilmiştir. Ancak partiküler formdaki ve sedimentteki ağır metaller için bir dizi dönüşüm işlemleri uygulanmıştır.

Partiküler Ağır Metaller: bu metal türü için yapılan dönüşüm aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$\text{Ağır Metal – Par(g/m}^3\text{)} = \frac{\text{mg ağır metal}}{\text{kg AKM}} \times \frac{\text{g AKM}}{\text{m}^3\text{su}} \times \frac{1\text{kg}}{10^6\text{mg}}$$

dönüşümü uygulanmıştır.

Metallerin çözünmüş, askıdaki ve sedimentin yüzey tabakasındaki formları modellendiği için başlangıç koşullarında bu üç forma ait veriler girilmiştir. Çözünmüş ve askıdaki metallerin konsantrasyon cinsinden, sedimentteki metalin ise gram cinsinden miktarları girilmiştir.

Yüzey Sedimentindeki Metaller: S1 (yüzey sedimenti) tabakasındaki metalin tüm gölde bulunan miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken, sedimentin porozitesine ve yoğunluğuna ihtiyaç duyulmuştur (Alonso 2010). Sedimentin porozitesi aşağıdaki denklemle hesaplanabilmektedir (Wu ve diğ. 2006).

$$P'_m = 0.245 + \frac{0.0864}{(0.1d_{50})^{0.21}}$$

P'_m =Sedimentin başlangıç porozitesi

d_{50} =Sediment karışımı çapının medyan değeri (mm)

Uluabat gölünde kil yüzdesi %57 olduğu için sedimentin çapı kil çapı (2 μm) olarak alınmıştır (Menzel ve diğ. 1985). Buna göre porozite 0,76 olarak bulunmuştur. Kilin yoğunluğu 2800 kg/m^3 olarak alınmıştır (Ben-Dor ve Singer 1987). Yüzey sedimentinden numune alındığı için sediment kalınlığı 5 cm olarak alınmıştır. Göl yüzey alanı; sediment kalınlığı, katı madde miktarı (1-porozite) ve sediment yoğunluğu çarpılarak S1 tabakasındaki metal miktarı hesaplanmıştır ve başlangıç koşulu olarak modüle girilmiştir.

Toplam Sediment(kg)

$$= \text{kuru sediment yoğunluğu}(kg/m^2) \times (1 - \text{porozite}) \\ \times \text{göl alanı}(m^2) \times \text{sediment tabakası kalınlığı}(m)$$

Hidrodinamik modelde tanımlanan sınır koşulları Mustafakemalpaşa Çayı ve Kocasu Çayı ile göle deşarj olan Çınarcık Kuvvet Tüneli, Akçalar Deresi, Atabay ve Karaoğlan pompa istasyonlarına ait veriler zamana bağlı olarak çözülmüş ve partiküler ağır metaller olarak sisteme girilmiştir.

4.8.2. Metal Proseslerinin Tanımlanması

Delft3D-WAQ modülü ile ağır metaller ve organik mikro kirleticiler olmak üzere iki tip mikro kirletici modellenenmektedir. Bu kirleticiler özelliklerine ve proseslerine göre temel farklılıklar göstermektedirler (WL/Delft Hydraulics, 2010c).

Model suda çözülmüş, askıdaki, sedimentin yüzey tabakasındaki (S1) ve alt tabakadaki (S2) toplam metal konsantrasyonlarını, sedimentin yüzey ve alt tabakasında bulunan çözülmüş ve askıdaki formda bulunan metalleri de modelleyebilmektedir. Bu çalışmada, suda ve sedimentin yüzey tabakasında ölçüm yapılmış olması sebebiyle suda çözülmüş, askıdaki ve sedimentin yüzey tabakasındaki toplam metal konsantrasyonları modellenmiştir. Modelde çözülmüş metaller için herhangi bir proses tanımlaması yapılmamıştır. Partikül halinde ve sedimentte bulunan metaller için adsorbe olmuş metalin sedimantasyonu (Sed_HM) ve tekrar askıdaki hale geçişi (Res_HM) göz önüne alınarak prosesler hazırlanmıştır. Partikül halinde bulunan metallerin modellenmesinde atmosferik çökeltme ve yayılı kirletici yükleri proseslere ilave edilmemiştir. Sedimentin yüzey tabakasındaki metallerin modellenmesinde ise üst sediment tabakasından (S1) daha derindeki sediment tabakasına (S2) olan taşınımı (Burial, BurS1_HM) ve metallerin sedimentin daha derindeki tabakasından yüzey sedimentine doğru remobilizasyonu (Digging, DigS1_HM) proseslere dahil edilmemiştir.

4.8.2.1. Adsorbe Olmuş Maddelerin Sedimantasyonu (Sed_HM)

Bu proses partikül halinde bulunan (askıda katı maddeye tutunmuş halde bulunan) maddelere adsorbe olmuş organik mikro kirleticilerin, ağır metallerin ve fosforun sedimantasyon akılarını hesaplamaktadır. Ağır metaller partikül halindeki organik maddeye (POC) ve toplam inorganik maddeye (TIM) adsorbe olabilmektedirler. Ağır

metallerin sedimantasyon akıları, POC, fitoplankton (PHYT) ve TIM akılarının toplamına ve ağır metallerin özelliklerine bağlıdır.

$$dSed_{HM} = \frac{fSed_{IM1} \times QHM_{IM1} + fSed_{IM2} \times QHM_{IM2} + fSed_{IM3} \times QHM_{IM3}}{Depth} + \frac{fSed_{POC} \times QHM_{POC} + fSed_{PHYT} \times QHM_{PHYT}}{Depth}$$

$dSed_{HM}$ = Ağır metallerin sedimantasyon akısı ($g \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$)

$fSed_{PHYT}$ = Toplam fitoplankton karbonunun sedimantasyon akısı ($gC \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)

$fSed_{POC}$ = Toplam partikül karbonun sedimantasyon akısı ($gC \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)

$fSed_{IM1}$ = Birinci inorganik madde fraksiyonunun sedimantasyon akısı ($gDW \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)

$fSed_{IM2}$ = İkinci inorganik madde fraksiyonunun sedimantasyon akısı ($gDW \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)

$fSed_{IM3}$ = Üçüncü inorganik madde fraksiyonunun sedimantasyon akısı ($gDW \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)

QHM_{PHYT} = Su kolonundaki ağır metalle ilgili olarak toplam fitoplankton karbonunun özelliği ($g \cdot gC^{-1}$)

QHM_{POC} = Su kolonundaki ağır metalle ilgili olarak toplam partikül karbonunu özelliği ($g \cdot gC^{-1}$)

QHM_{IM1} = Su kolonundaki ağır metalle ilgili olarak birincil inorganik madde fraksiyonunun özelliği ($g \cdot gDW^{-1}$)

QHM_{IM2} = Su kolonundaki ağır metalle ilgili olarak ikincil inorganik madde fraksiyonunun özelliği ($g \cdot gDW^{-1}$)

QHM_{IM3} = Su kolonundaki ağır metalle ilgili olarak üçüncül inorganik madde fraksiyonunun özelliği ($g \cdot gDW^{-1}$).

Depth = DELWAQ segmentinin derinliği (m).

4.8.2.2. Adsorbe Olmuş Maddelerin Resüspansiyonu (Res_{HM})

Bu proses organik mikro kirlenici fraksiyonlarının ve partikül maddelere adsorbe olmuş olan ağır metallerin resüspansiyon akılarını hesaplamaktadır. Ağır metaller tüm inorganik madde fraksiyonlarına (IM1, IM2, IM3) ve iki organik madde fraksiyonu olan partikül halindeki organik karbona ve fitoplanktona (POC ve PHYT) adsorbe olabilmektedir. Ağır metallerin resüspansiyon akıları, IM1, IM2, IM3, POC ve PHYT akıları toplamına ve ağır metal özelliklerine bağlıdır.

$$fRes_j_{HM} = \sum_{i=1}^3 (fRes_j_{IMi} \times QHM_{IMi}) + fRes_j_{POC} \times QHM_{POC_j} + fRes_j_{PHYT} \times QHM_{PHYT}$$

$$dRes_j HM = \frac{fRes_j HM}{Depth}$$

$dRes_j HM$ = j tabakasındaki metal resüspanسیون akısı ($g.m^{-3}.d^{-1}$)

$fRes_j POC$ = j tabakasından toplam partiküler karbonun resüspanسیون akısı ($gC.m^{-2}.d^{-1}$)

$fRes_j PHYT$ = j tabakasından fitoplanktonun resüspanسیون akısı ($gC.m^{-2}.d^{-1}$)

$QHMPOC_j$ = j tabakasındaki ağır metal ile ilgili olarak toplam partiküler karbon kalitesi ($g.gC^{-1}$)

$QHMPHYT_j$ = j tabakasındaki ağır metal ile ilgili olarak toplam fitoplanktonun kalitesi ($g.gC^{-1}$)

$QHMIx_j$ = j tabakasındaki ağır metal ile ilgili olarak x. inorganik madde fraksiyonunun kalitesi ($g.gDW^{-1}$)

$fRes_j HM$ = j tabakasından ağır metalin resüspanسیون akısı ($g.m^{-2}.d^{-1}$)

Depth = DELWAQ segmentinin derinliği (m)

4.8.2.3. Ağır Metallerin Dağılımları (PARTWK_i ve PARTS1/2_i)

Dağılım prosesi, herhangi bir maddenin çözünmüş, adsorbe olmuş ve çökelmiş türleri arasındaki dağılımı göstermektedir. Ağır metaller, inorganik maddelere (IM1-3), ölü organik maddelere (partikül organik karbon, POC ve çözünmüş organik madde, DOC) ve fitoplanktonlara (ALG) adsorbe olmaktadır.

Ağır metallerin dağılımına denge süreci olarak tanımlanan sorpsiyon neden olmaktadır. Denge prosesi lineer dağılım katsayısıyla ilgilidir. Lineer dağılım katsayısı da organik karbon miktarına ya da inorganik partikül maddenin kuru ağırlığı miktarına bağlıdır. Çözünmüş organik karbon için belirlenen katsayı, partikül organik karbon için belirlenen katsayının bir oranı olmasına rağmen dağılım katsayısı inorganik ve organik madde bileşimine göre farklı olabilmektedir.

İnorganik maddenin adsorbsiyon kapasitesi, demir hidroksitler, alüminyum hidroksitler, mangan oksit ve illit gibi kil minerallerine bağlıdır. Bundan başka adsorbsiyon pH, redoks potansiyeli ve kompleks oluşumuna önemli olarak bağlı, sıcaklığa ise zayıf şekilde bağlıdır. Redoks potansiyeline olan bağlılık demir ve manganın düşük redoks potansiyelinde indirgenmesiyle ilişkilidir. Düşük redoks potansiyeli sedimentteki adsorbsiyon kapasitesinin düşmesine neden olur. Kompleks oluşumu metale özgüdür ve hidroksil, bikarbonat, klorit, sülfid, sülfat gibi ligandların çok olmasına bağlıdır. Bu nedenle sedimentteki kompleks oluşumu su kolonundakinden çok daha güçlüdür.

Krom genellikle katyonik formda Cr(III) bulunur fakat kısmen kromat olarak Cr(VI) anyonik formda da bulunur. Anyonların adsorbsiyonu pH'nın azalmasıyla artmaktadır. Metal katyonlarının adsorbsiyonu pH'nın azalmasıyla zayıflamaktadır. Krom yükseltgenme ve indirgenme koşullarında hidroksit olarak çökelebilmektedir. Sülfitle bileşik oluşturan ağır metaller sedimentte meydana gelen indirgenme koşullarında çöklerler. Bu çökme demir II sülfatlarla birlikte meydana gelmektedir. Katı maddedeki yavaş difüzyon hızlı denge desorpsiyonundan önce ya da hızlı denge adsorbsiyonundan sonra oluşmaktadır. Bu nedenle sorpsiyon akısı denge dağılımı ya da yavaş sorpsiyona göre hesaplanmaktadır.

Delft3D-WAQ, ağır metallerin toplam konsantrasyonlarına göre simülasyon yapmaktadır. Dağılım prosesi, çökme akısı ve toplam sorpsiyonu olduğu kadar toplam konsantrasyonun çözülmüş, adsorbe olmuş ve çökelmiş fraksiyonlarını hesaplamaktadır.

PARTWK_(i) suda, PARTS1/2_(i) sedimentte kullanılmaktadır. Sedimentte bulunan maddeler inaktif maddeler olarak modellenmektedir. PARTWK girdi olarak g/m^3 olarak konsantrasyona, PARTS1/2_(i), sediment tabakasındaki toplam miktara (g) olarak ihtiyaç duyar. Sedimentte çözülmüş organik karbon (DOC) $g.m^{-3}w$ olarak girilir. Formülasyonlar PARTWK_(I) ve PARTS1/2_(I) için aynı olurken, iki istisna söz konusudur.

1. DOC'nin porozite için olan düzeltmesi PARTWK_(i) için kullanılmaz.
2. PARTS1/2_(i)'de konsantrasyon biriminden miktar birimine dönüştürülür. Bu nedenle tabaka kalınlığına ve yüzey alanına ihtiyaç duyulur.

Proses aşağıdaki maddeler için uygulanmaktadır:

- Sülfürle bileşik oluşturan metaller Cd, Cu, Zn,, Ni, Hg, Pb (grup 1)
- Hidroksitle bileşik oluşturan metaller Cr (grup 2)
- Anyonik formda olan metaller (grup 3).

(i)model tarafından bilinen yukarıda isimleri yazan maddeler. HMGroup1/2/3maddelerin buldukları grupları tanımlar. İnorganik maddenin konsantrasyonu (*Cim1-3*), detritus (*Cpoc*), çözülmüş organik madde (*Cdoc*), fitoplankton (*Calg*) PARTWK ve PARTS1/2 için girdi öğeleridir.

Tablo 4.28, 4.29, 4.30 formülasyonlardaki girdi parametrelerini tanımlamaktadır. Tablo 4.31 ve Tablo 4.32 çıktı parametrelerini tanımlamaktadır.

4.8.2.4. Yüzey Sedimentinin Kompozisyonu (S1_Comp)

Bu proses çalışma alanının yüzey sedimentinin sahip olduğu karakteri belirlemek amacı ile seçilmiş bir prostestir. Proses kapsamında, yüzey sedimentinin karbon, azot, fosfor içeriği, toplam inorganik madde miktarı, sediment yoğunluğu, porozitesi ve yüzey alanı bilgileri tanımlanmıştır.

Formulasyonlar

Grup 1'deki ağır metallerin dağılımları oksitleyici ve indirgeyici koşullar altında farklı olmaktadır. Mevcut koşullar çözülmüş oksijene bağlı değerler ile SWOXY tarafından tanımlanmaktadır.

Oxidising conditions (SWOXY = 1), Çökelme dışında

Çözülmüş ya da adsorbe olmuş türler de eklenebilir. Sonuç olarak bu fraksiyonlar aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$(1) \quad fdf = \frac{\phi}{\phi + \sum_{i=1}^3 (Kpim_i' \times Cim_i) + Kppoc' \times (Cpoc + Xdoc \times Cdoc) + Kpalg' \times Calg}$$

$$(2) \quad fim_i = (1 - fdf) \times \frac{Kpim_i' \times Cim_i}{\sum_{i=1}^3 (Kpim_i' \times Cim_i) + Kppoc' \times (Cpoc + Xdoc \times Cdoc) + Kpalg' \times Calg}$$

$$(3) \quad fdoc = (1 - fdf) \times \frac{Kppoc' \times Xdoc \times Cdoc}{\sum_{i=1}^3 (Kpim_i' \times Cim_i) + Kppoc' \times (Cpoc + Xdoc \times Cdoc) + Kpalg' \times Calg}$$

$$(4) \quad fpoc = (1 - fdf) \times \frac{Kppoc' \times Cpoc}{\sum_{i=1}^3 (Kpim_i' \times Cim_i) + Kppoc' \times (Cpoc + Xdoc \times Cdoc) + Kpalg' \times Calg}$$

$$(5) \quad falg = (1 - fdf - fim_1 - fim_2 - fim_3 - fdoc - fpoc)$$

$Calg/poc/doc$ = alg biyomasının, ölü partikül organik maddenin, çözünmüş organik maddenin konsantrasyonu ($gC.m^{-3}b$).

$Cimi$ = inorganik maddelerin fraksiyonlarının konsantrasyonu $i=1, 2$ ve 3 ($gDM.m^{-3}b$)

$falg/poc/doc$ = Algler, ölü partikül halinde organik maddelere ve çözünmüş organik maddelere adsorbe olan mikrokirleticinin fraksiyonu (-)

$fimi$ = inorganik madde fraksiyonuna adsorbe olan mikro kirleticinin fraksiyonu $i=1, 2$ and 3 (-)

fdf = mikrokirleticinin serbest çözünmüş fraksiyonu (-)

$Kpalg/poc'$ = Ölü partikül organik madde ve alg için dağılım katsayısı ($m^3w.gC^{-1}$)

$Kpimi'$ = inorganik madde fraksiyonu için dağılım katsayısı $i=1, 2$ ve 3 ($m^3w.gDM^{-1}$)

$Xdoc$ = POC için göreceli DOC'nin adsorbsiyon verimliliği (-)

ϕ = porozite ($m^3water.m^{-3}boşluk$; su kolonu için 1'e eşittir)

PARTS1/2_(i) için $Cdoc$ poroziteye göre doğrulanır.

$$(6) \quad Cdoc = DOC \times \phi$$

Dağılım katsayısı yukarıdaki eşitliklerde $m^3w.gC^{-1}$ ya da $m^3w.gDM^{-1}$ olarak verilmiştir. Birimi $m^3w.kgC^{-1}$ olan girdi parametrelerinden üretilmiştir.

$$(7) \quad Kpim_i' = \frac{Kpim_i}{1000}$$

$$(8) \quad Kppoc' = \frac{Kppoc}{1000}$$

İki seçenektan biri seçilir. Denge dağılımı (seçenek 0) adsorbsiyon ya da desorbsiyon prosesinin yarı ömür zamanı sıfırdan küçük ya da eşit olduğu zaman meydana gelir. Yavaş dağılım (seçenek 1) yarı ömür zamanı sıfırdan büyük olduğu zaman uygulanır.

Seçenek 0

$tads$ ve $t des \leq 0.0$, Yukarıdaki eşitlikler (7-8) dengedeki fraksiyonları hesaplamak için uygulanmıştır.

Seçenek 1

$tads$ ya da $t des > 0.0$, ($tads$: adsorbsiyon yarı ömrü; $t des$: desorbsiyon yarı ömrü)

Çeşitli metal fraksiyonları, önceki zaman aralığındaki fraksiyonlar ve denge fraksiyonu arasındaki farkla orantılı olarak yavaş sorpsiyon için düzeltilir. Çeşitli partikül halindeki adsorbentlerle ilgili olarak hiçbir ayırım yapılmamıştır. Ortalama sorpsiyon hızları

inorganik madde, POC ve fitoplankton için kullanılmaktadır. Yarı ömür zamanından türetilmiş birinci dereceden sorpsiyon reaksiyon hızı kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$(9) \quad fp' = fim_1' + fim_2' + fim_3' + fpoc' + falg' = \frac{Chmp'}{Chmt'}$$

$$(10) \quad fpe = fim_1 + fim_2 + fim_3 + fpoc + falg$$

Eğer $f_p < f_{pe}$

$$ksorp = \frac{\ln(2)}{tads}$$

ya da

$$ksorp = \frac{\ln(2)}{tdes}$$

$$(11) \quad fp = fpe - (fpe - fp') \times \exp(-ksorp \times \Delta t)$$

$$(12) \quad fdoc = fdoce \times \frac{(1 - fp)}{(1 - fpe)}$$

$$(13) \quad fdf = fdfe \times \frac{(1 - fp)}{(1 - fpe)}$$

$$(14) \quad fim_i = fime_i \times \frac{fp}{fpe}$$

$$(15) \quad fpoc = fpoce \times \frac{fp}{fpe}$$

$$(16) \quad falg = falge \times \frac{fp}{fpe}$$

$Chmp'/Chmt'$ = Önceki zaman adımından sonra toplam ve partikül halindeki metal ($g \cdot m^{-3}$)

$fimi'$ = Önceki zaman adımından sonra inorganik madde fraksiyonuna ($i= 1,2,3$) adsorbe olmuş metal fraksiyonu (-)

$falg/poc'$ = Önceki zaman adımından sonra ölü partikül organik madde ve alglere adsorbe olmuş metal fraksiyonları (-)

$f_{p'}/p/p_e$ = Önceki zaman adımından sonra, o anki zaman adımının sonunda ve dengedeki toplam partikül metal fraksiyonu (-)

k_{sorp} = sorpsiyon hızı (d^{-1})

Sorpsiyon hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$(17) \quad R_{sorp} = \frac{f_p \times Ch_{mt}' - Ch_{mp}'}{\Delta t}$$

Δt = DELWAQ'ın zaman adımı (d^{-1})

PARTS1/2 durumunda, hızın hesaplanması su segmentinin hacmine bölünmesi ile elde edilir. Çözülmüş ve partikül metal konsantrasyonları ve partikül organik fraksiyonların özellikleri aşağıdaki denklemlerle hesaplanmaktadır:

$$(18) \quad Ch_{mdf} = \frac{f_{df} \times Ch_{mt}'}{\phi}$$

$$(19) \quad Ch_{mdoc} = \frac{f_{doc} \times Ch_{mt}'}{\phi}$$

$$(20) \quad Ch_{md} = Ch_{mdf} + Ch_{mdoc}$$

$$(21) \quad Ch_{mp} = (f_{im_1} + f_{im_2} + f_{im_3} + f_{poc} + f_{alg}) \times Ch_{mt}'$$

$$(22) \quad Ch_{mim_i} = \frac{f_{im_i} \times Ch_{mt}'}{C_{poc}} \quad i=1,2,3$$

$$(23) \quad Ch_{mpoc} = \frac{f_{poc} \times Ch_{mt}'}{C_{poc}}$$

$$(24) \quad Ch_{malg} = \frac{f_{alg} \times Ch_{mt}'}{C_{alg}}$$

PARTS1/2 için çözülmüş konsantrasyonların hesaplanması tabaka hacmiyle bölünmesini gerektirir ($V = D_z \cdot A$).

Oksitlenme koşulları ($SWOXY = 1$), çökelmeyle birlikte

Yukarıdaki eşitlikler grup 2 deki metaller (krom gibi) için bir modifikasyona gereksinim duyar. Bu metaller hidroksit olarak çökeliyorlar. Yukarıda hesaplanan molar aktivite ürünleri çözünürlük ürünlerini aştığında metal fraksiyonları çökelmiş fraksiyonlara göre düzeltilmelidir. Sorbe olmuş metallere uygulanan çökeltme için düzeltme faktörü, metal

hidroksitlerle dengedeki çözünmüş konsantrasyonların ve yalnızca sorpsiyona göre hesaplanmış çözünmüş konsantrasyonlar arasındaki orandan türetilir. Serbest çözünmüş krom konsantrasyonlarının başlangıç değeri $Crdf'$ ile gösterilen eşitlikte verilmiştir.

$$(25) \quad Crdf' = Chmdf$$

$$(26) \quad Crdf'_m = \frac{Crdf'}{Mw \times 10^{+3}}$$

$Crdf'_m$ = molar olarak serbest çözünmüş krom konsantrasyonu (mol.l^{-1})

Mw = Kromun moleküler ağırlığı (g.mol^{-1})

Metal hidroksitlerin çözünürlüğü metallerle oluşmuş üç hidroksil kompleksi için denge eşitliğinden türetilmiş serbest metal iyonları konsantrasyonlarıyla orantılıdır. Sorpsiyon durumunda dengedeki molar serbest krom iyonu konsantrasyonu aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır:

$$(27) \quad OH = 10^{-(14-pH)}$$

$$(28) \quad Crfr'_m = \frac{Crdf'_m}{1 + 10^{\log KCr1} \times OH + 10^{\log KCr2} \times OH^2 + 10^{\log KCr3} \times OH^3}$$

$Crfr'_m$ = serbest molar krom iyonu konsantrasyonu (mol.l^{-1})

$\log KCr1/2/3$ = Kromun hidroksil kompleksi için üç denge sabiti ($\log(\text{l.mol}^{-1})$) $i=1,2,3$)

OH = Hidroksil konsantrasyonu (mol.l^{-1})

pH = asidite (-)

Bu konsantrasyona dayanarak iyon aktivite ürünü ve çözünürlük ürünü

$$(29) \quad IAP = Crfr'_m \times OH^3$$

$$(30) \quad SOL = 10^{\log KCrS}$$

$\log KCrS$ = Krom hidroksit için çözünürlük denge sabiti ($\log(\text{mol.l}^{-1})^4$)

Çökme $IAP(\text{iyon aktivite ürünü}) > SOL(\text{Çözünürlük ürünü})$ olduğu zaman gerçekleşir. Krom fraksiyonlarının doğrulanması bu koşul karşılandığında sağlanmaktadır. Çökme için düzeltme faktörü dengedeki serbest krom iyonu konsantrasyonundan türetilmektedir.

$$(31) \quad Crfr'_m = \frac{10^{\log KCrS}}{OH^3}$$

$$(32) \quad Crdf_m = Crfi'_m \times (1 + 10^{\log KCr1} \times OH + 10^{\log KCr2} \times OH^2 + 10^{\log KCr3} \times OH^3)$$

$$(33) \quad Crdf = Crdf_m \times Mw \times 10^{+3}$$

$$(34) \quad fcor = \frac{Crdf}{Crdf'}$$

Başlangıçta belirlenen sorbe olmuş fraksiyonlar ile düzeltme faktörünün (<1) çarpılması gerçek fraksiyonları ortaya çıkarır. Çökelmiş fraksiyonlar şöyle hesaplanır:

$$(35) \quad fpr = 1 - fcor$$

Yeni sorbe olmuş fraksiyonlar ve krom konsantrasyonları

$$(36) \quad fdf = fdf' \times (1 - fpr)$$

$$(37) \quad fdoc = fdoc' \times (1 - fpr)$$

$$(38) \quad fim_i = fim_i' \times (1 - fpr) \quad \text{for } i = 1, 2 \text{ or } 3$$

$$(39) \quad fpoc = fpoc' \times (1 - fpr)$$

$$(40) \quad falg = falg' \times (1 - fpr)$$

$$(41) \quad Chmdf = Crdf \times (1 - fpr)$$

$$(42) \quad Chmdoc = Chmdoc' \times (1 - fpr)$$

$$(43) \quad Chmd = Chmd' \times (1 - fpr)$$

$$(44) \quad Chmp = (fim_1 + fim_2 + fim_3 + fpoc + falg + fpr) \times Chmt'$$

$$(45) \quad Chmim = Chmim_i' \times (1 - fpr) \quad \text{for } i = 1, 2 \text{ or } 3$$

$$(46) \quad Chmpoc = Chmpoc' \times (1 - fpr)$$

$$(47) \quad Chmalg = Chmalg' \times (1 - fpr)$$

İndirgenme koşulları ($SWOXY = 0$), çökelme hariç

1.ve 2. grup metaller indirgenme koşullarında çökelebilmektedir. Dağılım formülasyonlarının gerekli olan modifikasyonları 2. grup metaller için ele alınmıştır. 1. grup metaller sülfidler halinde çökelmektedirler. Metal sülfidlerin çözünürlüğü çok yavaştır ve sorpsiyon ihmal edilebilir. Hesaplama, çözünürlük ve kompleks oluşumu için denge eşitliğinden molar çözünmüş metal konsantrasyonunun hesaplanması ile başlar.

$$(48) \quad Chmdf_m = \frac{1 + 10^{\log Khm1} \times Csd + 10^{\log Khm2} \times Chsd}{10^{\log KhmS} \times Csd}$$

$$(49) \quad Chmdf = Chmdf_m \times Mw \times 10^{+3}$$

$Chmdf_m$ = molar toplam çözünmüş metal konsantrasyonu (mol.l^{-1})

C_{sd} = molar çözünmüş sülfid S^{2-} konsantrasyonu ($mol.l^{-1}$)

Ch_{sd} = Molar çözünmüş hidrojen sülfür HS^- konsantrasyonu ($mol.l^{-1}$)

$logK_{hm1/2}$ = metalin sülfid kompleks oluşumu için iki denge sabiti ($log(l.mol^{-1})$)

$logK_{hmS}$ = Metal sülfid için çözünürlük denge sabiti ($log(l.mol^{-1})^2$)

M_w = Metalin moleküler ağırlığı ($g.mol^{-1}$)

Molar çözünmüş sülfid ve hidrojen sülfid konsantrasyonları, SPECSUD(S1/2) prosesinden hesaplanır. Bu proseste girdi olarak iki denge sabiti, toplam çözünmüş sülfid konsantrasyonları ve pH kullanılır. Çeşitli fraksiyonlar ve konsantrasyonlar aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$(50) \quad f_{df} = \frac{Ch_{mdf}_m \times \phi}{Ch_{mt}'}$$

$$(51) \quad f_{pr} = 1 - f_{df}$$

$$(52) \quad f_{doc} = f_{im_1} = f_{im_2} = f_{im_3} = f_{poc} = f_{alg} = 0.0$$

$$(53) \quad Ch_{mdoc} = Ch_{mim_1} = Ch_{mim_2} = Ch_{mim_3} = Ch_{mpoc} = Ch_{malg} = 0.0$$

$$(54) \quad Ch_{md} = Ch_{mdf}$$

$$(55) \quad Ch_{mp} = f_{pr} \times Ch_{mt}'$$

Bu proses şu çıktıları oluşturur:

- Partikül ve çözünmüş metal konsantrasyonlarını
- Toplam metal konsantrasyonlarını, serbest çözünmüş metal konsantrasyonlarını, DOC'ye adsorbe olmuş metal konsantrasyonlarını
- Dağılım katsayısını
- Toplam askıda katıların, partikül inorganik madde fraksiyonunun, detritusun ve fitoplanktonun toplam metal miktarı.

