

**BORABEY GÖLETİNİN TERMAL
KATMANLAŞMA YAPISININ ve ÇÖZÜNMÜŞ
OKSİJEN PROFİLİNİN İNCELENMESİ ve
CE-QUAL-W2 ile MODELLENMESİ**

Enis HASANOĞLU
Yüksek Lisans Tezi

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
OCAK – 2015

JÜRİ ONAYI

Enis HASANOĞLU'nun "Borabey Göletinin Termal Katmanlaşma Yapısının ve Çözünmüş Oksijen Profiline İncelenmesi ve CE-QUAL-W2 ile Modellenmesi" başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 18/12/2014 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç. Dr. Serdar GÖNCÜ
Üye	: Prof. Dr. Erdem Ahmet ALBEK
Üye	: Doç. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylamıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORABEY GÖLETİNİN TERMAL KATMANLAŞMA YAPISININ VE ÇÖZÜNMÜŞ OKSİJEN PROFİLİNİN İNCELENMESİ VE CE-QUAL-W2 İLE MODELLENMESİ

Enis HASANOĞLU

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Serdar Göncü
2015, 113 sayfa**

Termal katmanlaşma konusu su kütlelerinde önemli etkilerinden dolayı üzerinde bir çok araştırmanın yapıldığı konulardan biridir. Özellikle, sucul canlıların yaşam kaynağı olan çözünmüş oksijen başta olmak üzere, birçok su kalitesi parametresi termal katmanlaşma sonucunda olumsuz etkilenmektedir.

Bu çalışma kapsamında 2013-2014 yılları boyunca Borabey göletinin termal katmanlaşma yapısı ve çözünmüş oksijen profilleri incelenmiş, RTRM indeksi kullanılarak termal katmanlaşma sonucu oluşan bölgelerin hacimleri belirlenmiş, bununla birlikte CE-QUAL-W2 modeli kullanılarak 2013-2014 yılları için sıcaklık ve çözünmüş oksijen modellemesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca oluşturulan çeşitli senaryolar sonucunda göletteki su miktarının 2020 yılına kadar nasıl değişim göstereceği araştırılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda Borabey göletinde meydana gelen termal katmanlaşmanın Nisan ayının sonunda oluşmaya başladığı ve Ağustos ayının sonlarına kadar devam ettiği ve göletin monomiktik bir göl olduğu gözlemlenmiştir. Katmanlaşma sonucu oluşan bölgelerin ise, gölün toplam hacmine oranla, yaklaşık %20'lik bir kısmının hipolimniyon, %20'lik bir kısmının metalimniyon ve %60'lık kısmının ise epilimniyon bölgesi olarak nitelendirilebileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca CE-QUAL-W2 modeli kullanılarak gerçekleştirilen modelleme çalışmasıyla hesaplanan sıcaklık ve çözünmüş oksijen verilerinin gözlem verileriyle karşılaştırılması sonucu 2013-2014 yılları için hesaplanan ortalama mutlak hata miktarları sırasıyla 0,77°C ve 1,09 mg O₂/L olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termal Katmanlaşma, Sıcaklık, Çözünmüş Oksijen, CE-QUAL-W2, Bağlı Termal Karışım Direnci (RTRM)

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF THERMAL STRATIFICATION STRUCTURE AND DISSOLVED OXYGEN PROFILES IN BORABEY POND AND MODELING WITH CE-QUAL-W2

Enis HASANOĞLU

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Department of Environmental Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Serdar GÖNCÜ
2015, 113 pages**

Thermal stratification is one of the most important topics on which lots of research carried out because of its significant effects on water bodies. Especially dissolved oxygen which is the source of life for aquatic organisms, and other water quality parameters are affected adversely by thermal stratification.

In this study, thermal stratification structure and dissolved oxygen profiles of Borabey Pond are examined, volumes of thermal stratification zones determined by using RTRM index, and temperature and dissolved oxygen modeled by using CE-QUAL-W2 during the years 2013-2014. In addition, various scenarios were created till 2020 to investigate the changes in the amount of water in the pond.

As a result of the study, thermal stratification in the Borabey Pond was observed to begin by the end of April and to continue until the end of August. The stratification pattern of the pond was found to be as monomictic. As a result of thermal stratification the hypolimnion comprises about 20%, the metalimnion about 20% and epilimnion 60% of the total volume of the pond. The temperature and dissolved oxygen were modeled with CE-QUAL-W2 and absolute mean errors between observed and modeled results were found to be 0.77°C and 1.09 mg O₂/L respectively.

Keywords: Thermal Stratification, Temperature, Dissolved Oxygen, CE-QUAL-W2, Relative Thermal Resistance to Mixing

TEŞEKKÜR

“Borabey Göletinin Termal Katmanlaşma Yapısının ve Çözünmüş Oksijen Profilinin İncelenmesi ve CE-QUAL-W2 ile Modellenmesi” başlıklı bu çalışma Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı yöneten, çalışmanın başlangıcından sonuna kadar bütün aşamalarında ilgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyerek karşılaştığım sorunlara çözümcül yaklaşımlar sunan, önerileriyle çalışmaya katkıda bulunan, her konuda bilgi birikimi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Doç. Dr. Serdar GÖNCÜ’ye

Bilgi ve tecrübelerinden her zaman yararlandığım, çalışmaya fikir ve önerileriyle katkıda bulunan değerli hocam Prof. Dr. Erdem Ahmet ALBEK’e

Manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli dostlarım Halil İbrahim HACIOĞLU ve Alper MERGEN’e

Bugüne kadar daima arkamda olup bana inanan, beni her zaman destekleyen, sonsuz güvenlerini daima hissettiren, maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelebilmemin mimarı olan sevgili annem ve babama, ayrıca bana her konuda destek olan kardeşim Esra HASANOĞLU’ya

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmamı desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve bende önemli izler bırakan, yakın zamanda kaybettiğim amcam Ramazan HASANOĞLU’nun anısına ithaf ediyorum.

Enis HASANOĞLU

OCAK 2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GÖLLERİN FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Göllerdeki Termal Katmanlaşma.....	5
2.2. Termal Göl Sınıfları.....	8
2.3. Termal Katmanlaşmanın Çözünmüş Oksijen Üzerine Etkileri	9
3. CE-QUAL-W2 MODELİ	11
3.1. CE-QUAL-W2 Modelinde Kullanılan Terminoloji	12
3.2. CE-QUAL-W2 Modelinin Yetenekleri.....	13
3.3. CE-QUAL-W2 Modelinin Kısıtları.....	13
3.3.1. Teorik kısıtlamalar	13
3.3.2. Nümerik kısıtlamalar	14
3.4. CE-QUAL-W2 Modelinin Girdi Dosyaları	15
3.4.1. Batimetre dosyası (bth.npt).....	16
3.4.2. Kontrol dosyası (w2_con.npt).....	16
3.4.3. Meteoroloji dosyası (met.npt).....	17
3.4.4. Yağış dosyaları.....	19
3.4.5. Giriş ve çıkış debileri dosyaları	19
3.4.6. Rüzgar korunaklılık katsayısı dosyası	20
3.4.7. Gölge dosyası.....	20

4. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	21
4.1. Termal Katmanlaşma Konusunda Yapılmış Çalışmalar	21
4.2. Matematiksel Modeller Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	23
4.3. CE-QUAL-W2 Modeli Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	25
5. ÇALIŞMA ALANI	27
6. ÇALIŞMA GİRDİLERİNİN TEMİNİ	29
6.1. Borabey Göletinin Batimetrik Haritasının Çıkarılması	29
6.2. Meteorolojik Verilerin Temini	32
6.3. Giriş ve Çıkış Debilerinin Temini	36
6.3.1. Çıkış debisinin hesaplanması.....	38
6.3.2. Giriş debisinin hesaplanması	41
6.4. Derinliğe Bağlı Sıcaklık ve Çözünmüş Oksijen Profillerinin Çıkarılması.....	44
6.5. Giriş Debisinin Sıcaklıkları.....	46
6.6. Su Kalitesi Bileşenlerinin Derişimleri	46
7. CE-QUAL-W2 MODELİNİN UYGULANMASI	48
7.1. Verilerin Hazırlanması.....	48
7.1.1. Batimetre dosyasının hazırlanması	48
7.1.2. Başlangıç koşullarının tanımlanması	51
7.1.3. Meteorolojik verilerin hazırlanması.....	53
7.1.4. Sınır koşullarının tanımlanması	54
7.1.5. Hidrolik parametrelerin tanımlanması	55
7.1.6. Kinetik parametrelerin tanımlanması	56
7.1.7. Kalibrasyon ve validasyon verilerinin hazırlanması	57
7.2. Modelin Çalıştırılması	58
7.3. Modelin Kalibrasyonu	59
7.3.1. Su seviyesinin kalibrasyonu	59
7.3.2. Sıcaklık kalibrasyonu	60
7.3.3. Çözünmüş oksijen kalibrasyonu	70

7.4. Modelin Validasyonu.....	73
8. RTRM İNDEKSİ ve HESAPLANMASI	75
9. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	77
10. TARTIŞMA ve ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	90
Ek-1 CE-QUAL-W2 Modeli Girdi Dosyaları	98
Ek-2 Meteorolojik Parametreler	99
Ek-3 Segmentler Ve Katmanlar.....	100
Ek-4 Çözünmüş Oksijen Denklemleri	103
Ek-5 İstatistiksel Sonuçlar.....	104
Ek-6 Sonuç Grafikleri	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Suyun yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi.....	6
2.2. Göllerde oluşan termal katmanlaşma yapısı ve katmanlar	6
2.3. Rüzgarın termal katmanlaşmaya etkisi	7
2.4. Termal göl sınıflarının enlem-boylama göre dağılımı	9
2.5. Katmanlaşma döngüsünün mevsimsel gösterimi.....	10
3.1. CE-QUAL-W2 modelinde kullanılan (a) segmentler ve (b) katmanlar	12
3.2. Batimetre dosyası örneği	16
3.3 Kontrol dosyası örneği	17
3.4. Meteoroloji dosyası örneği	18
3.5. Yağış dosyası örneği	19
5.1. Borabey göletinin uydu görünümü	27
6.1. SonTek M9 görünümü	30
6.2. Batimetri ölçüm noktaları.....	31
6.3. Borabey göletinin batimetrik haritası.....	31
6.4. (a) DAVIS Vantage Pro 2 cihazının, (b) arazideki konumunun görünümü ...	33
6.5. Hava sıcaklığı, çiğlenme noktası sıcaklığı ve güneş ışınımı miktarlarının değişimi	34
6.6. Borabey göletinin (a) 2013 yılına, (b) 2014 yılına ait rüzgar gülleri	34
6.7. Meteoroloji istasyonunda ölçülen rüzgarların yönü.....	35
6.8. Rüzgar hızlarının (a) 2013 yılına, (b) 2014 yılına ait frekans dağılımları	35
6.9. Kaynak deresi üzerine inşa edilen savak.....	36
6.10. Ölçülen ve hesaplanan su seviyeleri	37
6.11. Borabey göletinin su miktarını etkileyen faktörler	37
6.12. Eskişehir ili tarımsal sulama suyunun yıllık yüzdesel dağılımı.....	38
6.13. 12 Temmuz -12 Ağustos 2013 tarihleri arasında gözlemlenen ve hesaplanan su seviyesi	39
6.14. 12 Temmuz -12 Ağustos 2013 tarihleri arasındaki su seviyesi farkları	40
6.15. Borabey göletinin hesaplanan çıkış debisi miktarları	40
6.16. Borabey ve Keskin göletlerinin konumları.....	41

6.17. D12A088 Keskin-Keskin suyu ölçüm istasyonunda ölçülen ve hesaplanan debiler	42
6.18. Borabey göletini besleyen havza ve alt havzaları	43
6.19. Borabey göletinin 2013-2014 yıllarına ait hesaplanan giriş debileri	44
6.20. (a) CastAway CTD (b) Hach HQ40d cihazlarına ait görünümeler	44
6.21. 2013 ve 2014 yılları içerisinde ölçüm yapılan noktalar	45
7.1. Borabey göletinde (a) oluşturulan segmentler (b) profil alınan çizgiler	49
7.2. Kota bağlı, gerçek alan ve model alanı karşılaştırılması.....	51
7.3. Kota bağlı, gerçek hacim ve model hacmi karşılaştırılması.....	51
7.4. 24.04.2013 tarihli ölçüm çalışması derinlik-sıcaklık profil sonuçları.....	52
7.5. 24.04.2013 tarihli ölçüm çalışması derinlik-çözünmüş oksijen profil sonuçları	52
7.6. CE-QUAL-W2 modelinde kullanılan hidrolik parametreler.....	56
7.7. Çözünmüş oksijen miktarını etkileyen bileşenler.....	57
7.8. (a) 2013 ve (b) 2014 yılları içerisinde ölçüm yapılan noktalar	58
7.9. 2013-2014 yıllarının kalibrasyonsuz ve kalibrasyonlu su seviyeleri	60
7.10. Model ile gözlem sonuçlarının (a) kalibrasyonsuz hali, (b) BETA ve EXH2O parametrelerinin kalibrasyonu sonrası	69
7.11. Model ile gözlem sonuçları: (a) 6 numaralı havalandırma denklemi, (b) 8 numaralı havalandırma denklemi sonucu	72
8.1. RTRM indeksinin kullanımı	75
9.1. Borabey göletinin sıcaklık,çözünmüş oksijen ve RTRM profilleri	77
9.2. Sıcaklık ölçüm sonuçlarının model sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	79
9.3. Çözünmüş oksijen ölçüm sonuçlarının model sonuçlarıyla karşılaştırılması. 79	
9.4. 25 Temmuz 2013 tarihli çalışma sonuçları	80
9.5. Termal katmanlaşma sonucu oluşan bölgelerin hacimleri	81
10.1. Farklı senaryolar sonucu elde edilen su miktarları	88
10.2. Gölette kalan su yüzdeleri	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
5.1. Borabey göleti teknik bilgiler	28
6.1. Hacim-alan-yükseklik çizelgesi	32
6.2. Borabey göletinin alt havza alanları.....	43
7.1. CE-QUAL-W2 modelinin sıcaklık kalibrasyon parametreleri	61
7.2. CE-QUAL-W2 modelinin kalibrasyonu sonucunda elde edilen sıcaklık parametreleri.....	62
7.3. Sıcaklık parametrelerinin duyarlılık analizi	65
7.4. Parametrelerin etki yüzdeleri.....	65
7.5. Kalibrasyon öncesi ve sonrası ortalama mutlak hata değerleri	67
7.6. Farklı çalışmalara ait ortalama mutlak hatalar.....	68
7.7. SOI kalibrasyonu sonrası.....	70
7.8. Farklı havalandırma denklemleri kullanılarak hesaplanan istatistiksel sonuçlar	71
7.9. Çözünmüş oksijen ortalama mutlak hata değerleri	73
7.10. 2014 yılı için hesaplanan ortalama mutlak hatalar.....	74
9.1. Borabey göletinin 2013 ve 2014 yıllarındaki termal katmanlarının hacimleri.....	82
10.1. Oluşturulan senaryolar	87
10.2. Senaryoların eğilim çizgisi denklemleri.....	88

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ADCP	: Acoustic Doppler Current Profiler
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CSV	: Comma-Separated Values
D	: Damla Sulama Yöntemi
DSİ	: Devlet Su İşleri
Exe	: Executable
GLVHT	: Generalized Longitudinal-Vertical Hydrodynamic and Transport Model
GNSS	: Global Navigation Satellite System
HSPF	: Hydrological Simulation Program Fortran
K	: Kurak Sezon
LARM	: Laterally Averaged Reservoir Model
L-DOM	: Labile Dissolved Organic Matter
L-POM	: Labile Particulate Organic Matter
Npt	: Girdi dosyası uzantısı
NSE	: Nash Sutcliffe Efficiency
Opt	: Çıktı dosyası uzantısı
R-DOM	: Refractory Dissolved Organic Matter
R-POM	: Refractory Particulate Organic Matter
RTRM	: Relative Thermal Resistance to Mixing
RWCS	: Relative Water Column Stability
S	: Sulak Sezon
SOİ	: Sediment Oksijen İhtiyacı
SVT	: Su Veri Tabanı
TOC	: Total Organic Carbon
WGS	: World Geodetic System
WDM	: Watershed Data Management
WSC	: Wind Sheltering Coefficient
Y	: Yağmurlama Sulama Yöntemi

1. GİRİŞ

Sıcaklık su kütlelerinin en önemli fiziksel özelliklerinden birisidir çünkü sıcaklık su kütlelerinin; yoğunluk, buhar basıncı, viskozite, çözünmüş oksijen derişimi, kimyasal ve biyolojik reaksiyon kinetikleri gibi parametrelerini önemli derecede etkilemektedir. Kuzey yarım kürede ilkbahar mevsiminin ortalarında hava sıcaklıklarının ve güneş ışınımı miktarının artmasıyla birlikte su kütlelerinin yüzeyleri ısınmaya başlamakta ve zamanla yüzeydeki su sıcaklığı derinlere göre daha yüksek olmaktadır. Isınan yüzey sularının yoğunluğu derinlere göre daha düşük olmaktadır. Bu durum bölge bölge farklı yoğunluklara sahip su kütlelerini meydana getirmektedir. Su kütlelerinin yoğunluk farkından dolayı sıralanması sonucu termal katmanlaşma adı verilen durum meydana gelmektedir. Özellikle, sucul canlıların yaşam kaynağı olan çözünmüş oksijen başta olmak üzere, bir çok su kalitesi parametresi termal katmanlaşma sonucunda olumsuz etkilenmektedir. Göllerde termal katmanlaşmanın oluşmasıyla birlikte çözünmüş oksijenin hipolimniyon tabakasına transferi engellenmektedir. Ayrıca derinliğe bağlı olarak yeterli miktarda ışık olmaması sebebiyle fotosentez yapan bitkiler ve alglerin oksijen üretimleri de kısıtlanmaktadır. Bunun yanı sıra termal katmanlaşma sonucunda oluşan anoksik koşullarda fosfor ve amonyak azotunun çözünlüğü artmakta ve bu besinler dip sedimentten hipolimniyon bölgesine salınmaktadır. Bu durumun sonucunda, özellikle karışım dönemlerinde, besin maddelerinin derişimlerindeki artışla birlikte alg patlamaları meydana gelebilmektedir. Termal katmanlaşmanın bir diğer etkisi de balıklar üzerinedir. Oksijen seviyesindeki düşüşle birlikte göllerdeki balık sayısında ve balık çeşitliliğinde bir azalma meydana gelmektedir. Yukarıda bahsedilen özelliklerinden dolayı göllerdeki termal katmanlaşma konusu, üzerinde çalışılması gereken önemli konulardan biri haline gelmiştir.

Bu çalışma kapsamında 2013-2014 yılları boyunca Borabey göletinin termal katmanlaşma yapısı ve çözünmüş oksijen profilleri incelenmiş, bağıl termal karışım direncini ifade eden RTRM (Relative Thermal Resistance to Mixing) indeksi kullanılarak termal katmanlaşma sonucu oluşan bölgelerin hacimleri belirlenmiş, bununla birlikte CE-QUAL-W2 modelinin 3.7 versiyonu kullanılarak 2013-2014

yılları için sıcaklık ve çözünmüş oksijen modellemesi gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışması için 2013-2014 yılları boyunca çeşitli tarihlerde çözünmüş oksijen ve sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiş, 2013 yılının ölçüm verileri modelin sıcaklık ve çözünmüş oksijen parametrelerinin kalibrasyonunda, 2014 yılının ölçüm verileri ise modelin sınanmasında kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada göllerdeki termal katmanlaşma, termal katmanlaşmanın etkileri ve CE-QUAL-W2 modeli hakkında bilgiler verilmiş, modelin çalışması için gerekli olan veri türlerinden ve temin edilme şekillerinden bahsedilmiş, modelin uygulanma aşamalarına, elde edilen sonuçlara ve oluşturulan çeşitli senaryolar sonucunda göletteki su miktarının 2020 yılına kadar nasıl değişim göstereceğine değinilmiştir.

2. GÖLLERİN FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Göllerin; tarım alanlarını sulama, içme ve kullanma suyu sağlanması, taşımacılık, elektrik üretimi, su ürünlerinin yetiştirilmesi, tuz ve soda üretimi ve turizm amaçlı kullanılması gibi faydaları mevcuttur.

Bir göl incelenirken; ortalama derinliği, uzunluğu, genişliği, yüzey alanı, su hacmi, kıyı şeridinin uzunluğu, su seviyesi ve bulunduğu kotun bilinmesi gerekmektedir. Yukarıda belirtilen özelliklerin birçoğu batimetre haritasından yararlanılarak saptanabilmektedir.

Bir gölün batimetre haritası, gölün fiziki yapısının derinliklere göre çizgiler halinde gösterildiği haritadır. Bu haritadan yararlanılarak gölün yüzey alanı, maksimum uzunluğu, ortalama uzunluğu, maksimum genişliği, ortalama genişliği, maksimum derinliği, ortalama derinliği, kıyı şeridi uzunluğu ve su hacmi belirlenebilmektedir.

Bir gölün hacmi; giriş ve çıkış debilerine, yeraltı sularıyla beslenmesine, sızıntılara, buharlaşma ve yağış miktarlarına bağlı olarak mevsimsel değişimler gösterebilmektedir.

Derinlik, göllerin trofik seviyelerini etkileyen önemli parametrelerden biridir (Çevlik ve Elibol, 2009). Bir gölün ortalama derinliği, göl hacminin, yüzey alanına oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Gölün uzunluğu ise iki kıyısı arasındaki en uzak mesafedir.

Göllerin fiziksel karakteristikleri incelendiğinde göl kütleleri iki ana bölüme ayrılmaktadır. Bu bölümlerden birincisi, ışığın sediment yüzeyine kadar etki ettiği sığ bölge (littoral zone)'dir. Işığın sediment tabanına etki edemediği sınır derinlikten başlayan ve dibe kadar inen ikinci bölge ise limnetik bölge (limnetic zone)'dir (Nevers ve Whitman, 2005).

Işık geçirimsizliği (light penetration) su kütleleri için önemli bir fiziksel parametredir. Su kütlelerine etki eden ışık miktarı, fotosentetik reaksiyonların enerji kaynağıdır ve farklı derinliklerde meydana gelen fotosentez miktarını belirlemektedir (Weiner ve Matthews, 2003). Ayrıca ışık suyun sıcaklığını da etkilemektedir (Nevers ve Whitman, 2005). Secchi disk derinliği göllerdeki ışık

geçirgenliğinin bir ölçüsüdür. Çözünmüş organik madde derişimleri yüksek olan göl sularında ışığın etkisi daha da azalmaktadır (Weiner ve Matthews, 2003).

Işık, su kütlesi boyunca saçılıma uğramaktadır. Göl yüzeyindeki ışık miktarının %1'i kadar ışık alan derinlik, dengeleme derinliği (compensation depth) olarak tanımlanmaktadır. Bu noktada sucul canlıların solunum miktarı, fotosentez miktarına eşittir. Dengeleme derinliğinin üzerinde yer alan bölge fotik bölge veya trofojenik bölge (photic zone veya trophogenic zone) olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede bitkilerin üretimleri, tüketimlerinden daha fazladır. Dengeleme derinliğinin altında yer alan bölge ise afotik bölge veya tropolitik bölge (aphotic zone veya tropholytic zone) olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgede ise besin tüketimi, besin üretiminden daha fazladır (Nevers ve Whitman, 2005).

Göllerin su sıcaklığının, su kimyası ve sucul canlıların yaşamları üzerinde önemli etkileri vardır. McKee ve Wolf (1963) bu etkileri şöyle özetlemiştir.

- Yüksek sıcaklık oksijenin çözünürlüğünü azaltarak, sudaki oksijen derişimini düşürmektedir.
- Yüksek sıcaklık sucul canlıların metabolizmalarını hızlandırarak oksijen gereksinimlerini artırmaktadır.
- Toksik maddelerin etkileri sıcaklıkla birlikte artış göstermektedir.
- Yüksek sıcaklıklarda organik maddelerin bozunması ve mantarların üremesi sonucu balıklar için istenmeyen durumlar ortaya çıkmaktadır.
- Çözünmüş oksijen seviyesinin uygun olduğu koşullarda dahi, her bir balık türünün ve diğer sucul canlıların yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebildiği bir sıcaklık değeri vardır.
- Sıcaklık değerinin artış göstermesi termal katmanlaşmaya sebep olmaktadır. Termal katmanlaşma atmosferik oksijenin, suyun derin kısımlarına iletilmesine engel olmaktadır.

Göllerin bir diğer önemli fiziksel özelliği de bekleme süresidir (retention time). Bekleme süresi, suyun göldeki ortalama kalış süresidir. Göllerin boyutları, su kaynakları ve havza alanları bekleme sürelerini etkileyen önemli faktörlerdir. Suların hızlı değişimleri, göldeki besinlerin hızlıca uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Shaw ve ark., 2004).

Göllerdeki su hareketleri, akarsulara göre daha yavaş olduğu için göllerin doğal yollardan havalanması daha zordur. Suyun yavaş hareketi sonucunda sediment ve kirleticiler mansap yönüne taşınmaktan çok göl tabanına çökelirler (Weiner ve Matthews, 2003).

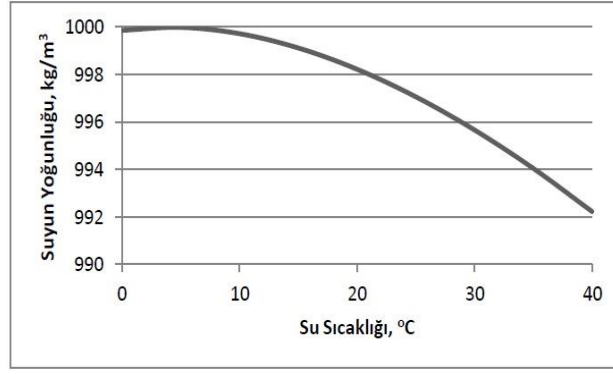
2.1. Göllerdeki Termal Katmanlaşma

Su sıcaklığının göllerdeki kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar üzerinde önemli etkileri vardır. Su sıcaklığı, su kütlesinin taşınımının önemli bir izleyicisi olması açısından da ayrıca bir öneme sahiptir. Ayrıca ısı dengesi de tatlı suların düşey karışım oranlarının belirlenmesinde birincil araçtır (Chapra, 1997).

Ilıman göllerin termal rejimleri iki temel sürecin etkisi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi gölün yüzeyindeki ısı ve momentum transferi, ikincisi ise yerçekimi kuvvetlerinin göldeki yoğunluk farklılıkları üzerine etki etmesidir.

Güneş ışınımı, hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve bulutluluk gibi parametrelere bağlı olarak değişen ısı transferi miktarı; mevsimsel değişimlere göre yüzeysel suların sıcaklığını artırmakta veya azaltmaktadır. Su yüzeyinin üzerinde esen rüzgarlar yüzeysel suların karışmasını sağlamasının yanı sıra ısı transferinin ve momentumun düşey yönlü taşınımını da sağlamaktadır. Rüzgarın etkisiyle meydana gelen karışımın boyutu suyun kaldırma etkisiyle sınırlanmaktadır. Bu durum göl sularının farklı sıcaklıklarda, farklı yoğunluklara sahip olmasına bağlıdır. Suyun sıcaklığı, yoğunluğunu etkileyen önemli parametrelerden biridir (Chapra, 1997).

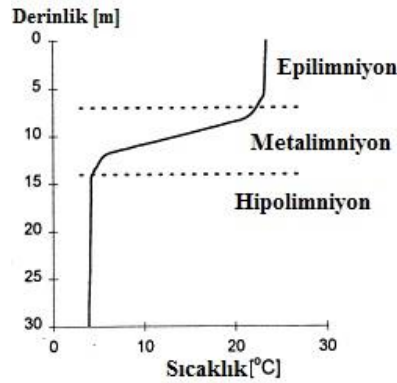
Suyun en yoğun olduğu sıcaklık $+4^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu değerinin altında veya üzerindeki sıcaklıklarda suyun yoğunluğu düşmektedir. Suyun yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Suyun yoğunluğunun sıcaklıkla değişimi (Hasanoğlu, 2012)

Su sıcaklığının, su yoğunluğu üzerinde önemli bir parametre olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bir su kütesinde sıcaklık değişimlerine bağlı olarak bölge bölge farklı yoğunluklarda su kütleleri oluşmaktadır. Daha soğuk ve yoğun olan sular göllerin alt kısımlarında, daha sıcak ve yoğunluğu daha az olan sular ise göllerin üst kısımlarında yer almaktadır (Chapra, 1997). Göl sularının yoğunluklarına bağlı olarak sıralanması sonucu “termal katmanlaşma” adı verilen durum ortaya çıkmaktadır.

Termal katmanlaşmayla birlikte göl suları epilimniyon, metalimniyon ve hipolimniyon olarak adlandırılan katmanlara ayrılmaktadır. Epilimniyon tabakasında rüzgar ve dalga hareketleri nedeniyle sürekli bir karışım söz konusudur ve suyun sıcaklığı bu tabakada genelde sabittir. Hipolimniyon tabakasında ise daha yoğun sular bulunmakta ve üst katmanlara göre daha soğuk olmaktadır. Sıcaklık gradyanının olduğu bölge ise metalimniyon olarak adlandırılmaktadır (Bkz. Şekil 2.2).

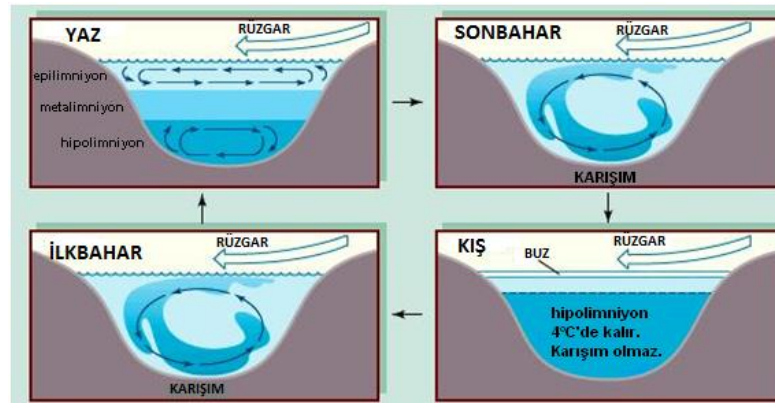


Şekil 2.2. Göllerde oluşan termal katmanlaşma yapısı ve katmanlar

Kuzey yarım kürede özellikle ilkbahar mevsiminde, güneş ışınımı ve hava sıcaklıklarının artmasıyla birlikte yüzey suları ısınmaya başlamaktadır. Bu durumun sonucunda da göllerde termal katmanlaşma yapısı oluşmaya başlamaktadır. İlkbahar mevsiminin sonu ve yaz mevsiminin başlangıç döneminde ise yüzeysel ısınma miktarı daha da artmakta ve katmanlaşma yapısı daha güçlü bir hal almaktadır (Chapra, 1997).

Yaz mevsiminin ortalarında su yüzeyindeki günlük net ısı akısı miktarı azdır. Metalimniyon bölgesinin derinliği, yavaş yavaş artmasına rağmen epilimniyon ve hipolimniyon bölgeleri arasındaki yoğunluk gradyanı güçlü ve sabit kalmaya devam etmektedir (Chapra, 1997).

Yaz mevsiminin sonlarında ve sonbahar mevsiminde hava sıcaklıklarının azalmasına bağlı olarak su kütleleri ısı kaybetmeye başlamaktadır. Yüzey suları soğudukça, daha yoğun hale gelmekte ve epilimnetik tabakanın altına doğru taşınmaya başlamaktadırlar. Bu durumun kararsız olması neticesinde “konveksiyon” olarak adlandırılan, güçlü bir düşey karışım gerçekleşir. Sonbahar mevsiminde suların soğumaya devam etmesi ve rüzgarların artmasıyla birlikte termal katmanlaşma yapısı tamamen bozulmaktadır. Bu durum sonbahar karışımı olarak adlandırılmaktadır (Chapra, 1997). Rüzgarın termal katmanlaşmaya olan etkisi Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3. Rüzgarın termal katmanlaşmaya etkisi (Serbes ve Kavas, 2013)

Kış mevsiminde de göl suları soğumaya devam etmekte ve termal katmanlaşma yapısı bozularak tam karışım meydana gelmektedir. Bazı durumlarda ise yüzeydeki su sıcaklığı $+4^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşmekte ve ters katmanlaşma meydana

gelmektedir. Gölde buz oluşumunun gözleendiği durumlarda ters katmanlaşma yapısı daha da güçlü bir hal almaktadır (Chapra, 1997).

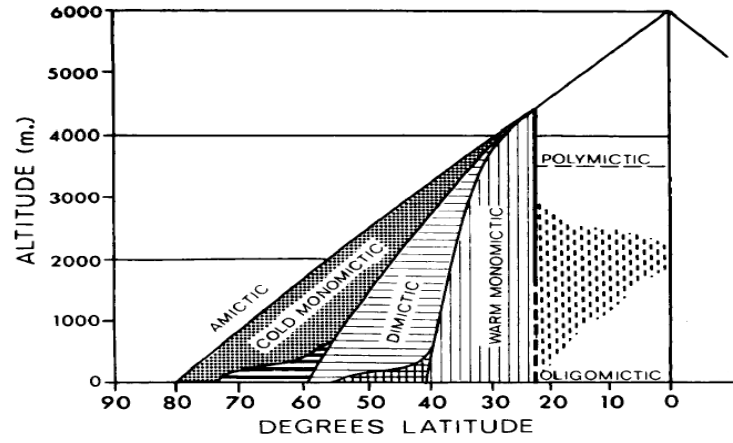
Özet olarak göl sıcaklıklarındaki mevsimsel değişimlere bağlı olarak göllerde iki aşamadan meydana gelen bir döngü oluşur. Birinci aşamada ilkbahar mevsiminin sonlarında başlayan katmanlaşma yapısı yaz mevsiminde güçlü bir hal almakta, ikinci aşamada ise sonbahar ve kış mevsimlerindeki soğumanın ardından meydana gelen karışımla katmanlaşmanın bozulması ve bazı durumlarda ters katmanlaşmanın meydana gelmesi olayı görölmektedir.

2.2. Termal Göl Sınıfları

Göller termal katmanlaşma ve karışım rejimlerine göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar. Bu sınıflar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

- **Amiktik göller:** Amiktik göller, katmanları arasında sıcaklık farkı olmayan göllerdir. Amiktik göllerin yüzeyinde kalın bir buz tabakası mevcuttur. Bu göl tipleri genellikle yüksek enlemlerde ve kutuplarda bulunurlar.
- **Soğuk monomiktik göller:** Bu göllerin sıcaklıkları $+4^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmez ve bu göllerde yılda bir kez karışım görölmektedir.
- **Sıcak monomiktik göller:** Bu göllerin sıcaklıkları $+4^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindedir ve bu göllerde de yılda bir kez karışım görölmektedir.
- **Dimiktik göller:** Bu sınıftaki göllerde yılda iki kez karışım görölmektedir ve genellikle soğuk enlemlerde bulunmaktadırlar.
- **Polimiktik göller:** Bu sınıfa giren göllerin çok sayıda karışım periyodu mevcuttur. Sığ göller genellikle bu sınıfa girerler.
- **Oligomiktik göller:** Bu sınıfa giren göllerin suları her derinlikte sıcaktır ve düzensiz bir şekilde değişim göstermektedirler.