Toplam askıda katıdaki metal miktarı ve dağılım katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$(56) \quad Ch_{mpt} = \frac{Ch_{mp} \times 10^{+6}}{C_{ss}}$$

$$(57) \quad K_{pt} = \frac{Ch_{mpt} \times 10^{-3}}{Ch_{md} + Ch_{mdoc}}$$

C_{ss} = Toplam askıdaki katı konsantrasyonu ($g.m^{-3}$)

Ch_{mpt} = Toplam askıdaki katıdaki metal miktarı ($mg.kg^{-1}$)

K_{pt} = Dağılım katsayısı ($m^3.kg^{-1}$)

Daha önce de bahsedildiği üzere Tablo 4.28, 4.29, 4.30 yukarıda verilmiş olan formulasyonlardaki girdi parametrelerini tanımlamaktadır. Tablo 4.31 ve Tablo 4.32 çıktı parametrelerini tanımlamaktadır.

Tablo 4.28. PARTWK_(i) eşitliklerinde kullanılan parametrelerin tanımları
(Su (water) ve sulu sediment (bulk) hacim birimlerinde kullanılmıştır)

Formüldeki adı	Girdi ve çıktındaki adı	Tanımı	Birimi
-	<i>HMGroup1</i>	1. Grup metal	-
-	<i>HMGroup2</i>	2. Grup metal	-
-	<i>HMGroup3</i>	3. Grup metal	-
<i>Calg</i>	<i>PHYT</i>	Fitoplankton konsantrasyonu	$gC.m^{-3}b$
<i>Cdoc</i>	<i>DOC</i>	Çözünmüş organik madde konsantrasyonu	$gC.m^{-3}b$
<i>Cimi</i>	<i>IMi</i>	İnorganik partikül madde fraksiyonu konsantrasyonu	$gDM.m^{-3}b$
<i>Cpoc</i>	<i>POCnoa</i>	$i=1,2,3$	$gC.m^{-3}b$
<i>Chmd</i>	-	Partikül organik madde konsantrasyonu	$g.m^{-3}w$
<i>Chmdf</i>	-	Çözünmüş metal konsantrasyonu	$g.m^{-3}w$
<i>Chmdoc</i>	-	Serbest çözünmüş metal konsantrasyonu	$g.m^{-3}w$
<i>Chmp</i>	-	DOC'ye bağlı metal konsantrasyonu	$g.m^{-3}b$
<i>Chmt</i>	(i)	Partikül metal konsantrasyonu	$g.m^{-3}b$
<i>Chmalg</i>	-	Toplam metal konsantrasyonu	$g.gC^{-1}$
<i>Chmimi</i>	-	Algdeki metal konsantrasyonu	-
<i>Chmpoc</i>	-	İnorg. Partikül fraksiyonunda metal kons. $\dot{I}=1,2,3$	$g.gC^{-1}$
<i>Chmpt</i>	-	POC'deki metal konsantrasyonu	$mg.kg^{-1}$
<i>Css</i>	SS	Toplam partikül maddedeki metal konsantrasyonu	$gDM.m^{-3}b$
<i>falg</i>	-	Toplam askıdaki madde konsantrasyonu	-
<i>fdf</i>	-	Fitoplanktona adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fdoc</i>	-	Serbest çözünmüş metal fraksiyonu (DOC'ye bağlı değil)	-
<i>fimi</i>	-	DOC'ye adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fp</i>	-	İnorganik fraksiyona adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fpoc</i>	-	$i=1,2,3$ Metalin partikül fraksiyonu POC'ye adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>Kpalg</i>	<i>Kd(I)PHYT</i>	Fitoplankton için dağılım katsayısı	$m^{-3}.kgC^{-1}$
<i>Kpimi</i>	<i>Kd(I)IMi</i>	İnorganik fraksiyon için dağılım katsayısı $i=1,2,3$	$m^{-3}.kgDM^{-1}$
<i>Kppoc</i>	<i>Kd(I)POC</i>	POC için dağılım katsayısı	$m^{-3}.kgC^{-1}$
<i>Kpt</i>	-	Toplam dağılım katsayısı	$L.kgDM^{-1}$
<i>ksorp</i>	-	Sorpsiyon reaksiyon hızı	d^{-1}
<i>SWOXY</i>	<i>SWWaterKCh</i>	Yükseltgenme veya indirgenme koşullarına geçiş SWOXYPAR'da hesaplanır	-
<i>tads</i>	<i>HLTAds(I)</i>	Adsorbsiyon prosesinin yarı ömür zamanı	d
<i>tdes</i>	<i>HLTDes(i)</i>	Desorpsiyon prosesinin yarı ömür zamanı	d
<i>Xdoc</i>	<i>Xdoc XDOC(I)</i>	POC'ye göre göreceli DOC'nin adsorbsiyon verimliliği	-
\emptyset	<i>POROS</i>	Prozite	$m^3w.m^{-3}b$
Δt	<i>Delt</i>	Zaman adımı	d^{-1}

Tablo 4.29. PARTS1/2_(i) eşitliklerinde kullanılan parametrelerin tanımları

Formüldeki adı	Girdi ve çıktındaki adı	Tanımı	Birimi
<i>A</i>	<i>Surf</i>	Yüzey alanı	m ²
<i>H</i>	<i>Depth</i>	İncelenen su segmentinin derinliği	m
-	<i>SWSedYes</i>	PARTS1/2 prosesini tanımlar	-
-	<i>SWSedNo</i>	PARTWK prosesini tanımlar	-
<i>Calg</i>	<i>PHYTS1/2</i>	Fitoplankton miktarı	gC
<i>Cdoc</i>	<i>DOCS1/2</i>	Çözünmüş organik madde konsantrasyonu	gC.m ⁻³ w
<i>Cimi</i>	<i>IMiS1/2</i>	İnorganik partikül fraksiyonunun miktarı i=1,2,3	gDM
<i>Cpoc</i>	<i>POCS1/2</i>	Partikül organik madde miktarı	gC
<i>Chmd</i>	-	Çözünmüş metal konsantrasyonu	g.m ⁻³ w
<i>Chmdf</i>	-	Serbest çözünmüş metal konsantrasyonu	g.m ⁻³ w
<i>Chmdoc</i>	-	DOC'ye bağlı metal konsantrasyonu	g.m ⁻³ w
<i>Chmp</i>	-	Partikül metal miktarı	g
<i>Chmt</i>	<i>(i)S1/2</i>	Toplam metal miktarı	g
<i>Chmalg</i>	-	Algdeki metal konsantrasyonu	g.gC ⁻¹
<i>Chmimi</i>	-	İnorganik partikül fraksiyonundaki metal konsantrasyonu	g.gDM ⁻¹
<i>Chmpoc</i>	-	POC'deki metal konsantrasyonu	g.gC ⁻¹
<i>Chmpt</i>	-	Toplam partikül maddedeki metal konsantrasyonu	mg.kg ⁻¹
<i>Css</i>	<i>DMS1/2</i>	Sedimentteki kuru maddenin toplam miktarı	gDM
<i>falg</i>	-	Fitoplanktona adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fdf</i>	-	Serbest çözünmüş metal fraksiyonu	-
<i>fdoc</i>	-	DOC'ye adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fimi</i>	-	İnorganik fraksiyonlara adsorbe olmuş metal fraksiyonları	-
<i>fp</i>	-	Metalin partikül fraksiyonu	-
<i>fpoc</i>	-	POC'ye adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>Kpalg</i>	<i>Kd(I)PHYTS1/2</i>	Fitoplankton için dağılım katsayısı	m ³ .kgC ⁻¹
<i>Kpimi</i>	<i>Kd(I)IMiS1/2</i>	İnorganik fraksiyonlar için dağılım katsayısı	m ³ .kgDM ⁻¹
<i>Kppoc</i>	<i>Kd(I)POCS1/2</i>	POC için dağılım katsayısı	m ³ .kgC ⁻¹
<i>Kpt</i>	-	Toplam dağılım katsayısı	l.kgDM ⁻¹
<i>ksorp</i>	-	Sorpsiyon reaksiyon hızı	d ⁻¹
<i>Rsorp</i>	-	Sorpsiyon hızı	g.d ⁻¹
<i>SWOXY</i>	<i>SWPoreChS1/2</i>	Yükseltgenme ya da indirgenme koşullarına geçiş	-
<i>tads</i>	<i>HLTAds(i)S1/2</i>	Yarı ömür zamanı adsorpsiyon prosesi	d
<i>tdes</i>	<i>HLTDes(i)S1/2</i>	Yarı ömür zamanı desorpsiyon prosesi	d
<i>Xdoc</i>	<i>XDOC(I)</i>	POC'ye göre DOC'nin adsorpsiyon verimliliği	-
<i>V</i>	-	Hacim	m ³ b
<i>Ø</i>	<i>PORS1/2</i>	Porozite	m ³ w.m ³ b
<i>Δz</i>	-	Tabaka kalınlığı	m

Tablo 4.30. Çökelme ile ilgili olarak PARTWK_(i) and PARTS1/2_(i) eşitliklerinin parametrelerinin tanımları

Formüldeki adı	Girdi ve çıktındaki adı	Tanımı	Birimi
<i>Chmdf m</i>	-	Molar toplam çözünmüş metal konsantrasyonu	mol.l ⁻¹
<i>Crdf m</i>	-	Molar serbest çözünmüş krom konsantrasyonu	mol.l ⁻¹
<i>Crfr m</i>	-	Molar serbest krom iyonu konsantrasyonu	-
<i>fpr</i>	-	Çökelmiş metal fraksiyonu	-
<i>Chsd</i>	<i>DisHSWK ya da</i>	Molar çözünmüş hidrojen sülfid HS ⁻	mol.l ⁻¹
<i>Csd</i>	<i>DisHSS1/2</i> <i>DisSWK</i> <i>Ya da DisSS1/2</i>	Molar çözünmüş sülfid S ²⁻ konsantrasyonu	mol.l ⁻¹
<i>logKCr1</i>	<i>logK(i)OH1</i>	Metal hidroksil kompleksi sabiti (1xOH; grup 2)	log(1.mol ⁻¹) ¹
<i>logKCr2</i>	<i>logK(i)OH2</i>	Metal hidroksil kompleksi sabiti (2xOH; grup 2)	log(1.mol ⁻¹) ²
<i>logKCr3</i>	<i>logK(i)OH3</i>	Metal hidroksil kompleksi sabiti (3xOH; grup 2)	log(1.mol ⁻¹) ³
<i>logKCrS</i>	<i>logK(i)Sol</i>	Metal hidroksit çözünürlüğü sabiti (grup 2)	log(mol.l ⁻¹) ⁴
<i>logKhm1</i>	<i>logK(i)Saq</i>	Metal sülfid S ²⁻ kompleksi sabiti (grup 1)	log(1.mol ⁻¹) ¹
<i>logKhm2</i>	<i>logK(i)HSaq</i>	Metal hidrojen sülfid kompleksi sabiti (grup 1)	log(1.mol ⁻¹) ¹
<i>logKhmS</i>	<i>logK(i)Ss</i>	Metal sülfid çözünürlüğü sabiti (grup 1)	log(1.mol ⁻¹) ²
<i>Mw I</i>	<i>MolWt(I)</i>	Metalin moleküler ağırlığı	g.mol ⁻¹
<i>OH</i>	-	Hidroksil konsantrasyonu	mol.l ⁻¹
<i>pH</i>	<i>pH ya da</i> <i>pHS1/2</i>	Asidite	-

Tablo 4.31. PARTWK_(i) denklemlerinin çıktı parametreleri tanımları.
(Sulu sediment (bulk-b) ve su (water-w) hacim birimlerini tanımlar)

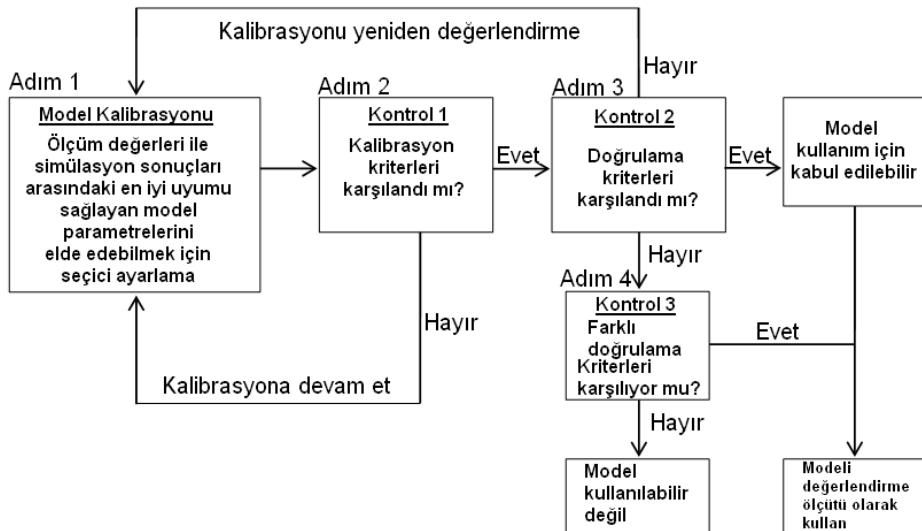
Formüldeki adı	Girdi ve çıktındaki adı	Tanımı	Birimi
<i>Chmt</i>	<i>(i)tot</i>	Toplam metal konsantrasyonu	g.m ⁻³ b
<i>Chmd</i>	<i>Dis(I)</i>	Serbest çözünmüş metal konsantrasyonu	g.m ⁻³ w
<i>Chmdoc</i>	<i>Doc(I)</i>	DOC'ye adsorbe olmuş metal konsantrasyonu	g.m ⁻³ w
<i>fdf</i>	<i>Fr(i)Dis</i>	Serbest çözünmüş metal konsantrasyonu (DOC'ye bağlı değil)	-
<i>fdoc</i>	<i>Fr(i)DOC</i>	DOC'ye adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fim1</i>	<i>Fr(i)IM1</i>	İnorganik fraksiyona (IM1) adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fim2</i>	<i>Fr(i)IM2</i>	İnorganik fraksiyona (IM2) adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fim3</i>	<i>Fr(i)IM3</i>	İnorganik fraksiyona (IM3) adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fpoc</i>	<i>Fr(i)POC</i>	POC'ye adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>falg</i>	<i>Fr(i)PHYT</i>	Fitoplanktona adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fpr</i>	<i>Fr(i)Sulf</i>	Çökelmiş metal fraksiyonu	-
<i>Kpt</i>	<i>Kd(i)SS</i>	Askıda katılar için toplam dağılım katsayısı	m ³ .kgDM ⁻¹
-	<i>Q(I)IM1</i>	İnorganik madde fraksiyonunun (IM1) metal içeriği	g.gDM ⁻¹
-	<i>Q(I)IM2</i>	İnorganik madde fraksiyonunun (IM2) metal içeriği	g.gDM ⁻¹
-	<i>Q(I)IM3</i>	İnorganik madde fraksiyonunun (IM3) metal içeriği	g.gDM ⁻¹
-	<i>Q(I)POC</i>	Partikül detritusun metal içeriği	g.gC ⁻¹
-	<i>Q(I)PHYT</i>	Fitoplankton biyomasının metal içeriği	g.gC ⁻¹
<i>Chmpt</i>	<i>Q(I)SS</i>	Toplam askıdaki katının metal içeriği	mg.kgDM ⁻¹

Tablo 4.32. PARTS1/2_(i) denklemlerinin çıktı parametreleri tanımları
(Sulu sediment (bulk-b) ve su (water-w) hacim birimlerini tanımlar)

Formüldeki adı	Girdi ve çıktındaki adı	Tanımı	Birimi
<i>Chmt</i>	<i>(i)S1tot</i>	Toplam metal konsantrasyonu	$g.m^{-3}b$
<i>Chmd</i>	<i>Dis(i)S1</i>	Serbest çözülmüş metal konsantrasyonu	$g.m^{-3}w$
<i>Chmdoc</i>	<i>Doc(i)S1</i>	DOC'ye adsorbe olmuş metal konsantrasyonu	$g.m^{-3}w$
<i>fdf</i>	<i>Fr(i)DisS1</i>	Serbest çözülmüş metal fraksiyonu (DOC'ye bağlı değil)	-
<i>fdoc</i>	<i>Fr(I)DOCS1</i>	DOC'ye adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fim1</i>	<i>Fr(i)IM1S1</i>	İnorganik fraksiyona (IM1) adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fim2</i>	<i>Fr(i)IM2S1</i>	İnorganik fraksiyona (IM2) adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fim3</i>	<i>Fr(i)IM3S1</i>	İnorganik fraksiyona (IM3) adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fpoc</i>	<i>Fr(I)POCS1</i>	POC'ye adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>falg</i>	<i>Fr(I)PHYTS1</i>	Fitoplanktona adsorbe olmuş metal fraksiyonu	-
<i>fpr</i>	<i>Fr(i)SulFS1</i>	Çökelmiş metal fraksiyonu	-
<i>Kpt</i>	<i>Kd(i)DMS1</i>	Askıda katılar için toplam dağılım katsayısı	$m^3.kgDM^{-1}$
-	<i>Q(I)IM1S1</i>	İnorganik madde fraksiyonunun (IM1) metal içeriği	$g.gDM^{-1}$
-	<i>Q(I)IM2S1</i>	İnorganik madde fraksiyonunun (IM2) metal içeriği	$g.gDM^{-1}$
-	<i>Q(I)IM3S1</i>	İnorganik madde fraksiyonunun (IM3) metal içeriği	$g.gDM^{-1}$
-	<i>Q(I)POCS1</i>	Partikül detritusun metal içeriği	$g.gC^{-1}$
-	<i>Q(i)PHYTS1</i>	Fitoplankton biyomasının metal içeriği	$g.gC^{-1}$
<i>Chmpt</i>	<i>Q(I)DMS1</i>	Toplam askıdaki katının metal içeriği	$mg.kgDM^{-1}$

4.8.3. DELFT3D-WAQ Modülünün Kalibrasyon ve Doğrulaması

Uluabat Gölü için su kalite modeli kalibrasyonu ve doğrulaması görselleştirilmiş ve Şekil 4.25'de gösterilmiştir. Modelin kalibrasyonu aşamasında, ölçüm değerleri ile simülasyon sonuçları arasındaki en iyi uyumu sağlayan model parametrelerini elde edebilmek için defalarca denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonucu uygun olduğu düşünülen değerler kullanılarak model doğrulaması yapılmıştır.



Şekil 4.25. Su Kalitesi Modülü Kalibrasyon ve Doğrulama Prosedürü (Ekdal 2008)

4.8.3.1. Su Kolonundan Sedimente Geçen Ağır Metal Akılarının Belirlenmesi

Modelleme çalışmaları sırasında özellikle partiküler formdaki ve sedimentteki ağır metal miktarlarının partiküllerin çökme hızlarına bağlı olarak değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, partikül çaplarına göre çökme hızları ve akı değişimleri irdelenmiştir. Su ve sediment arasındaki geçişi belirlemek için kullanılan metotlardan biri, Fick Yasasıdır. Bu yasa, moleküler difüzyonla, elementlerin değişimini tanımlamaktadır.

$$F = - D (C / z) \dots \dots \dots (58)$$

Bu denklemde; F: Akı, D: Sedimentteki element için difüzyon katsayısı, C/z: sediment-su ara yüzeyinde elementin konsantrasyon değişimidir. D, poroziteye bağlıdır. Konsantrasyon değişimi, elementlerin sudaki ve sedimentteki konsantrasyonlarının oranları alınarak belirlenmektedir. Porozite, sedimentin yoğunluğundan ve su içeriğinden belirlenmektedir (Thibodeaux 1996). Elde edilen konsantrasyon sonuçları ve sediment porozitesi değeri kullanılarak sedimentten suya geçen ağır metal miktarı hesaplanabilmektedir. Çalışma kapsamında sedimentin yüzey tabakasının incelenmesi sebebiyle sediment tabakasında, derinlik boyunca inceleme yapılmamıştır. Bu nedenle su kolonundan sedimentte geçen ağır metal miktarı belirlenmiştir.

Göl ortamı bir reaktör olarak kabul ederek Fick Yasası'na göre kütle dengesi aşağıdaki gibi yazılabilmektedir (Chapra 1997).

$$V \frac{dC}{dt} = -JA \dots \dots \dots (59)$$

V: hacim, C: konsantrasyon, t: zaman

J: akı, A: iki hacim arasındaki alan

$$J = V_s C \dots \dots \dots (60)$$

V_s: çökme hızı

C: konsantrasyon

Çökme hızı, parçacıkların tane büyüklüğüne ve yoğunluklarına bağlı olarak Stokes Yasası'na göre (Taillefert ve Gaillard 2002) aşağıdaki denklem ile belirlenebilmektedir:

$$V_s = \frac{(\rho_p - \rho_w)gd^2}{18\eta} \dots\dots\dots(61)$$

- V_s : parçacık çökme hızı (cm/s)
- ρ_p : parçacık yoğunluğu (g/cm³)
- ρ_w : su yoğunluğu (g/cm³)
- g : yerçekimi sabiti (g/cm²)
- d : parçacığın çapı (cm)
- η : suyun viskozitesi (g/cm.s)

Doğal sularda bulunan parçacıkların çökme hızları çaplarına göre belirlenmiştir (Chapra 1997). Kil parçacıklarının boyutu 0,01 ile 4 µm arasında, çökme hızları 0,3 ile 1 m/gün arasında değişmektedir. Yoğunlukları 2 ile 3,3 g/cm³ arasında değişse de genel olarak minerallerin yoğunluğu 2,65 g/cm³ olarak alınabilmektedir (Ünal ve Başkaya 1981, Chapra 1997, Grenville 2011). Demir-oksit parçacıkları üzerine yapılan bir çalışmada, 0,45 ile 3 µm boyutunda 1,6 (±0,15) x10⁻⁵cm/s ile 58,8 (±5,4) x10⁻⁵cm/s arasında çökme hızları bulunmuştur (Taillefert ve Gaillard 2002).

Uluabat Gölü sediment tane boyutunun tekstür analizi ile belirlenmesi sonucunda % 57,046 ile kil, % 30,41 silt, % 12,54 ile kum yapısına sahip ve kil boyutunun baskın olduğu belirlenmiştir (Katip 2010). Ancak partiküler maddeye tutunmuş halde bulunan ağır metallerin 0,45 µm gözenek çapındaki milipore filtre kağıdından süzülerek belirlenmiş olması sebebiyle daha küçük taneciklere tutunmuş olan ağır metaller belirlenmemiştir. Uluabat Gölü sediment yapısının büyük oranda kil boyutunda olması, su kolonunda küçük partiküllerin baskın olduğunun bulunması ve sığ bir göl olan Uluabat Gölü'nde sedimentin rüzgar etkiyle suya karışması nedeni ile kil parçacıklarının boyutunun orta değeri olan 3 µm, en büyük değeri olan 4 µm ve askıda katı maddenin en küçük boyutu olan 0,45 µm ile literatürde verilen minimum kil boyutları 0,01 µm ve 0,1 µm çapındaki tanecikler için de çökme hızları Stokes Yasası'na göre belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler Tablo 4.33'de verilmiştir.

Partiküler maddeye tutunmuş olan metallerin ortalama konsantrasyonları mg/m^3 birimine çevrilerek çökelme hızları ile çarpılmıştır ve su kolonundan sedimente geçen akı hesaplanmıştır. Akılar, göl su kotu ve göl yüzey alanı değerleri kullanılarak bulunmuş göl yüzey alanları ile çarpılarak sedimentteki birikim hesaplanmıştır. Buna göre Uluabat Gölü kalibrasyon dönemi 3,2 m su kotu için göl yüzey alanı $141,8 \text{ km}^2$, doğrulama dönemi 3,7 m su kotu için, göl yüzey alanı $151,3 \text{ km}^2$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.33'te farklı tanecik çapları için hesaplanan akı değerleri gösterilmiştir. Farklı boyutlardaki taneciklerin akıları incelendiğinde, doğal olarak çapı büyük olanların daha çok çökeldiği görülmektedir.

4.8.3.2. Su Kalite Modeli Kalibrasyonu ve Değerlendirmesi

Model kalibrasyonu, arazi gözlemleri ve model tahminlerinin karşılaştırılması yoluyla model parametreleri için tahminler elde edilen süreçtir (Ekdal 2008, Manivanan 2008). Eğer farklılıklar varsa modeli karakterize eden katsayılar düzeltilmektedir.

Başka bir deyişle kalibrasyonda, model parametrelerinin alıcı ortamın özelliklerine göre değerleri bulunur (Albek ve diğ. 2004, Chapra 1997). Daha önce de bahsedildiği üzere, Ağustos 2013-Ocak 2014 dönemleri kalibrasyon dönemi olarak kabul edilmiş, gerekli hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Kalibrasyonda kullanılan parametre ve katsayılar, modelde verilen aralıklar ve literatürdeki değerler (EPA, Chapra 1997, Larmaei ve diğ. 2009, WL/Delft Hydraulics 2010, Anonim 2010, Kees ve diğ. 2010) baz alınarak ayarlanmıştır. Kalibrasyonda kullanılan parametre ve değişkenlere ait değerler Tablo 4.33'de sunulmuştur.

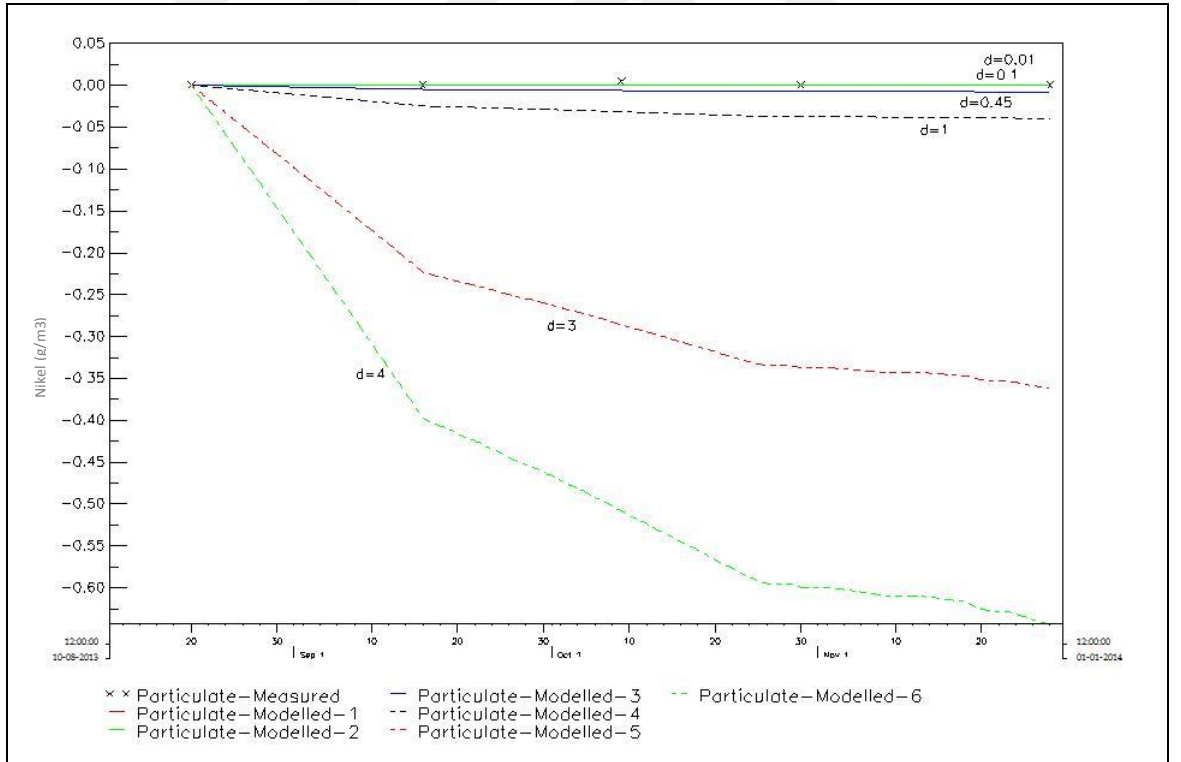
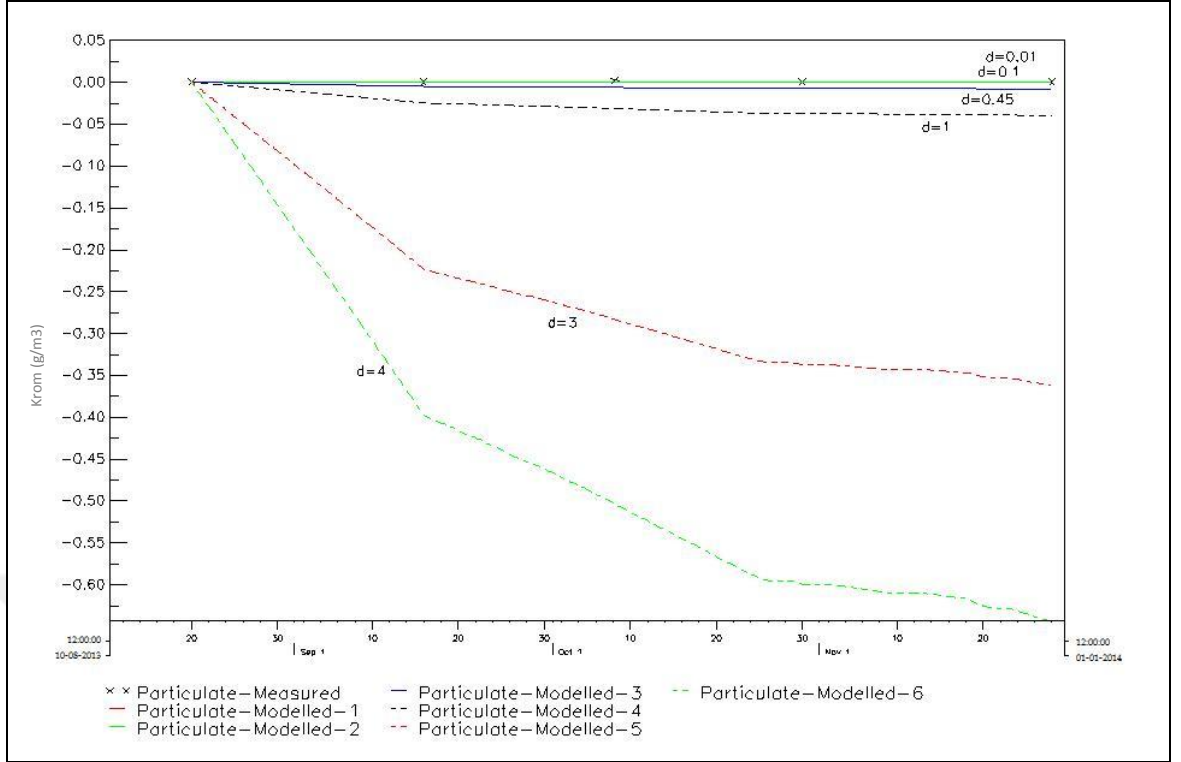
Bu doğrultuda, farklı partikül çaplarına göre hesaplanan çökelme hızları ve çökelme akılarının kalibrasyonu sonucunda elde edilen ve gözlenen partiküler ve sedimentteki krom ve nikel miktarlarının karşılaştırılması Şekil 4.26 – 4.27'de verilmiştir.