Termal göl sınıflarının enlem ve boylama göre coğrafik dağılımı Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Termal göl sınıflarının enlem-boylama göre dağılımı (Kalff, 2002)

2.3. Termal Katmanlaşmanın Çözünmüş Oksijen Üzerine Etkileri

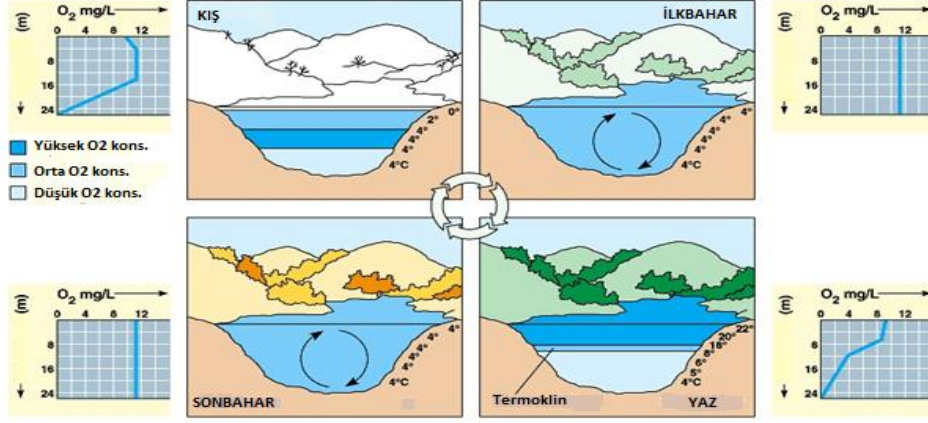
Göllerin en önemli su kalitesi parametrelerinden biri de çözünmüş oksijendir. Serbest çözünmüş oksijenin olmadığı durumlarda göl ve akarsularda yaşayan balıklar ve omurgasızlar gibi aerobik organizmaların yaşamsal faaliyetleri olumsuz etkilenmektedir. Oksijen sucul canlılar için önemli bir bileşen olmasına rağmen, suda düşük çözünürlüğe sahiptir. Oksijenin sudaki çözünürlüğü su sıcaklığıyla ters orantılıdır. Oksijen çözünürlüğünün maksimum olduğu su sıcaklığı 0°C'dir ve bu sıcaklıkta oksijenin çözünürlüğü 14.6 mg/L'dir. Oksijenin sudaki doyum miktarı sıcaklığın artması ile birlikte hızla düşmektedir (Weiner ve Matthews, 2003). Göllerde çözünmüş oksijenin düşey dağılımı termal katmanlaşmaya ve biyolojik aktivitelere bağlıdır.

Göllerde yaşayan balıkların metabolik faaliyetleri, su sıcaklığının artması ile birlikte artış göstermektedir. Metabolik faaliyetlerinin artması sonucunda balıklar daha fazla çözünmüş oksijene ihtiyaç duyarlar. Mallya (2007) balıkların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan minimum çözünmüş oksijen miktarının 5 mg/L olduğunu belirtmiştir.

Göllerde termal katmanlaşmanın oluşmasının ardından meydana gelen metalimniyon tabakası, göl sularının karışmasını önleyerek atmosferden kazanılan oksijenin hipolimniyon tabakasına transferini engellemiş olur. Bunun yanı sıra termal katmanlaşma sonucunda hipolimniyon tabakasına ışığın geçişinin de engellenmesiyle birlikte, yeşil bitkiler tarafından üretilen fotosentetik oksijenin

üretimi de engellenmiş olur. Özellikle katmanlaşmanın güçlü olduğu yaz mevsiminde, gölde var olan çözülmüş oksijenin organik maddeleri parçalayan bakteriler tarafından tüketilmesiyle birlikte hipolimniyon tabakası oksijen açısından oldukça fakir bir hal almaktadır (Bengtsson ve ark., 2012).

Termal katmanlaşmanın olduğu dönemlerde ve karışım dönemlerinde, derinliğe bağlı çözülmüş oksijen profillerinin değişimi Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Katmanlaşma döngüsünün mevsimsel gösterimi (Serbes ve Kavas, 2013)

3. CE-QUAL-W2 MODELİ

CE-QUAL-W2 boylamsal ve düşey yönlü olmak üzere iki boyutlu, hidrodinamik ve su kalitesi modelidir. Model, yanal alanların homojen olduğunu varsayması açısından uzun ve dar su kütleleri için daha uygun görülmektedir. CE-QUAL-W2 modeli akarsulara, göllere, havzalara, haliçlere ve bunların bir arada buldukları sistemlere de uygulanabilmektedir (Cole ve Wells, 2013).

CE-QUAL-W2 modelinin temelleri ilk olarak 1975 yılında Edinger ve Buchak (1975) tarafından geliştirilen, İngilizce isminin kısaltması LARM (Laterally Averaged Reservoir Model) olan, “Yanal Ortalamalı Rezervuar Modeli” isimli modelle atılmıştır. LARM modeli tek bir kol yapısından oluşan sistemler için uygun bir model olarak ortaya çıkmıştır. Daha sonraları bu model birden fazla kol yapısından oluşan sistemleri modelleyecek şekilde geliştirilerek, İngilizce isminin kısaltması GLVHT (Generalized Longitudinal-Vertical Hydrodynamics and Transport Model) olan, “Genelleştirilmiş Boylamsal-Düşey Hidrodinamik ve Taşınım Modeli” ismini almıştır. GLVHT modeline su kalitesi algoritmalarının da eklenmesiyle birlikte CE-QUAL-W2 modelinin 1.0 versiyonu 1986 yılında yayınlanmıştır (Batick, 2011).

Modelin doğruluğunu ve etkinliğini artırmak adına gerçekleştirilen kod değişiklikleri ile birlikte çeşitli güncellemeler yapılmasının ardından CE-QUAL-W2 modelinin 2.0 versiyonu yayınlanmıştır (Batick, 2011).

Birden çok su kütlesi ve bileşen üzerinde çalışma yeteneğinin eklenmesi, sayısal çözümlerle ilgili şemalardaki ve su kalitesi algoritmalarındaki güncellemelerle birlikte CE-QUAL-W2 modelinin 3.0 versiyonu yayınlanmıştır (Batick, 2011).

Modelin son olarak yayınlanan 3.71 versiyonu kullanımda olup, 4.0 Beta versiyonunun 2014 yılının ortalarında yayınlanmıştır. Borabey göletinde gerçekleştirilen modelleme çalışması kapsamında CE-QUAL-W2 modelinin şu anda güncel olan 3.71 versiyonu kullanılmıştır.

3.1. CE-QUAL-W2 Modelinde Kullanılan Terminoloji

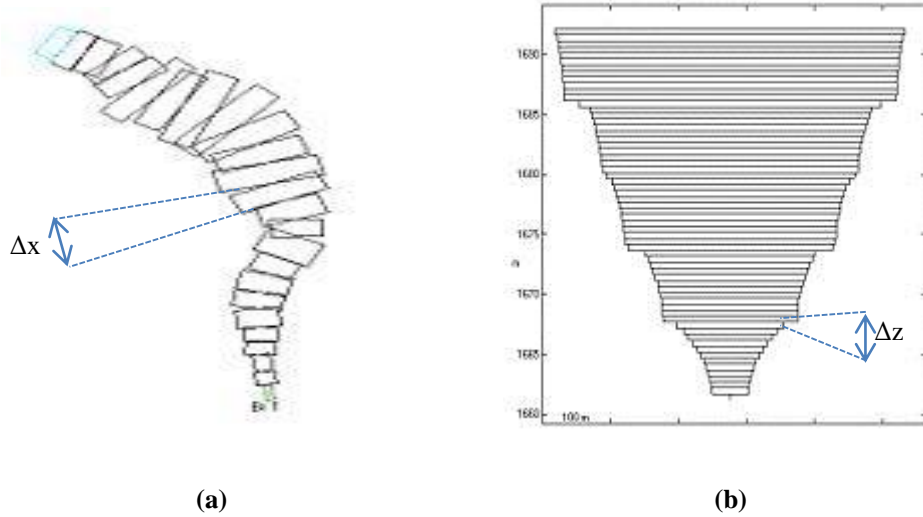
Su Kütleleri (Waterbodies): Benzer su kalitesi parametrelerine ve karışım dinamiklerine sahip, aynı meteorolojik etkiler altında kalan model kollarının bir araya gelerek oluşturduğu yapılardır. Örneğin bir rezervuar veya akarsu farklı su kütleleridir. Hatta bir rezervuarın farklı meteorolojik koşullara maruz kalan kısımları da farklı birer su kütlesi olarak değerlendirilebilmektedir.

Kollar (Branches): Farklı eğimlere sahip model segmentlerinin bir araya gelerek oluşturduğu yapılardır. Bir akarsu su kütlesi, farklı eğimlere sahip birçok koldan meydana gelebilmektedir. Bir rezervuarın yan çıkıntıları da farklı model kolları olabilmektedir.

Segmentler (Segments): Belirli bir Δx uzunluğuna sahip olan boylamsal hücrelerdir.

Katmanlar (Layers): Belirli bir Δz yüksekliğine sahip olan düşey hücrelerdir (Cole ve Wells, 2013).

Segment ve katmanların şematik olarak görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. CE-QUAL-W2 modelinde kullanılan (a) segmentler ve (b) katmanlar

3.2. CE-QUAL-W2 Modelinin Yetenekleri

CE-QUAL-W2 modeli; su yüksekliklerini, su hızlarını, su sıcaklıklarını ve su kalitesi bileşenlerinin derişimlerini tahmin edebilmektedir. Su kalitesi bileşenleri modellenirken istenilen bileşenler eklenebilmekte veya çıkarılabilmektedir. Ayrıca bileşenlerin herhangi bir kombinasyonu kullanılarak da modelleme yapılabilmektedir. Model farklı akarsu kolları ve su kütlelerinden meydana gelen akarsu, haliç ve rezervuarlar için de kullanılabilir. Modelin çalışması için gerekli olan minimum veriler; giriş ve çıkış debi miktarları, meteorolojik veriler ve su kütlesine ait başlangıç koşullarıdır (Batick, 2011).

Sıcaklık parametresi hidrodinamik ve su kalitesi parametreleri üzerinde önemli bir etken olması sebebiyle her çalışma için gereklidir ve modelde devre dışı bırakılamamaktadır. Bunun yanı sıra yapılacak çalışmada su kalitesi parametreleri modellenmeyecekse, su kalitesi bileşenleri devre dışı bırakılarak modelin çalışma hızı artırılabilir. Su kalitesi parametrelerinin modellenmesi ile ilgili olan kısım; inorganik askıda katı gruplarını, fitoplankton gruplarını, epifiton gruplarını, karbonsal biyokimyasal oksijen ihtiyacını, organik maddeleri ve fosfor, amonyak, nitrit, nitrat gibi besin maddelerini de içermektedir (Batick, 2011).

3.3. CE-QUAL-W2 Modelinin Kısıtları

CE-QUAL-W2 modelinin teorik ve nümerik olmak üzere bazı kısıtları mevcuttur. Bu kısıtlar aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

3.3.1. Teorik kısıtlamalar

CE-QUAL-W2 modelinin hidrodinamik ve taşınım hesaplamaları için kullandığı temel denklemler, yanal ve katman ortalamalıdır. Yanal ortalamanın kullanılması; su hızlarının, su sıcaklıklarının ve bileşenlerin yanal değişimlerini ihmal edilebilir kabul etmektedir. Bu varsayım, su kalitesinde önemli yanal değişimler gösteren büyük su kütleleri için uygun olmayabilmektedir.

Su kütlesindeki türbülansı modellemek için ise türbülans katsayıları kullanılmaktadır. Kullanıcı, modelde yer alan ve farklı hesaplama yöntemlerine

dayalı olan düşey türbülans seçeneklerinden birisini modellenen sisteme uygun olacak şekilde seçmek durumundadır.

Düşey momentumun modele dahil edilmemiş olması, önemli derecede düşey ivmeye sahip su kütlelerinde hatalı sonuçların ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir (Cole ve Wells, 2013).

Sucul ekosistemlerin oldukça karmaşık olan su kalitesi etkileşimleri, modelleme için basitleştirilerek kullanılmıştır. Gelecekte yapılacak geliştirmeler ile sucul ekosistemlerin matematiksel olarak daha doğru bir şekilde tanımlanması amaçlanmaktadır (Cole ve Wells, 2013).

CE-QUAL-W2 modelinde sediment oksijen ihtiyacı (SOI) seçeneği kullanıcıya bırakılmıştır. SOI, modelde sadece sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Birinci dereceden model organik maddenin su kolonu içerisinde çökmesine bağlı olmakla birlikte bu durumda sadece kararsız, oksik, sediment bozunması modellenmektedir. Ayrıca modelin sediment ve sediment-su ara yüzündeki kinetikleri modelleyen bölümü bulunmamaktadır. Bu durum da uzun vadeli su kalitesi tahminleri için bir kısıt oluşturmaktadır (Cole ve Wells, 2013).

3.3.2. Nümerik kısıtlamalar

CE-QUAL-W2 modeli, bileşenler ve sıcaklık için üç farklı nümerik taşınım algoritması seçeneği sunmaktadır. Bunlar; “upwind differencing”, “the higher-order QUICKEST” ve “Leonard’s ULTIMATE” algoritmalarıdır. “Upwind differencing” algoritması genellikle nümerik difüzyonu, fiziksel difüzyondan daha yüksek tanımlamaktadır. “The higher-order QUICKEST” algoritması ise nümerik difüzyon miktarını düşürmekte fakat yüksek gradyanların olduğu bölgelerde çok yüksek veya çok düşük uç değerler hesaplayarak, çok düşük negatif konsantrasyonların ortaya çıkmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu problemin çözümü için modelin 3. versiyonuna “Leonard’s ULTIMATE” algoritması eklenerek çok yüksek veya çok düşük uç değerler ortadan kaldırılmıştır (Cole ve Wells, 2013).

Tek bir rezervuar için yapılan uzun dönemli su kalitesi modellemesi birkaç dakika sürebileceği gibi, büyük bir akarsu havzasındaki birçok su kütlelerini içeren bir modelin çalışması günlerce sürebilmektedir. Model bilgisayar ortamında

çalıştırılırken dinamik bellek atamasını kullandığından, simülasyon için gerekli olan bellek model çalıştırıldığı anda belirlenmektedir. Windows 32-bit sistemine sahip bilgisayarların sanal bellekleri 2 GB olarak sınırlandırılmıştır. Yapılacak olan çalışmaya göre kullanılan sistem daha büyük bellek gerektiriyorsa 64-bitlik bilgisayar sistemlerinin kullanılması daha uygundur (Cole ve Wells, 2013).

3.4. CE-QUAL-W2 Modelinin Girdi Dosyaları

CE-QUAL-W2 modeli ascii-txt tabanlı hazırlanan ve “.npt” uzantısına sahip girdi dosyalarının Intel Visual FORTRAN V12.1 kullanılarak oluşturulan ve dosya isminde “IVF” kısaltması yer alan bir yürütme (exe) programı tarafından okunması prensibiyle çalışmaktadır. Model çalıştırılıp girdi dosyalarının yürütme programı tarafından okunmasının ardından, yine ascii-txt tabanlı olan ve “.opt” uzantısına sahip sonuç dosyaları oluşturulmaktadır.

Her bir girdi dosyası, bu dosyayı tanımlayan ve bilgi veren iki adet satırla başlamaktadır. Bu satırlar program çalıştırıldığında dikkate alınmamaktadır. Girdi dosyalarının devamı ise 3 satırdan oluşan ve kart (card) olarak adlandırılan gruplar halinde devam etmektedir. Bu gruplarda ilk satır boş bırakılır ve bir önceki karttan ayırıcı görevi görür. İkinci satır girdi kartını tanımlamakta ve girdi kartıyla ilgili olan FORTRAN değişken adlarını içermektedir. Üçüncü satır ise ikinci satırda yer alan değişken isimlerinin değerlerini içermektedir. İkinci ve üçüncü satırlardaki her bir girdi alanı 8 karakter uzunluğu göz önünde bulundurularak sağa dayalı olarak oluşturulmaktadır (Cole ve Wells, 2013).

CE-QUAL-W2 modelinin kullanım amacına göre farklı girdi dosyaları olmasına karşın en temel ve en önemli 3 adet ana girdi dosyaları;

- kontrol dosyası – w2_con.npt,
- batimetre dosyası – bth.npt ve
- meteoroloji dosyası – met.npt şeklindedir.

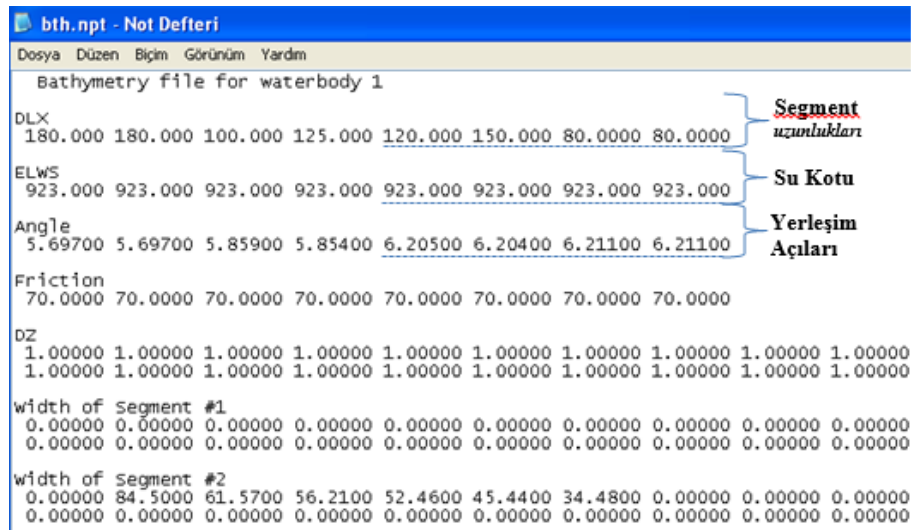
CE-QUAL-W2 modelinin kullandığı girdi dosyalarından bazıları genel hatlarıyla aşağıda açıklanmaktadır. Ayrıca modelde kullanılan tüm girdi dosyalarının isimleri ve açıklamaları EK-1’de yer almaktadır.

3.4.1. Batimetre dosyası (bth.npt)

CE-QUAL-W2 modelinin oluşturulma adımlarında ilk basamak batimetre dosyasının oluşturulmasıdır. Batimetre dosyası segmentlerin uzunluklarını, her bir grid hücresinin ortalama genişliğini, segmentlerin yerleşim açılarını, katmanların yüksekliklerini, modelin başlangıç su kotunu ve taban sürtünmesi miktarını içermektedir (Cole ve Wells, 2013).

Yapılacak çalışmalarda olabildiğince iyi sonuçlar elde edebilmek için batimetre dosyasının doğru bir şekilde hazırlanması gerekmektedir. Batimetre dosyası hazırlandıktan sonra çalışma alanı için oluşturulan kot-hacim-alan çizelgesi kullanılarak, batimetre dosyasının doğruluğu kontrol edilmelidir.

Oluşturulacak batimetre haritası için segment ve katman sayılarının belirlenmesi kullanıcının seçimine bırakılmıştır. Çok sayıda segment ve katman kullanımı çözünürlüğü artırmakla beraber modelin çalışma süresini de uzatmaktadır. Örnek batimetre dosyası Şekil 3.2’de verilmiştir.



```
bth.npt - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
Bathymetry file for waterbody 1
DLX
180.000 180.000 100.000 125.000 120.000 150.000 80.0000 80.0000
ELWS
923.000 923.000 923.000 923.000 923.000 923.000 923.000 923.000
Angle
5.69700 5.69700 5.85900 5.85400 6.20500 6.20400 6.21100 6.21100
Friction
70.0000 70.0000 70.0000 70.0000 70.0000 70.0000 70.0000 70.0000
DZ
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
width of Segment #1
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
width of Segment #2
0.00000 84.5000 61.5700 56.2100 52.4600 45.4400 34.4800 0.00000 0.00000 0.00000
0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
```

Şekil 3.2. Batimetre dosyası örneği

3.4.2. Kontrol dosyası (w2_con.npt)

Kontrol dosyası CE-QUAL-W2 modelinin ana dosyasıdır. Grid tanımlamaları, hesaplama metotları, başlangıç koşulları, değişkenlerin katsayı değerleri, giriş ve çıkış yapılarının tanımlamaları ve diğer birçok seçenek kontrol

dosyasının içerisinde yer alarak modele tanımlanmaktadır. Ayrıca kullanılan her bir girdi dosyasının adı yine kontrol dosyası içerisinde modele tanımlanmaktadır. Kontrol dosyası içerisinde bulunması gereken tüm kartlar Cole ve Wells (2013) tarafından oluşturulan CE-QUAL-W2 modelinin el kitabında detaylı olarak anlatılmaktadır. Kontrol dosyasında tüm kartların bulunma zorunluluğu olmakla birlikte, bir kartın kullanılmaması durumunda sıfır değeri verilerek devre dışı bırakılabilmektedir (Batick, 2011).

Kısacası kontrol dosyası CE-QUAL-W2 modelinin ana kumanda odası olarak düşünülebilmektedir. Örnek olarak hazırlanan kontrol dosyasının görünümü Şekil 3.3'te verilmiştir. Kontrol dosyası 10 adet satırdan oluşan başlık kartı ile başlamaktadır. Bu kart içerisindeki her satırda en fazla 72 karakter olacak şekilde istenilen tanımlamalar yapılabilmektedir (Cole ve Wells, 2013). Kontrol dosyası, başlık kartının ardından üçerli satır gruplarından oluşan girdi kartlarıyla devam etmektedir. Üçerli satır gruplarından oluşan girdi kartlarının isimleri her bir kartın ikinci satırının başında, sola dayalı olarak yer almaktadır.

```

w2_con.npt - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
PSU W2 Model Version 3.7

TITLE C .....TITLE.....
Borabey Goleti - Kalibrasyon 2013 - validasyon 2014 1
Borabey Goleti - Kalibrasyon 2013 - validasyon 2014 2
Giris debisi, Cıkis debisi, Buharlasma ve yagis var 3
Varsayılan Hidrolik katsayılar 4
Varsayılan katsayılar 5
Derinlige bagli sicaklik modelleme 6
1 m katman yuksekligi 7
ANADOLU UNIVERSITESI 8
CEVRE MUHENDISLIGI BOLUMU 9
ENIS HASANOGLU, 2013-2014 10
GRID          NWB      NBR      IMX      KMX      NPROC   CLOSEC
1             1        1        8        20       2       ON
IN/OUTFL      NTR      NST      NIW      NWD      NGT      NSP      NPI      NPU
0             0        1        0        0        0        0        0        0
CONSTITU      NGC      NSS      NAL      NEP      NBOD     NMC      NZP
3             3        1        1        1        0        0        1
MISCELL      NDAY   SELECTC  HABTATC  ENVIRPC  AERATEC  INITUWL
100          OFF     OFF      OFF      OFF      OFF      OFF
TIME CON      TMSTRT  TMEND    YEAR
56.0000     365.000 2013

```

Şekil 3.3 Kontrol dosyası örneği

3.4.3. Meteoroloji dosyası (met.npt)

Meteoroloji dosyası içerisinde yer alması gereken veriler; tarih, hava sıcaklığı, çiğlenme noktası sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, bulutluluk miktarı ve

güneş ışınımı miktarı şeklinde sıralanmıştır. Güneş ışınımı miktarının ölçülemediği durumlarda, model tarafından çalışma alanının bulunduğu enlem ve boylama göre güneş ışınımı miktarı hesaplanabilmektedir. Meteoroloji dosyasında yer alan güneş ışınımı ölçüm verilerinin model tarafından okunması isteniyorsa bu durumda da kontrol dosyası içerisinde “HEAT EXCH” kartında yer alan güneş ışınımı seçeneği (SROC) “açık” konuma getirilmelidir. Meteoroloji dosyası içerisindeki verilerden tarih, jülyen tarihi; hava sıcaklığı ve çiğlenme noktası sıcaklığı, santigrad derece; rüzgar hızı, radyan derece; güneş ışınımı miktarı, Watt/m² birimlerinde olacak şekilde tanımlanmalıdır. Bulutluluk miktarı ise 0-10 skalasında değişecek şekilde oluşturulmalıdır. Bu skalada 0 değeri hiç bulut olmadığı durumu, 10 değeri ise gökyüzünün tamamen kapalı olduğu durumunu göstermektedir. Meteoroloji dosyasının girdi parametreleri de 8 karakter uzunluğu göz önünde bulundurularak, sağa dayalı, ascii-txt tabanlı oluşturulmaktadır (Cole ve Wells, 2013).

Örnek olarak hazırlanan ascii-txt tabanlı meteoroloji dosyasının görünümü Şekil 3.4’te verilmiştir.

JDAY	TAIR	TDEW	WIND	PHI	CLOUD	SRO
1.00	1.7	3.5	0.00	0.00	5.00	0.00
1.13	1.8	0.7	0.00	0.00	6.00	0.00
1.25	1.8	0.9	0.00	0.00	7.00	0.00
1.38	2.0	1.1	0.90	1.57	7.00	52.00
1.50	2.8	1.4	1.80	1.57	8.00	136.00
1.63	2.7	1.3	1.80	1.18	9.00	34.00
1.75	2.1	1.1	0.90	1.57	9.00	0.00
1.88	1.4	0.6	0.90	1.57	9.00	0.00
2.00	1.0	0.3	1.30	1.96	9.00	0.00

Şekil 3.4. Meteoroloji dosyası örneği

Şekil 3.4’te yer alan kısaltmalardan JDAY, jülyen tarihini; TAIR, hava sıcaklığını; TDEW, çiğlenme noktası sıcaklığını; WIND, rüzgar hızını; PHI, rüzgarın yönünü; CLOUD, bulutluluk miktarını ve SRO, güneş ışınımı miktarını tanımlamaktadır.

3.4.4. Yağış dosyaları

Meteorolojik parametrelerden biri olan fakat meteoroloji dosyasında yer almayan yağış miktarı için ayrı bir girdi dosyası oluşturulması gerekmektedir. Bunun nedeni yağış seçeneğinin kontrol dosyasında açma/kapama seçeneğinin bulunması ve bu seçeneklerin arasında yapılacak tercihin kullanıcıya bırakılmış olmasıdır. Örnek olarak hazırlanan yağış miktarı dosyasının görünümü Şekil 3.5'te verilmiştir. Girdi dosyasında kullanılan yağış miktarı metre/saniye cinsinden girilmelidir. Ayrıca yağış sıcaklıkları da ayrı bir girdi dosyasıyla modele tanımlanmalıdır.



Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
133.667	0.0E+00			
133.677	0.0E+00			
133.688	0.0E+00			
133.698	0.0E+00			
133.708	0.0E+00			
133.719	0.0E+00			
133.729	3.9E-07			
133.740	0.0E+00			
133.750	2.8E-07			
133.760	2.2E-07			
133.771	4.4E-07			
133.781	0.0E+00			

Şekil 3.5. Yağış dosyası örneği

3.4.5. Giriş ve çıkış debileri dosyaları

Giriş ve çıkış debi miktarlarının jülyen tarihine bağlı olarak m³/saniye cinsinden yer aldığı girdi dosyalarıdır. Birden fazla ana kol ve yan kol olduğu durumlarda her bir ana kol ve yan kol için ayrı ayrı girdi dosyaları oluşturulmalıdır. Debi miktarlarının girileceği jülyen tarihinin zaman aralıklarının seçimi kullanıcıya bırakılmıştır. Batick (2011) zaman aralıklarının genellikle saatlik veya günlük olarak kullanıldığını belirtmekle birlikte düzensiz zaman aralıklarının da model tarafından desteklendiğini belirtmiştir.

Giriş debisinin su sıcaklıkları için de jülyen tarihine bağlı olarak santigrad derece cinsinden su sıcaklıklarının bulunduğu ayrı bir girdi dosyası hazırlanmalıdır. Birden çok ana kol ve yan kol bulunması durumunda her bir ana kol ve yan kol için su sıcaklıklarının bulunduğu ayrı ayrı girdi dosyaları hazırlanmalıdır.

Su kalitesi parametrelerinin modellendiği çalışmalarda da jülyen tarihine göre debi ile gelen bileşen derişimlerinin bulunduğu girdi dosyası (Cin_br1.npt) ayrı olarak hazırlanmalıdır. Bu dosya hazırlanırken bileşen isimlerinin dosya içerisindeki sıralamasına dikkat edilmelidir. CE-QUAL-W2 modelinin bileşenleri ve derişimlerini doğru bir şekilde okuması için, bileşenlerin girdi dosyası içerisinde modelin el kitabında belirtilen sıralamaya göre sıralanması gerekmektedir (Cole ve Wells, 2013).

3.4.6. Rüzgar korunaklılık katsayısı dosyası

Rüzgar korunaklılık katsayısı (wind sheltering coefficient) ile ilgili olan girdi dosyası, jülyen tarihine ve segmentlere bağlı olarak hazırlanmaktadır. Bu dosyanın hazırlanma amacı, genellikle çalışma bölgesinde yer almayan meteoroloji istasyonlarında ölçülen rüzgar hızlarının çalışma bölgesindeki etkilerinin ayarlanmasıdır. Rüzgar korunaklılık katsayıları, girdi dosyasına her bir segment için yüzde cinsinden girilir. Burada herhangi bir segment için 0 olarak girilen değer, o segmente rüzgarın hiç etki etmediğini, 1 olarak girilen değer ise ölçülen rüzgar hızının %100 olarak segmente etki ettiğini ifade etmektedir (Cole ve Wells, 2013).

3.4.7. Gölge dosyası

Gölge girdi dosyası tek bir dosyada tüm segmentlere göre hazırlanmaktadır. Bu dosyanın hazırlanma amacı bitkilerden ve topografik özelliklerden dolayı oluşan gölgelerin, modellenen sisteme etkilerinin ayarlanmasıdır. Her bir segment için gölge parametresinin girilmesi zorunludur. Girilen değerin 0 olduğu durumda güneş ışınımının su yüzeyine hiç ulaşmadığı kabul edilirken, girilen değerin 1 olduğu durumda ise güneş ışınımının %100 oranında su yüzeyine ulaştığı kabul edilmektedir (Batick, 2011).

4. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

4.1. Termal Katmanlaşma Konusunda Yapılmış Çalışmalar

Göllerdeki termal katmanlaşma yapısının incelenmesi konusunda literatür incelendiğinde farklı amaçlara yönelik araştırmaların yapıldığı ve farklı yöntemlerin kullanıldığı pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların önemli bir kısmı göllerdeki katmanlaşma yapısının belirlenmesi, izlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik çalışmalardır. Chapman ve ark. (1998) yapmış oldukları çalışmada bir krater gölünün termal katmanlaşma yapısını ortaya koymuşlardır. Lineer regresyon çalışmasıyla ölçülen parametrelerin birbirleri ile ilişkileri incelenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada bölgede meydana gelen depremlerin gölün limnolojik yapısına etkileri de incelenmiştir. Churchill ve Kerfoot (2007) yapmış oldukları çalışmada Portage gölünde (A.B.D.) meydana gelen termal katmanlaşmanın, yüzeysel ısı değişimi ve rüzgar parametresinden ne şekilde etkilendiğini araştırmışlardır. Elci (2008) Tahtalı gölünün (Türkiye) termal katmanlaşma yapısını incelediği çalışmasında yapmış olduğu saha çalışmaları ve istatistiksel analizlerle birlikte; termal katmanlaşma yapısının debi ve rüzgarla olan ilişkisini, termal katmanlaşmanın çözünmüş oksijen ve askıda katılar gibi su kalitesi parametreleri üzerine etkilerini incelemiştir. Ayrıca bu çalışmada göl numarası (Lake Number) parametresi, göldeki katmanlaşma ve karışımın belirteci olarak kullanılmıştır. Branco ve Torgersen (2009) yapmış oldukları çalışmada katmanlaşma parametresi konusunda bilgiler vermiş ve iki farklı göl üzerinde yapılan çalışmalarda göllerin katmanlaşma parametrelerini hesaplayarak bu parametrenin termal katmanlaşmanın başlangıcını tahmin etmekte faydalı olduğunu ortaya koymuşlardır. Lap ve ark. (2009) sucul bitkilerin aşırı büyüme gösterdiği, ortalama derinliği 2.5 m olan ve giriş-çıkış debilerinin çok az miktarda olduğu bir su kütlesinde yapmış oldukları çalışmada; arazi ölçümlerini ve sayısal hesaplamaları kullanarak termal katmanlaşmanın oluşum ve sona erme zamanlarını belirlemişlerdir. Song ve ark. (2013) üç farklı şehirde bulunan ve en derini 2.5 m derinliğe sahip, on adet yağmur suyu toplama göletinde yapmış oldukları çalışmada; 2010 yılının Mayıs ve Eylül ayları arasında 30 dakikalık aralıklarla, derinliğe bağlı sıcaklık ölçümleri gerçekleştirmiş ve bu havuzların RTRM

indekslerini hesaplamışlardır. RTRM indekslerinden yola çıkarak katmanlaşmanın oluşum sıklığını ve göletlerin karışıma karşı dirençlerini hesaplamışlardır. Ayrıca bu çalışmada göletlerden su numuneleri alınarak bazı su kalitesi parametreleri ölçülmüş ve istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir.

Termal katmanlaşmanın belirlenmesinin yanı sıra etkilerinin de değerlendirilmesine yönelik çalışmalar incelendiğinde su kalitesinin termal katmanlaşmadan nasıl etkilendiği konusunda çalışmalar bulunurken, ekolojik etkilerin değerlendirildiği pek çok çalışma da mevcuttur. Mtada (1987) yapmış olduğu çalışmada termal katmanlaşmanın Kariba gölünde (Zambiya-Zimbabve) bulunan balık popülasyonu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Gölün karışım dönemlerinde balıkların iyi bir şekilde geliştiklerini, termal katmanlaşma döneminde ise besin açısından fakir epilimniyon ile besin açısından zengin hipolimniyon tabakalarının oluşmasıyla birlikte balık ürünlerinde azalma olduğunu ortaya koymuştur. Pinel-Alloul ve ark. (2004) yapmış oldukları çalışmada zooplankton topluluklarının termal katmanlaşma sırasında göldeki dikey ve yatay dağılımlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada su numuneleri alınarak mikrobiyal analizler gerçekleştirilmiş ve bu analizler sonucunda istatistiksel hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda yaz aylarında meydana gelen termal katmanlaşma sırasında göldeki zooplankton dağılımlarının, öncelikli olarak fizikokimyasal katmanlaşmaya daha sonra ise abiyotik faktörler ve besin kaynaklarına bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Baharim ve ark. (2011) tropik bir gölde yapmış oldukları çalışmada, 4 adet örnekleme noktası seçerek bu örnekleme noktalarında 13 ay boyunca haftalık olarak, birer metre aralıklarla sıcaklık ve çözülmüş oksijen ölçümleri yapmışlardır. Ayrıca demir ve mangan analizleri için su numuneleri de alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda katmanlaşmanın ve karışımın oluşma dönemleri ile demir ve mangan derişimlerinin nasıl bir değişim gösterdiği incelenmiştir. Ayrıca muson dönemlerinde meydana gelen yoğun yağışların su kütlelerinin karışımına neden olduğu saptanmıştır. Cantin ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada termoklin derinliğini yapay olarak azaltarak, termoklin derinliğinin fitoplankton ve zooplankton topluluklarına etkilerini incelemişlerdir.

4.2. Matematiksel Modeller Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Termal katmanlaşmanın belirlenmesi ve su kalitesi parametrelerinin matematiksel modeller kullanılarak modellenmesi yönünde yapılan çalışmalar da literatürde oldukça yaygındır. Bir boyutlu matematiksel modeller kullanılarak yapılan çalışmalarda Babajimopoulos ve Papadopoulos (1986) 1-boyutlu alan ortalamalı matematiksel model kullanarak Ostrovo gölünün (Makedonya-Yunanistan) yıllık sıcaklık profillerini modellemişlerdir. Rice ve ark. (1989) yapmış oldukları çalışmada 1-boyutlu *UFILSI* modelini kullanarak Adirondack gölünün (A.B.D.) katmanlaşma yapısını modellemişlerdir. Yapılan çalışmada model ilk yılın ölçüm verileriyle kalibre edilmiş ve bir sonraki yılın verileriyle de validasyonu yapılmıştır. Bonnet ve ark. (2000) yapmış oldukları çalışmada, su kalitesi parametrelerini modelleme amacıyla oluşturulacak olan ekolojik modelin ilk basamağı olan ve bu modele taban niteliği taşıyan, ayrıca çalışma havzasının da termal yapısını modelleyecek olan 1-boyutlu nümerik bir modelin oluşturulmasını amaçlamışlardır. Bir yıllık ölçüm verileriyle model ilk olarak kalibre edilmiş ve 1990-92 yıllarının ölçüm verileri ile validasyon işlemi yapılmıştır. Bell ve ark. (2006) yapmış oldukları çalışmada *TEMIX* modelini temel alan 1-boyutlu bir model geliştirerek Bassenthwaite gölünün (İngiltere) günlük sıcaklığını ve çözünmüş oksijen derişimini modellemişlerdir. Spigel (2008) yapmış olduğu çalışmada 1-boyutlu *DYRESM* modelini kullanarak 2006-2007 yılları arasında Ototoa gölünün (Yeni Zelanda) düşey sıcaklık profillerini modellemiştir. Dueri ve ark. (2009) Maggiore gölünde (İtalya-İsviçre) yapmış oldukları çalışmada 1-boyutlu eşleştirilmiş hidrodinamik ve kirletici davranış modelini kullanarak termal katmanlaşma ve karışımın, su kütlesindeki PCB dağılımlarına ve birikimlerine etkilerini incelemişlerdir.