Tablo 4.33. Model kalibrasyonunda kullanılan parametre ve değişkenlerin değerleri

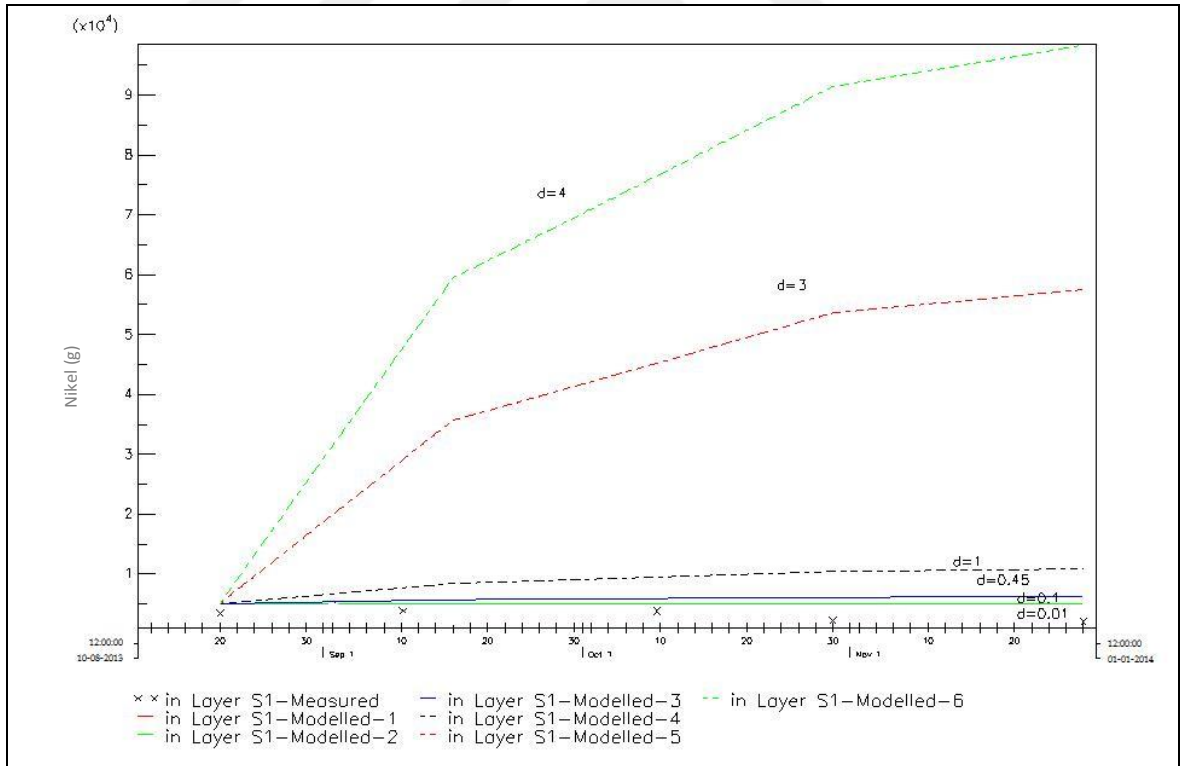
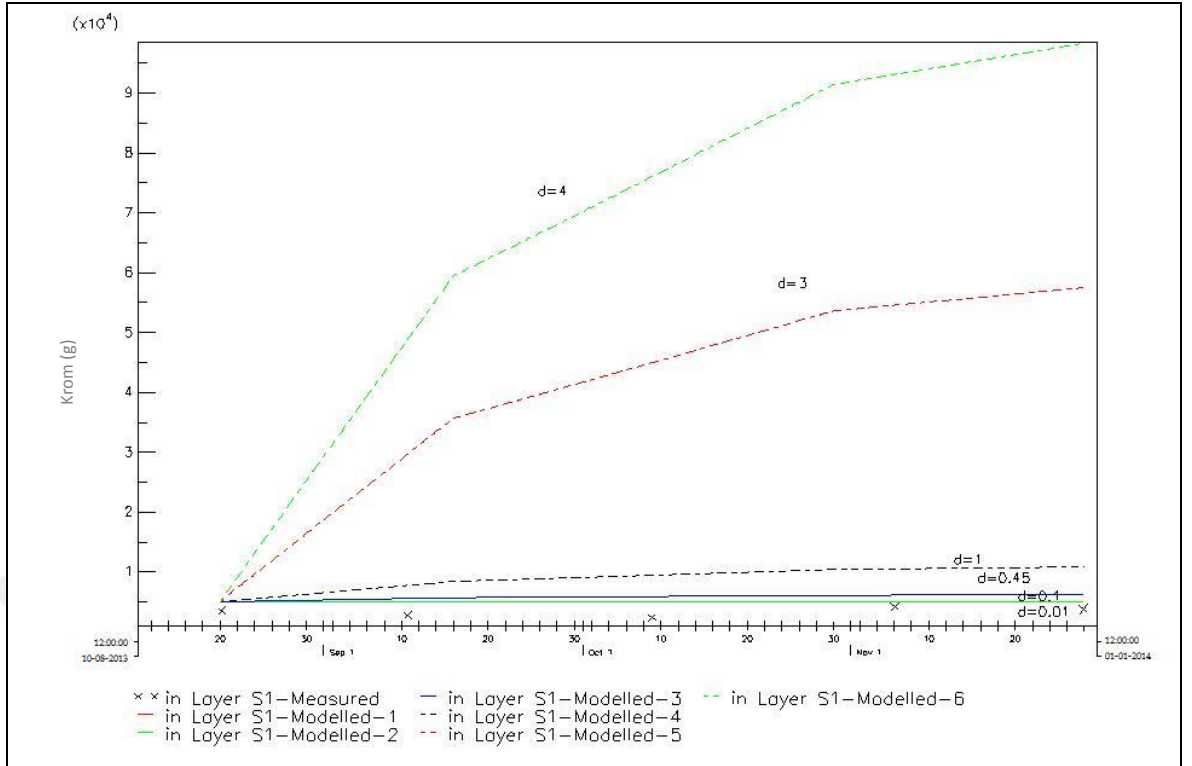
Kalibrasyon Parametresi	Birim	Alınan değerler
Akıma paralel dispersiyon	m ² s	0,1
Akıma dik dispersiyon	m ² s	0,01
Sedimentasyon akısı	g/m ² /G	0,01 µm: 1,54x10 ⁻³ (Cr) 0,01 µm: 3,04x10 ⁻³ (Ni)
		0,1 µm: 0,154 (Cr) 0,1 µm: 0,304 (Ni)
		0,45 µm: 3,13 (Cr) 0,45 µm: 6,18 (Ni)
		3 µm: 137,42 (Cr) 3 µm: 271,06 (Ni)
		4 µm: 212,16 (Cr) 4 µm: 418,48 (Ni)
Sedimentasyon hızı	m/s	0,01 µm: 6,4x10 ⁻¹⁰
		0,1 µm: 6,4x10 ⁻⁸
		0,45 µm: 1,3x10 ⁻⁶
		3 µm: 5,7x10 ⁻⁵
		4 µm: 8,8x10 ⁻⁵
Sediment tabakası kalınlığı	m	0,05
Sediment yoğunluğu	g/cm ³	2,65
Dispersiyon hesaplamasında faktör a	-	10
Dispersiyon hesaplamasında faktör b	-	0,8
Dispersiyon hesaplamasında faktör c	-	1,2
Rüzgar hızı	m/s	Zaman serisi
Tuzluluk	ppt	0,44
Su sıcaklığı	°C	16,8
Taban pürüzlülüğü	m	0,001
Manning katsayısı	m	Fonksiyonel

Grafikler incelendiğinde partikül çapındaki değişimin, partikül maddeye tutunmuş ve sedimentteki krom ve nikel miktarlarını etkilediği görülmektedir. Partikül çapının büyümesiyle artan çökme hızı ve akısının, partiküler metal miktarında azalmaya neden olduğu, düşük partikül çaplarındaki (<0,45 µm) model sonuçlarının gözlemlenen değerler ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Sedimentteki metal miktarları için hazırlanan model sonuçlarına bakıldığında artan partikül çaplarıyla çökme hızları ve akıları da artmakta; sedimentteki metal miktarı da bu doğrultuda artmaktadır. Ancak düşük partikül çaplarındaki (<0,45 µm) model sonuçları, sedimentteki krom ve nikelin gerçek değerlere (ölçülen değerlere) yaklaştığını göstermektedir.

Model kalibrasyonunda farklı partikül çaplarına göre oluşturulan grafikler irdelendiğinde, modellenen ve gözlenen metal konsantrasyonlarında en uygun benzerliğin 0,01 µm partikül çapında olduğu belirlenmiştir.

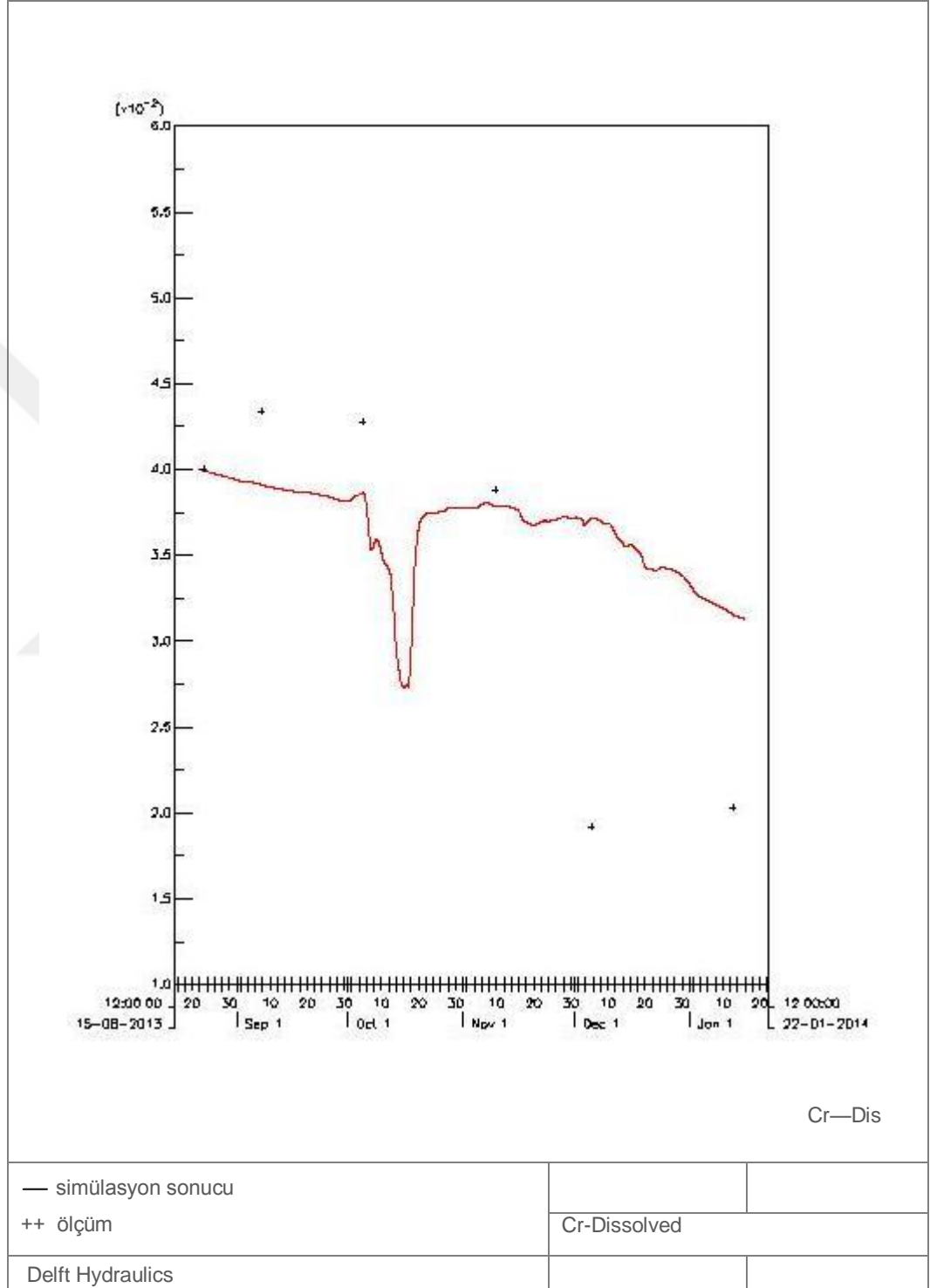


Şekil 4.26. Partikül halindeki Cr ve Ni için kalibrasyon grafiği

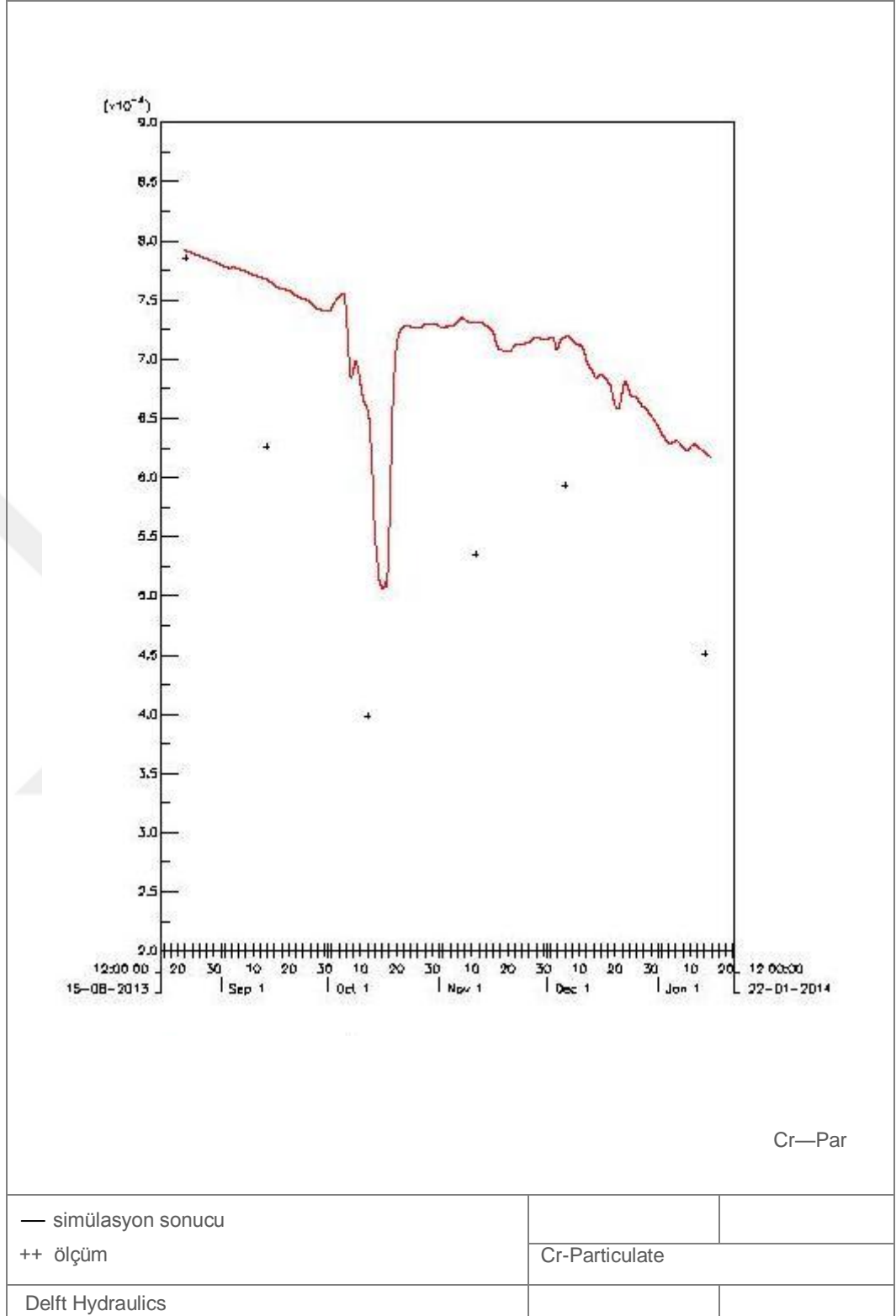


Şekil 4.27. Sedimentteki Cr ve Ni için kalibrasyon grafiği

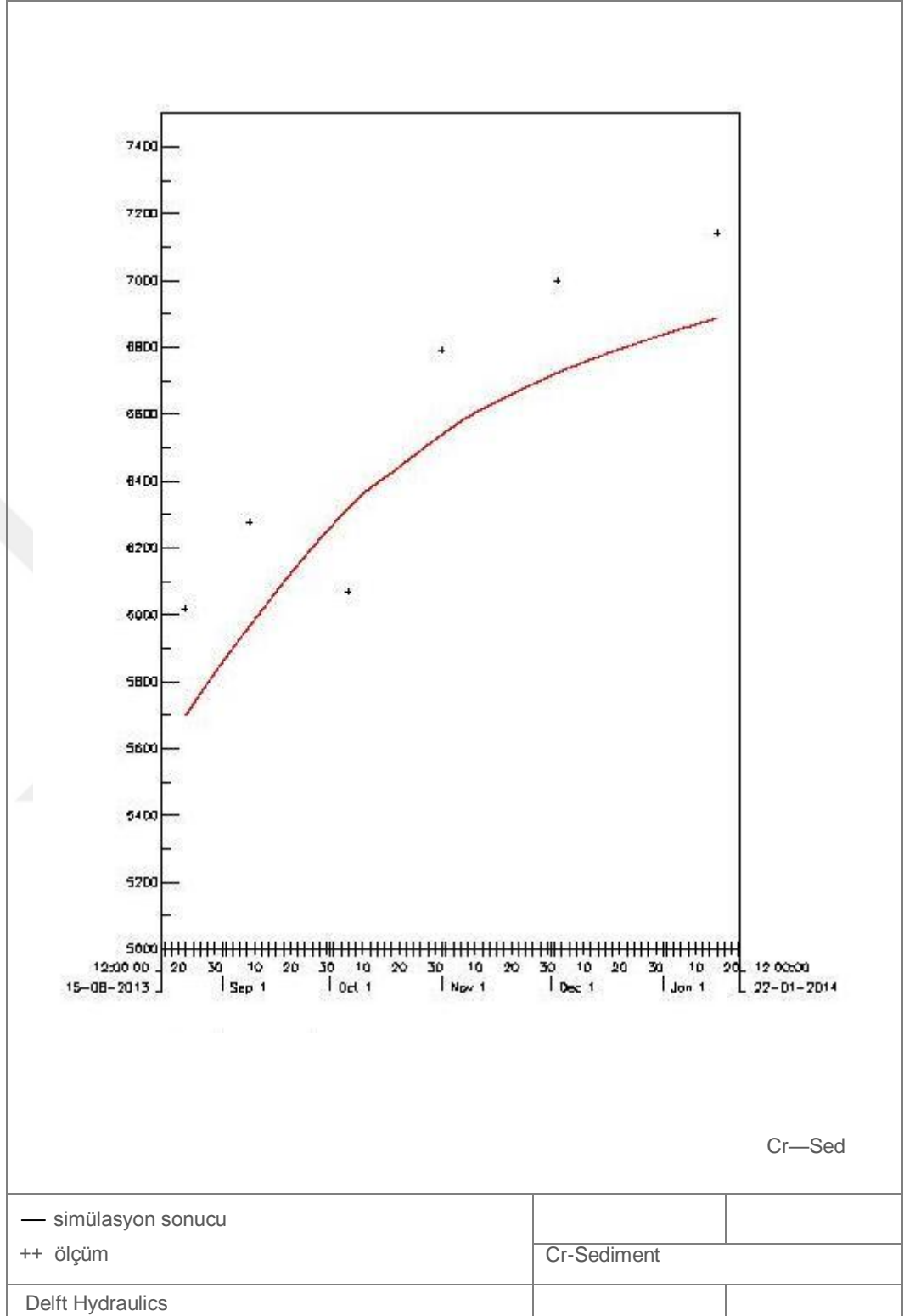
Uygun partikül çapı belirlendikten sonra, literatürden bulunan diğer kalibrasyon parametreleri de kullanılarak model çok kez tekrarlamalar ile çalıştırılmış ve metallerin gölde dağılımları için elde edilen kalibrasyon grafikleri Şekil 4.28-4.33'de sunulmuştur.



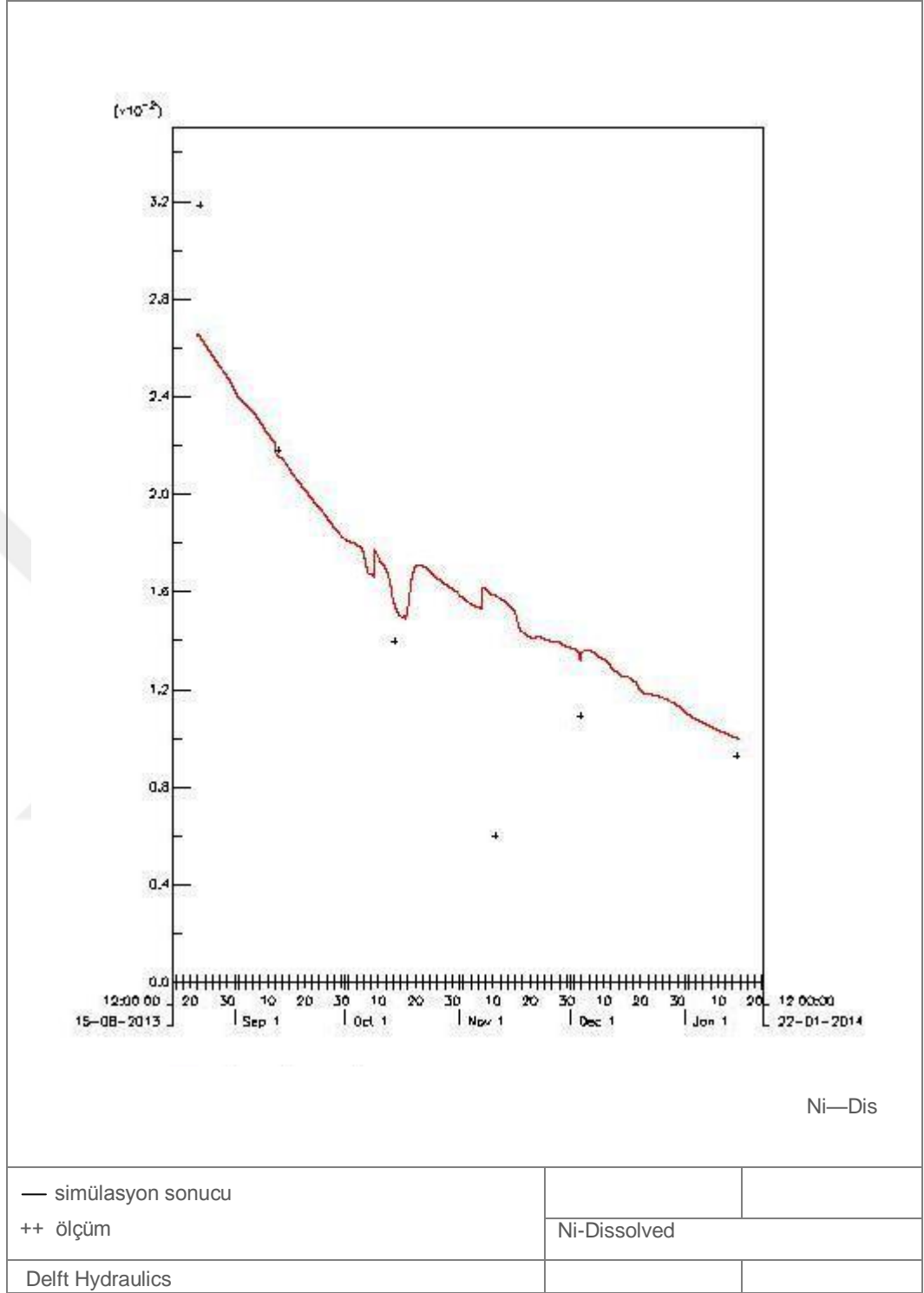
Şekil 4.28. Su Kalite Model Kalibrasyonu ve Ölçüm Sonuçları (Krom-Çözünmüş)



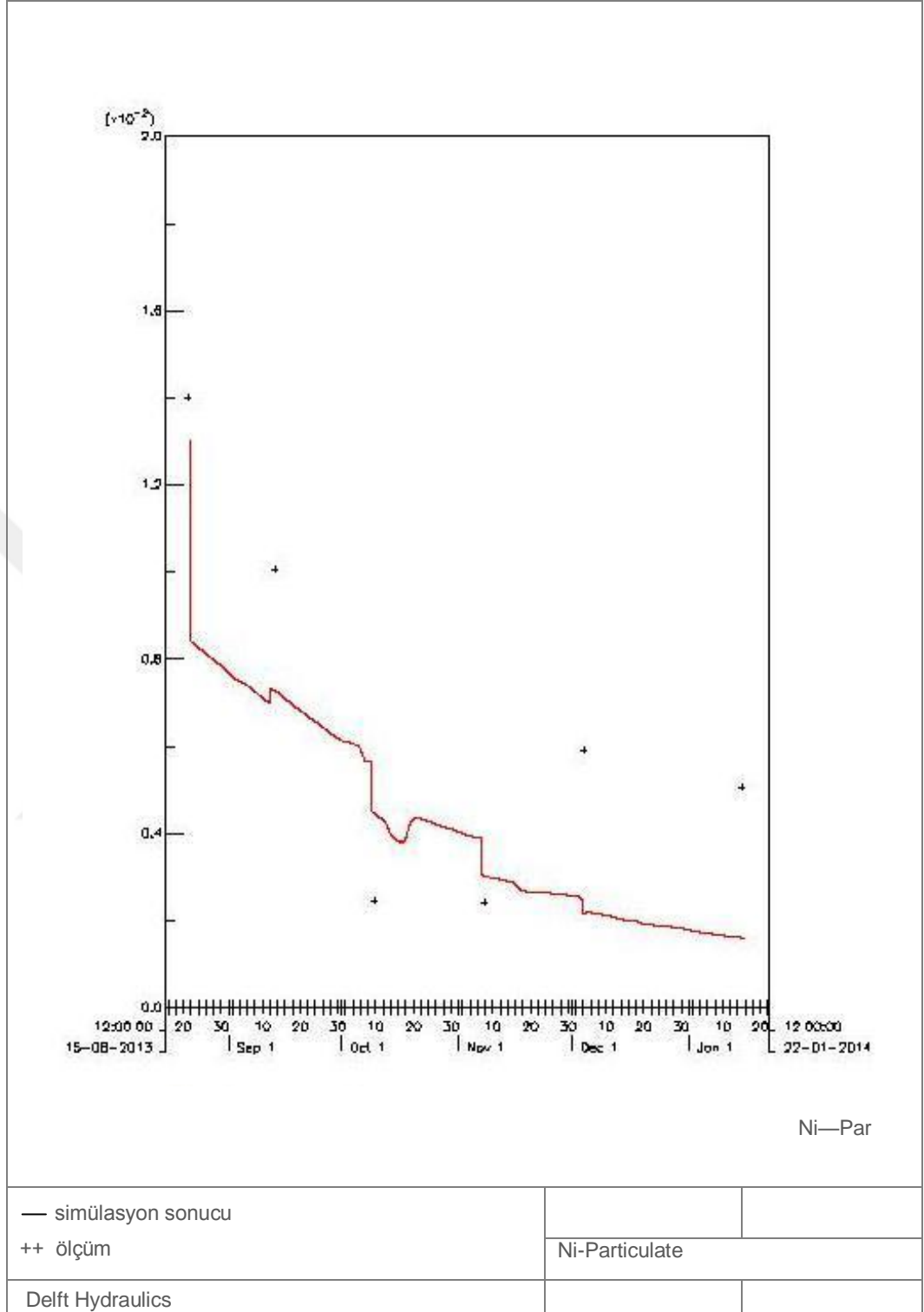
Şekil 4.29. Su Kalite Model Kalibrasyonu ve Ölçüm Sonuçları (Krom-Partikül)



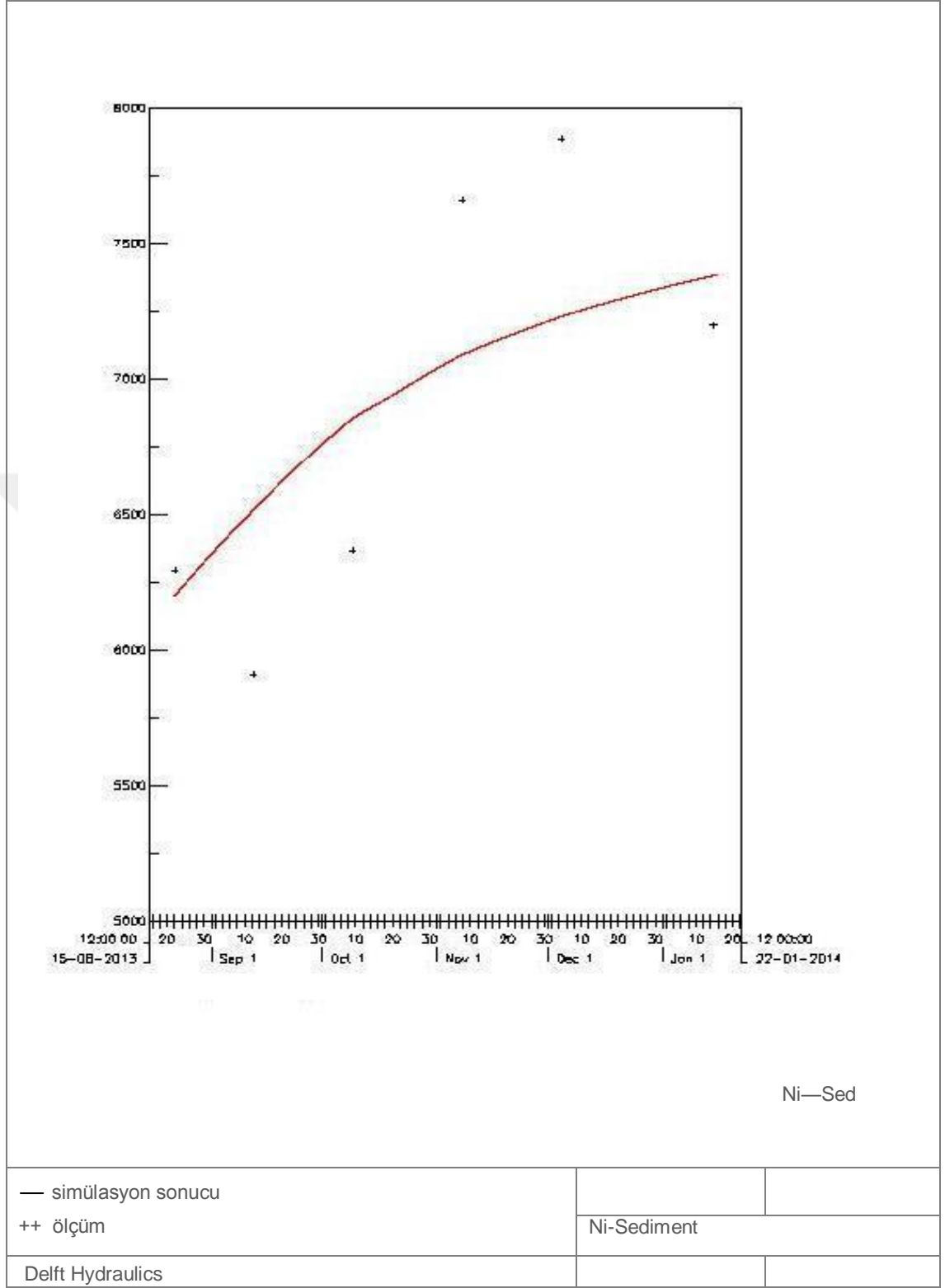
Şekil 4.30. Su Kalite Model Kalibrasyonu ve Ölçüm Sonuçları (Krom-Sediment)



Şekil 4.31. Su Kalite Model Kalibrasyonu ve Ölçüm Sonuçları (Nikel-Çözünmüş)



Şekil 4.32. Su Kalite Model Kalibrasyonu ve Ölçüm Sonuçları (Nikel- Partikül)



Şekil 4.33. Su Kalite Model Kalibrasyonu ve Ölçüm Sonuçları (Nikel-Sediment)

Çalışma kapsamında model performansı 3 ayrı istatistiksel gösterge ile değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki lineer regresyon ile *determinasyon katsayısı* (R^2) ve ikincisi *hata kareleri ortalamasının karekökü* (RMSE) ve üçüncüsü de *relatif ortalama karekök hatası* (RRMSE) değerleridir. Bu değerlerin hesaplanmasına yönelik gerekli bilgiler başlık 3.7.6’da verilmiştir. Bu başlık altında verilen formülasyonlar yardımı ile hesaplanan değerler Tablo 4.34.’de bilgilerinize sunulmuştur.