İki boyutlu matematiksel modeller kullanılarak yapılan çalışmalarda Belolipetsky ve ark. (2010) Shira gölünün (Rusya) yaz aylarındaki hidrodinamik yapısının modellenmesi amacıyla 1-boyutlu ve 2-boyutlu hidrodinamik modeller geliştirmişlerdir. Bu modeller termal katmanlaşmanın oluşum dinamiklerini oldukça iyi bir şekilde modelleyerek, ekolojik su kalitesi modeli için temel teşkil etmişlerdir. Kaur ve ark. (2007) Kuzey Amerika'da bulunan Büyük gölleri (Great

Lakes)'i besleyen kollar için 2-boyutlu özel bir model geliştirerek çözülmüş oksijen modellemesi gerçekleştirmişlerdir.

Üç boyutlu matematiksel modeller kullanılarak yapılan çalışmalarda Mercan ve Kabdaşlı (2008) *ELCOM 3D* modelini kullanarak 3-boyutlu hidrodinamik modelleme gerçekleştirmişlerdir. Modelden elde edilen sıcaklık değerlerinin minimum ve maksimum değerleri arasındaki farklardan yola çıkarak termal katmanlaşmanın hangi dönemlerde daha etkin olduğunu incelemişlerdir. Hassan ve ark. (1998) Suwa gölünde (Japonya) yapmış oldukları çalışmada, geliştirdikleri *WATEMP-LAKE* modelini kullanarak yaz ayları için günlük su sıcaklıklarını ve katmanlaşma karakteristiklerini modellemişlerdir. Ayrıca bu model ile göllerdeki termal katmanlaşmanın ve sıcaklık profillerinin artmakta olan atmosferik sera gazlarına karşı değişimleri incelenmiştir. Ahsan ve Blumberg (1999) 3-boyutlu, zamana bağlı olarak geliştirilen *ECOMsiz* modelini kullanarak Onondaga gölünde (A.B.D.) hidrodinamik modelleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Modelin kalibrasyonu ve validasyonu sırasıyla 1985 ve 1989 yılları için iki adet veri setiyle gerçekleştirilmiştir. Beletsky ve Schwab (2001) Michigan gölü (A.B.D.) için 3-boyutlu basit denklemlerle bir nümerik model kullanarak 1982-83 ve 1994-95 yılları arasında gölün termal katmanlaşma yapısını ve yıl içerisindeki karışımlarını modellemişlerdir. Li ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmada 3-boyutlu, hidrodinamik *EFDC* modelini kullanarak Mead gölünün (A.B.D.) su yaşını ve termal katmanlaşma yapısını modellemişlerdir. Yapılan çalışmada model 2005 yılının ölçüm verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Modelleme çalışmasında su seviyesinin çok yüksek olduğu (370 m) ve düşük olduğu (320 m) iki senaryo kullanılmıştır. Lindim ve ark. (2011) Alqueva rezervuarında (Portekiz) yapmış oldukları çalışmada 3-boyutlu hidrodinamik bir model olan *RMA10*'u, bir ötrofikasyon modeli ile eşleştirerek hem sıcaklıkları hem de klorofil-a, çözülmüş oksijen ve besin maddelerini modellemişlerdir. Wan ve ark. (2012) *EFDC* modelinin altyapısına dayanarak geliştirdikleri 3-boyutlu *SLE/ILR* su kalitesi modelini kullanarak St. Lucie Haliçinde (A.B.D.) çözülmüş oksijen ve alg derişimlerini modellemişlerdir. Bai ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmada 3-boyutlu ve basit denklemlerle bir model olan *FVCOM* modelini kullanarak Kuzey

Amerika’da bulunan Büyük göller (Great Lakes)’in 1993-2008 yılları arasında kesintisiz olarak karışım ve termal yapılarını modellemişlerdir.

4.3. CE-QUAL-W2 Modeli Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

CE-QUAL-W2 modeli kullanılarak yapılan çalışmalarla ilgili literatür incelendiğinde hem sıcaklığın modellenmesi hem de su kalitesi parametrelerinin modellenmesi konusunda yapılan çalışmalar oldukça yaygındır. Cole (2000) çalışmasında CE-QUAL-W2 modelinin kullanılarak rezervuarlarda gerçekleştirilen sıcaklık modellemesi çalışmalarıyla ilgili bir derleme yaparak, bu çalışmalar arasından seçilen bazı çalışmalara ilişkin sonuçları sunmuştur. Cole ve Tillman (1999) Monroe gölünde (A.B.D.) yapmış oldukları çalışmada CE-QUAL-W2 modelini kullanarak 1992-1996 yılları arasında sıcaklık ve su kalitesi parametrelerinin modellenmesini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada model hakkında genel bilgiler verilmiş, modelin girdi parametreleri belirtilmiş ve kalibrasyon işlemi anlatılmıştır. Kurup ve ark. (2000) çalışmasında Swan Nehri Haliçinin (Avustralya) sıcaklık modellemesini gerçekleştirirken TIST ve CE-QUAL-W2 modellerini birlikte kullanmışlardır. Çalışmada TIST ve CE-QUAL-W2 modellerinin benzer ve farklı özellikleri hakkında bilgiler verilmiş ve çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve ölçüm verileriyle karşılaştırılmıştır. Kuo ve ark. (2003) CE-QUAL-W2 modelini kullanarak Feitsui rezervuarında (Tayvan) yapmış oldukları çalışmada, 1996 ve 1997 yılları için sırasıyla modelin kalibrasyonunu ve validasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada sıcaklık parametresi ve su kalitesi bileşenleri modellenmiştir. Ayrıca çeşitli senaryolar oluşturularak gölün trofik seviyesini ötrofikten oligotrofik hale getirebilmek için, alg derişimlerini etkileyen su kalitesi bileşenlerinin azaltım miktarlarının saptanması amaçlanmıştır. Berger ve ark. (2005) Laurance gölünde (A.B.D.) yapmış oldukları çalışmada CE-QUAL-W2 modelini kullanarak sıcaklık modellemesi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada modelin genel hatlarından bahsedilmiş, hidrodinamik ve sıcaklık kalibrasyonuna değinilmiştir. Ayrıca 46 farklı senaryo oluşturularak, rezervuar sisteminin çıkış suyu sıcaklığının bu senaryolar sonucunda ne şekilde etkilendiği araştırılmıştır. Kim ve Kim (2006) Soyang gölünde (Güney Kore) CE-QUAL-W2 modelini kullanarak yapmış

oldukları çalışmada gölün sıcaklık değişimlerini modellemişlerdir. Yapılan çalışmada 1996 yılında yapılan ölçümlerden elde edilen veriler modelin kalibrasyonu amacıyla, 1995-2002 yılları arasında yapılan ölçümlerden elde edilen veriler ise modelin validasyonu amacıyla kullanılmıştır. Kuo ve ark. (2006) Te-Chi ve Tseng-Wen rezervuarlarında (Tayvan) CE-QUAL-W2 modelini kullanarak yapmış oldukları çalışmada, iki yıllık veri setleriyle sıcaklık parametresini ve su kalitesi bileşenlerini modellemişlerdir. Bu çalışmanın amacı gölün trofik seviyesini ötrofikten oligotrofik hale getirebilmek için, oluşturulan senaryolara göre, alg derişimlerini etkileyen su kalitesi bileşenlerindeki azaltım miktarının saptanabilmesidir. Williams (2007) çalışmasında CE-QUAL-W2 modelini kullanarak Powell gölünde (A.B.D.) sıcaklık, çözünmüş oksijen ve bazı su kalitesi parametrelerini modellemiştir. Erturk ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada İstanbul'un su ihtiyacını karşılama amacıyla gerçekleştirilmesi planlanan Büyük İstanbul İçme Suyu projesi ile ilgili oluşturulan farklı senaryolar üzerinde karar vermeye yardımcı olarak CE-QUAL-W2 modelini kullanmışlardır. Bu çalışmada üç farklı senaryo oluşturularak, gelecek yıllara yönelik su kalitesi parametreleri modellenmiştir. Stansbury ve ark. (2008) Ogallala gölünde yapmış oldukları çalışmada CE-QUAL-W2 modelini kullanarak gölün çözünmüş oksijen kaynaklarını ve tüketicilerini belirlemeye ve miktarlarını hesaplamaya çalışmışlardır. Batick (2011) yapmış olduğu çalışmada CE-QUAL-W2 modeli hakkında genel bilgiler vermiş, modelin oluşturulması ve girdi parametreleri konusunda bilgiler vermiş ve modeli kullanarak Cheatham rezervuarında (A.B.D.) sıcaklık ve çözünmüş oksijen modellemesi gerçekleştirmiştir.

5. ÇALIŞMA ALANI

Yapılan çalışma kapsamında termal katmanlaşma yapısının ve çözünmüş oksijen profillerinin incelendiği ve modellendiği Borabey göleti, Eskişehir il merkezinin kuzeyinde Bozdağ yamaçlarında yer almaktadır ve 920 m kotundadır. Borabey sulama göleti, 1991-1992 yılları arasında, dönemin Köy Hizmetleri İl Müdürlüğüne 2480 dekar bir alanda 115 çiftçinin yararlanması amacıyla inşa edilmiştir (Anonim, 2011).

Borabey göletinin Google Earth yazılımından elde edilen görüntüsü ve konum bilgileri Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Borabey göletinin uydu görünümü

Göletin inşaatını yapan Topraktaş A.Ş.’den alınan, gölete ait teknik bilgiler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Borabey göleti teknik bilgiler

Kret Uzunluğu	411 m
Gövde Yüksekliği	23 m
Dolgu Hacmi	368.000 m ³
Gölet Sulama Alanı	248 ha
Gölet Depolama Hacmi	1.600.000 m ³

Göletin fiziksel yapısı incelendiğinde ortalama genişliğinin yaklaşık 200 m, ortalama uzunluğunun yaklaşık 620 m ve en geniş yerinin 350 m olduğu saptanmıştır. Göletin ortalama derinliği yaklaşık 8.5 m olup maksimum su kotuna göre en derin yeri ise 18.8 m derinliğindedir. Gölet sulama amaçlı kullanılması nedeniyle yıl boyunca su derinliği değişkenlik göstermektedir. Gölet tabanının en düşük kotu 906 m olup, gölün taşkın amaçlı savağının kotu ve olabilecek en yüksek su kotu 924.80 m'dir. Göleti besleyen dere ufak bir dere olup yağış dönemlerinde akışa geçmekte ve yaz aylarında kurumaktadır. Ayrıca çıkış noktası 906.62 m kotunda bulunan bir çıkış borusu ile mansabında bulunan tarımsal arazilerin sulama ihtiyaçlarına göre göletten su bırakılmaktadır. Göletin toplam su depolama hacmi ise 1.6 milyon m³'tür.

6. ÇALIŞMA GİRDİLERİNİN TEMİNİ

CE-QUAL-W2 modeli kullanılarak gerçekleştirilen modelleme çalışması kapsamında, modelin oluşturulması için gerekli olan girdi parametreleri aşağıda sıralanmıştır.

- Borabey göletinin batimetrik haritası,
- Çalışma bölgesine ait meteorolojik veriler (hava sıcaklığı, çiğlenme noktası sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, yağış miktarı, bulutluluk miktarı ve güneş ışınımı miktarı)
- Borabey göletinin giriş ve çıkış suyu debi miktarları,
- Giriş debisinin sıcaklıkları,
- Borabey göletinin derinliğe bağlı sıcaklık ve çözünmüş oksijen profilleri,
- Su kalitesi bileşenlerinin derişimleri.

Yukarıda belirtilen girdi parametrelerinin ne şekilde temin edildiği aşağıda detaylı bir şekilde sırasıyla açıklanmıştır.

6.1. Borabey Göletinin Batimetrik Haritasının Çıkarılması

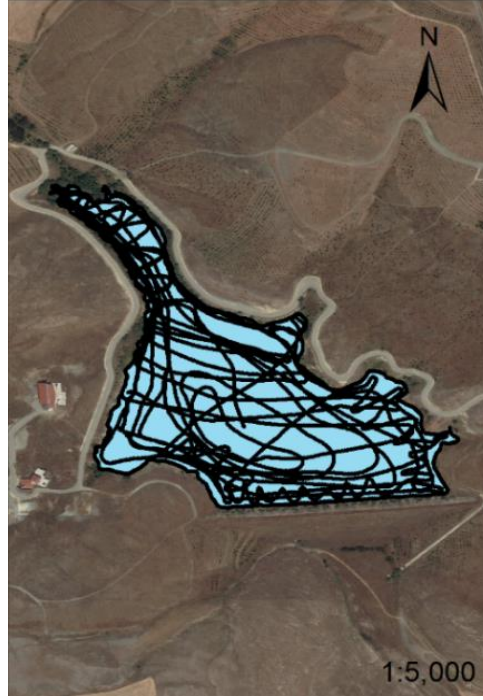
Borabey göletinin batimetrik haritasının çıkarılması çalışmasında Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümü bünyesinde bulunan Sontek M9 Akustik Doppler Akım Profil (ADCP) cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz özellikle akarsularda su hızı ve bununla birlikte debi ölçümlerinde son derece hızlı ve hassas ölçümler yapabilme yeteneğine sahiptir. Cihazın bünyesinde toplamda 9 adet transduser bulunmaktadır. Bu transduserlerden biri 0.5 MHz düşey profil ultrasonik transduseri, dört tanesi 1 MHz ve dört tanesi de 3 MHz açisal profil ultrasonik transduserleridir. Cihaz 0.06-40 m derinliğe kadar profil alma yeteneğine ve 0.2-80 m arasında derinlik ölçme yeteneğine sahiptir (Albek ve ark., 2011). Batimetrik harita çıkarılması çalışmasında kullanılan Sontek M9 Akustik Doppler Akım Profil (ADCP) cihazının görünümü Şekil 6.1.'de verilmiştir.



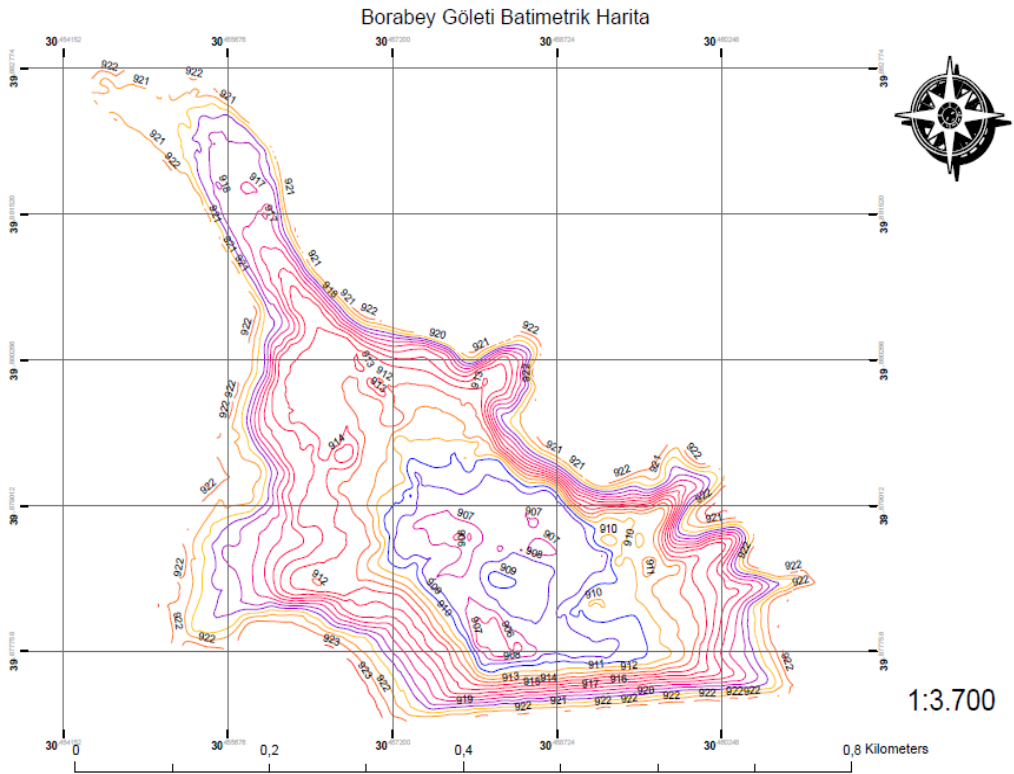
Şekil 6.1. SonTek M9 görünümü

Bu cihaz ses dalgalarını kullanarak su hızları ve derinlik ölçümü yapabilmektedir. Cihazın ana tasarım amacı akarsularda debi ölçümüne yöneliktir. Akarsularda tuzluluk seviyesindeki ve sıcaklıktaki değişimler derinliğe bağlı olarak çok değişkenlik göstermemektedir. Fakat göllerde meydana gelen katmanlaşma sebebiyle su sıcaklığı ve tuzluluk seviyesi gibi parametreler derinliğe bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu durum cihazın gönderdiği ses dalgalarının farklı sıcaklık ve tuzluluğa bağlı, farklı yoğunluktaki su katmanlarında hareket etmesine neden olmaktadır. Ses dalgasının gönderim ve geri dönüş süresinin hesaplanmasında bu değişimlerin dikkate alınmaması yanlış derinlik sonuçlarının elde edilmesine yol açmaktadır. Bu durumun önüne geçmek üzere el tipi iletkenlik, sıcaklık ve derinlik ölçüm cihazı olan CastAway-CTD ekipmanı kullanılmıştır. Castaway-CTD cihazı ile derinliğe bağlı sıcaklık ve tuzluluk seviyeleri kayıt altına alınarak, batimetre haritası çıkarılması sırasında ADCP cihazının daha hassas derinlik ölçümü yapması sağlanmıştır (Göncü ve ark., 2014).

ADCP cihazı ile Borabey göletinde birçok noktadan kesitler alınarak cihazın derinlik ölçümü yapması sağlanmıştır. ADCP cihazından WGS 84 koordinat sisteminde elde edilen batimetre ölçüm verileri ArcGIS yazılımı kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamına aktarılmıştır. ADCP cihazı ile ölçüm yapılan noktalar ArcGIS yazılımı kullanılarak harita üzerinde de görüntülenebilmektedir (Bkz. Şekil 6.2). ADCP cihazından elde edilen batimetre ölçüm verileri ArcGIS yazılımıyla işlenerek Borabey göletinin batimetrik haritası oluşturulmuştur (Göncü ve ark., 2014). Oluşturulan batimetrik harita Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.2. Batimetri ölçüm noktaları



Şekil 6.3. Borabey göletinin batimetrik haritası

Ayrıca ArcGIS yazılımında bulunan alan ve hacim hesaplama modülü kullanılarak çalışma bölgesinin derinliğe bağlı alan ve hacim hesaplamaları yapılmıştır. Borabey göletinin CE-QUAL-W2 programı için oluşturulacak model batimetre haritasının, gerçek batimetre haritasıyla karşılaştırılmasında kullanılacak olan kota bağlı hacim ve alan değişimleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Gölün kot- alan-hacim ilişkisi, minimum su kotu 906 m ve maksimum su kotu 924 m olacak şekilde belirlenmiştir.

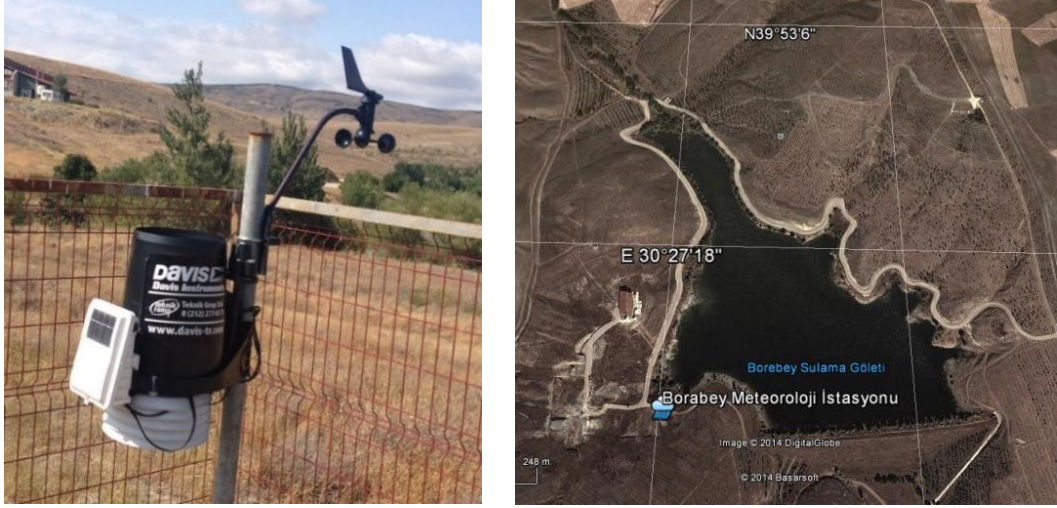
Çizelge 6.1. Hacim-alan-yükseklik çizelgesi

Kot	Alan, m ²	Hacim, m ³
924	166559.000	1422854.000
923	161025.000	1263110.650
922	150562.838	1110141.428
921	137161.491	968782.782
920	124780.457	840777.950
919	114933.127	722926.028
918	105808.306	614191.896
917	94947.838	515674.326
916	87827.381	425576.323
915	80768.632	342235.447
914	72310.472	266335.940
913	62212.295	199549.519
912	49806.579	144174.340
911	41087.042	99575.438
910	33521.783	62404.486
909	25669.900	32893.621
908	16449.233	11783.342
907	4324.946	2248.684
906	814.392	222.474

6.2. Meteorolojik Verilerin Temini

Çalışma kapsamında 2013 ve 2014 yılları için kullanılacak olan meteorolojik verilerden; hava sıcaklığı, çiğlenme noktası sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, yağış miktarı ve güneş ışınımı değerleri çalışma sahasına kurulan ölçüm istasyonunda yer alan DAVIS Vantage Pro 2 meteoroloji cihazından elde edilmiştir (Bkz. Şekil 6.4a). Meteoroloji istasyonu göletin hemen yanında olacak şekilde konumlandırılmıştır (Bkz. Şekil 6.4b). Buradaki amaç göletin etkilendiği meteorolojik şartların en doğru şekilde ölçülmesinin sağlanmasıdır.

Meteoroloji istasyonunun kotu 930 m olup, Borabey göletinin 924 m'lik maksimum su kotuna yakın bir yüksekliktedir. Göl ile meteoroloji istasyonu arasındaki yükseklik farkı rüzgar hızı üzerinde etkili olabilmekle birlikte, model program içerisinde rüzgar hızının ölçüm yüksekliğinin tanımlandığı bir yapı bulunmaktadır.

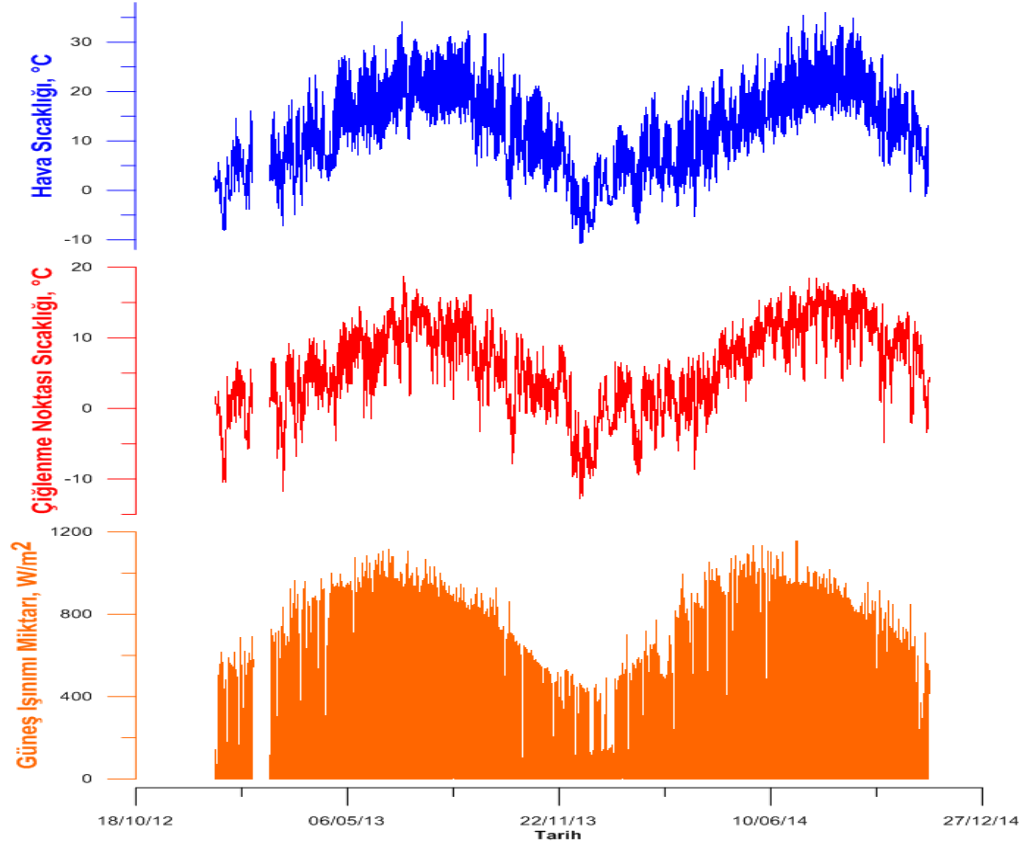


(a)

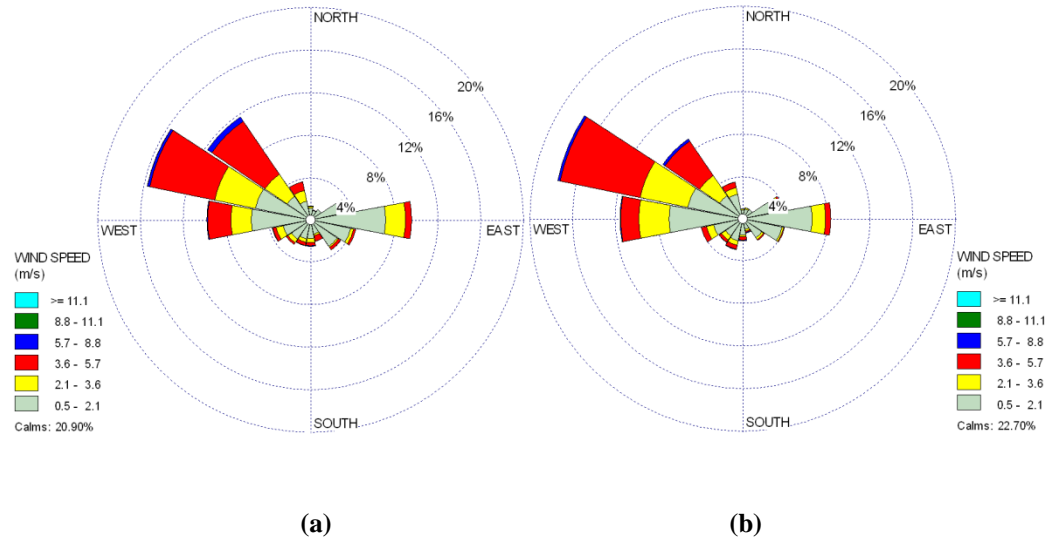
(b)

Şekil 6.4. (a) DAVIS Vantage Pro 2 cihazının, (b) arazideki konumunun görünümü

Ölçüm istasyonundan elde edilen meteorolojik veriler 15'er dakikalık olup, bu veriler çalışmada da 15'er dakikalık olarak kullanılmıştır. Meteoroloji istasyonundan elde edilen verilerle ilgili detaylar Ek-2'de verilmiştir. Çalışma sahasına kurulan meteoroloji istasyonunda ölçülemeyen bulutluluk verileri ise Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsünde yer alan hava alanına ait, 17123 numaralı ve LTBY kodlu ölçüm istasyonundan temin edilmiştir. Meteoroloji istasyonunda ölçülen hava sıcaklığı, çiğlenme noktası sıcaklığı ve güneş ışınımı miktarlarının çalışma süresi boyunca değişimi Şekil 6.5'te verilmiştir. Ayrıca meteoroloji istasyonunda ölçülen rüzgar hızları, WRPlot View yazılımı ile değerlendirilerek Borabey göletinin rüzgar gülü çıkartılmıştır. 2013 ve 2014 yıllarına ait rüzgar gülleri Şekil 6.6'da verilmiştir.

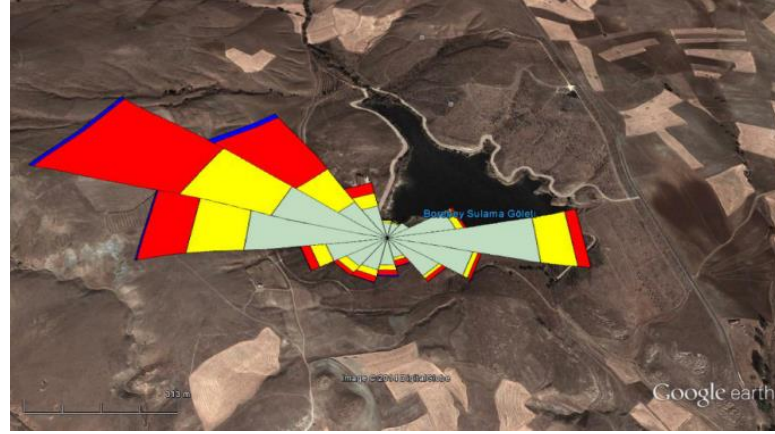


Şekil 6.5. Hava sıcaklığı, çiğlenme noktası sıcaklığı ve güneş ışınımı miktarlarının değişimi



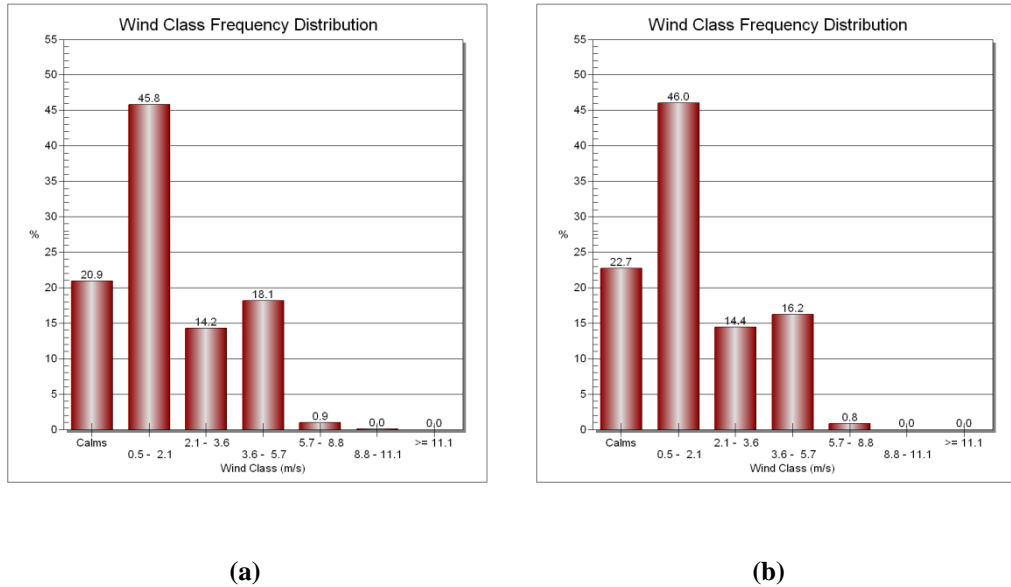
Şekil 6.6. Borabey göletinin (a) 2013 yılına, (b) 2014 yılına ait rüzgar gülleri

Çalışma süresi boyunca ölçülen rüzgar hızlarına ait WRPlot View yazılımıyla elde edilen rüzgar gülünün, çalışma bölgesindeki meteoroloji istasyonunun konumuyla birleştirilmesi sonucu elde edilen görünümü de Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Meteoroloji istasyonunda ölçülen rüzgarların yönü

Şekil 6.7 incelendiğinde rüzgarların ağırlıklı olarak kuzey ve batı yönleri arasından Borabey göletine doğru estiği gözlenmektedir. Ayrıca 2013 ve 2014 yılları içerisinde ölçülen rüzgar hızlarının frekans dağılımı Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.8. Rüzgar hızlarının (a) 2013 yılına, (b) 2014 yılına ait frekans dağılımları

6.3. Giriş ve Çıkış Debilerinin Temini

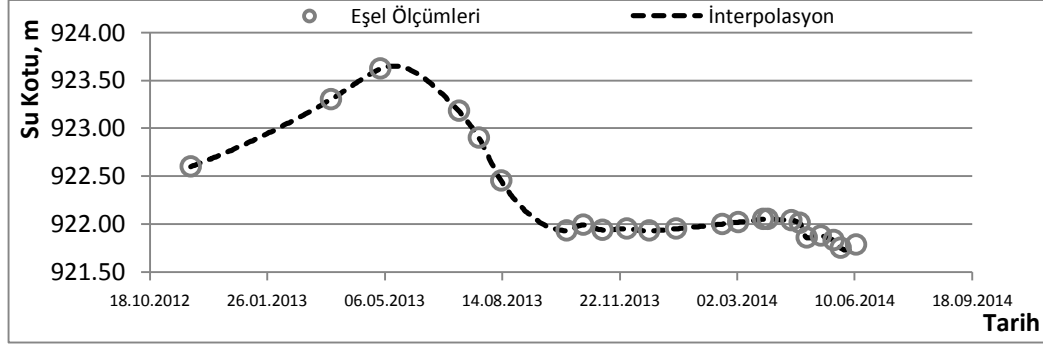
Borabey göleti, ana akarsu kolu Bozdağ'dan çıkarak Kavacık Köyü'nden geçen ve sonrasında gölete ulaşan tek bir koldan beslenmektedir (Kaya, 2013). Temel olarak küçük bir kaynak deresinden beslenen Borabey göleti, sulama amaçlı bir gölet olması nedeniyle göletin seddesindeki bir çıkış noktasından tarımsal sulama amaçlı deşarj yapılmaktadır. Bunun haricinde gölet çevresindeki ağaçların sulanması için yakıtla çalışan bir sulama motoru özellikle kurak sezon olan Mayıs-Eylül ayları arasında ihtiyaca bağlı olarak çalıştırılmaktadır. Bu motorun yetersiz kaldığı durumlarda ise kaynak deresinin göl ile buluştuğu noktaya yakın bir bölgedeki sondaj kuyusundan dalgıç pompa aracılığıyla su çekildiği yetkililer tarafından beyan edilmiştir.

Göleti besleyen kaynak deresinin çok küçük bir dere olması nedeniyle mevcut laboratuvar ve arazi donanımları ile debi ölçümleri gerçekleştirilememiştir. 2013 yılı sonu itibariyle kaynak deresi üzerine bir savak inşa edilerek debi ölçümü yoluna gidilmiş fakat 2014 yılı süresince kaynak deresinin kuru olması nedeniyle debi ölçümü yapılamamıştır. Kaynak deresi üzerine inşa edilen savağın görünümü Şekil 6.9'da verilmiştir.