Tablo 4.34. Su Kalite Modeli Kalibrasyon Dönemi İstatistiksel Değerlendirmesi

Kalibrasyon Dönemi		Çözünmüş	Partiküler	Sediment
<i>Cr</i>	<i>RRMSE</i>	0,2440	0,0453	7,3600
	<i>RMSE</i>	0,00844	0,000254	516,7086
	<i>R²</i>	0,5083	0,8065	0,8012
<i>Ni</i>	<i>RRMSE</i>	32,4348	0,0937	7,2637
	<i>RMSE</i>	0,005102	0,00000643	509,0063
	<i>R²</i>	0,8109	0,7174	0,6248

Model performansının değerlendirilmesi için geliştirilmiş olan istatistiksel yöntemler model sonuçları ile ölçüm değerleri arasındaki uyumun sayısallaştırılmasını sağlar. Ancak simülasyonu yapılan parametrelerin karmaşıklık düzeyine bağlı olarak, her bir parametre için elde edilecek olan hata değerleri birbirinden farklı olacaktır. Mevcut durumda, hesaplanan hata değerlerinden yola çıkılarak, model sonuçlarının kabul edilebilir veya edilemez olduğunu söylemek için kesin kriterler bulunmamaktadır (Kaçıkçıoğlu 2013). Bu nedenle performans değerlendirmesi Parajuli ve diğ. (2008)’nin belirlemiş olduğu model performans sınıflarını (Tablo 3.3) içeren R^2 değerlerine göre yapılmıştır.

Tablo 4.34’de görüldüğü üzere sırasıyla çözünmüş Cr, partiküler Cr ve sedimentteki Cr formları için R^2 değerleri 0,5083; 0,8065; 0,8012 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde sırasıyla çözünmüş Ni, partiküler Ni ve sedimentteki Ni formları için R^2 değerleri 0,8109; 0,7174 0,6248 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, model geçerliliği için literatürde verilen R^2 değerleri (Parajuli ve diğ. 2008) ile kıyaslandığında modelin çözünmüş Cr formu için iyi, partiküler ve sediment formları için ise çok iyi, partiküler

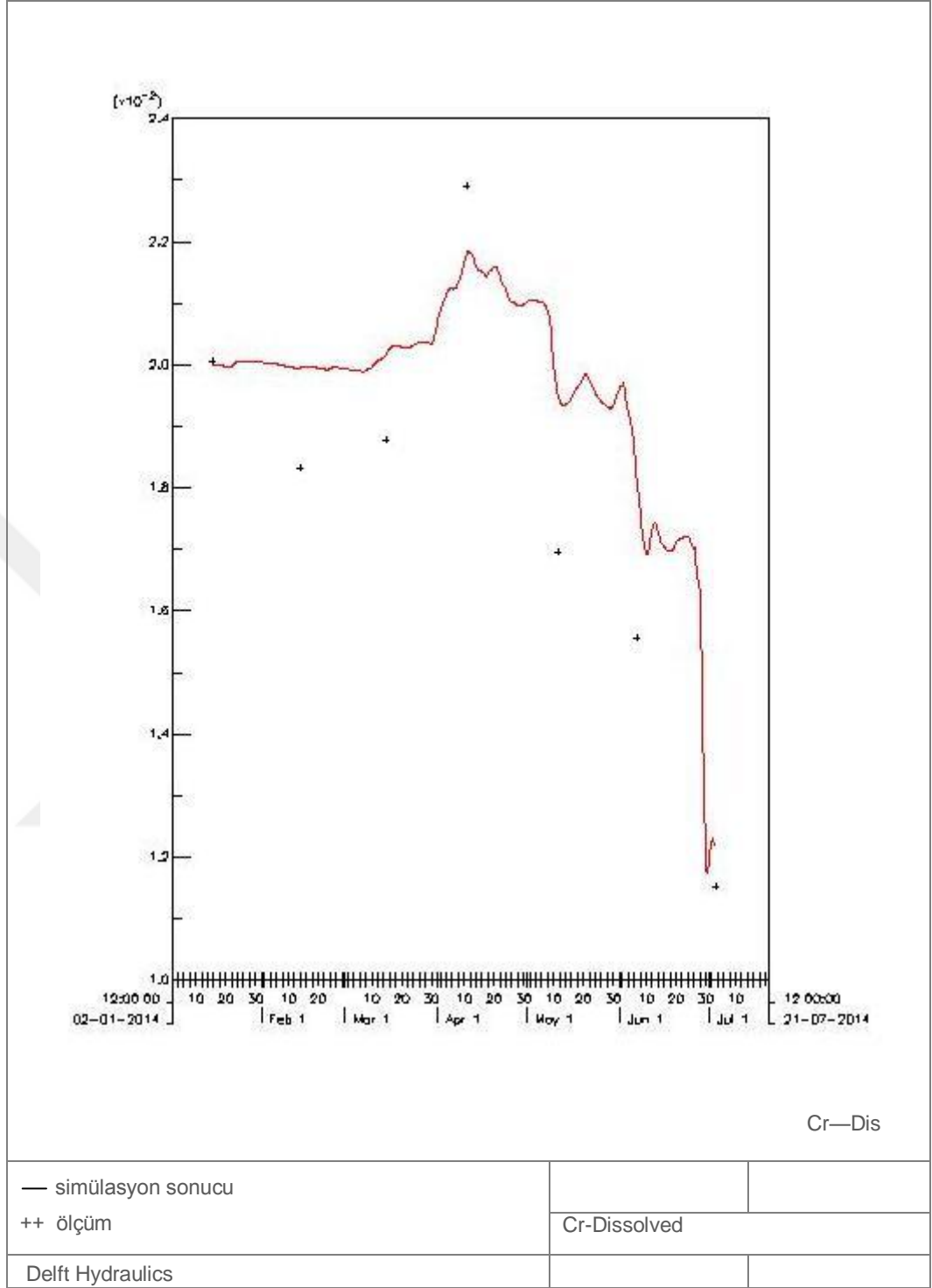
ve sediment Ni formları için iyi, çözünmüş Ni formu için ise çok iyi sonuçlandığı görülmüştür.

R^2 ifadelerinin “Çok İyi” ve “Mükemmel” sınıflarına girmemesinin nedeni olarak modelleme çalışmasında zaman aralığının 15dk. seçilmiş olmasına karşın numune alma sıklığının ayda birlik periyotta yapılmış olması düşünülmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için daha sık numune alınması, daha fazla ve sık veri girişi yapılması önerilebilir.

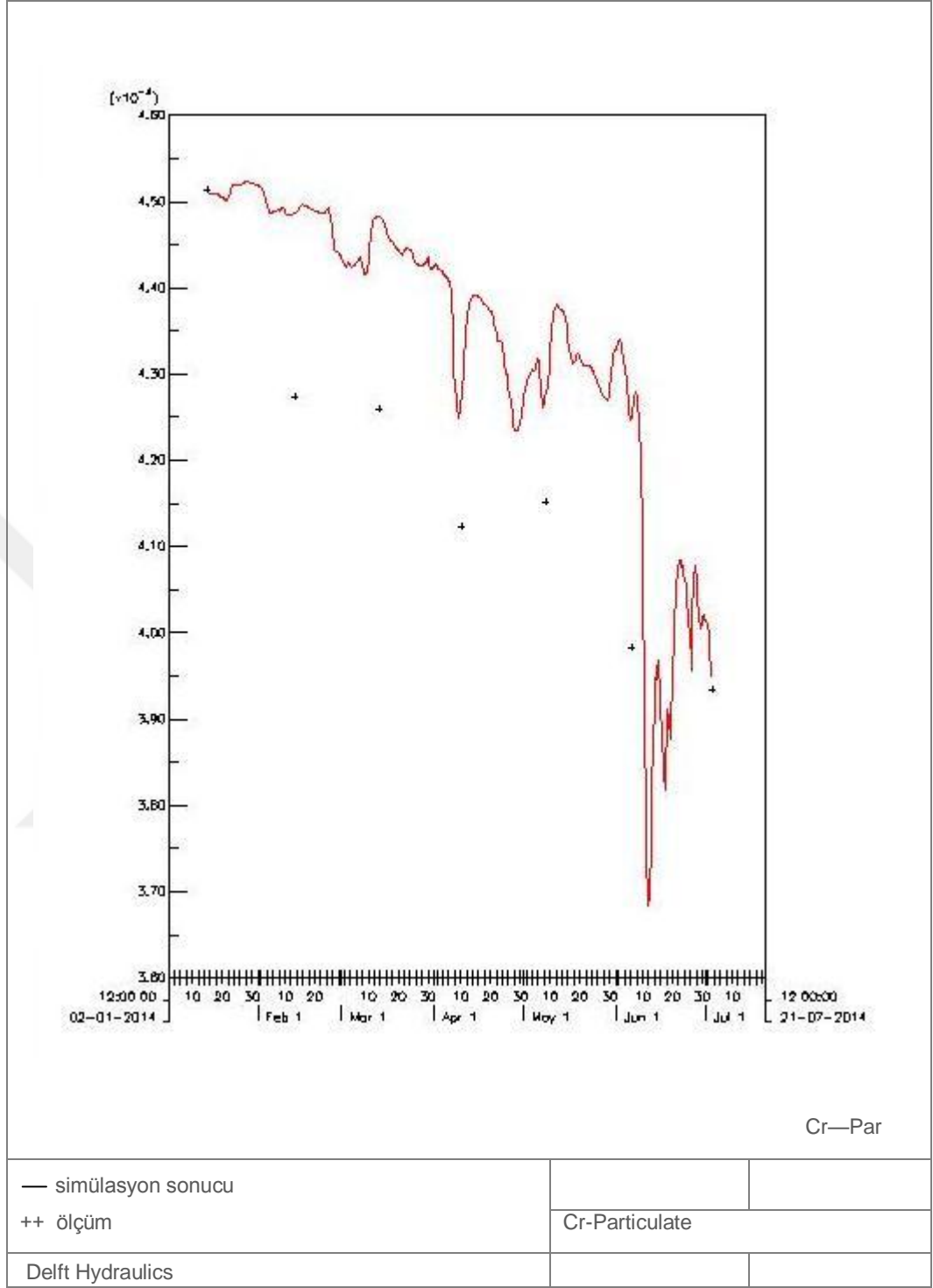
4.8.3.3. Su Kalite Modeli Doğrulaması ve Değerlendirmesi

Farklı çevresel koşullar altında (nehir akımı, kirlilik yükü, vb.), farklı bir veri seti ile kalibrasyon modelinin test edildiği aşama doğrulama işlemi (verifikasyon) olarak tanımlanır. Kalibre edilen modelin geçerlilik aralığını daha detaylı incelemek ve kalibrasyonu test etmek için bu işlem uygulanır. Doğrulama işlemi için toplanan veriler, kalibrasyon parametrelerinden tamamen bağımsızdır (Manivanan, 2008). Bu veriler ile model çalıştırılır ve uyum sağlaması beklenir. Model sonuçları ile deney sonuçları uyumlu ise model doğrulanmıştır denir (Himesh ve diğ. 2000, Chapra 1997). Bu şekilde doğrulanmış model ile çeşitli endişe verici çevresel koşullar altındaki suyun kalitesi hakkında tahminler yapılır (Manivanan 2008).

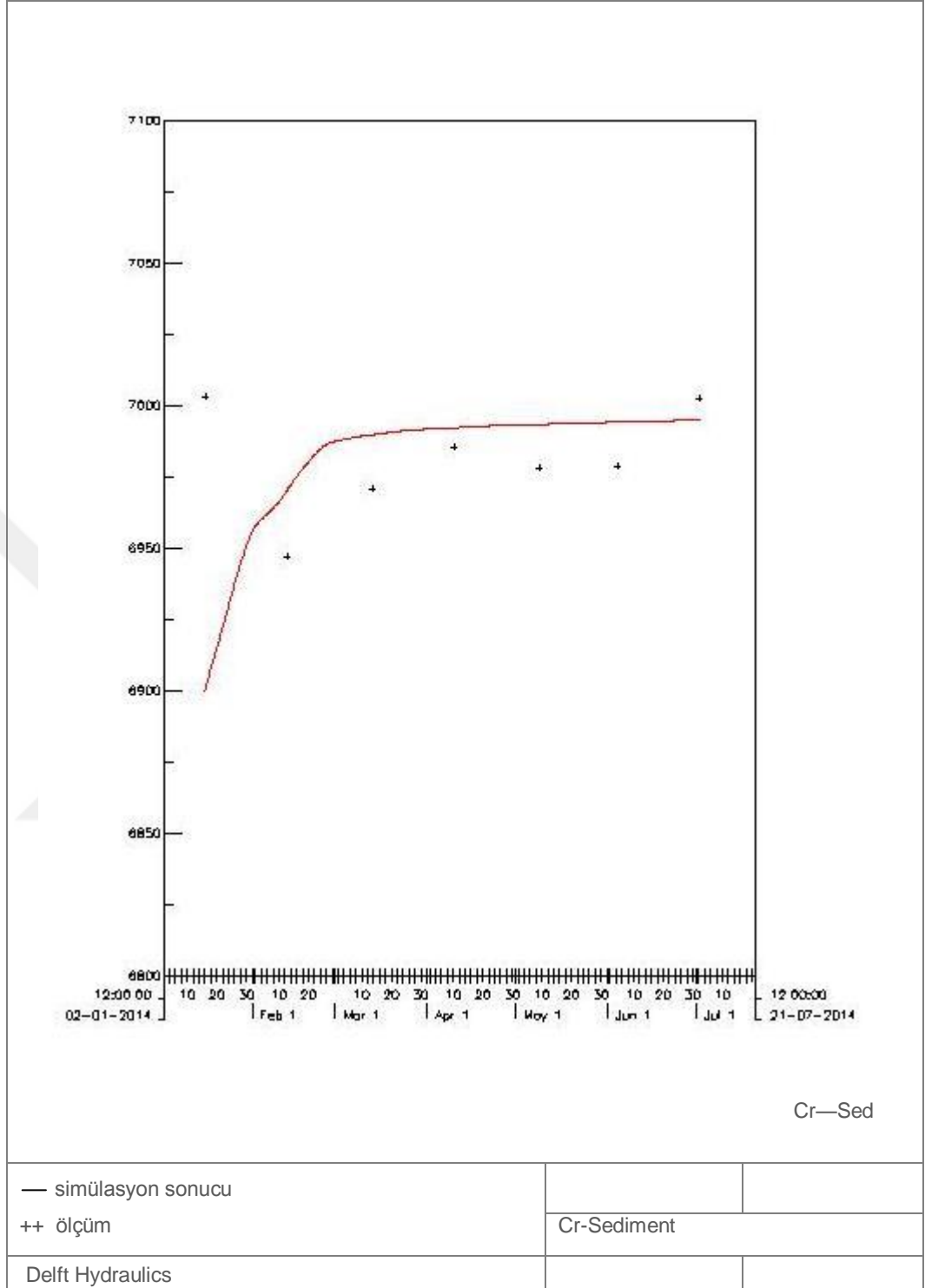
Su kalite model kalibrasyonu tamamlandıktan sonra, farklı bir döneme (Ocak 2014–Temmuz 2014) ait ölçüm verileri kullanılarak yapılan su kalite modeli doğrulamasına ait simülasyon sonuçları ve ölçüm sonuçları Şekil 4.34-4.39’da sunulmuştur. Su kalite modeli performansının doğrulama periyodunda, istatistiksel olarak değerlendirilmesi amacı ile hesaplanan istatistik değerleri Tablo 4.35’de sunulmuştur.



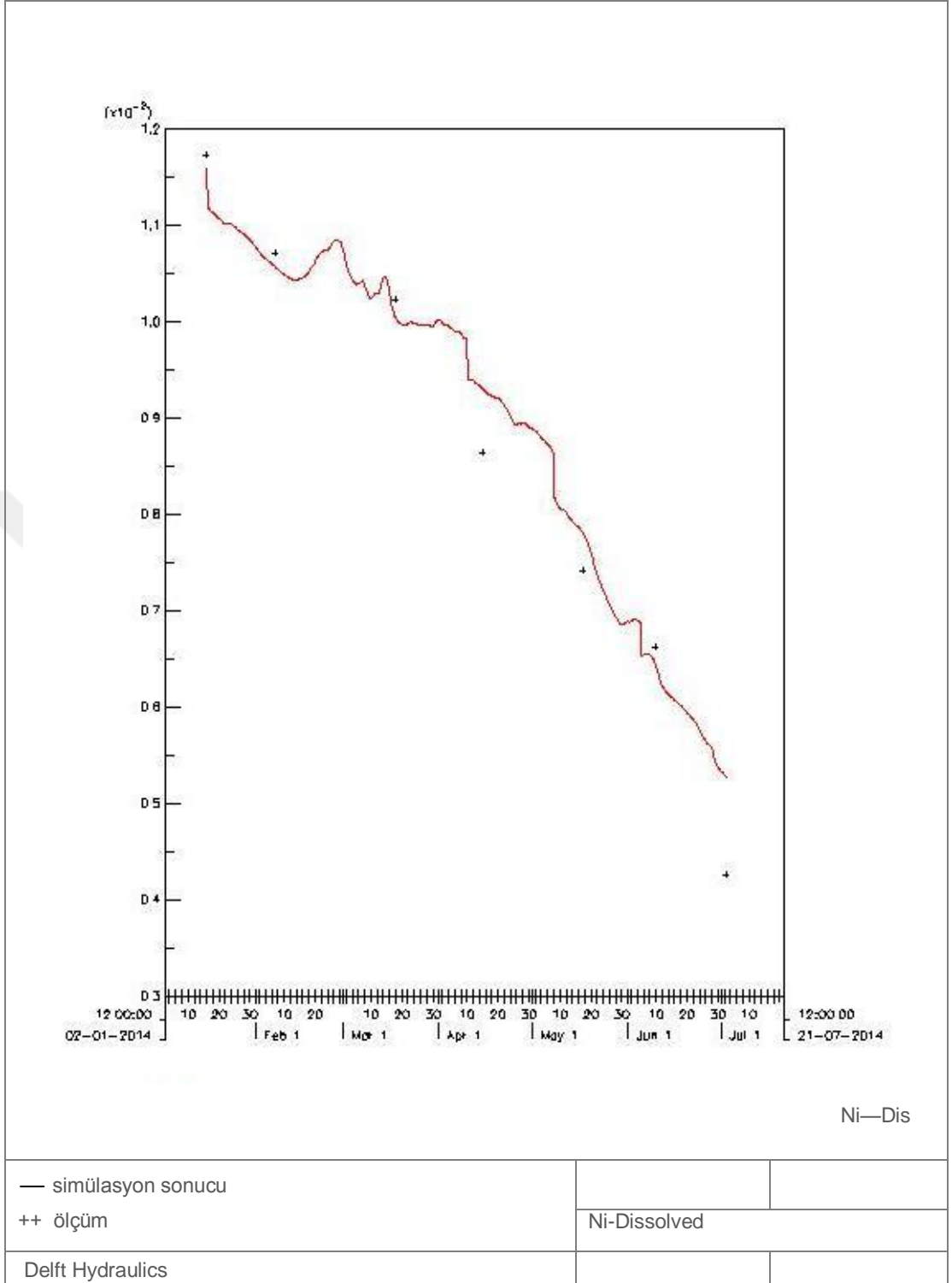
Şekil 4.34. Su Kalite Model Doğrulaması ve Ölçüm Sonuçları (Krom-Çözünmüş)



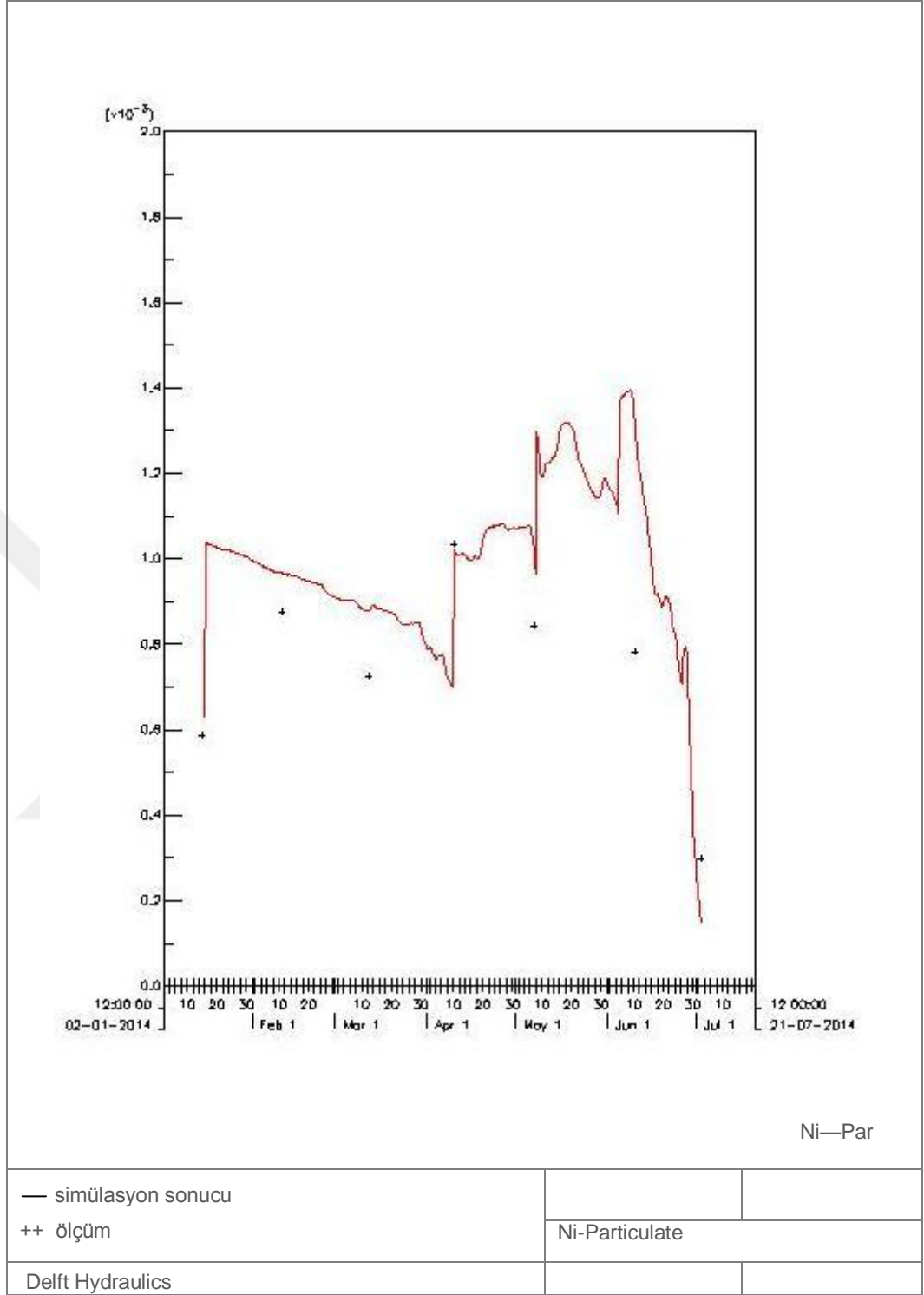
Şekil 4.35. Su Kalite Model Doğrulaması ve Ölçüm Sonuçları (Krom-Partikül)



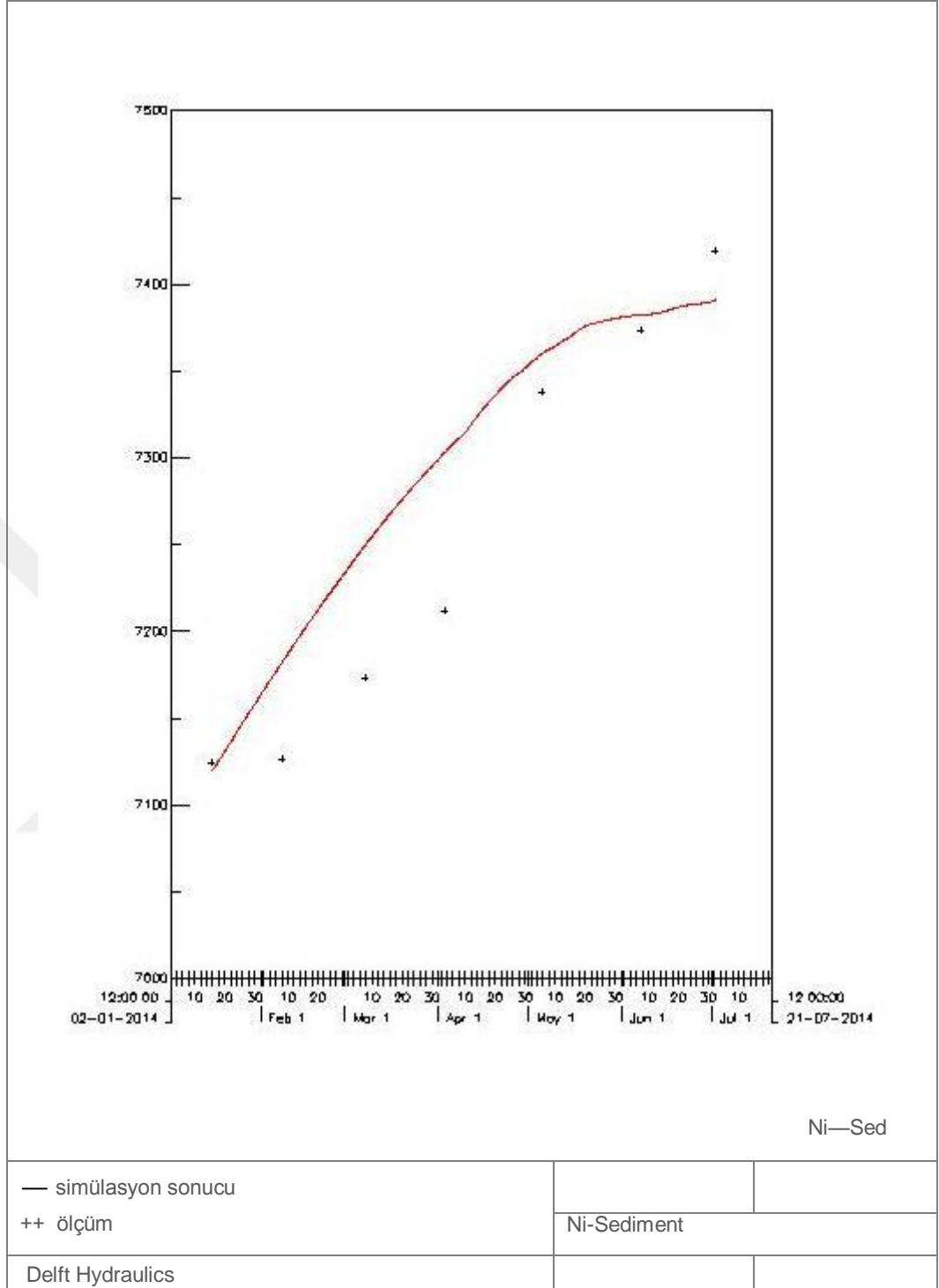
Şekil 4.36. Su Kalite Model Doğrulaması ve Ölçüm Sonuçları (Krom-Sediment)



Şekil 4.37. Su Kalite Model Doğrulaması ve Ölçüm Sonuçları (Nikel-Çözünmüş)



Şekil 4.38. Su Kalite Model Doğrulaması ve Ölçüm Sonuçları (Nikel-Partikül)



Şekil 4.39. Su Kalite Model Doğrulaması ve Ölçüm Sonuçları (Nikel-Sediment)

Grafikler incelendiğinde çözülmüş ve sedimentteki krom ve nikel değerleri için kabul edilebilirlik daha iyi iken, aynı durum çözülmüş formdaki Cr için biraz daha zayıf bulunmuştur. Yağışların bol olduğu ilkbahar ve kış aylarında seyrelmelerden dolayı düşük konsantrasyonlarda olması gereken çözülmüş metallerin özellikle Ocak, Şubat ve Mart aylarında modellenen değerden yüksek oldukları belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak bu aylarda artan yağışlarla birlikte gölün mansabından olan geri beslemeler olduğu düşünülmektedir. Geri beslemenin olduğu dönemlerde modelleme uygulamasında zorluklarla karşılaşmıştır. Ayrıca yağışlarla birlikte atmosferik krom ve nikelin ıslak çökme ile göle ulaştığı ve göldeki çözülmüş metal miktarını arttırdığı da tahmin edilmektedir.

Kararlı rejim kabul edilmiş olsa bile, çevresel parametreler, sıcaklık, akım deşarjı, günün saati ve genel hava koşullarının rastgele değişimlerine göre farklılık gösterebilirler (Manivanan, 2008). Çevrenin doğal dinamik yapısı nedeniyle, modellenen ve gözlenen sonuçlar arasındaki uyumsuzluklar mutlaka oluşmaktadır. Partiküler krom ve nikel grafiklerine göre bazı aylarda gözlem değeri modellenen değerden yüksek, bazı aylarda ise oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni olarak yüzeysel akışlarla metallerin, AKM' nin göle taşınması ve özellikle de ilkbahar aylarında fitoplanktonların artışı ile katı maddelere adsorblanmasının artması olduğu tahmin edilmektedir. Düşük konsantrasyonların ise yağış miktarındaki artış ile seyrelmelere bağlı olduğu düşünülmektedir.

Sediment tabakasındaki krom ve nikel metalleri için hazırlanan grafiklere göre genel olarak uygun bir trend sağlanmış olmakla beraber, gözlenen değerlerin tahminlenen değerlerden nispeten yüksek olduğu görülmektedir. Model tahmini sedimentte sürekli bir metal birikimi olduğu yönündedir, nitekim gözlenen değerlerde bunu göstermektedir. Sedimentteki metal konsantrasyonlarını, toprağın tane boyutu ve organik madde miktarı etkilemektedir. Ayrıca, sudaki askıda katı madde miktarı, sıcaklık, pH, iletkenlik ve rüzgar hızları etkilemektedir (Cuong ve ark. 2008, Mil-Homens ve ark. 2006). Katip (2010), Uluabat Gölü'nde gerçekleştirdiği çalışmasında sedimentin artan organik madde içeriği ve iletkenliği ile beraber sedimentten suya geçişlerin olabileceğini belirtmiştir.

Tablo 4.35. Su Kalite Modeli Doğrulama Dönemi İstatistiksel Değerlendirmesi

Doğrulama Dönemi		Çözünmüş	Partiküler	Sediment
Cr	RRMSE	0,0829	0,0342	0,7156
	RMSE	0,00148	0,000143	49,9833
	R ²	0,8786	0,8221	0,6717
Ni	RRMSE	6,5254	0,02557	0,6740
	RMSE	0,0005593	0,0001876	48,8700
	R ²	0,9750	0,7828	0,6385

Gerçekleştirilen modelleme çalışmasında elde edilen sonuçlar kalitatif (görsel) ve kantitatif (istatistiksel) olarak karşılaştırıldığında, model tahminleri ve ölçüm değerleri arasında, kalibrasyon döneminde olduğu gibi, benzerlik elde edilmiştir.

Tablo 4.35’de görüldüğü üzere sırasıyla çözünmüş Cr, partiküler Cr ve sedimentteki Cr formları için R² değerleri 0,8786; 0,8221; 0,6717 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde sırasıyla çözünmüş Ni, partiküler Ni ve sedimentteki Ni formları için R² değerleri 0,9750; 0,7828; 0,6385 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, model geçerliliği için literatürde verilen R² değerleri (Parajuli ve diğ. 2008) ile kıyaslandığında modelin çözünmüş ve partiküler Cr formları için çok iyi, sediment formu için ise iyi, çözünmüş Ni formu için mükemmel, partiküler Ni formu için çok iyi, sediment Ni formu için ise iyi olarak sonuçlandığı görülmüştür. Modelleme çalışmasının doğrulama dönemine ait RRMSE değerleri incelendiğinde, kalibrasyon döneminde olduğu gibi, yine düşük hata değerlerinin hesaplandığı Tablo 4.35.’de görülmektedir. Kalibrasyon ve doğrulama dönemine ait, RRMSE değerleri karşılaştırıldığında, doğrulama döneminde nispeten düşük oranlarda artış/azalış gözlenmiştir.

4.8.4. Geliştirilen Senaryoların Değerlendirilmesi

Metaller, çeşitli antropojenik ve doğal kaynaklardan sulara karışmaktadır. Bu kaynaklar;

- Yanlış üretim, kullanım ve metal içerikli ürünlerin imhası sırasında,
- Metal içeren pestisit ve gübrelerin yaygın kullanımı
- Maden drenajları ve döküm emisyonları

- Bitkilerin sulanması sonucunda tuzlu suyun yeraltına sızması ya da yüzeysel akıyla yüzeysel sulara karışması
- Düşen su tablası seviyesi sonucunda doymamış olan bölgedeki metal içeren sülfür minerallerinin oksidasyonu
- Jeotermal sular ve enerji santrallerinin deşarjları
- Artan taşıt trafiği ve oluşan emisyonların yüzeysel sulara geçişi
- Doğal ve yapay organik maddelerin biyolojik bozunması şeklinde sıralanabilir (Mutlu 2010, Henke 2009).

Uluabat Gölü Havzasında, Orhaneli ve Emet Çayları üzerinde maden işletmeleri, kömür işletmesi, Tunçbilek Termik Santrali ve Emet Kolemanit işletmeleri bulunmaktadır. Ülkemizde rezerv ve üretim kapasitesi en yüksek kolemanit işletmesi Kütahya ili Emet-Hisarcık yöresinde bulunmaktadır (Aydın ve diğ. 2003). Madencilik yoğun olarak yapıldığı Uluabat Gölü ve Havzasında açığa çıkan metaller sulara karışmaktadır (Mutlu 2010).

Uluabat Gölü suyu Mustafakemalpaşa Ovası'nın sulanması için kullanılmaktadır. Tarımın çok önemli bir yer tuttuğu Mustafakemalpaşa'da gübreleme ve tarımsal ilaçlamalar nedeni ile sulamadan dönen yüzey suları da gölde besin maddesi, pestisitler ve ağır metaller açısından kirliliğe neden olmaktadır (Dalkıran 2006, Katip 2010). Ayrıca, sanayi ağırlıklı bir şehir olan Bursa'da son yıllarda yapılan çalışmalar, atmosferin özellikle ağır metal ve iz elementler açısından önemli bir kirlilik kaynağı olduğunu da göstermiştir (Taşdemir ve diğ. 2006).

Su kalite modelleri, havzadan gelen kirlilik yüklerinin, alıcı su ortamındaki hidrodinamik yapının, meteorolojik koşulların değişimi gibi faktörlerin sistemi ne şekilde etkileyeceği hakkında bilgiler verir. Bu sayede, alıcı su ortamında meydana gelebilecek olan kirlenmelere karşı tedbirler alabilmek için akılcı yönetim senaryoları geliştirme imkanı sağlar.

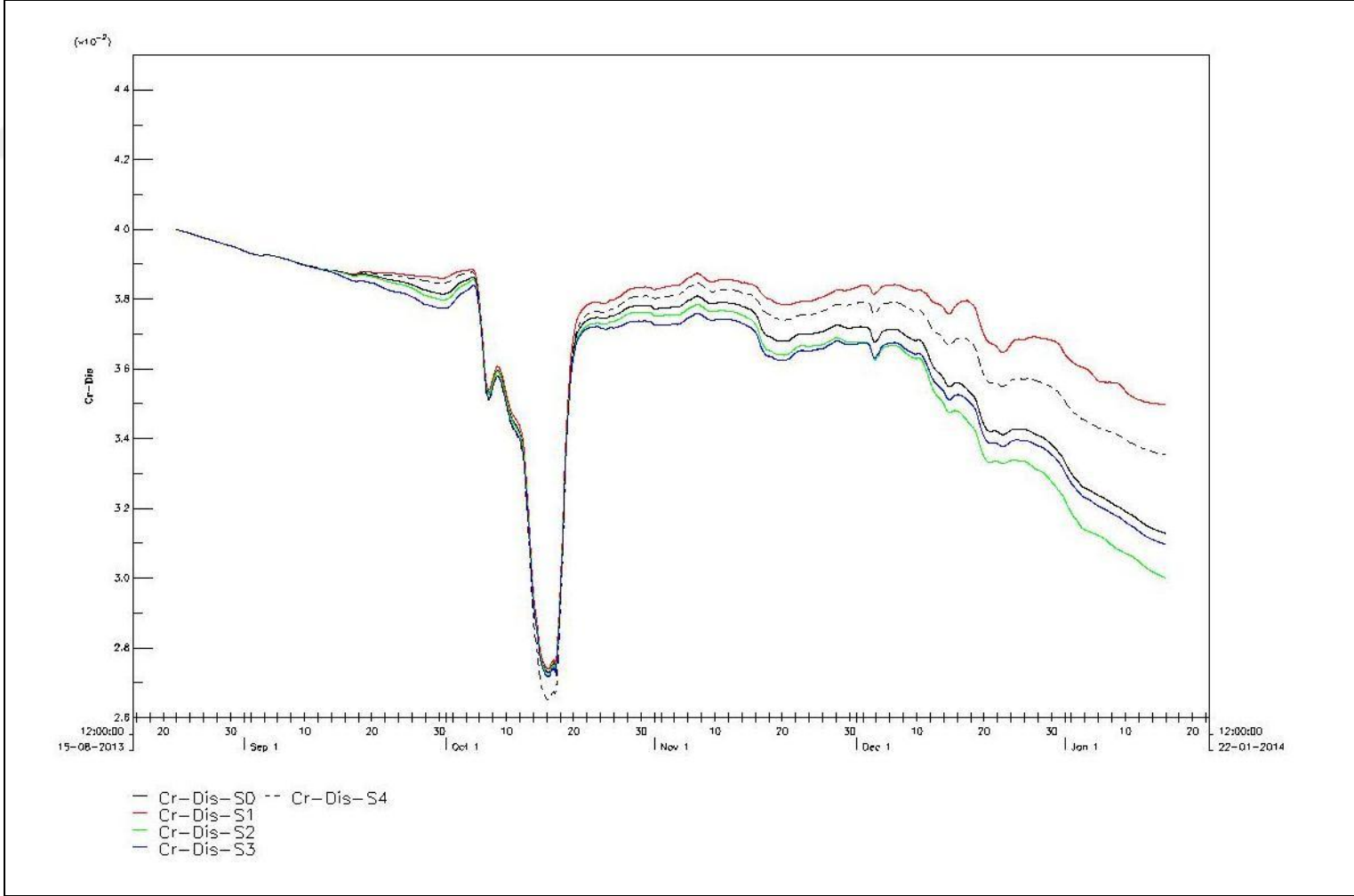
Su kalitesi modellenmesi çalışmalarının mevcut durum simülasyonlarında, metal kirliliğinin MKP Çayı ile bağlantılı olduğu görülmüştür. Havzadaki gerek madencilik gerekse tarım faaliyetleri kaynaklı metal yüklerinin göle girişi temel olarak MKP Çayı aracılığıyla gerçekleşmektedir. Göldeki kirliliğin azaltılmasına yönelik yönetimsel

yaklaşımın belirleyebilmek adına bu kaynaklardan gelen metal yüklerinin azaltılması yönünde senaryolar oluşturulmuştur. Bu bağlamda, havzadaki mevcut kirlilik yüklerinden yola çıkılarak ve yukarıda belirtilen çeşitli nedenlere dayatılarak Uluabat Gölü'nde Cr ve Ni konsantrasyonlarının değişimlerini gözlemlemek amacı ile 4 farklı senaryo geliştirilmiştir. Bunlar:

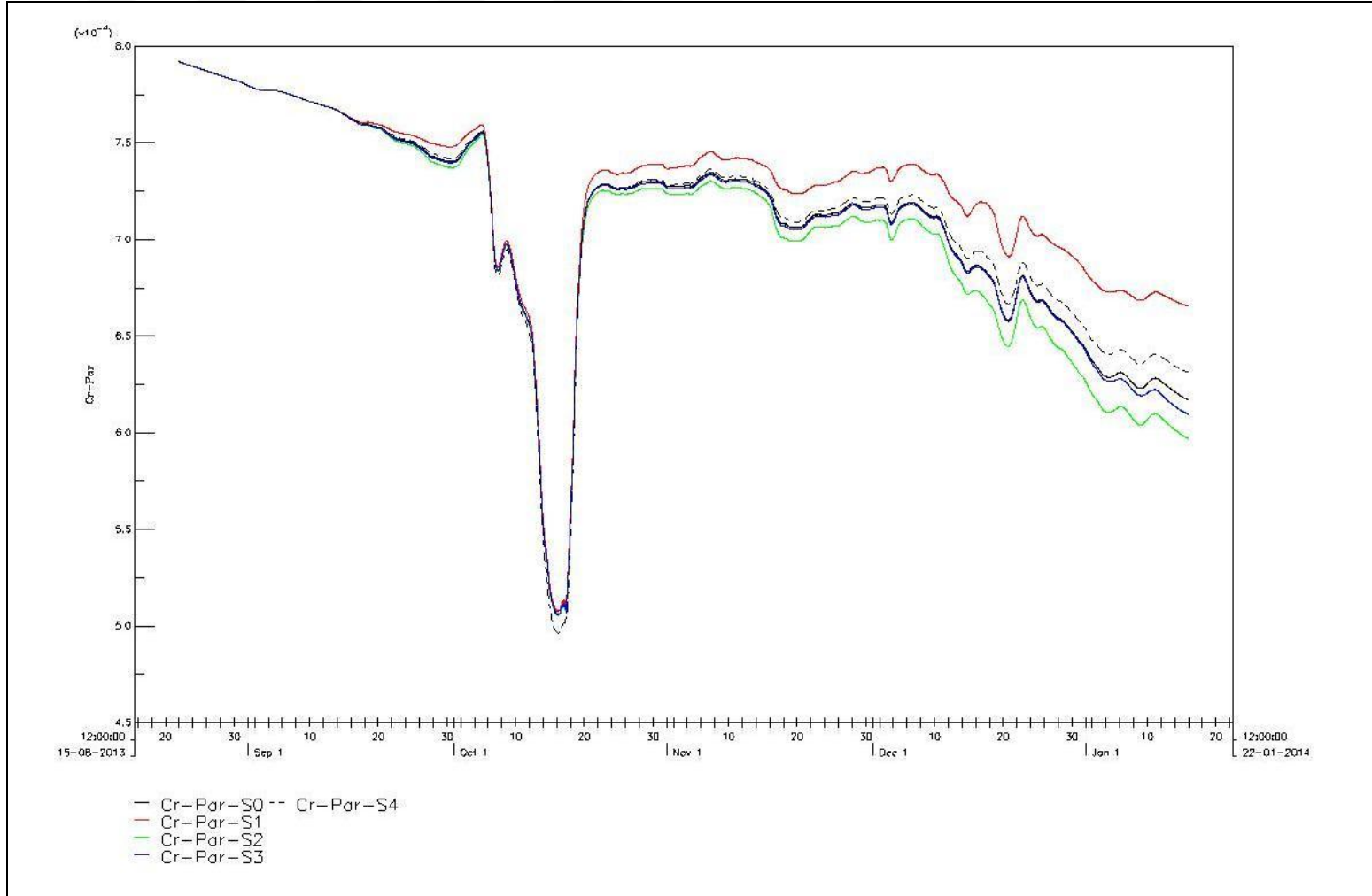
- Senaryo 1 (S1) : MKP Çayı'nın taşıdığı metal yüklerinin %50 oranında artırılması,
- Senaryo 2 (S2) : MKP Çayı'nın taşıdığı metal yüklerinin %50 oranında azaltılması,
- Senaryo 3 (S3) : Pompa istasyonlarından göle gelen kirlenici yüklerinin %50 azaltılması,
- Senaryo 4 (S4) : Çınarcık Kuvvet Tünelinden göle ulaşan suyun ihmal edilmesi

şeklindedir.

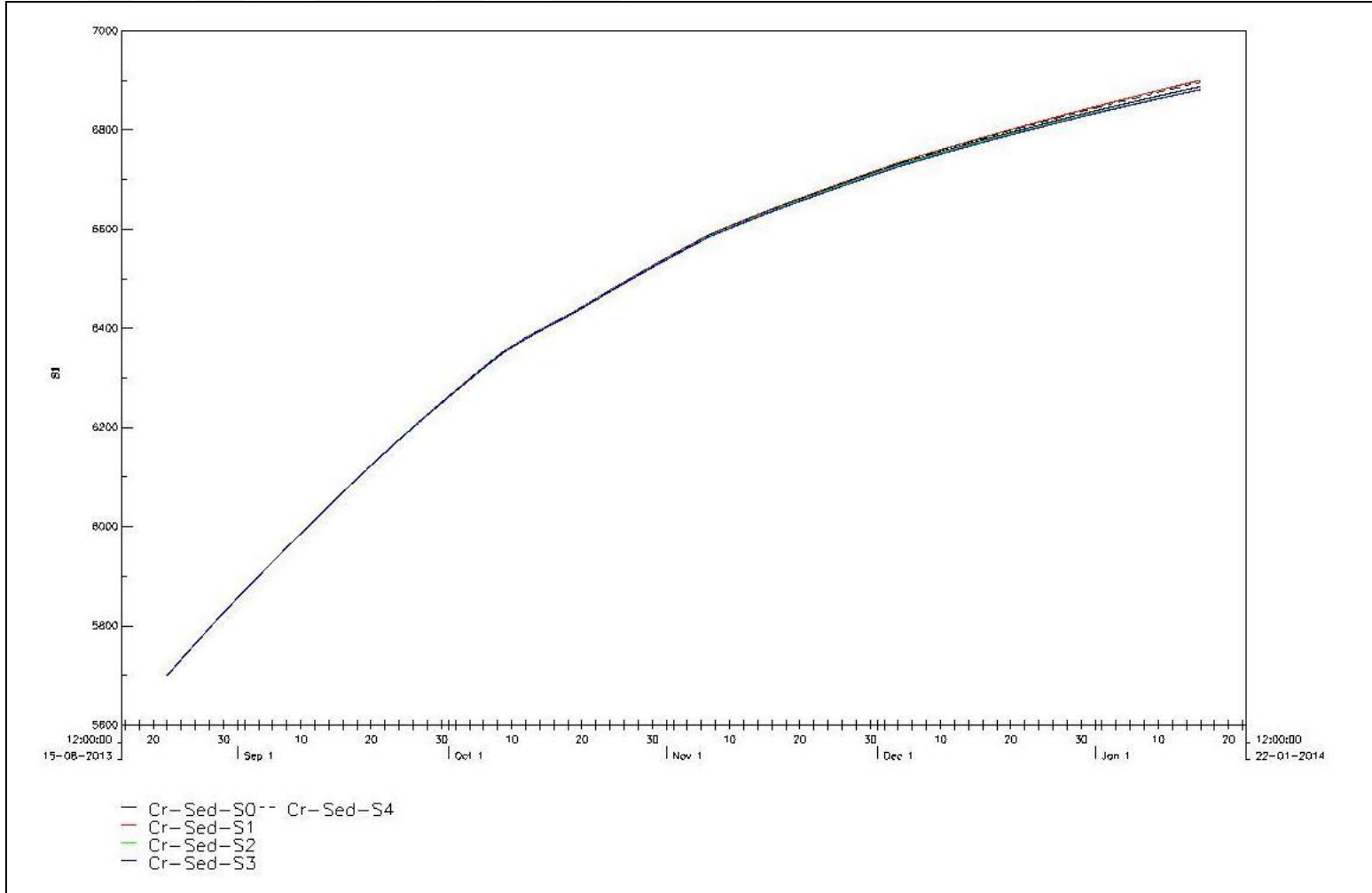
Geliştirilmiş olan bu senaryoların sonuçları ile mevcut durumun karşılaştırılması Cr ve Ni metalleri için gerçekleştirilmiş olup sıra ile aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.40-4.45). Ayrıca elde edilen bu bulguların görselleştirilmesi amacı ile simülasyonun sonlandırıldığı zamana ait parametre dağılım haritaları oluşturulmuştur, bu sayede senaryolar arasındaki farkı anlamak kolaylaşacaktır (Şekil 4.46-4.51).



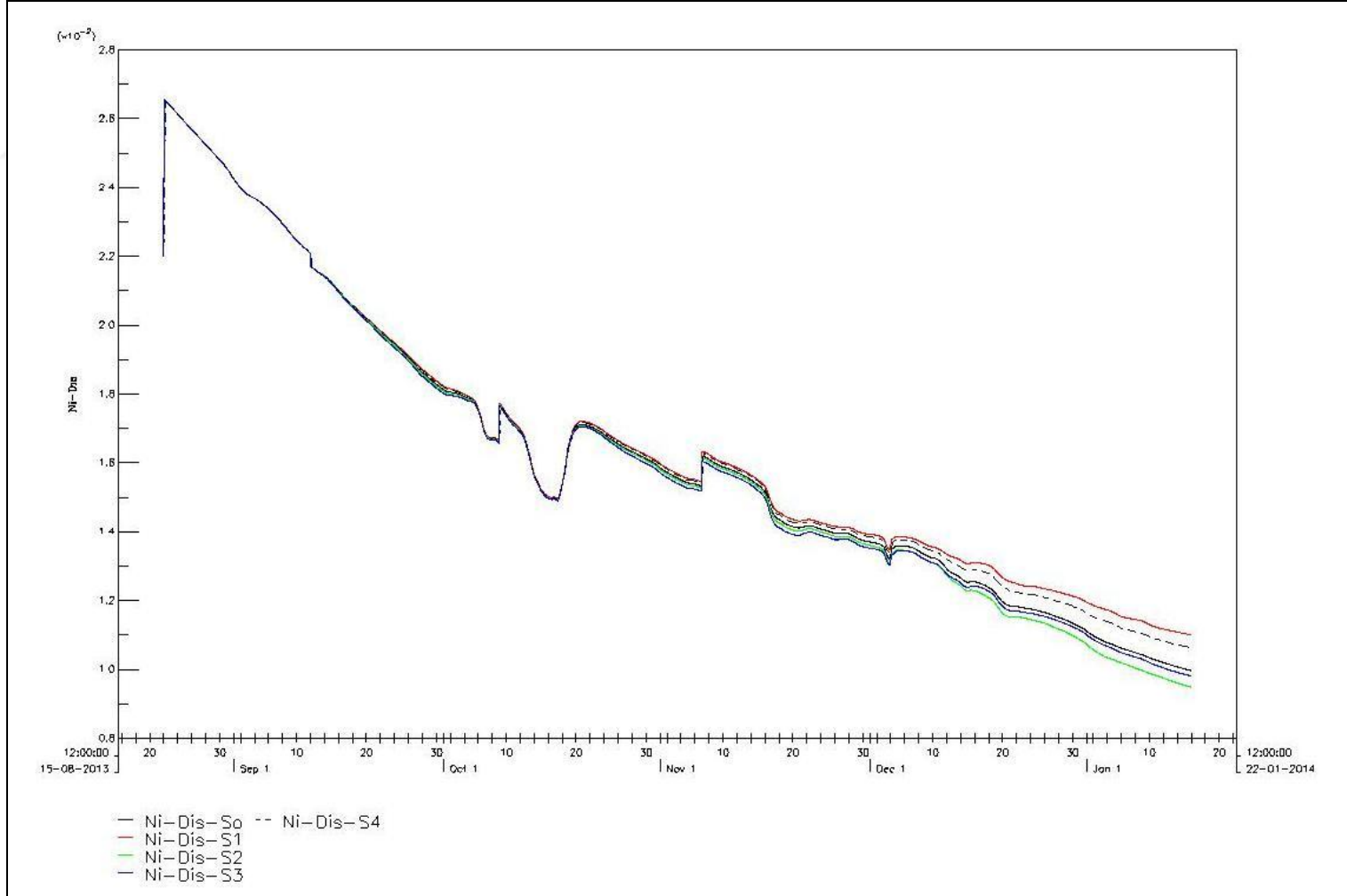
Şekil 4.40. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Çözünmüş-Cr model sonuçlarının karşılaştırılması



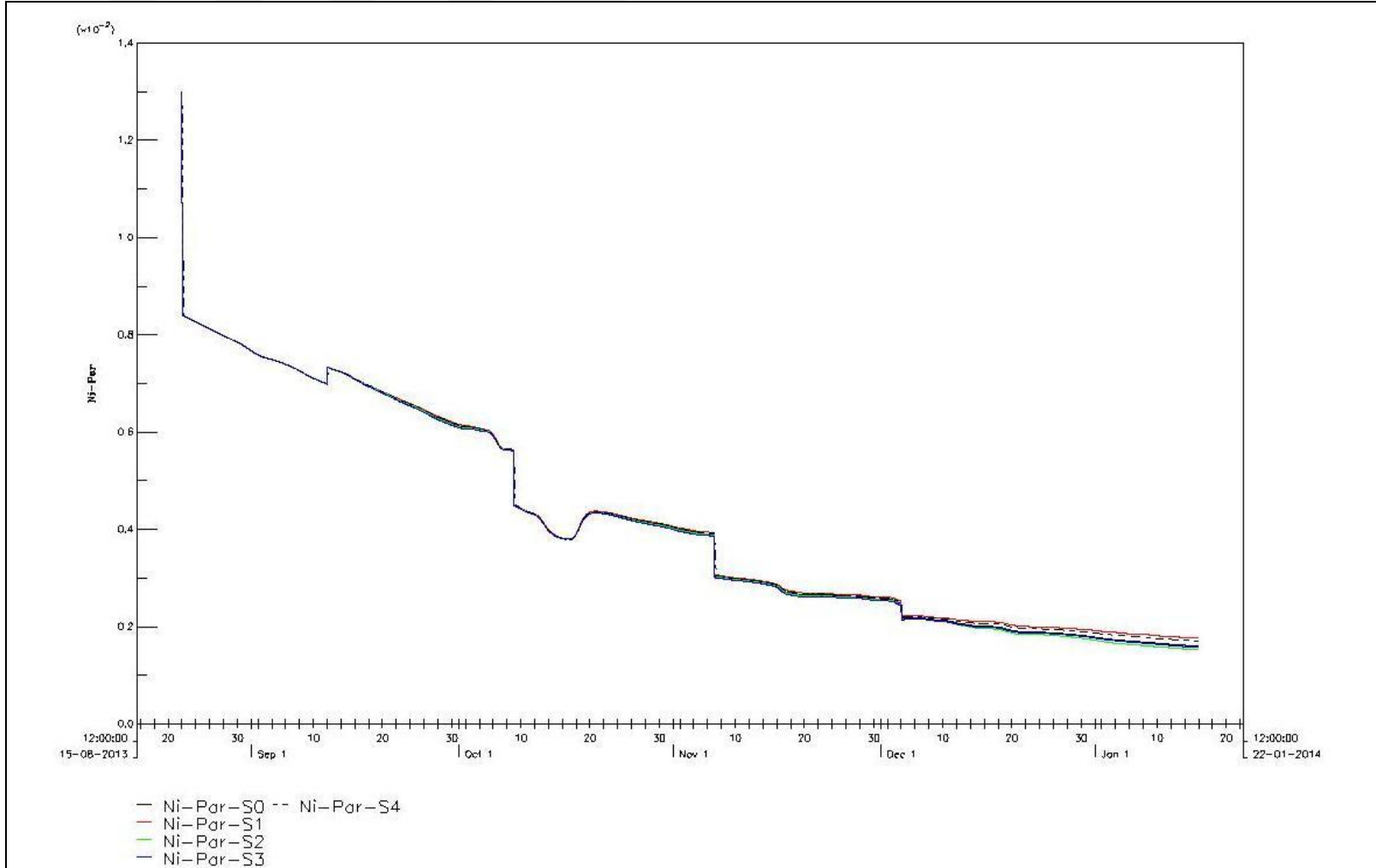
Şekil 4.41. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Partiküler-Cr model sonuçlarının karşılaştırılması



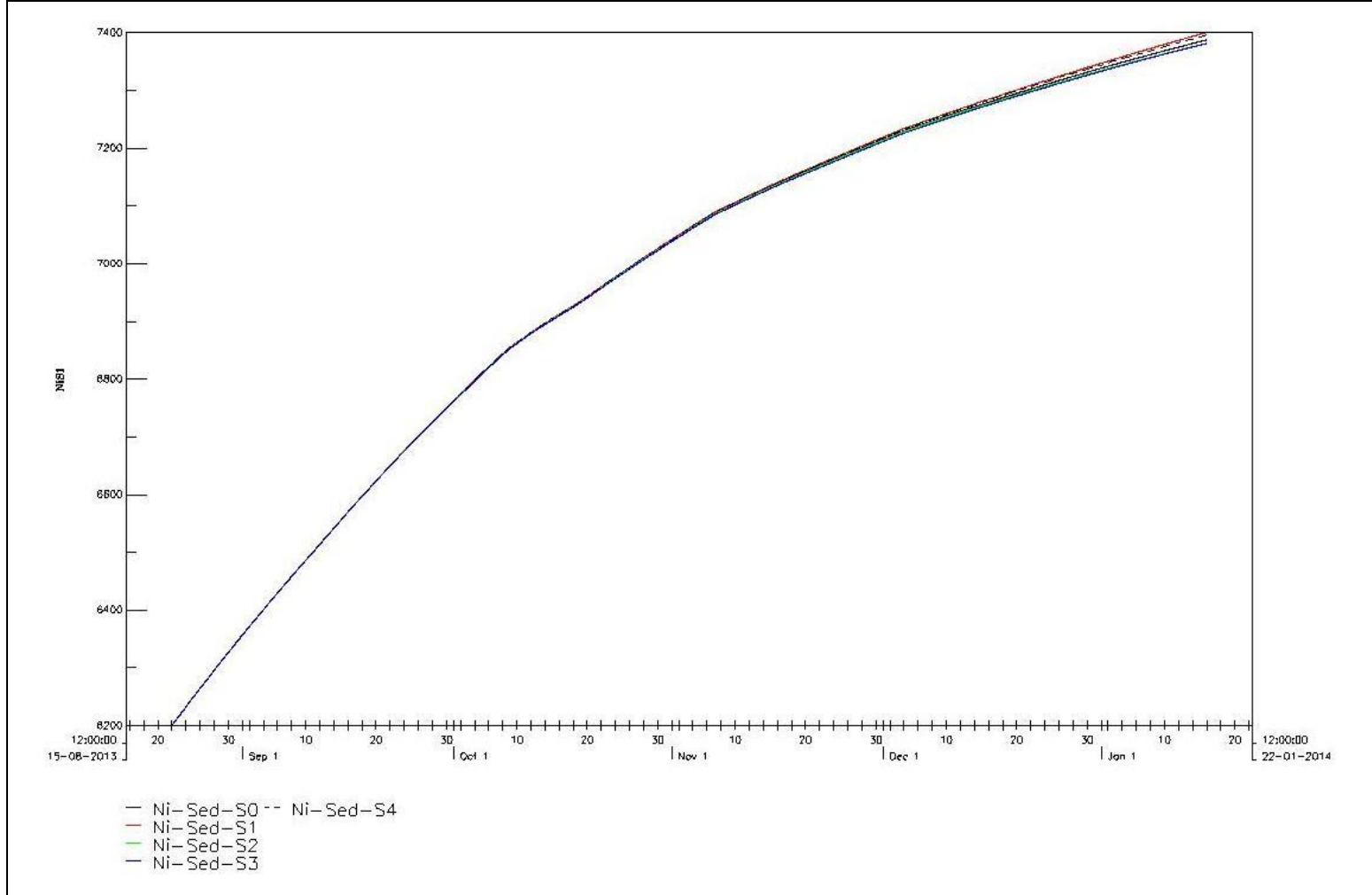
Şekil 4.42. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Sediment-Cr model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.43. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Çözünmüş-Ni model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.44. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Partiküler-Ni model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.45. Mevcut durum ve geliştirilen senaryoların Sediment-Ni model sonuçlarının karşılaştırılması

Geliştirilen senaryolar ve mevcut durum simülasyonlarının sonuçları incelendiğinde, mevcut durum simülasyon sonuçları ile geliştirilen tüm senaryo sonuçlarının, genellikle benzer eğilimler gösterdiği gözlenmiştir.