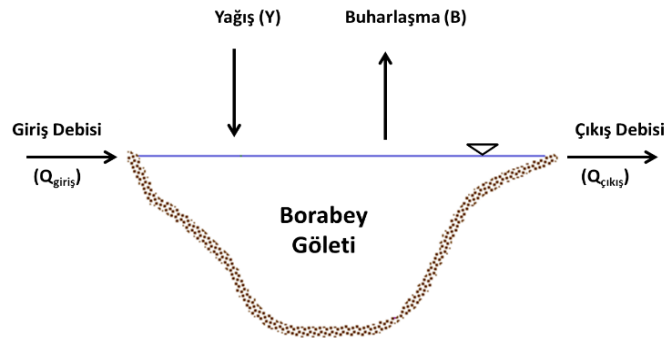
Şekil 6.9. Kaynak deresi üzerine inşa edilen savak

Borabey göletindeki su seviyesi ile ilgili var olan tek bilgi çeşitli tarihlere ölçülen eşel seviyeleri ve o tarihlere göletteki mevcut su miktarlarıdır. Göletin yıl boyunca günlük seviye değişimi, belirli günlerde ölçülen eşel değerleri ve HydroClimate yazılımı kullanılarak, Akima Spline interpolasyonu ile hesaplanmıştır. Eşel seviyelerinden ölçülen ve interpolasyonla hesaplanan su seviyeleri Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10. Ölçülen ve hesaplanan su seviyeleri

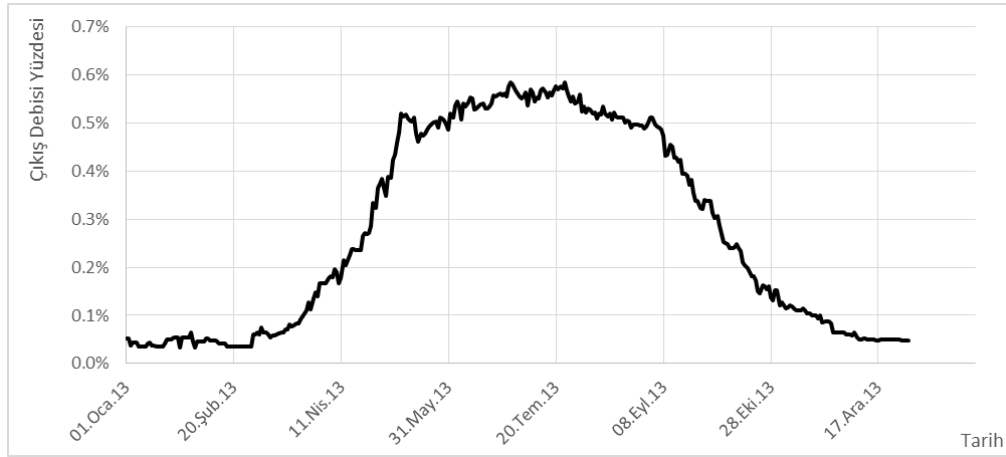
Borabey göletinin su seviyesi değişiminin giriş debisi, çıkış debisi, buharlaşma ve yağış miktarlarıyla zamana bağlı olarak değişmektedir (Bkz. Şekil 6.11). Yukarıda belirtilen girdi ve çıktı kaynaklarından göletin giriş ve çıkış debilerini ölçmek mümkün olmamıştır. Yağış miktarı arazideki meteoroloji istasyonunda ölçülmekte, buharlaşma miktarı ise meteorolojik parametreler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Göletteki su miktarının da bilinmesi ile birlikte giriş ve çıkış debileri çeşitli varsayımlar yapılarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.11. Borabey göletinin su miktarını etkileyen faktörler

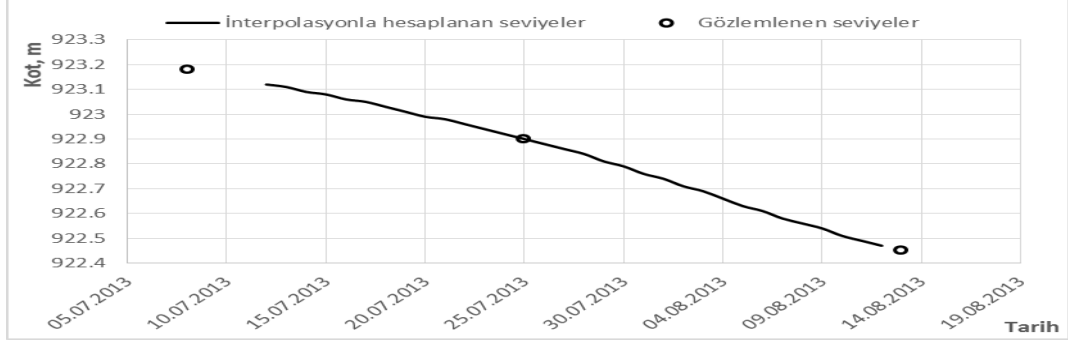
6.3.1. Çıkış debisinin hesaplanması

Borabey göletinin giriş ve çıkış debileri belirlenirken ilk basamakta çıkış debisi hesaplanmıştır. Çıkış debisi hesaplanırken ilk olarak Borabey göletinden tarımsal sulama amacıyla çıkan suyun yıllık dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Borabey göletinin mansabındaki tarımsal arazilerin Eskişehir il sınırları içerisinde bulunması ve Eskişehir'in tarımsal ürün deseni ile oldukça benzeşmesi nedeniyle Eskişehir genelinde yıl boyunca kullanılan tarımsal sulama suyu miktarının yıllık oransal yapısının, Borabey göletinden bırakılan tarımsal sulama suyu miktarının oransal yapısıyla benzer olduğu varsayılmıştır. Bu kapsamda Eskişehir girişinde bulunan regülatör aracılığı ile sağ sahil (D12A020/B) sulama kanalı ve sol sahil (D12A020/A) sulama kanalından bırakılan günlük su miktarları Devlet Su İşlerinden (DSİ) temin edilmiş ve her güne ait çıkış debisinin yıllık yüzde değerleri (tarımsal su kullanım yüzdesi) hesaplanmıştır. Hesaplanan yüzde değerleri Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12. Eskişehir ili tarımsal sulama suyunun yıllık yüzdesel dağılımı

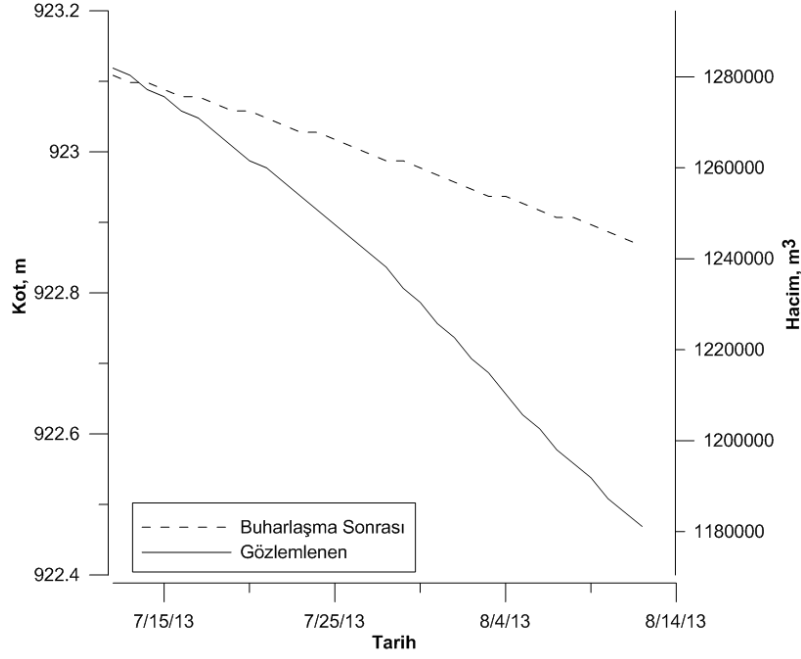
Çıkış debisi hesaplanırken; Borabey göletinin yüzeysel giriş debisi ve yağışın olmadığı 12 Temmuz 2013 - 12 Ağustos 2013 tarihleri arasındaki 31 günlük süreçte göletin su seviyesi değişiminin, sadece tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılan çıkış debisinden ve buharlaşma ile su kaybından kaynaklandığı varsayılmıştır. Borabey göletinin ilgili tarihler arasındaki su seviyesi değişimi Şekil 6.13'te verilmiştir.



Şekil 6.13. 12 Temmuz -12 Ağustos 2013 tarihleri arasında gözlemlenen ve hesaplanan su seviyesi

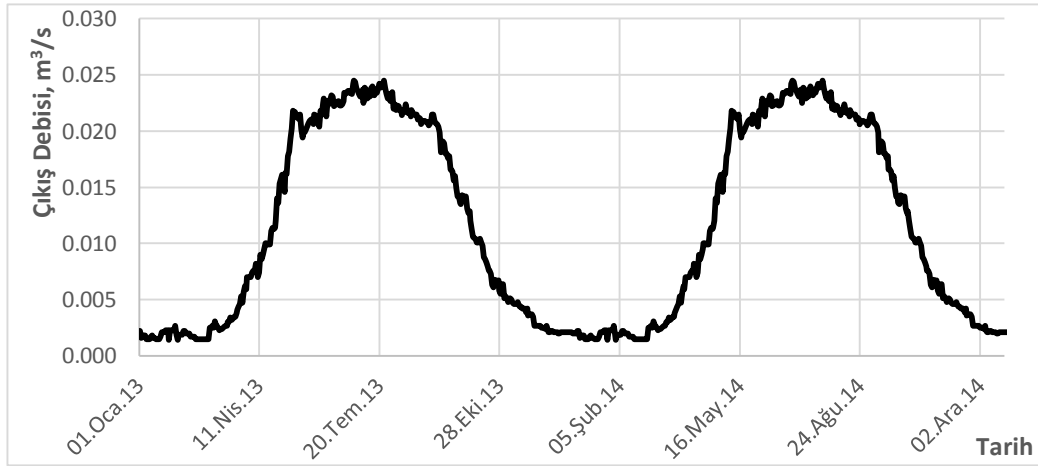
Göletteki su seviyesi düşüşünün gözlemlendiği tarihler arasındaki günlük ve toplam buharlaşma miktarları WinHSPF yazılımı içerisinde yer alan WDM util programı kullanılarak, Penman Pan buharlaşması (açık yüzey buharlaşması) olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında rüzgar hızı, minimum ve maksimum hava sıcaklıkları, çiğlenme noktası sıcaklığı ve güneş ışınımı parametreleri kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada sonucunda elde edilen günlük buharlaşma miktarları toplandığında, 12 Temmuz 2013 - 12 Ağustos 2013 tarihleri arasında Borabey göletinden toplamda 245.53 mm suyun buharlaştığı hesaplanmıştır. 12 Temmuz 2013 tarihinde 923.12 m olan su seviyesi, toplam buharlaşma miktarının düşülmesinin ardından 12 Ağustos 2013 tarihi için 922.87 m olarak hesaplanmıştır. Ancak aynı tarihte Borabey göletinde gözlemlenen su seviyesi ise 922.47 m'dir. 12 Ağustos 2013 tarihi için hesaplanan ve gözlemlenen su seviyeleri arasındaki fark 31 gün boyunca çıkış debisiyle eksilen su miktarından kaynaklanmaktadır (Bkz. Şekil 6.14). Su seviyesi farklarının belirlenmesinin ardından kot-alan-hacim çizelgesi (Bkz. Çizelge 6.1) kullanılarak su miktarlarına geçiş yapılmıştır ve 31 gün boyunca çıkış debisiyle eksilen su miktarı belirlenmiştir. Eksilen su hacmi, başlangıçtan itibaren geçen gün sayısına bölünerek 31 günlük ortalama çıkış debisi miktarı hesaplanmıştır. Yukarıda belirtilen hesaplamalar 12 Temmuz 2013 – 12 Ağustos 2013 tarihleri arasındaki her gün için tekrarlanmıştır.



Şekil 6.14. 12 Temmuz -12 Ağustos 2013 tarihleri arasındaki su seviyesi farkları

12 Temmuz 2013 – 12 Ağustos 2013 tarihleri arasında hesaplanan günlük ortalama çıkış debilerinin 31 günlük ortalaması, DSİ'den temin edilen Eskişehir'in yıllık tarımsal su kullanım yüzdesinin (Şekil 6.12) aynı tarihler arasındaki 31 günlük ortalamasıyla oranlanarak Borabey göletine ait, yıllık çıkış debisi miktarları hesaplanmıştır. Borabey göletinden tarımsal sulama amacıyla kullanılan çıkış suyunun 2013 ve 2014 yıllarında da aynı miktarlarda olduğu kabul edilmiştir. 2013 ve 2014 yılları için hesaplanan çıkış debileri Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.15. Borabey göletinin hesaplanan çıkış debisi miktarları

6.3.2. Giriş debisinin hesaplanması

Borabey göletine ait giriş debi miktarları hesaplanırken de çeşitli varsayımlara dayalı hesaplamalar yapılmıştır. Giriş debisi için bölgedeki benzer hidrolojik karakteristikte olan ve Borabey göletine 5 km uzaklıkta bulunan Keskin göletine ait giriş suyu debi miktarları, Borabey göletinin giriş suyu miktarı ile ilişkilendirilerek kullanılmıştır. Borabey ve Keskin göletlerinin harita üzerindeki görünümü Şekil 6.16'da verilmiştir. Borabey ve Keskin göletleri oldukça yakın olması nedeniyle meteorolojik karakteristiklerinin birbirine çok yakın olduğu varsayılmıştır.



Şekil 6.16. Borabey ve Keskin göletlerinin konumları

Borabey ve Keskin göletlerinin giriş suyu debi miktarları ilişkilendirilirken (6.1) ile verilen ve debi ölçümü yapılan bir istasyondan, debi ölçümü yapılmayan bir istasyona debi aktarımında en çok kullanılan metot olan, havza alanlarının ve havzalara düşen ortalama yağış miktarlarının oranlanması metodu kullanılmıştır (Dayyani ve ark., 2003).

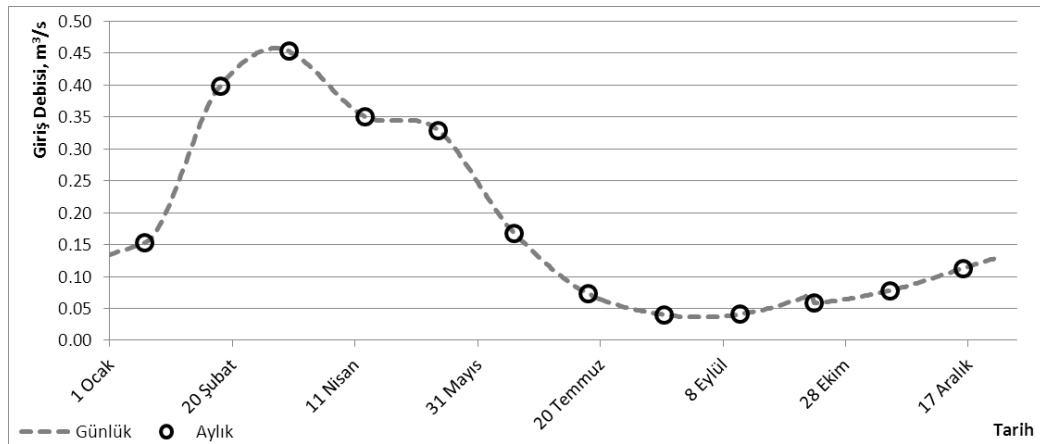
$$Q_u = \left(\sum Q_g \right) \times \left(\frac{A_u \times PPT_u}{\sum A_g \times PPT_g} \right) \quad (6.1)$$

Burada Q_u , ölçüm yapılmayan bölgenin debi miktarını; Q_g , ölçüm yapılan bölgedeki debi miktarını; A_u , ölçüm yapılmayan bölgenin havza alanını; A_g , ölçüm yapılan bölgenin havza alanını; PPT_u , debi ölçümü yapılmayan bölgeye düşen yıllık

ortalama yağış miktarını ve PPT_g ise debi ölçümü yapılan bölgeye düşen yıllık ortalama yağış miktarını ifade etmektedir.

Bu kapsamda, Keskin göletinin kurulması esnasında DSİ'nin işletmesindeki D12A088 Keskin-Keskin Suyu adlı ölçüm istasyonunda 1969-1979 yılları arasında ölçülen debilerin uzun yıllar aylık ortalama debi değerleri kullanılmıştır. Bu aylık ortalamalar DSİ SVT rastlar bilgi bankasından temin edilmiştir.

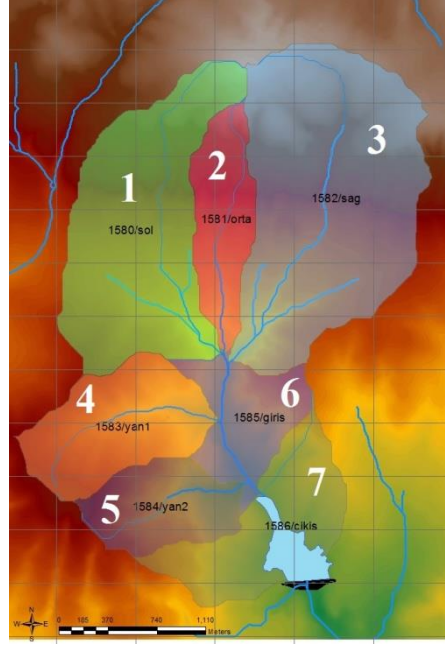
Keskin-Keskin Suyu ölçüm istasyonunda 1969-1979 yılları arasında ölçülen debi değerlerinin aylık ortalama değerleri ve HydroClimate yazılımı kullanılarak Akima Spline interpolasyon metodu ile yıl boyunca her gün için günlük debi ortalamaları hesaplanmıştır. Hesaplanan günlük debi ortalamaları ve Keskin-Keskin Suyu ölçüm istasyonunda 1969-1979 yılları arasında ölçülen debi miktarlarının ortalamaları Şekil 6.17'de verilmiştir.



Şekil 6.17. D12A088 Keskin-Keskin suyu ölçüm istasyonunda ölçülen ve hesaplanan debiler

Keskin göletine ait günlük ortalama debi değerlerinin belirlenmesinin ardından bu debi değerleri Borabey göleti ile ilişkilendirilirken, meteorolojik koşullar aynı kabul edildiği için havzalara düşen yağış miktarları aynı kabul edilmiştir ve sadece havza alanları oranlanarak ilişkilendirme yapılmıştır.

Keskin göletinin havza alanı DSİ SVT rastlar bilgi bankasında 63.4 km² olarak belirtilmiştir. Borabey göletininin havzası ve alt havzaları ile ilgili bilgiler Kaya (2013)'nin çalışmasından temin edilmiştir. Borabey göletini besleyen havzanın ve alt havzalarının görünümü Şekil 6.18'de, havza ve alt havzalara ait alan bilgileri ise Çizelge 6.2'de verilmiştir.