MKP Çayı'ndan gelen kirliliğin % 50 arttırılması yönünde oluşturulan senaryo (S1) sonuçları incelendiğinde krom ve nikelin her bir formunda artma olduğu görülmektedir. Artma trendi her bir form için farklılık gösterse de izleme süreci ne kadar uzun olursa, artma miktarı o kadar fazla olması muhtemeldir. Aynı durum, MKP Çayı'ndan gelen kirliliğin % 50 azaltılması yönünde oluşturulan senaryo (S2) içinde geçerli olup, izleme süreci ne kadar uzun olursa, kirliliğin azalma miktarının o kadar fazla olması beklenir.

Tarımsal sulamadan dönen drenaj sularının toplandığı ve pompa istasyonları aracılığı ile göle ulaşan suların, kirlilik yükünün % 50 azaltılması yönünde oluşturulan senaryo (S3) sonuçları incelendiğinde, krom ve nikelin her bir formunda azalma olduğu görülmektedir. Bu azalma miktarı çok yüksek olmasa da, gölde kirliliğin önlenmesi adına mutlaka kontrol altına alınması gereken pompa istasyonları önemli birer kirlilik kaynağıdır.

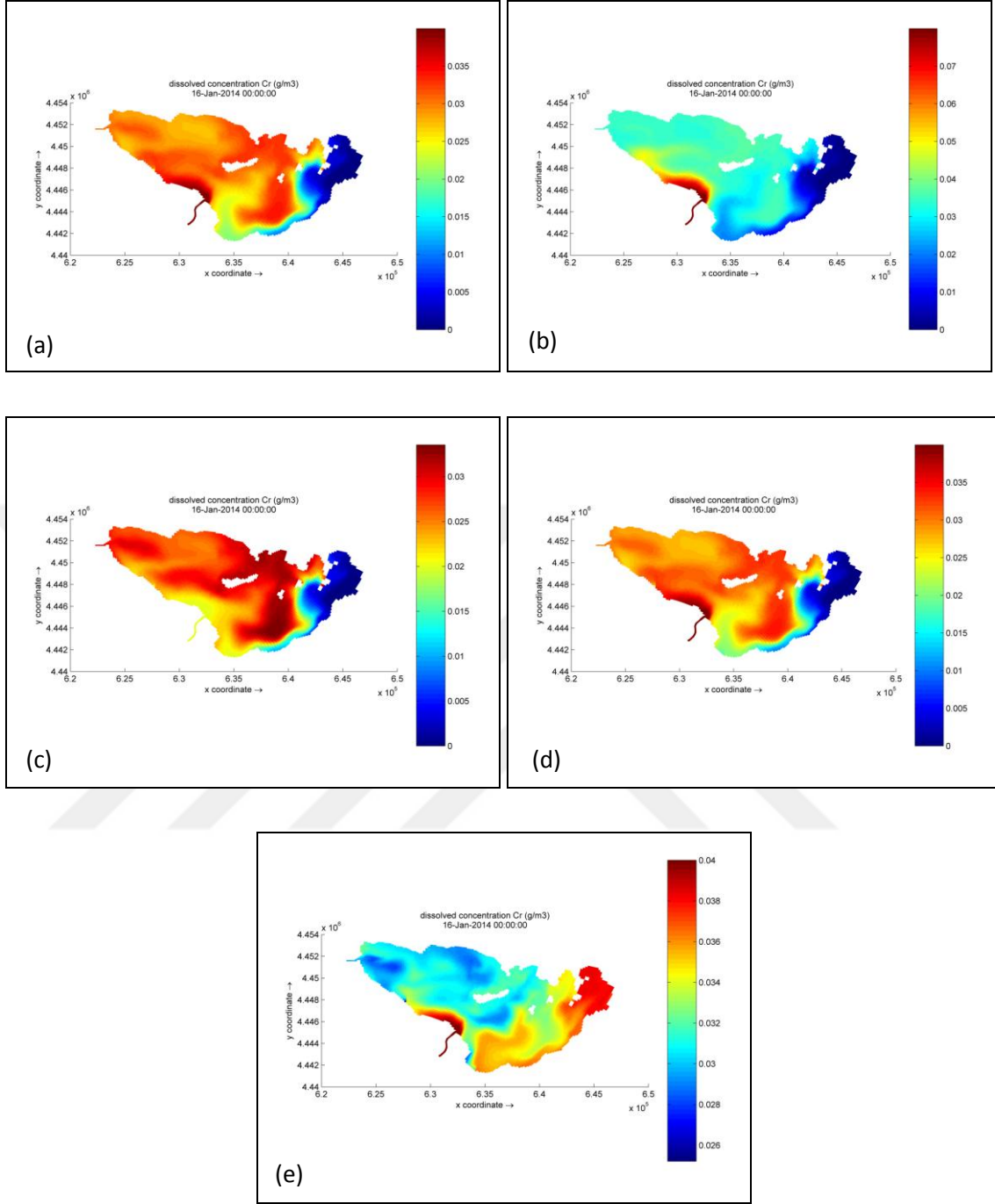
Beklenildiği gibi, simülasyon sonuçlarına göre, metal konsantrasyonları, noktasal kaynaklardan gelen kirlilik yüklerinin artması ile artma, azalması ile de azalma trendi göstermiştir. Yine göle önemli etkisi olan Çınarcık tüneline gelen yükün ihmal edilmesi durumunda, gölün özellikle doğu ucunda (Akçalar Bölgesi) metal konsantrasyonlarının arttığı görülmektedir.

Çınarcık Barajı Uluabat kuvvet tüneline çıkan suyun HES'te enerjisi alındıktan sonra Fadıllı Köyü (Akçalar Bölgesi yakını) yakınlarından göle salınması ile göldeki hidrodinamik yapı önemli ölçüde değişmektedir. Buradan göle ulaşan debi sayesinde, gölde su kalitesini iyileştireceği doğrultusunda vurgulamalar yapılmıştır (Sarmaşık 2012). Bu senaryolama çalışmasında ise özellikle gölün Akçalar kesiminde durağan hidrodinamik koşullar nedeniyle oluşan metal yoğunluğunun nasıl değişeceğini belirlemek amaçlanmıştır. Kuvvet tüneline, metal yükü barındırmadığı kabul edilerek salınan suyun gölün özellikle Akçalar bölgesindeki durağan alanlarda çözünmüş ve partiküler metal miktarlarını seyrelme yoluyla azaltması beklenirken; suyun oluşturduğu

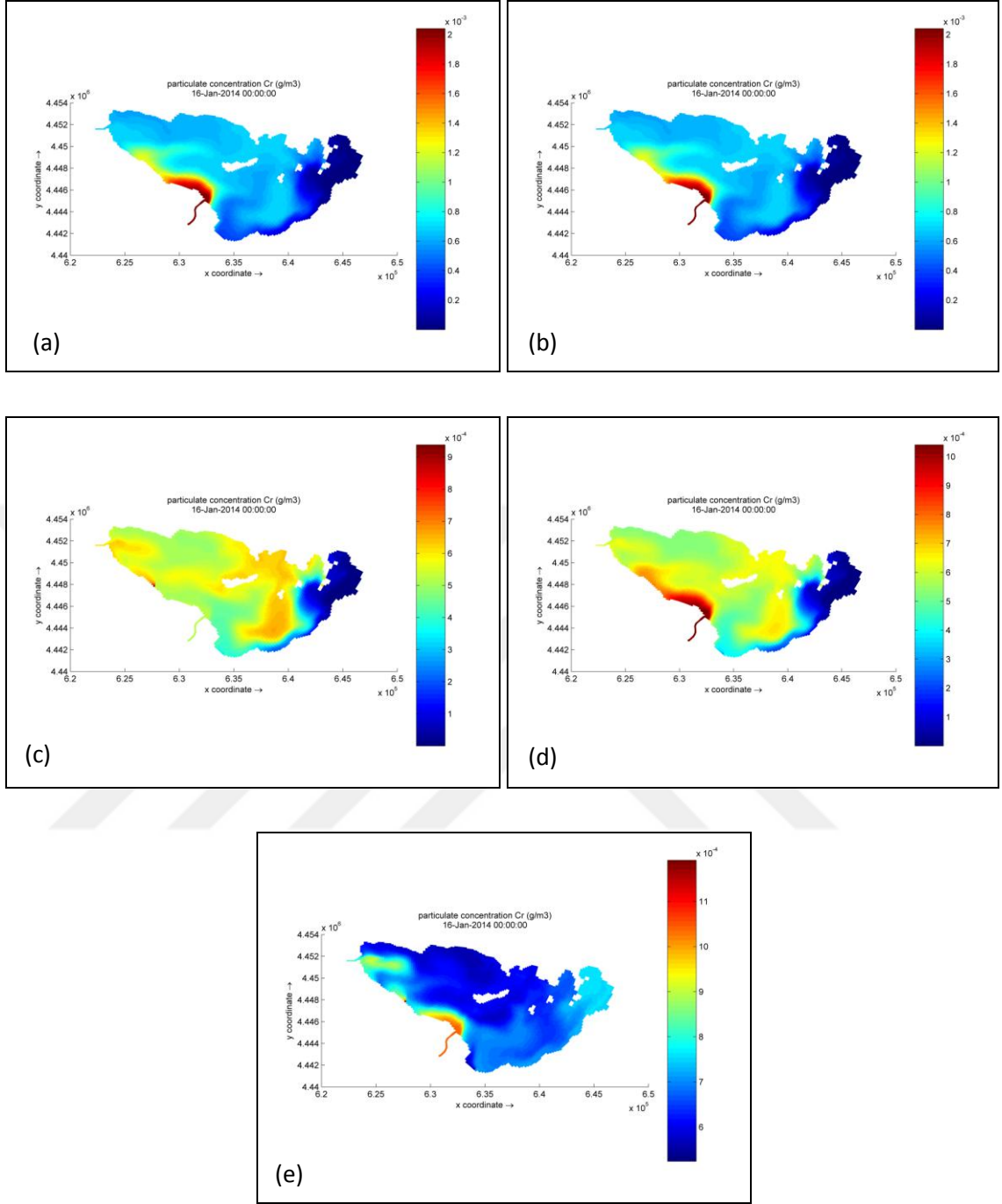
hidrodinamik koşullar sonucu, sedimentteki metal değerlerinde önemli düzeyde farklılıklar beklenmemektedir. Ve sonuçlar göstermektedir ki, Çınarcık tüneline verilen debinin ihmal edilmesi halinde özellikle gölün doğu ucunda yüksek metal kirliliği oluşacaktır. Aslında bu tüneline göle faydası gölde seyrelme sağlama ve akım koşullarını değiştirerek, kirliliğin daha hızlı bir şekilde Marmara Denizi'ne ulaşmasını sağlamaktır.

S1, S2, S3 ve S4 kirlilik senaryoları karşılaştırıldığında, genel trendin sıralaması büyükten küçüğe doğru $S1 > S4 > S3 > S2$ şeklindedir. Bu durumda, S1 olarak nitelendirdiğimiz ve temel kirlenici kaynak diyebileceğimiz MKP Çayı'nın göle kirlilik yükü taşıyan en önemli kaynak olduğunu söyleyebiliriz.

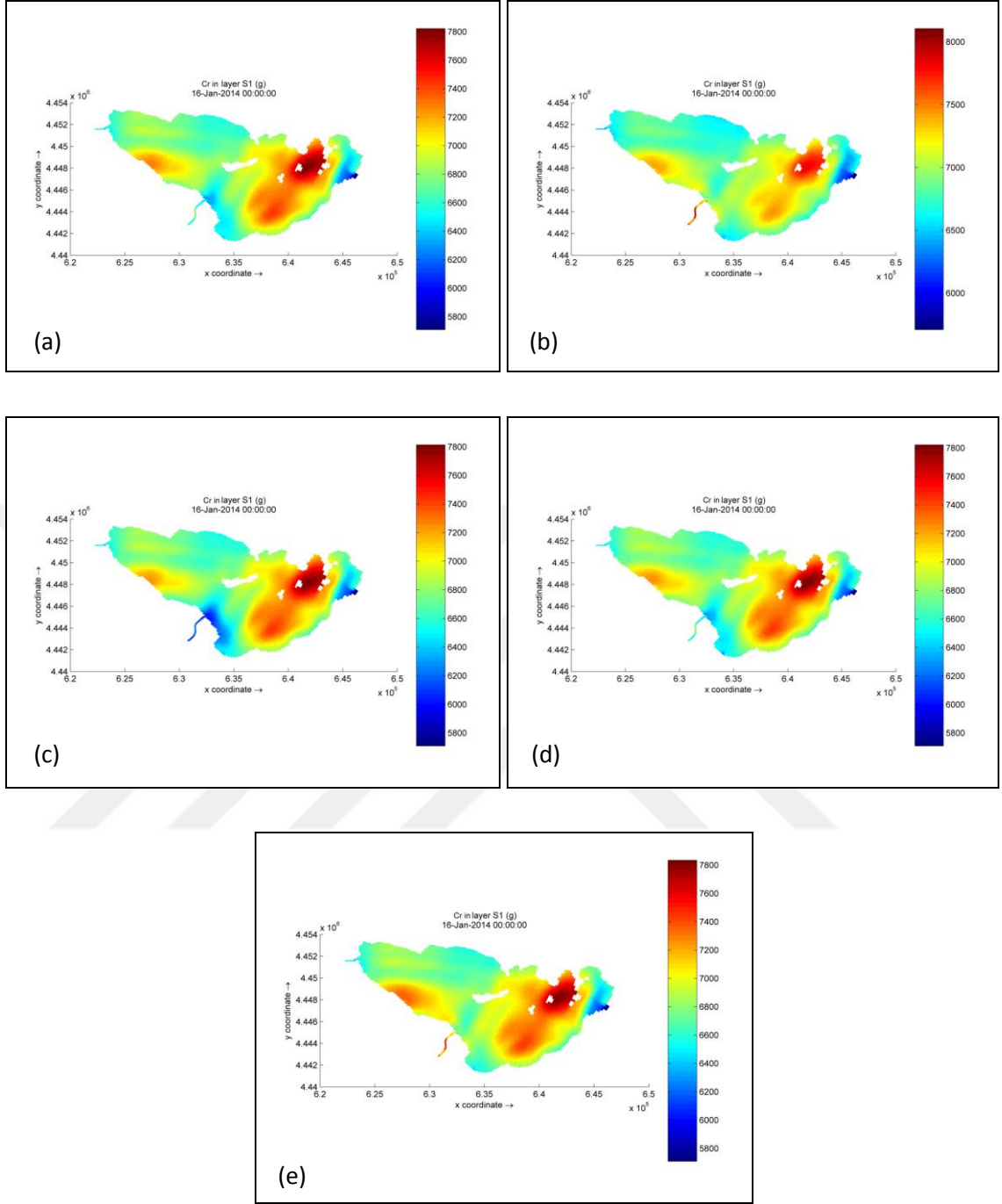
Çalışılan senaryoların görselleştirilmesi amacı ile simülasyonun sonlandırıldığı zamana ait parametre dağılım haritaları oluşturulmuş, Şekil 4.46-4.41'de sunulmuştur.



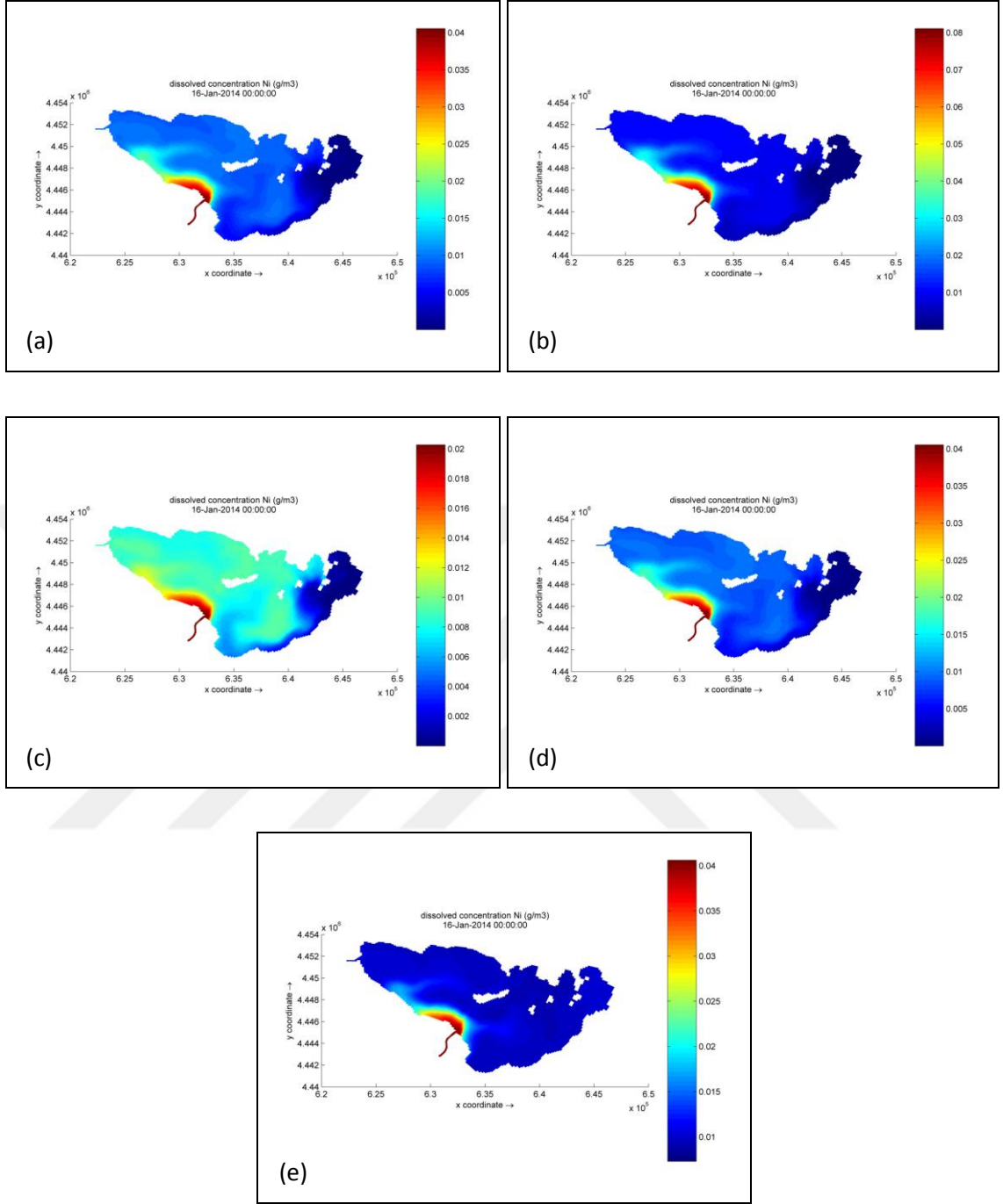
Şekil 4.46. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Çözülmüş Cr konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları



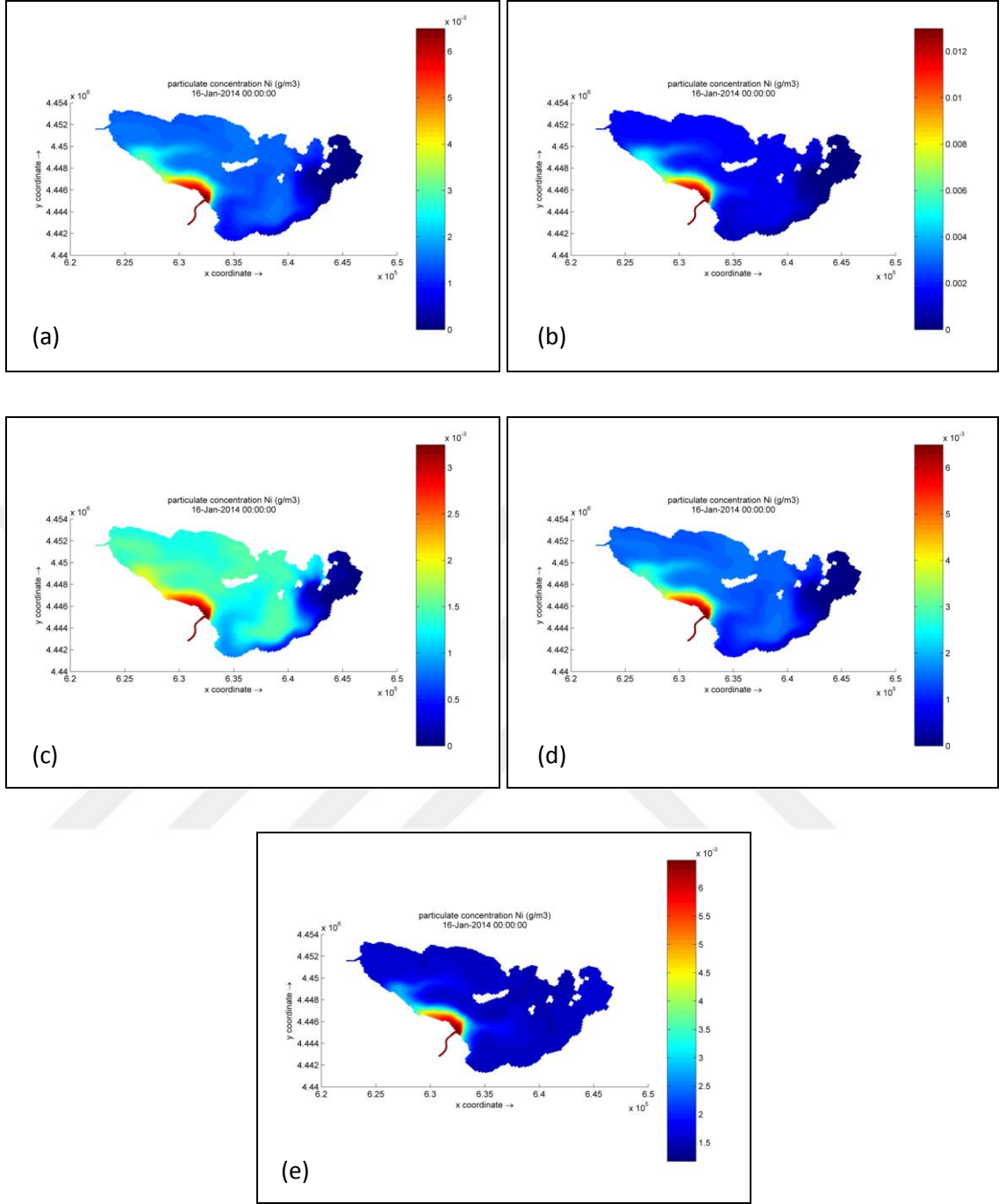
Şekil 4.47. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Partiküler Cr konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları



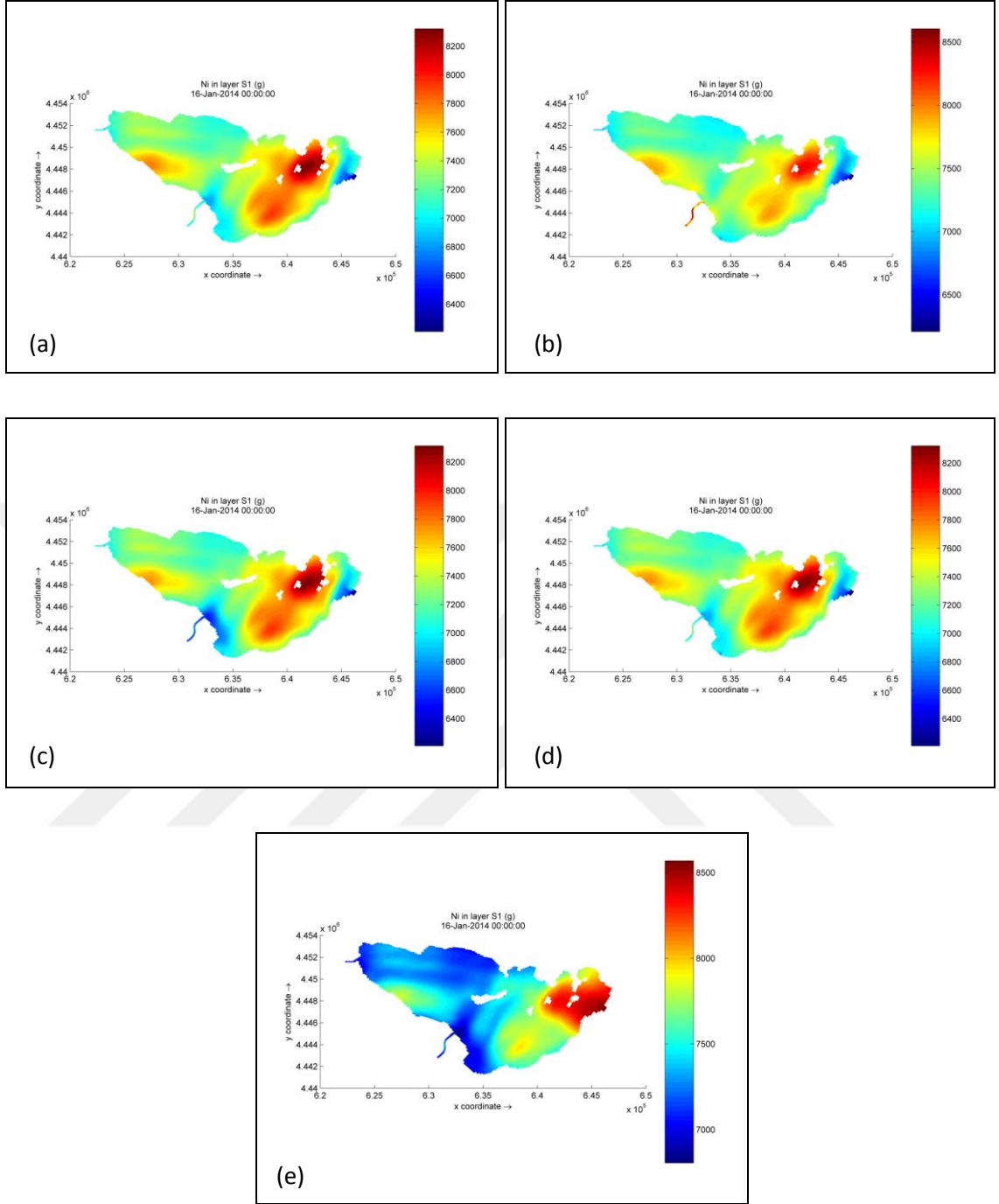
Şekil 4.48. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Sediment Cr konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları



Şekil 4.49. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Çözülmüş Ni konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları



Şekil 4.50. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Partiküler Ni konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları



Şekil 4.51. Mevcut durum(a) ve S1(b), S2(c), S3(d), S4(e) senaryoları için simüle edilmiş Sediment Ni konsantrasyonlarının 16 Ocak 2014 tarihine ait alansal değişim haritaları

5. SONUÇLAR

Hızlı nüfus artışına bağlı olarak artan su ihtiyacına karşın, uygun kaynak varlığının azlığı ve gün geçtikçe gelişen sanayi ve tarımsal faaliyetlere paralel olarak ortaya çıkan aşırı kullanım ve kirlilik oluşumu nedeniyle yaşanan sorunlar, özellikle havza bazında su kaynakları yönetiminin önemini bir kat daha artırmıştır. Su kalitesinin belirlenmesi insanların, diğer canlıların sağlıklarının ve ekolojik dengenin korunması açısından çok önemlidir. İnsan aktiviteleri sonucunda suda meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler su kaynaklarını kullanılamaz hale getirmektedir. Bu nedenlerle gerçekleştirilen bu çalışma ile Uluabat Gölü su ve sediment kalitesinin fizikokimyasal parametreler ve ağır metal konsantrasyonları açısından değerlendirilmesi, mevcut hidrodinamik yapının ve krom-nikel metallerinin mevsimsel ve alansal dağılımlarının ortaya konması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında öncelikle Uluabat Gölü kirlilik durumu hakkında bilgi sahibi olabilmek amacıyla gölde ölçüm yaptığımız parametrelere ait değerler sunulmuştur. Uluabat Gölü suyunun fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi sonucunda, parametrelerin mevsimsel olarak değişiklik gösterdiği görülmüştür. AKM, alkalinite, klorofil-a, sıcaklık, toplam azot ve toplam fosfor maksimum değerlerini yaz mevsiminde, minimum değerlerini ise kış mevsiminde almışlardır. Yaz ve kış arasındaki bu farklılık, yaz boyunca artan sıcaklık ve buharlaşma dolayısıyla konsantrasyonlarda artışa, kışın meydana gelen yağışlar ve havzadan gelen yüzeysel akışlar nedeni ile meydana gelen seyrelmelere bağlanmıştır. Çalışma süresince kış aylarında daha yüksek, yaz aylarında daha düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının belirlenmesi göl suyundaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu kontrol eden en önemli faktörün sıcaklık olduğunu göstermektedir. Yaz aylarında atık su deşarjlarına bağlı olarak artış gösteren organik madde konsantrasyonu ve bakteri sayılarının da göldeki çözünmüş oksijen seviyesinin azalmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

Sedimentteki kirlilik parametrelerinin istasyonlara ve aylara göre olan değişimlerinin birbirlerine benzer olduğu belirlenmiştir. Genel olarak bazı azot ve fosfor formları dışında (arakesit geçişleri olabileceğinden) sediment kalitesinin aylık değişimlerinde çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Çünkü gölde hidrolik bekleme süresi 43 gün

olarak tespit edilmiştir. Her ay numune alınan yüzey sedimentinde kısa süreli birikim söz konusu olamayacağından, sediment karakterinde büyük farklılık oluşması beklenmemiştir.

Su ve sediment kalitesi parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkilerini anlayabilmek amacıyla, SPSS programı aracılığı ile yapılan korelasyon analizi sonucunda, ötrofikasyon parametreleri olan TN, NH₄-N, NO₃-N, TP, PO₄-P, klorofil-a, seki derinliği, çözülmüş oksijen, pH ve sıcaklığın birbirleri arasındaki ilişkiler önemli bulunmuştur. Fotosentetik reaksiyonlar sonucunda artan alkalinitenin klorofil-a ile olan ilişkisi, AKM ile göle giren azot ve fosfor parametreleri arasında, sıcaklık ve çözülmüş oksijenin tüm parametrelerle arasındaki ilişkileri, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Sediment kalitesi parametrelerinde, sıcaklık, pH ve iletkenliğin diğer parametreler üzerindeki etkisinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. % organik madde'nin azot formları, iletkenlik ve sıcaklıkla ilişkilerinin önemli olduğu görülmüştür. Aynı şekilde % nem içeriğinin de sıcaklık, iletkenlik ve azot formları ile ilişkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca nutrientlerin çoğu birbirleriyle etkileşim içindedirler. Su ve sediment kalitesi parametrelerinin birbirleri arasında belirlenen ilişkiler ve mevsimsel değişimleri, elde edilen istatistiksel bilgiler ile de doğrulanmıştır.

Çalışma kapsamında bize ihtiyaç duyduğumuz araçları sağlayan CBS uygulamalarından faydalanılmıştır. Bu sayede hem parametrelerin göl içerisindeki konsantrasyon dağılımları elde edilmiş hem de gölde nasıl bir dağılım gösterdikleri ortaya konulmuştur. Sonuçta çok parametrelili bir değerlendirme yapıldığı sonuç haritaları elde edilmiştir. Bu haritalara göre gölün genel durumu ulusal standartlar ile kıyaslandığında, Uluabat Gölü'nün su kalitesi açısından SKKY' ne göre 4. sınıf su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir. Sediment kalitesi açısından ise ülkemizde sediment kalite kriterleri henüz mevcut olmadığından kıyaslama imkanımız olmamıştır. Yapılan tüm bu çalışmalarla, Uluabat Gölü'nün kirlilik düzeyi hem genel, hem bölgesel ve hem de mevsimsel sonuçları ortaya konulmuştur. Ortaya çıkarılan bu sonuçlardan sonra Uluabat Gölü'nde alınacak önlemler ve yapılabilecek iyileştirmeler hakkında önerilerde ve yorumlarda bulunmak daha kolay olacaktır.

Çalışma kapsamında Uluabat Gölü'nün trofik seviyesinin belirlenmesi amacı ile trofik seviye indeksi (TSI) oluşturulmuştur. Carlson'un belirlemiş olduğu TSI skalası; 0-40 oligotrofik; 40-50 mesotrofik, >50 ötrofik şeklindedir. Bir başka sınıflandırma şekli ise; oligomesotrofik seviye ($30 < TSI < 40$), mesotrofikten ötrofik seviyeye geçiş ($40 < TSI < 60$), ötrofikten hiperötrofik seviyeye geçiş ($60 < TSI < 70$) ve hiperötrofik seviye ($TSI > 70$) şeklinde de yapılabilir. Bu değerlendirmeye göre Uluabat Gölü'nde TSI_{TN} değerleri hiperötrofik, TSI_{TP} değerleri ötrofikten hiperötrofiğe geçiş, TSI_{Chl-a} ötrofik ve ötrofikten hiperötrofiğe geçiş, TSI_{SD} ise ötrofikten hiperötrofiğe geçiş ve hiperötrofik seviyelerinde oldukları tespit edilmiştir.

Gölde başlıca akarsu kaynakları göle giriş yapan Mustafakemalpaşa Çayı (MKP Çayı) ve gölü drene eden Kocasu Çayı'dır. Bunların dışında tarımsal sulamalardan dönen suların drenajını sağlayan pompa istasyonları noktasal kaynak olarak göl havzasında yer almaktadır. Bu noktasal kaynaklardan da izleme süresince numune alımı gerçekleştirilmiş olup, su kalitesi parametreleri ölçülmüş ve DSI'den temin edilen debi değerleri yardımı ile noktasal kaynakların göle taşıdığı kirletici yükleri hesaplanmıştır. Göle giren noktasal kirletici kaynakların aylık debi değerlerinin ortalamaları alınarak belirlenen yıllık ortalamalara göre en yüksek ve en düşük değerler MKP Çayı ve Akçalar Deresi'nde 9,9633 ve 0,0354 m³/sn olarak belirlenmiştir. Kirletici kaynakların yıllık debi ortalamalarının büyüklük sıralamaları ise MKP Çayı>Uluabat P.İ.>Atabay P.İ.> Karaoğlan P.İ.>Akçalar Deresi şeklindedir. Uluabat Gölü'nü besleyen en önemli akarsu olan Mustafakemalpaşa Çayı taşımış olduğu kirleticiler nedeni ile göle oldukça yüksek miktarlarda yük boşaltmaktadır. Su seviyesi ve akarsu debileri yağışların çok olduğu dönemlerde artmaktadır. Dolayısıyla yükler de debi ile birlikte artmaktadır. Ancak bu durum konsantrasyonlarında artışı anlamında düşünülmemelidir, debi artışı nedeni ile olabileceği de düşünülebilir.

İzleme süresince 12 ay boyunca gölden alınan su, sediment ve plankton numunelerinde krom ve nikel konsantrasyonları izlenmiştir. Suda, çözünmüş ve partiküler maddeye tutunmuş haldeki, sedimentte ise beş farklı fraksiyon ve toplam konsantrasyonları ölçülmüştür. Suda çözünmüş haldeki krom ve nikelin yağışların olmadığı yaz aylarında ve sonbahar mevsiminde yüksek, yağışların bol olduğu kış aylarında seyrelmelerden dolayı düşük konsantrasyonlarda oldukları belirlenmiştir. Partiküler formdaki metal

konsantrasyonları yağışların başlamasıyla yüzeysel akışın göle getirdiği askıda katı madde miktarının artış göstermesi ve kış mevsimine göre daha sığ olan gölün daha kolay karışmasının neden olduğu adsorbsiyon olaylarının nedeni ile kış mevsiminde artış göstermiş olabileceği tahmin edilmektedir.

Sedimentteki toplam Cr ve Ni konsantrasyonları incelendiğinde, genel olarak yaz aylarında ve sonbahar başlarında yaşanan kurak sezonda konsantrasyonlar düşük, kış ve ilkbahar aylarında da yüksek konsantrasyonlar ölçülmüştür. Sedimentteki metal konsantrasyonlarını, sedimentin tane boyutu ve organik madde miktarı etkilemektedir. Ayrıca, sudaki askıda katı madde miktarı, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik ve rüzgar hızları da etkilemektedir. Sedimentte incelenen ağır metallerin kimyasal fraksiyonları, mobil ağır metaller (F1), kolay serbest hale geçebilen metaller (F2), Mn-oksitlere bağlı ağır metaller (F3), organik maddeye bağlı ağır metaller (F4) ve kalıntı halindeki ağır metaller (F5) dir. Kalıntı halinde bulunan ağır metaller, sedimentte bulunan toplam ağır metallerden bu fraksiyonların toplamı çıkarılarak belirlenmiştir. Metallerin sedimentteki kimyasal fraksiyonlarının dağılımları incelendiğinde, kalıntı fraksiyonunun (F5) en baskın, ikinci sırada ise organik maddeye bağlı fraksiyonlarının (F4) yüksek olduğu görülmektedir. Mobil (F1), kolay serbest hale geçebilir (F2) ve Mn oksitlere bağlı (F3) fraksiyonların çok düşük konsantrasyonlarda oldukları görülmektedir. Bu fraksiyonların düşük değerleri, çözünmeyen ve statik bir fraksiyon olduklarını göstermektedir. Çalışmada elde edilen metal konsantrasyonları ve diğer su kalitesi parametrelerinin tümü Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'inde verilen Kıtaçi Yüzeysel Suların Kalitelerine Göre Sınıflandırılması ve Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne göre değerlendirilmiş gölün 4. sınıf su kalitesinde olduğu, SKKY Teknik Usuller Tebliği'nde verilmiş olan "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri" Tablosu'na göre sulama suyu açısından 4. sınıf, TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular kriterlerinin içme ve kullanma suyu sınır değerlerini aşmış olduğu belirlenmiştir. Suda çözünmüş halde bulunan ve sedimentteki toplam metallerin konsantrasyon seviyeleri uluslararası standartlar ile karşılaştırıldığında ise metallerin toksik seviyeyi aşmış olduğu tespit edilmiştir. Sedimentteki toplam konsantrasyonlar değerlendirildiğinde Cr'un üst etki seviyesinin üstünde olduğu belirlenmiştir. Metallerin değişebilir fraksiyonlarının düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Sedimentteki metallerin mobil ve kolay serbest hale geçebilir

fraksiyonları suya geçiş yapmaya hazır metalleri belirtmektedir. Suda çözülmüş halde bulunan Cr ve Ni'in bu fraksiyonların biri ya da her ikisi ile olan ilişkilerinin önemli ve pozitif bulunması bu metallerin suya daha kolay geçebildiklerini göstermektedir. Suda çözülmüş halde bulunan metaller ile sudaki bazı fizikokimyasal parametrelerin (pH, EC, ÇO, BOI, KOI ve T) ilişkileri incelendiğinde, pH dışında diğer tüm parametrelerle olan ilişkileri önemli bulunmuştur.

Gölde izleme süresince, planktonda da metal değişimi incelenmiştir. Bu değişim mevsimsel olarak değerlendirildiğinde en yüksek konsantrasyonların kış mevsiminde (Cr: 16,5; Ni:54,9 mg/kg), en düşük konsantrasyon değerleri ise ilkbahar mevsiminde (Cr: 6,5; Ni:11,8 mg/kg) tespit edilmiştir. İlkbahar mevsiminde henüz gelişme dönemine giren planktonların, kış mevsimine doğru büyüyerek ve metalleri bünyelerinde biriktirerek maksimum seviyeye ulaştıkları düşünülmektedir. Plankton bünyesinde bulunan metal dağılım haritaları incelendiğinde, 5, 6 ve 7. örnekleme noktalarında en yüksek değerlerin ölçüldüğü görülmektedir. Bu noktalar, akım koşullarının daha durağan olduğu ve daha sığ olan noktalardır. Bu nedenle plankton üremesinin daha yoğun olduğu, dolayısıyla daha fazla metal içeriğine sahip oldukları da görülmektedir.

Gölde kirlilik boyutunun tespitinin yanı sıra, modelleme çalışması gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Modelleme çalışmalarının temelini bilgisayar yazılımları oluşturmaktadır. Ancak, bilgisayar yazılımının yanı sıra doğru veri tabanı oluşturmak da büyük önem arz etmektedir. Kullanılan program her ne kadar iyi olsa da, kullanıcı sonuçları ne kadar iyi yorumlasa da modele girilen verilerin doğruluğu ve uygunluğu tüm çalışmanın gidişatını etkilemektedir. Bu nedenle modelleme çalışmalarına başlamadan önce modeli tanıyarak kullanılacak veriler belirlenmeli, uygun planlama yapılarak arazi çalışmaları yürütülmelidir. Böylelikle karşılaşılabilecek hatalar en aza indirilmeye çalışılmalıdır.

Modelleme çalışmalarının temeli, hidrodinamik modele dayanır. Bu modülde, alan tanımlaması yapılır. Çalışma alanımız için öncelikli olarak göldeki su bütçesi oluşturulmuştur. Uluabat Gölü'nün su bütçesi, belirli bir hata payı ile hesaplanabilmiştir. Göl çevresinde kaçak su çekimlerinin olduğu bilinmektedir. Su bütçesinin önemli bir eksikliği ise yeraltı suyu verisidir. Çalışma alanına ait herhangi bir

yeraltı suyu verisi edinilememiştir. Yer altı suyu tabakasının yüksekliğinin izlenmesi ve gölü beslediği ve gölden beslendiği dönemler belirlenerek göl hidrodinamiğine katkısı gerçekçi olarak tespit edilmelidir. Ayrıca, gölü besleyen ve gölü boşaltan her bir akımda doğru ve hassas ölçümler yapılmalıdır. Gölün giriş ve çıkış noktalarında devamlı ölçüm yapan akım gözlem istasyonlarının bulunmaması Uluabat Gölü için önemli bir eksikliklerdir. Bu durumun önlenmesi için sürekli Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) kurulması önerilmektedir.

Uluabat Gölü'nün hidrodinamiğinde zamana ve taban pürüzlülüğüne bağlı akım değişimlerin incelendiği modelleme çalışması kapsamında sıcaklık parametresi de modellenmiş ve kısa dönem değişimleri değerlendirilmiştir. Gölün taban pürüzlülüğünün vejetasyona göre değişiminin akım hızı ve yönlerini etkilediği görülmüştür. Ancak arazide akım hızının ölçülemediği olması gerçek ölçümlerle senaryo ölçümlerinin kıyaslanmasına olanak vermemektedir. Ayrıca vejetasyonun zamana bağlı değişiminin verisi bulunmaması, bu değişimin etkisinin model çalışmalarına adapte edilememesine neden olmuştur. Gölde vejetasyonun zamana bağlı değişimi belirlenmeli ve vejetasyon çeşitliliği göz önüne alınarak ileri çalışmalar yapılması önerilmektedir.

Göl suyu seviyesi ve sıcaklığı simülasyon sonuçları incelendiğinde, iyi bir uyum yakalandığı görülmektedir. Gölde sığ alanların daha çabuk soğuyup-ısındığı gözlenmiştir. Göl derinliklerinin azalması durumunda, göl hacmi azalacak ve dolayısıyla başta sıcaklık olmak üzere göl su kalitesi dışsal etkilerden daha çok etkilenilecektir. Bu bağlamda, göl suyu seviyelerinin korunması önem taşımaktadır. Noktasal kaynaklardan gelen debilerin göl suyu sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır. Göl su sıcaklığı meteorolojik koşullara göre değişim göstermektedir.

Hidrodinamik model sonuçlarından elde edilen, derinlik ortalamalı hız değerleri incelendiğinde, hızların göle giren ve çıkan debilerden lokal etkiler dışında etkilenmediği görülmüştür. Bunun haricinde, yıl boyunca etkili olan hakim rüzgarların göl yüzeyinde türbülanslar oluşturduğu ve oldukça sığ olan gölde karışımlara neden olduğu gözlenmiştir. Bu durumun gölde tam karışımı sağladığı ve sediment tabakasını süspanse hale getirerek göldeki bulanıklığa neden olduğu söylenebilmektedir. Gölde sığ bölgelerde su kütlesi daha az ve etkiye daha açık olduğu için hava sıcaklığının ve rüzgar

hızının değişimiyle suyun sıcaklığı ve hızı da değişmektedir. Yani gölün sığ kısımları, daha derin kısımlarına göre dışsal etkilere daha çabuk tepkiler vermektedir.

Hidrodinamik model ile elde edilen, akım hız değerlerinin gölün kıyı kesimlerinde daha yüksek olduğu gözlenmektedir bu durum, rüzgarın sığ kesimlerde daha etkili olması ile açıklanabilir. Yine, göle giren ve gölden çıkan debilerin tanımlandığı alanlarda hız değerlerinde lokal artışlar gözlenmiştir. Gölün vejetasyon olmayan bölgelerinde en yüksek 0,07 m/sn'ye ölçülen akım hızı, vejetasyon olan bölgelerde daha düşük akım hızına sahip oldukları tespit edilmiştir. Gölde ölçülen en düşük akım hızı 0,005m/sn'dir. Göle giriş yapan akımlardan sonra hidrodinamik hareketlerde birincil faktör olarak karşımıza çıkan rüzgar verisi göldeki akım hareketliliğini arttırmakta ve türbülanslara neden olmaktadır. Artan rüzgar hızının etkisiyle su yüzeyinde akıntı yönünün bölge bölge değiştiği, bununla beraber özellikle gölün batı kesiminde Çınarcık tüneli etkisi ile ve adaların bulunduğu bölgelerde farklı akım hızlarında türbülanslar olduğu simülasyon sonuçlarında görülmektedir.

Gölde kirlilikten söz ederken sadece Uluabat Gölü çevresini ele almak yanlış olacaktır. Çünkü gölü besleyen MKP Çayı ve iki kolu Orhaneli ve Emet Çaylarında meydana gelen kirlilik doğrudan göle ulaşmaktadır. Uluabat Gölü ve MKP Çayı'nın etrafında çok sayıda yerleşim birimi ve sanayi tesisleri mevcuttur, buralardan göle yüksek oranlarda kirlilik girişi söz konusudur. Özellikle MKP Çayının göle yüksek oranda askıda katı madde taşıdığı bilinmektedir. Ayrıca ölçülen yüksek askıdaki katıların kaynakları, doğal erozyon olayı ile Orhaneli ve Emet Çayları üzerindeki maden işleme tesisleridir. Bu tesislerde gerçekleştirilen faaliyetler sonucu, MKP Çayı aracılığı ile göle ulaşan metal yükü artmaktadır. Ayrıca göl havzasında yapılan tarımda kullanılan ve canlı hayat için oldukça tehlike arz eden, sucul canlılarda ve sedimentte birikim yapma eğilimi olan ağır metaller ve pestisitler de yüzeysel akışlarla göle ulaşmaktadır. Bu nedenle göle kirlilik taşınımını azaltmak için ilk önce, MKP Çayı'na ulaşan AKM yükü kontrol altına alınmalıdır. Havzadaki tarımsal aktivitelerde kullanılan metal içerikli gübre ve pestisit miktarlarının azaltılması gerekmektedir. Dahası, havzada, bitkisel ve hayvansal ürünlerin, ekolojik yöntemler kullanılarak elde edilmesi yönünde çalışmalar yapılmalıdır. Yine göl havzasında bulunan yerleşim kaynaklarından göle gelen evsel atık suların, atıksu arıtma tesisleri yapılarak, arıtılmadan göle deşarjının önüne

geçilmesi gereklidir. Göle dışsal etkilerle taşınan, kirletici miktarları ne kadar azalır ve gölün mevcut hidromorfolojik yapısı bozulmazsa, gölün su kalitesi bakımından kendi kendisini iyileştirmesi de o kadar kolay olacaktır.

Su kalitesi modelleme çalışmaları sonucunda, gölde çözülmüş, partiküler ve sedimentte bulunan krom ve nikelin dağılımları ve izledikleri yol belirlenmiştir. Göldeki kirliliğin temel kaynakları MKP Çayı, Akçalar Deresi ve pompa istasyonları oldukları görülmektedir. Ancak bazı aylarda daha yüksek ölçülen konsantrasyonlar kaçak deşarjlarında olabileceği ya da atmosferden çökelmelerin olabileceğini düşündürmektedir. Partiküler formdaki metaller sedimente çökelmiştir. MKP Çayı'nın giriş yaptığı bölgede yüksek konsantrasyondaki askıda katı madde de, partiküler formda bulunan metallerin çökmesi nedeniyle sedimentteki konsantrasyonlar da artmıştır. Model ve ölçüm sonuçlarının kıyaslandığı grafikler incelendiğinde, modelin tahmini, metallerin sedimentte sürekli birikim yapma eğiliminde olduğu yönündedir. Sedimentte ölçülen, ölçüm sonuçlarının da benzer şekilde büyük değişim göstermedikleri görülmüştür. Çözülmüş ve partiküler formun konsantrasyonlarının Ağustos-Kasım arası yüksek seviyelerde, diğer aylarda düşüş eğiliminde oldukları görülmektedir. Aynı dönemde sedimentteki konsantrasyonların ise arttığı görülmüştür. Bu süreçte sudan sedimente geçiş olduğu görülmektedir. Nisan- Mayıs aylarında fotosentezin artması ile birlikte göldeki alg konsantrasyonları artmaktadır. Bu nedenle partikül halindeki ve sedimentteki metallerin adsorbe olma oranları da artmıştır. Bu dönemlerde yaşanan inişli-çıkışlı konsantrasyonların bu sebepten kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu dönemde meydana gelen yağışların da etkisiyle yüzeysel akışlarla seyrelmelerin meydana gelmesi, metal konsantrasyonlarında azalmalara neden olmuştur. Geliştirilen senaryolar ve mevcut durum simülasyonlarının sonuçları incelendiğinde, mevcut durum simülasyon sonuçları ile geliştirilen tüm senaryo sonuçlarının, genellikle benzer eğilimler gösterdiği gözlenmiştir. MKP Çayı'ndan gelen kirliliğin % 50 arttırılması yönünde oluşturulan senaryo (S1) sonuçları incelendiğinde krom ve nikelin her bir formunda artma olduğu görülmektedir. Artma trendi her bir form için farklılık gösterse de izleme süreci ne kadar uzun olursa, artma miktarı o kadar fazla olması muhtemeldir. Aynı durum, MKP Çayı'ndan gelen kirliliğin % 50 azaltılması yönünde oluşturulan senaryo (S2) içinde geçerli olup, izleme süreci ne kadar uzun olursa, kirliliğin azalma miktarının o kadar fazla olması beklenir. Tarımsal sulamadan dönen

drenaj sularının toplandığı ve pompa istasyonları aracılığı ile göle ulaşan suların, kirlilik yükünün % 50 azaltılması yönünde oluşturulan senaryo (S3) sonuçları incelendiğinde, krom ve nikelin her bir formunda azalma olduğu görülmektedir. Bu azalma miktarı çok yüksek olmasa da, gölde kirliliğin önlenmesi adına mutlaka kontrol altına alınması gereken pompa istasyonları önemli birer kirlilik kaynağıdır. Beklenildiği gibi, simülasyon sonuçlarına göre, metal konsantrasyonları, noktasal kaynaklardan gelen kirlilik yüklerinin artması ile artma, azalması ile de azalma trendi göstermiştir. Yine göle önemli etkisi olan Çınarcık tüneline gelen yükün ihmal edilmesi durumunda, gölün özellikle doğu ucunda (Akçalar Bölgesi) metal konsantrasyonlarının arttığı görülmektedir. Çınarcık Barajı Uluabat kuvvet tüneline çıkan suyun HES'te enerjisi alındıktan sonra Fadıllı Köyü (Akçalar Bölgesi yakını) yakınlarından göle salınması ile göldeki hidrodinamik yapı önemli ölçüde değişmektedir. Buradan göle ulaşan debi sayesinde, gölde su kalitesini iyileştireceği doğrultusunda vurgulamalar yapılmıştır (Sarmaşık 2012). Bu senaryolama çalışmasında ise özellikle gölün Akçalar kesiminde durağan hidrodinamik koşullar nedeniyle oluşan metal yoğunluğunun nasıl değişeceğini belirlemek amaçlanmıştır. Kuvvet tüneline, metal yükü barındırmadığı kabul edilerek salınan suyun gölün özellikle Akçalar bölgesindeki durağan alanlarda çözünmüş ve partiküler metal miktarlarını seyrelme yoluyla azaltması beklenirken; suyun oluşturduğu hidrodinamik koşullar sonucu, sedimentteki metal değerlerinde önemli düzeyde farklılıklar beklenmemektedir. Ve sonuçlar göstermektedir ki, Çınarcık tüneline verilen debinin ihmal edilmesi halinde özellikle gölün doğu ucunda yüksek metal kirliliği oluşacaktır. Aslında bu tüneline göle faydası gölde seyrelme sağlama ve akım koşullarını değiştirerek, kirliliğin daha hızlı bir şekilde Marmara Denizi'ne ulaşmasını sağlamaktır. Kısa süreli yürütülen modelleme çalışmalarında hata payının yüksek çıkması muhtemeldir. Bu nedenle, uzun dönem modelleme çalışmaları uygulanırsa daha başarılı ve gerçekçi sonuçlar elde edilerek, göl yönetimine katkıda bulunulması sağlanacaktır. Bu çalışmada göle gelen sınırlı sayıda kirletici için modelleme çalışması yürütülmüştür. Ancak gölün izlenmesi ve etkili yönetimi açısından, göl çevresi ve havzasında yapılan ve yapılması planlanan tüm faaliyetlerin ve kirleticilerin göz önünde bulundurulması, göl hidrodinamiğine olacak etkilerin incelenmesi, uzun dönem modelleme çalışmalarının yürütülmesi, göl yönetim planının uygulamasında modelleme çalışmalarının etkin şekilde kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Akbaş, F., A. Ünlükara, A. Kurunç, U. İpek ve H. Yıldız, 2008. Tokat-Kaz Ova'da Taban Suyu Gözlemlerinin CBS Yöntemleriyle Yapılması ve Yorumlanması. Sulama ve Tuzlanma Konferansı, 12-13 Haziran 2008, Şanlıurfa.

Akdeniz, S. 2005. Uluabat Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizi. Uludağ Üniv. Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Aksoy, E. ve Özsoy, G. Investigation of multitemporal and use/cover and shoreline changes of the Uluabat Lake Ramsar site using RS and GIS, *International Conference on Sustainable Land Use and Management*, Çanakkale, Turkey, 13 October 2002.

Albek, M., Ü.B. Öğütveren, E. Albek, 2004. Hydrological modeling of Seydi Suyu watershed (Turkey) with HSPF. *Journal of Hydrology* 285 (2004) 260–271.

Alonso, J.J.J., 2010. Heavy metal pollution and sediment transport in the rhinemeuse estuary, using a 2D model Delft3D, Water quality and calamities, Case study Biesbosch. *Deltares*, (2010).

Anonim, 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği Ankara. Resmi Gazete, Tarih 7 Ocak 1991 Sayı: 20748.

Anonim, 2000. USEPA 2000. Prediction of Sediment Toxicity Using consensus- Based Freshwater Sediment Quality Guidelines.

Anonim, 2003. Agency for Toxic Substance ve Disease Registry, Toxicological Profile for Heavy Metals U.S. Department of Health and Humans Services, Centres for Diseases Control, Atlanta, GA.

Anonim, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı, Ankara, Resmi Gazete, Tarih 31 Aralık Cuma 2004 Sayı:25687.

Anonim, 2005a. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığında Su Ürünleri Yönetmeliği, 09.08.2005 tarihli Resmi Gazete No: 25901.

Anonim, 2005b. TS266 Türk Standardı, SULAR - İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Nisan 2005.

Anonim, 2006a. USEPA National Recommended Water Quality Criteria Correction Office of Water, EPA 822-z-99-001, p. 25.

Anonim, 2006b. WHO, A Compendium of Drinking-Water Quality Standards in The Eastern Mediterranean Region.

APHA, 1998. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 20th Edn. Washington, D.C.

Aydın, A.O., Gülensoy, H, Akıcıoğlu, A., Sakarya, A., 2003. Kolemanitlerdeki Arseniğin Borik Asit ve Boraks Üretimine Etkisi, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg, 5-1.

Beklioğlu, M. 2007. Role of Hydrology, Nutrients and Fish in Interaction with Global Climate Change in Effecting Ecology of Shallow Lakes in Turkey, Uluslar arası Nehir Havza Yönetimi Kongresi, 22-24 Mart 2007, Antalya.

Ben-Dor, E., Singer, A., 1987. Optical Density of Vertisol Clay Suspensions in Relation to Sediment Volumes and Dithionite–Citrate-Bicarbonate-Extractable. *Iron, Clay and Clay minerals*, 35:4,311-317.

Bielecka, M., Kazmierski, J. 2003. A 3D Mathematical Model of Vistula Lagoon Hydrodynamics - General Assumptions and Results of Preliminary Calculations. Yayılı Kirlilik Konferansı, 2003, Dublin, İrlanda.

Bradl, H.B., 2005. Heavy Metals in The Environment: Origin, Interaction and Remediation. *Elsevier Academic Press.* (2005) 269-275.

Bremner, J.M., C.S. Mulvaney, 1982. Methods Of Soil Analysis. American Soc. Of Agronomy, Inc., Publisher. 1159 s.

Burden, F.R., I. Mckelvie, U. Förstner, A. Guenther, 2002. Environmental Monitoring Handbook. McGraw-Hill. New York. p: 88-92.

Burton, G.A., 2002. Sediment Quality Criteria and Use Around The World. *Limnology* 3:65–75.

Cardoso, G.F. 2005. Introduction of Vegetation in Large Scale Hydrodynamic Models. Degree Project, Department of Water Resources Engineering, TVRL.

Chapra, S., 1997. Surface water-quality modeling. The McGraw-Hill Companies, Inc., 844p, New York.

Coelho, S., S. Gamito, A. Pe´rez-Ruzafa, 2007. Trophic State of Foz De Almargem Coastal Lagoon (Algarve, South Portugal) Based on The Water Quality and The Phytoplankton Community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 71: 218-231.

Costello, D.M., G.A. Burton, C.R. Hammerschmidt, E.C. Rogevich, C.E. Schlegel, 2011. Nickel Phase Partitioning and Toxicity in Field-Deployed Sediments. [dx.doi.org/10.1021/es104373h](https://doi.org/10.1021/es104373h) | *Environ. Sci. Technol.* 2011, 45, 5798–5805.

Cuong, D., S. Karuppiah ve J.P. Obbard, 2008. Distribution Of Heavy Metals in The Dissolved And Suspended Phase of The Sea-Surface Microlayer, Seawater Column and in Sediments of Singapore’s Coastal Environment. *Environ Monit Assess.* 138:255–272.

Çakmakçı M., Kınacı C., Bayramoğlu M., and Yıldırım Y., 2010. A modeling approach for iron concentration in sand filtration effluent using adaptive neuro-fuzzy model. *Expert Systems with Applications* 37 (2010) 1369–1373.

Çalışkan, A., 2008. Modeling of hydrodynamics and sedimentation in a stratified reservoir: Tahtalı Reservoir, İzmir. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Çelebioğlu, T.K., 2006. Simulation of Hydrodynamics and Sediment Transport Patterns in Delaware Bay. Drexel University, Doctor of Philosophy (Dr. Thesis).

Çelik, G. 2000. Çevre Yönetiminde Ekolojik Risk Değerlendirilmesi ve Uluabat Ramsar Alanı İçin Problem Formülasyonu, Uludağ Üniv. Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

Dargahi, B., Setegn, S.G. 2011. Combined 3D Hydrodynamic and Watershed Modelling of Lake Tana, Ethiopia. *Journal of Hydrology*. 398: 44-64.

Davraz, A., D. Balın, 2016. Çöl (Haydarlı/Afyon) Ovasının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi. *AKU J. Sci. Eng.* 10, 1-22.

Davraz, A., E. Şener, Ş. Şener, S. Varol, 2014. Water Balance of the Eğirdir Lake and the Influence of Budget Components, Isparta, Turkey. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Science* 18(2), 27-36, 2014.

Davutluoğlu, O.I., G. Seçkin, Ç.B. Ersu, T. Yılmaz, B. Sarı, 2011. Heavy metal content and distribution in surface sediments of the Seyhan River, Turkey. *Journal of Environmental Management* 92 (2011) 2250-2259.

Demir, M., Yıldız, N.D., Irmak, M.A., Yılmaz, H., Yılmaz, S., Özer, S. 2011. Sulak Alanların Sürdürülebilirliği için Ekosisteme Bütüncül Yaklaşım: Erzurum Örneği. II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-24 Haziran 2011, Kırşehir.

Dijkstra, J.T., Uittenbogaard, R.E. 2010. Modeling the Interaction between Flow and Highly Flexible Aquatic Vegetation. *Water Resources Research*, 46, 125-134.

Donigan Jr., A.S., 2002. Watershed model calibration and validation: the HSPF experience. Proc. WEF National TMDL Science and Policy. Water Environment Federation, Phoenix, Arizona.

Dortch, M.S., M. Zakikhani, S.C. Kim, J.A. Steevens, 2008. Modeling water and sediment contamination of Lake Pontchartrain following pump-out of Hurricane Katrina floodwater. *Journal of Environmental Management* 87 (2008) 429–442.

Dugan, P.J. 1990. Sulak Alanların Korunması- Güncel Konular ve Gerekli Çalışmalar Üzerine Bir İnceleme. Türkçe Çevirisi: DHKD. İstanbul.

Dupont, B. 2010. Hydrodynamic Modeling of Lake Winnipeg and the Effects of Hecla Island. Manitoba Üniversitesi, Winnipeg, Kanada.

Ebrahimi, N.G., Moghadam, M.F., Kashefipour, S.M., Saneie, M., Ebrahimi, K. 2008. Effects of Flow and Vegetation States on River Roughness Coefficients”, *Journal of Applied Sciences*, 8(11), 2118-2123.

Egon, A., 2009. Hydrodynamics of Lagoon Fringed by a Coral Reef. Delft University of Technology (TUD), Faculty of Civil Engineering, MSc. Thesis.

Ekdal, A. 2008. Water quality modeling of Köyceğiz – Dalyan Lagoon. Ph.D. Thesis. İstanbul Technical University, Turkey.

Ekdal, A. ve Tanık, A. 2008. Köyceğiz -Dalyan Lagünü Su Kalitesi Modellemesinde Tuzluluk Simülasyonları. İTÜ, *Su Kirlenmesi Kontrolü* 18(1): 55-64.

EPA, 2010. Watershed and Water Quality Modeling Technical Support Center, WASP 7.0 “Transportation” Eğitim Dökümanları

Farkas, A., C. Erratico, L. Vigano 2007. Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. *Chemosphere* 68 (2007) 761–768.

Gao, X. ve Li, P. 2012. Concentration and fractionation of trace metals in surface sediments of intertidal Bohai Bay, China. *Marine Pollution Bulletin* 64 (2012) 1529–1536.

Gibson, G., Carlson, R., Simpson, J., Smeltzer, E., Gerritson, J., Chapra, S., Heiskary, S., Jones, J., Kennedy, R., 2000. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs (EPA-822-B00-001). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. U.S. Govt. Printing Office, Washington, DC.

Grenville, A.J.C., 2011. Rocks and Their Origins, The Cambridge Manuals of Science and Literature, Cambridge University Press, First Paperback Edition 2011, UK.

Güzel, Ç. 2010. Application of swat model in a watershed in Turkey. Environmental Sciences and Engineering. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Technical University Institute of science and technology, İstanbul.

Hacısalihoğlu İleri S., Karaer F. , Katip A., 2016. Applications of Geographic Information System (GIS) Analysis of Lake Uluabat. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(6), 1-14, 2016. DOI: 10.1007/s10661-016-5332-1.

Hasselaar, R.W., 2012. Development of a generic automated instrument for the calibration of morphodynamic Delft3D model applications. Delft University of Technology (TUD), Faculty of Civil Engineering, MSc. Thesis.

Hejzlar, J. ve V. Vyhnaek, 1998. Longitudinal Heterogeneity of Phosphorus and Phytoplankton Concentrations in Deep-valley Reservoirs. *Int. Rev. Hydrobiol.* Vol: 83, Pg: 139-146.

Henke, K., 2009. Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment. ISBN: 978-0-470-02758-57. John Wiley & Sons Ltd. pp:575.

Henrotte, J., 2008. Implementation, validation and evaluation of a Quasi-3D model in Delft3D. Delft University of Technology, Faculty Civil Engineering and Geosciences. MSc. Thesis.

Heuvel, S. 2010. Modelling the Hydrodynamics and Salinity of the Pontchartrain Basin. *Yüksek Lisans Tezi*, Delft Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği ve Yerbilimleri Fakültesi, Delft, Hollanda.

Himesh, S., Rao, C V C, Mahajan, A U., 2000. Calibration and Validation of Water Quality Model (Cae 1 River), CSIR Centre for Mathematical Modelling and Computer Simulation, Technical Report CM 0002, India.

Hok-shing L., 2006. The application of numerical modelling in managing our water environment. Erişim Tarihi: 10.11.2011.
http://www.science.gov.hk/paper/EPD_HSLee.pdf

Hong-Bin, Y., Fan Cheng-Xin, Ding Shi-Ming, Zhang Lu and Zhong Ji-Cheng 2008. Geochemistry of Iron, Sulfur and Related Heavy Metals in Metal-Polluted Taihu Lake Sediments. *Pedosphere* 18(5): 564-573.

Hua, K., P. Ding, Z. Wang, S. Yang, 2009. A 2D/3D hydrodynamic and sediment transport model for the Yangtze Estuary, China. *Journal of Marine Systems* 77, 114-136.

Ikem, A. ve Egiebor, N.O. 2005. Assessment of Trace Elements in Canned Fishes (Mackerel, Tuna, Salmon, Sardines and Herrings) Marketed in Georgia and Alabama (United States of America). *Journal of Food Composition and Analysis* Vol: 18 (8), Pg: 771-787.

Ikem, A., Egiebor, N.O., Nyavor, K. 2003. Trace Elements in Water, Fish and Sediment form Tuskegee Lake, South eastern USA. *Water, Air and Soil Pollution* 149: 51-75.

İleri, S. 2010. Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesinin Fiziko-Kimyasal Parametreler Açısından Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Ji, Z.G., 2008. Hydrodynamics and water quality: modeling rivers, lakes and estuaries. Wiley-Interscience, John Wiley & Sons Inc., 676p, Hoboken, New Jersey.

Kaçar, B. 1994. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III. Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, p: 3-7.

Kaçıkoç, M. 2013. Eğirdir Gölü Hidrodinamik ve Su Kalitesinin Delft3D Modeli ile Modellenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Kaçıkoç, M. ve Beyhan, M., 2014. Hydrodynamic and Water Quality Modeling of Lake Eğirdir. *Clean-Soil, Air, Water* 42(11), 1573-1582.

Kannan, S.K., B.P.D. Batvari, K.J. Lee, N. Kannan, R. Krishnamoorthy, K. Shanthi, M. Jayaprakash, 2008. Assessment of heavy metals (Cd, Cr and Pb) in water, sediment and seaweed (*Ulva lactuca*) in the Pulicat Lake, South East India. *Chemosphere* 71 (2008) 1233–1240.

Karacaoğlu, D. 2000. Uluabat Gölü'nün (Bursa) Fitoplanktonunun Mevsimsel Değişimi. Uludağ Üniv. Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi, s: 1-169, Bursa.

Karaer, F., Katip, A., Aksoy, E., Hacısalihoğlu, S., Sarmaşık, S. 2009. Sulak Alanların Önemi, Sorunları ve Uluabat Gölü Bursa, Türkiye Sulak Alanlar Kongresi 81-87 (1) 2009.

Karaer, F., Katip, A., İleri, S., Sarmaşık, S., Aydoğan, N., 2012. Dissolved and Particulate Trace Elements' Configuration: Case Study from a Shallow Lake, *International Journal of Physical Sciences*, 8 (24). 1319-1333.

Karakurt, O., 2009. Ağır metallerin davranışının ve taşınımının sayısal modelle incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi.

Katip, A. 2010. Uluabat Gölü Su Kalitesinin İzlenmesi, Doktora Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Katip, A., Karaer, F., Hacısalihoğlu, S., Sarmaşık, S., Aydoğan, N., Zenginay, S. 2011. Analysis and assessment of trace elements pollution in sediments of Lake Uluabat *Journal of Environmental Biology* 961-968 33 (2012).

Kees, C.E., Farthing, M.W., Mattisy, S.A., Dawson, C.N. 2010. Homogenization and Upscaling of Flow Through Vegetation, XVIII. Uluslar arası Su Kaynakları Kongresi, Barselona.

Khandan, N.N., 2002. Modeling Tools for Environmental Engineers and Scientists. CRC Press LLC. p: 28-32.

Kocataş, A. 2003. Ekoloji: Çevre Biyolojisi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:51, İzmir.

Koçal, M. 2006. Porsuk Barajında Su Kalitesinin Matematik Modelle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Gebze.

Kuang, C., L. He, F. Xing, L. Deng, J. Gu, 2009. Numerical Study on the Evolution Process of Polluted Water Cluster in Gonghu, Taihu Lake. *Bioinformatics and*

Biomedical Engineering. ICBBE2009. 3rd International Conference on 11-13 June 2009 p: 1-4.

Kurtoğlu, S. 2006. Uluabat Gölü Sedimentinde Bazı Kimyasal Parametrelerin ve Mevsimsel Değişimlerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Larmaei, M.M., Mahdi, T., Gaskin, S. 2009. Vegetation and Shallow Water Hydraulics, 33. Ululararası Hidrolik Mühendisliği ve Araştırma Birliği Kongresi: Sürdürülebilir Çevre için Su Mühendisliği, Vancouver.

Lewis, W.M. 2009. Ecological Zonation in Lakes: Lake Ecosystem Ecology, Editör: Likens, G.E., Elsevier, sf: 11-17.

Lindim, C., Pinho, J.L., Vieira, J.M.P. 2011. Analysis of Spatial and Temporal Patterns in a Large Reservoir Using Water Quality and Hydrodynamic Modeling. *Ecological Modelling*. 222:2485-2494.

Luijendijk, A., 2001. Validation, calibration and evaluation of a Delft3D-FLOW model with ferry measurements. MSc. Thesis. Civil Engineering at Delft University of Technology.

Madsen, J. D., Chambers, P. A., James, W. F., Koch, E.W., Westlake, D. F. 2001. The Interaction Between Water Movement, Sediment Dynamics and Submersed Macrophytes. *Hydrobiologia* 444: 71–84.

Manivanan, R., 2008. Water Quality Modelling-Rivers, Streams and Estuaries, New India Publishing Agency, Hindistan, p.34-41.

Martorell, V.J., M. D. Galindo-Riaño, M.G., Vargas, M.D.G. Castro, 2009. Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. *Journal of Hazardous Materials* 162 (2009) 823–836.

McCutcheon, S.C., 1989. Water Quality Modeling, Vol-I, Transport and Surface Exchange in Rivers. CRC Press Inc, 344p, Boca Raton, Florida.

Mengoni, B., Mosselman, E. 2006. Analysis of Riverbank Erosion Processes: Cecina River, Italy. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics: RCEM 2005 – Parker & García (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 0415392705.

Menzel, R. G., Schiebe, F.R., McHenry, J.R., 1985. Sediment Properties and Deposition in Lake Atoka, *Oklahoma Proc. Okla. Acad. Sci.* 65:45 - 49.

Mercan, D.E. 2006. Beyşehir Gölü'nün Hidrodinamik Modellemesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. Kasım 2006 İstanbul.

Mil-Homens, M., R.L. Stevens, W. Boer, F. Abrantes ve I. Cato, 2006. Pollution History of Heavy Metals on the Portuguese Shelf Using 210Pb-geochronology. *Science of the Total Environment* Vol: 367 (2006), Pg: 466–480.

Mutlu, M., 2010. Arsenic Pollution and Health Risk Assessment in The Groundwater of Simav Plain, Kütahya, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, FBE.

Nguyen, H.L., M. Leermakers, J. Osan, S. Török ve W. Baeyens 2005. Heavy Metals in Lake Balaton: Water Column, Suspended Matter, Sediment and Biota. *Science of the Total Environment*, 340, 213– 230.

Nguyen, H.L., M. Leermakers, J. Osán, S. Török, W. Baeyens, 2005. Heavy Metals in Lake Balaton: Water Column, Suspended Matter, Sediment and Biota. *Science of the Total Environment* 340, 213-230.

Niepelt, A., 2007. Development of interfaces for the coupling of hydrodynamic models for brine discharges from desalination plants. University of Karlsruhe, Institute for Hydromechanics, MSc. Thesis.

Özdilek, H.G. 2002. Distribution and Transport of Copper and Lead in the Blackstone River, Massachusetts, Worcester Polytechnic Institute. PhD Thesis, Pg: 242- 253, USA.

Özen, A. 2006. Role of Hydrology, Nutrients and Fish Predation in Determining the Ecology of a System of Shallow Lakes. *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Parajuli, P.B., Nelson, N.O., Frees, L., Menkin, K.R., 2008. Calibration and Validation of AnnAGNPS and SWAT Models in Agricultural Watersheds in CEAP South South-central Kansas.USDA-CSREES, Ulusal Su Konferansı, 3-7 Şubat 2008, Sparks, NV.

Partanen, S. ve Hellsten, S. 2005. Changes of Emergent Aquatic Macrophyte Cover in Seven Large Boreal Lakes in Finland With Special Reference to Water Level Regulation. *Fennia* 183: 1, 57–79.

Peters, J.A., Lodge, D.M. 2009. Littoral Zone: Lake Ecosystem Ecology, Editör: Likens, G.E., Elsevier, sf: 11-17.

Radojevic, M., N. Bashkin, 1999. Practical Environmental Analysis. The Royal Society of Chemistry, UK. 466 p.

Ramos, T.B., Šimunek, J., Goncalves, M.C., Martins, J.C., Prazeres, A., Castanheira, N.L., Pereira L.S., 2011. Field evaluation of a multicomponent solute transport model in soils irrigated with saline waters. *Journal of Hydrology* 407 (2011) 129-144.

Richards, D.J. ve B.R Allenby, 2003. Information Systems and the Environment, <http://site.ebrary.com/lib/deulibrary/Doc>. Erişim Tarihi: 15.09.2014.

Sarmaşık, S. 2012. Uluabat Gölü Hidrodinamik Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Sheffer, M. 2004. Ecology of Shallow Lakes: Population and Community Biology Series, Kluwer Academic Publishing.

Singh, A., P. C. Srivastava, P. Srivastava, 2008. Relationships of Heavy Metals in Natural Lake Waters with Physico-chemical Characteristics of Waters and Different Chemical Fractions of Metals in Sediments. *Water Air Soil Pollut.* 188:181– 193.

Singh, K.P., D. Mohan, V.K. Singh, A. Malik, 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments—a tributary of the Ganges, India. *Journal of Hydrology* 312 (2005) 14–27.

Spaulding, M., Swanson, C., Mendelsohn, D., 2000. Application of qualitative model-data calibration measures to assess model performance. *Estuarine and Coastal Modeling: Proceedings of the 6th International Conference*, Spaulding, M.L. and Butler, H.L. (Eds.), ASCE, 3-5 November, New Orleans, Louisiana, 843–867.

Stelling, G. S., 1984. On the Construction of Computational Methods for Shallow Water Flow Problems. Tech. Rep. 35, Rijkswaterstaat.

Stojanovica, A., D. Kogelniga, B. Mittereggera, D. Maderb, F. Jirsaa, R. Krachlera, R. Krachler, 2009. Major and trace element geochemistry of superficial sediments and suspended particulate matter of shallow saline lakes in Eastern Austria. *Chemie der Erde* 69 (2009) 223–234 .

Stumm, W., J. Morgan, 1996. *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Water*, third ed. Wiley, New York.

Şanlı, A.S., A. Doğan, 2015. Development of optimum dynamic management model of Beyşehir Lake. *Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma* 33, 144-156.

Taillefert, M., J.F. Gaillard, 2002. Reactive Transport Modeling of Trace Elements in the Water Column of A Stratified Lake: Iron Cycling and Metal Scavenging. *Journal of Hydrology*. 256:16-34.

Taşdemir, Y., C. Kural, S. S. Cindoruk., N. Vardar. 2006. Assessment of Trace Element Concentrations and Their Estimated Dry Deposition Fluxes in an Urban Atmosphere. *Atmospheric Research*, 81: 17– 35.

Thibodeaux, L.J., 1996. *Environmental Chemodynamics: Movement of Chemicals in Air, Water and Soil*. John Willey & Sons Publications Second Edition., pp: 593.

Thomann, R.V., Mueller, J.A., 1987. *Principle of Surface Water Quality Modelling and Control*, Herper Collins, 644p, New York, NY.

Türkmen, A. 2003. İskenderun Körfezi'nde Deniz Suyu, Askıdaki Katı Madde, Sediment ve Dikenli Taş İstiridyesi'nde Oluşan Ağır Metal Birikimi Üzerine Araştırma. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum, s: 152-158.

USEPA, 1999. Protocol for developing nutrient TMDLs. Office of Water, EPA 841- B-99-007, 135p.

Ünal, H., H.S. Başkaya, 1981. Toprak Kimyası. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, pp: 218. 270.

Varol, M. ve Şen, B. 2012. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena* 92, 1-10.

Vicente-Martorell, Juan J., María D. Galindo-Riaño, Manuel García-Vargas, María D. Granado-Castro, 2009. Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. *Journal of Hazardous Materials* 162 (2009) 823–836.

Wallsten, M. Ve Forsgren, P.O. 1989. The Effects of Increased Water Level on Aquatic Macrophytes. *J. Aquat. Plant Manage.* 27:32-37.

Wang, P.F., Wang, C. 2011. Numerical Modelling for Flow Through Submerged Vegetation Regions in a Shallow Lake. *Journal of Hydrodynamics.* 23(2):170-178.

WL / Delft Hydraulics, 2010a. User Manual Delft3D-FLOW, v 3.14. WL / Delft Hydraulics, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

WL / Delft Hydraulics, 2010b. User Manual Delft3D-WAQ, v 4.03. WL / Delft Hydraulics, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

WL / Delft Hydraulics, 2010c. User Manual Open Processes Library, v 0.99. WL / Delft Hydraulics, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

Wool, T.A., Ambrose, R.B., Martin, J.L., Comer, E.A., 2001. Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) Version 6.0 User's Manual, U.S. Environmental Protection Agency, Atlanta, GA.

Wu, W., Wang, S.S.Y., 2006. Formulas for Sediment Porosity and Settling Velocity, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132: (2006).

Yang, Z., Wang, Y., Shen, Z., Niu, J., Tang, Z. 2009. Distribution and Speciation of Heavy Metals in Sediments from the Mainstream, Tributaries, and Lakes of the Yangtze River Catchment of Wuhan, China. *J. of Hazardous Materials* 166:1186-1194.

Yenilmez, F. 2007. Modeling The Water Quality in Uluabat Lake. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yomralıoğlu, T. 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar. İber Ofset, 2. Baskı, Trabzon.

Yomralıoğlu, T. ve M. Akça, 2002. Çevresel Bilgi Sistemleri İçin Model Altlık Tasarımı, Trabzon Değirmendere Havzası Örneği. Kent Bilgi Sistemleri Uygulama Sempozyumu.

Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği, 2012. Resmi Gazete, Tarih: 30 Kasım 2012, Sayı: 28483, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Saadet İLERİ HACISALİHOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA / 01.10.1984
Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Kız Lisesi - 2001
Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü - 2006
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Müh. ABD Çevre Bilimleri
Bilim Dalı - 2010

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği /2011

İletişim (e-posta) : sileri@uludag.edu.tr

Yayınları :

- 1) Katip A., Karaer F., Başkaya H.S., **İleri S.**, Sarmaşık S. Fraction distribution and risk assessment of heavy metals and trace elements in sediments of Lake Uluabat. *Environ Monit Assess* 5399–5413, 184, 2012.
- 2) Katip A., Karaer F., **İleri S.**, Sarmaşık S., Aydoğan N., Zenginay S. Analysis and assessment of trace elements pollution in sediments of Lake Uluabat. *Journal of Environmental Biology* 961-968, 33, 2012.
- 3) Karaer F., Katip A., **İleri S.**, Sarmaşık S., Aksoy E., Öztürk C. The Spatial and Temporal Changes in Water Quality Parameters of a Shallow Lake. *Environmental Engineering and Management Journal* October 2015, Vol.14, No. 10, 2263-2274.
- 4) Katip A., Karaer F., **İleri S.**, Sarmaşık, S. Uluabat Göl'ünde iz metallerin askıda katı madde ile su arasındaki dağılımının araştırılması. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* Vol 28, No 4, 865-874, 2013.
- 5) Katip A., **İleri S.**, Karaer F. Determination of Trophic State in Lake Uluabat (Bursa-Turkey) *Ekoloji* 24, 97, 24-35, 2015.
- 6) **İleri S.**, Karaer F. Removal of Acute Toxicity with Ozonation in Textile Plant Waste Water. *Journal of Biological & Environmental Sciences* 1-8, (7) 2013.

- 7) Karaer F., Katip A., **İleri S.**, Sarmaşık S., Aydoğan N. Dissolved and particulate trace elements' configuration: case study from a shallow lake. *International Journal of Physical Sciences* 1319-1333, 8, 2013.
- 8) Katip A., Karaer F., **İleri S.**, Onur, S. Akçalar (Musa) Deresi azot ve fosfor yüklerinin mevsimsel değişimi ve Uluabat Gölü'ne etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 71-78 2 (18) 2013.
- 9) Katip A., Özengin N., **İleri S.**, Elmacı A., Karaer F. Uluabat Gölü'nde Sudaki İz Element Kirliliğinin Zamansal Değişiminin (2003-2004 ve 2008-2009) İzlenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering* 85-95, 19, 2014.
- 10) **İleri S.**, Karaer F., Katip A., Onur S. Sığ Göllerde Su Kalitesi Değerlendirmesi, Uluabat Gölü Örneği *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering* 19(1), 49-57, 2014.
- 11) **İleri S.**, Karaer F., Katip A., Onur S., Aksoy E. Assessment of Some Pollution Parameters with Geographic Information System (GIS) in Sediment Samples of Lake Uluabat, Turkey. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 8(22), 19-28, 2014.
- 12) **İleri S.**, Karaer F. Tekstil İşletmesi Atık sularında Fenton Prosesi İle Akut Toksikite Giderimi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering and Architecture* 1-10, 16, 2011.
- 13) Katip A., Karaer F., **Hacısalihoğlu S.**, The role of different kinds of particles on heavy metals in Lake Uluabat sediments. *Environmental Forensics Journal* 17(3), 263-273, 2016. DOI: 10.1080/15275922.2016.1177751.
- 14) **Hacısalihoğlu İleri S.**, Karaer F. , Katip A. Applications of Geographic Information System (GIS) Analysis of Lake Uluabat. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(6), 1-14, 2016. DOI: 10.1007/s10661-016-5332-1.
- 15) **Hacısalihoğlu İleri S.**, Karaer F. Relationships of heavy metals in water and surface sediment with different chemical fractions in Lake Uluabat, Turkey. *Polish Journal of Environmental Science* 25(5), 2016.
- 16) **Hacısalihoğlu İleri S.**, Karaer F. Evaluation of Water Quality in Eutrophic Shallow Lakes: Case Study on Uluabat Lake, Turkey. *Ekoloji*, 2015 (Değerlendirme aşaması).
- 17) Karaer F., Karademirler İ., Çırak A., Atalay T., Topaloğlu Y., Süren C., Cengiz T., Çoğal İ., Tekcan M., Kuybu E., Katip A., Sarmaşık S., **İleri S.** "Sürdürülebilir Su Yönetimi ve Endüstrilere Yönelik Göstergeler", 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi ve Sergisi, Bursa-Türkiye 464-471, Mart 2013.
- 18) Karaer F., Katip A., Aksoy E., **İleri S.**, Sarmaşık S. "Sulak Alanların Önemi, Sorunları ve Uluabat Gölü" Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, Bursa-Türkiye 81-87, Mayıs 2009.

- 19) Sarmaşık S., Karaer F., Katip A., **İleri S.**, Aksoy E. “Uluabat gölü su ve sedimentinde bazı ağır metallerin coğrafi bilgi sistemi ile değerlendirilmesi” 9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Samsun-Türkiye 101-108, Ekim 2011.
- 20) **İleri S.**, Karaer F. “Karacabey Çevre Sorunları” Karacabey Sempozyumu, Bursa-Karacabey , Ekim 2015.
- 21) Katip A., Özen N., **İleri S.**, Elmacı A., Karaer F. “Uluabat Gölü'nde Sudaki İz Element Kirliliğinin Zamansal Değişiminin (2003-2004 ve 2008-2009) İzlenmesi”, VI. Ulusal Limnoloji Sempozyumu, Bursa-Türkiye 61-67, Ağustos 2014.
- 22) **İleri S.**, Karaer F. “Uluabat Gölü Su Kalitesinin Yıllara Göre Değişimi” Eskikaraağaç 11. Leylek Festivali, Bursa-Türkiye, Mayıs 2015.
- 23) Karaer F., Katip A., **İleri S.**, Sarmaşık S., Aksoy E., Özsoy G. “Uluabat Gölü Su Kalitesinin Modellenmesinde Ağır Metal ve Bazı İz Elementlerin Değerlendirilmesi” Uludağ Üniversitesi I. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri Poster Bildiri, Bursa-Türkiye, Kasım 2011.
- 24) Karaer F., Katip KÜÇÜKBALLI A., **İleri S.**, Sarmaşık S. Aksoy E., Özsoy G. “Ağır Metal ve İz element Kirliliğinin Sığ Göllerde Modellenmesi ve Ekolojik Etkisi” Uludağ Üniversitesi I. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri Poster Bildiri, Bursa-Türkiye, Kasım 2011.
- 25) **İleri S.**, Karaer F., Katip A. “Tekstil İşletmesi Atık Sularında Fenton Prosesi ile Akut Toksikite Giderimi” Uludağ Üniversitesi IV. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri Poster Bildiri, Bursa-Türkiye, Kasım 2014.
- 26) **İleri S.**, Karaer F., Katip A. “Sığ Göllerde Su ve Sediment Kalitesi Değerlendirme; Uluabat Gölü Örneği” Uludağ Üniversitesi IV. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri Poster Bildiri, Bursa-Türkiye, Kasım 2014.
- 27) Karaer F., Katip A., **İleri S.**, Onur S. “İklim Değişikliği ve Kentlerde Su Yönetimi” Uludağ Üniversitesi IV. Bilgilendirme ve Ar-Ge Günleri Poster Bildiri, Bursa-Türkiye, Kasım 2014.
- 28) Karaer F., **Hacısalihoğlu İleri S.** “Adoption and Improvement of Urban Sustainable Development Principles” *I. Uluslararası Şehir, Çevre, Sağlık Kongresi, Kuzey Kıbrıs, Mayıs 2016.*
- 29) Karaer F., **Hacısalihoğlu İleri S.** “Uluabat Gölü Su ve Sediment Kalitesinin Değerlendirilmesi” Eskikaraağaç 12. Leylek Festivali, Bursa-Türkiye, 3-5 Haziran 2016.