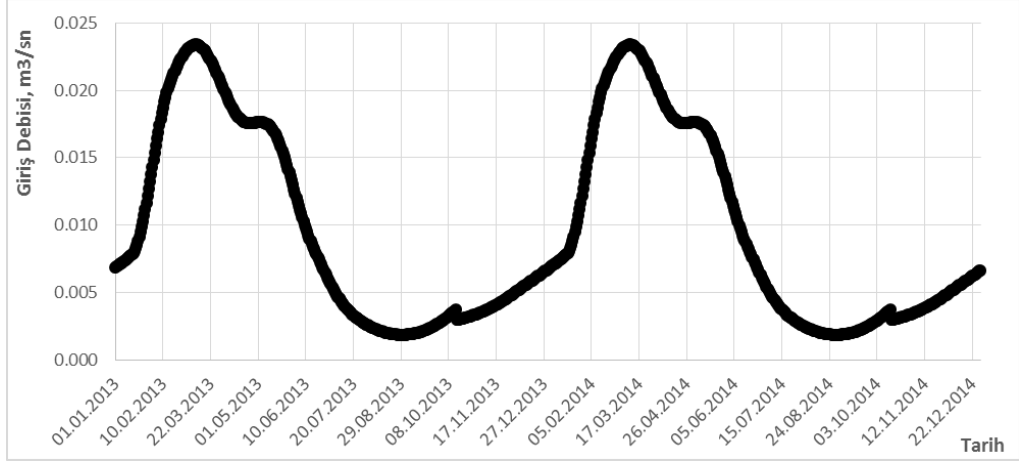
Şekil 6.18. Borabey göletini besleyen havza ve alt havzaları (Kaya, 2013)

Çizelge 6.2. Borabey göletinin alt havza alanları (Kaya, 2013)

No	Alt Havza Adı	Alan, m ²
1	Sol-1580	1,973,800
2	Orta-1581	646,275
3	Sağ-1582	2,702,425
4	Yan1-1583	983,025
5	Yan2-1584	645,875
6	Giriş-1586	625,375
7	Çıkış-1585	986,000
TOPLAM ALAN, km²		8.563

Sol-1580 numaralı alt havza önceleri yapılan derivasyon kanalıyla Keskin göletine aktarılmaktadır ve Borabey göleti 2013 ve 2014 yılları içerisinde bu alt havzadan beslenememiştir. Orta-1581 ve Sağ-1582 alt havzaları Borabey göletinin kuzeyinde yer alan tarımsal arazilerin sulanması amacıyla kullanılmaktadır ve bu alt havzaların da Borabey göletini besleyemediği varsayılmıştır. 2013 ve 2014 yılları içerisinde Borabey göletinin yalnızca Yan1-1583, Yan2-1584, Giriş-1586 ve Çıkış-1585 alt havzalarından beslendiği varsayılmıştır ve belirtilen alt havzaların toplam alanı 3,24 km²'dir.

Keskin ve Borabey göletlerinin havza alanlarının oranlanmasıyla hesaplanan, Borabey göletinin giriş debisi miktarları Şekil 6.19'da verilmiştir.



Şekil 6.19. Borabey göletinin 2013-2014 yıllarına ait hesaplanan giriş debileri

6.4. Derinliğe Bağlı Sıcaklık ve Çözünmüş Oksijen Profillerinin Çıkarılması

Borabey göletinin termal katmanlaşma yapısının belirlenmesi, CE-QUAL-W2 modelinin kalibrasyonu ve validasyonu için gerekli verilerin oluşturulması amacıyla belirli aralıklarla sıcaklık ve çözünmüş oksijen ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm çalışmalarında, derinliğe bağlı sıcaklık profili Castaway-CTD cihazı (Bkz. Şekil 6.20a), çözünmüş oksijen profili ise HACH HQ40d cihazı (Bkz. Şekil 6.20b) kullanılarak ölçülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 6.20. (a) CastAway CTD (b) Hach HQ40d cihazlarına ait görünümler

Castaway-CTD cihazı içerisinde bulunan üç adet sensör yardımıyla suyun iletkenliğini, sıcaklığını ve basınca bağlı ölçüm derinliğini ölçebilmektedir. Ayrıca cihaz GPS yardımıyla da ölçümün yapıldığı konumu noktasal olarak belirleyebilmektedir.

Castaway-CTD cihazı ile elde edilen veriler bluetooth ile bilgisayara, HACH HQ40d cihazı ile elde edilen veriler ise USB kablosu yardımıyla bilgisayara veya flash belleğe excel (csv) formatında aktarılabilir.

Castaway-CTD cihazı, ölçüme başlandığı andan itibaren derinlik, sıcaklık, iletkenlik ve basınç ölçümlerini otomatik olarak yapmaktadır. HACH HQ40d cihazı kullanılarak gerçekleştirilen çözülmüş oksijen ölçümleri ise 1 m aralıklarla yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda Şubat 2013 - Kasım 2014 tarihleri arasında Borabey göletinde 46 adet sıcaklık ve 41 adet çözülmüş oksijen profili ölçümü yapılmıştır.

2013 ve 2014 yılları içerisinde çözülmüş oksijen ve sıcaklık profili ölçümleri yapılan noktalar Şekil 6.21’de verilmiştir.



Şekil 6.21. 2013 ve 2014 yılları içerisinde ölçüm yapılan noktalar

6.5. Giriş Debisinin Sıcaklıkları

Borabey göletinin giriş debisinin sıcaklığı 2013 yılı içerisinde düzenli olarak ölçülemediği. 2014 yılı içerisinde ise Borabey göletini besleyen kaynak deresinin kuru olması sebebiyle sıcaklık ölçümü yapmak mümkün olmamıştır. Bu sebeple giriş debisi sıcaklıkları çeşitli varsayımlarda bulunularak hesaplanmıştır.

Giriş debisi sıcaklıklarının, Borabey göletinin yüzeyindeki su sıcaklığına eşit olduğu varsayılmıştır. Bu sebeple, Castaway-CTD cihazı kullanılarak gerçekleştirilen derinliğe bağlı sıcaklık profili ölçümlerinden elde edilen yüzey suyu sıcaklıkları HydroClimate yazılımı kullanılarak Akima Spline interpolasyonu ile 2013 ve 2014 yılları boyunca günlük olarak hesaplanarak giriş debisi su sıcaklıkları olarak kullanılmıştır.

6.6. Su Kalitesi Bileşenlerinin Değişimleri

Çözünmüş oksijen parametresinin modellenmesi çalışmasında kullanılacak olan su kalitesi bileşenlerinden fosfat, amonyum, nitrit, nitrat gibi bileşenlerin değişimleri 2013 yılı içerisinde çeşitli tarihlerde ölçülmüştür (Kaya, 2013). Çalışmada kullanılacak olan, fakat ölçümleri yapılmayan alg, bozunabilir ve kalıcı çözünmüş organik madde (L-DOM ve R-DOM) ile bozunabilir ve kalıcı partikül organik madde (L-POM ve R-POM) değişimleri de hesaplanabilmektedir. Alg değişiminin hesaplanması için gerekli olan klorofil-a ile L-DOM, R-DOM, L-POM ve R-POM değişimlerinin hesaplanması için gerekli olan toplam organik karbon değişimleri de 2013 yılı içerisinde çeşitli tarihlerde ölçülmüştür (Kaya, 2013).

Bu çalışma kapsamında Borabey göletinin orta kısmında gerçekleştirilen su kalitesi parametre ölçümlerinin ortalama değerleri başlangıç değişimleri olarak kullanılmış, kaynak deresinde gerçekleştirilen ölçümlerin ortalama değerleri ise giriş debisi ile gelen bileşen değişimleri olarak kullanılmıştır.

Alg değişimi CE-QUAL-W2 modelinde g/m^3 birimiyle veya mg/L organik maddenin kuru ağırlığı birimiyle kullanılmaktadır. Alg değişimi, klorofil-a değişimi kullanılarak nümerik bir yaklaşımla hesaplanmıştır. Alg değişimleri (6.2) ile hesaplanabilmektedir (Cole ve Tillman, 1999).

$$\frac{\mu g \text{ chl } a}{L} \times \frac{1 g}{10^6 \mu g} \times \frac{10^3 L}{1 m^3} \times \frac{65 g OM}{g \text{ chl } a} = \frac{0.065 g OM}{m^3} \quad (6.2)$$

Çözünmüş oksijen derişiminin modellenmesinde gerekli olan L-DOM, R-DOM, L-POM ve R-POM bileşenleri sırasıyla (6.3), (6.4), (6.5) ve (6.6) denklemleri ile hesaplanabilmektedir (Cole ve Tillman, 1999).

$$LDOM = ((TOC - alg) \times 0.75) \times 0.30 \quad (6.3)$$

$$RDOM = ((TOC - alg) \times 0.75) \times 0.70 \quad (6.4)$$

$$LPOM = ((TOC - alg) \times 0.25) \times 0.30 \quad (6.5)$$

$$RPOM = ((TOC - alg) \times 0.25) \times 0.70 \quad (6.6)$$

Burada *LDOM*, bozunabilir çözünmüş organik madde miktarını; *RDOM*, kalıcı çözünmüş organik madde miktarını; *LPOM*, çözünebilir partikül organik madde miktarını; *RPOM*, kalıcı partikül organik madde miktarını; *TOC*, toplam organik karbon miktarını ve *alg*, alg miktarını belirtmektedir ve tüm bileşenlerin birimleri g/m^3 'tür.

Hach HQ40d cihazı kullanılarak su yüzeyinde ölçülen çözünmüş oksijen derişimlerinin, giriş debisiyle gelen çözünmüş oksijen derişimlerine eşit olduğu varsayılmıştır. Su yüzeyinde ölçülen çözünmüş oksijen miktarları HydroClimate yazılımı kullanılarak Akima Spline interpolasyonu ile 2013 ve 2014 yılları boyunca günlük olarak hesaplanarak giriş debisiyle gelen çözünmüş oksijen miktarı olarak kullanılmıştır.

7. CE-QUAL-W2 MODELİNİN UYGULANMASI

CE-QUAL-W2 modelinin uygulama basamakları aşağıda verilmiştir;

- Verilerin hazırlanması,
 - Geometrik veriler
 - Başlangıç koşulları
 - Meteorolojik veriler
 - Sınır koşulları
 - Hidrolik parametreler
 - Kinetik parametreler
 - Kalibrasyon ve validasyon verileri
- Modelin hazırlanması,
- Kalibrasyon ve validasyon.

7.1. Verilerin Hazırlanması

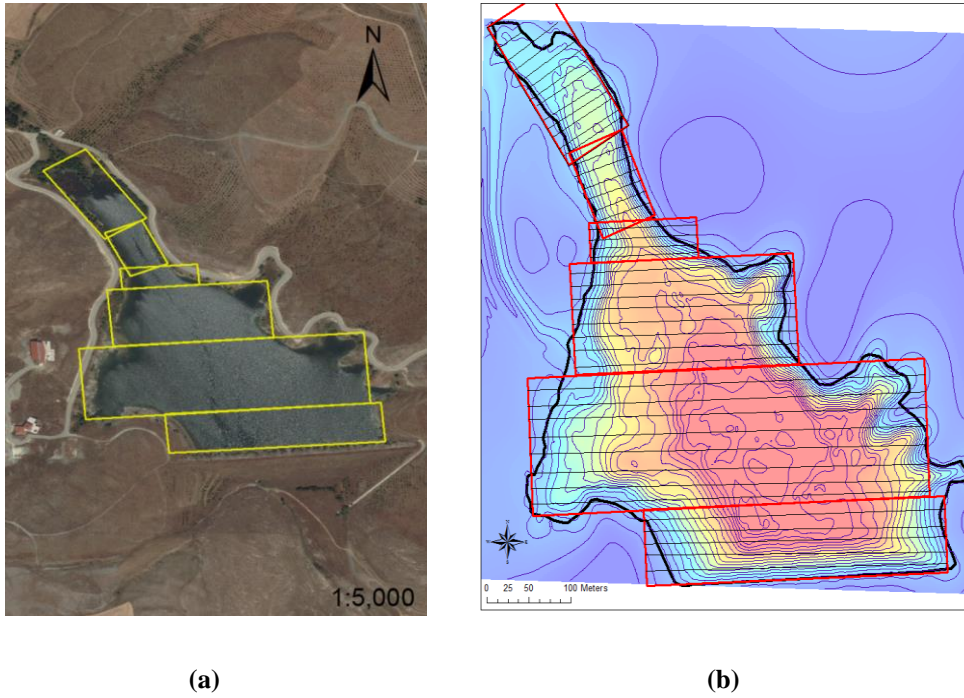
CE-QUAL-W2 modelinin uygulama aşamasında ilk basamak verilerin hazırlanmasıdır. Verilerin hazırlanması aşaması, modelin doğru bir şekilde çalışması açısından çok önemlidir ve bu aşamada veriler hazırlanırken çok dikkat edilmelidir. Verilerin hazırlanması aşamaları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

7.1.1. Batimetre dosyasının hazırlanması

Verilerin hazırlanması kısmında ilk basamak gerçek batimetre haritasının sayısallaştırılarak modele tanımlanmasıdır. Borabey göletinin CE-QUAL-W2 modeline uygun batimetre haritası oluşturulurken ilk olarak göletin gerçek batimetre haritasını en iyi temsil edecek şekilde segment ve katmanlara bölünmesi gerekmektedir. Segment ve katmanların belirlenmesi aşamasında ArcGIS yazılımından yararlanılmıştır. İlk basamakta Borabey göleti yüzeysel şekli ve alanı temsil edilecek şekilde 6 adet segmente ayrılmıştır. Segmentlerin uzunluk ve genişlik ölçüleri ArcGIS yazılımı kullanılarak, yerleşim açıları ise Google Earth yazılımı kullanılarak saptanmıştır. Borabey göletinin segmentlere ayrılmış görünümü Şekil 7.1a'da verilmiştir.

Segment sayısının belirlenmesinin ve yüzey segmentlerinin oluşturulmasının ardından Borabey göleti için oluşturulacak olan katmanların yükseklikleri 1 m olarak belirlenmiştir. Her bir segmentte kaç adet katman bulunacağı ve her bir hücrenin ortalama genişliği ArcGIS yazılımı kullanılarak mevcut batimetre haritasından elde edilmiştir. ArcGIS yazılımındaki “3D Analyst” modülü ve gölete ait kontur dosyası kullanılarak her bir segmentin içerisine birçok derinlik profili çizgisi çizilerek sayısal değerler saptanmıştır. Elde edilen sayısal değerler kullanılarak ilk olarak her bir segmentin maksimum derinliği ve buna bağlı olarak her bir segmentte kaç adet katman bulunacağı belirlenmiştir. İkinci aşamada ise kot-alan-hacim çizelgesi (Bkz. Çizelge 6.1) de göz önünde bulundurularak ArcGIS yazılımından elde edilen verilerle her bir hücrenin ortalama genişliği belirlenmiştir.

Borabey göletinde her bir segmentten derinliklerin elde edilmesi amacıyla çizilen profil çizgilerinin ArcGIS yazılımından elde edilen görünümü Şekil 7.1b’de verilmiştir. Burada segmentlerin sınırları kırmızı çizgilerle çizilmiştir. Derinlik profili alınan çizgiler ise segmentlerin içerisinde yer alan ve her biri temsil ettiği segmentin yerleşim açısına göre birbirlerine paralel olan siyah çizgilerdir.



Şekil 7.1. Borabey göletinde (a) oluşturulan segmentler (b) profil alınan çizgiler

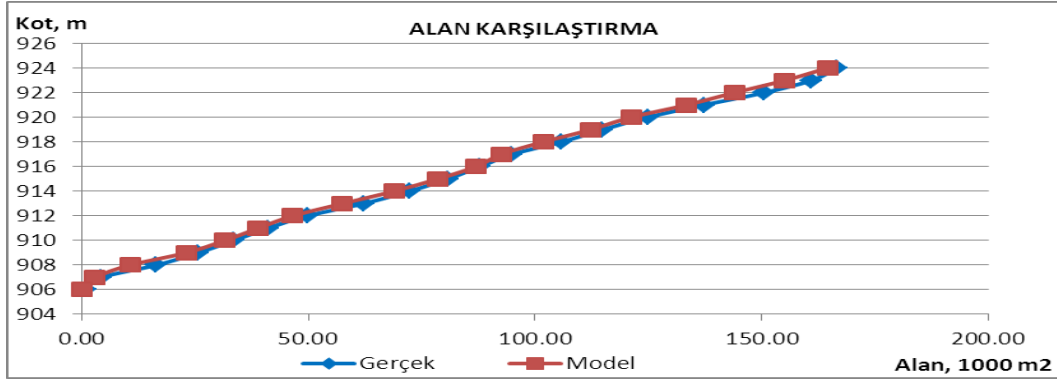
Yapılan çalışma sonucunda Borabey göleti 6 adet segmente ve 18 adet katmana ayrılmıştır. Batimetre haritası CE-QUAL-W2 modeline uygun hale getirilirken memba ve mansap yönlerinde birer adet sınır/sıfır segmenti, yüzey ve dip kısımlarına da birer adet sınır/sıfır katmanı eklenmesi gerektiği modelin el kitabında belirtilmiştir (Cole ve Wells, 2013). Sonuç olarak Borabey göletinin batimetre haritası; toplamda 8 adet segment ve 20 adet katman olacak şekilde hücrelere bölünmüştür. Oluşturulan her bir hücrenin uzunluğu, genişliği, yüksekliği ve yerleşim açıları “bth.npt” dosyasına girilerek Borabey göletinin batimetre haritası sayısallaştırılmış ve CE-QUAL-W2 modeline tanımlanmıştır. Ayrıca segment ve katman sayılarının CE-QUAL-W2 modelinin kontrol dosyası içerisinde de tanımlanması gerekmektedir. Bu işlem için kontrol dosyasında bulunan “GRID” kartının altında yer alan “IMX” ve “KMX” değişken isimlerine bu değerler girilmiştir. Segment sayısı “GRID” kartının altında yer alan “IMX” değişkenine, katman sayısı ise aynı kartın altında yer alan “KMX” değişkenine tanımlanmıştır. CE-QUAL-W2 modeli için oluşturulan batimetre haritasındaki segmentlerin ve katmanların yanal görünümü, segmentlerin üst görünümü ve derinliğe bağlı katman genişliklerinin görünümü EK-3’te verilmiştir.

Borabey göletinin CE-QUAL-W2 modeli için sayısallaştırılan batimetre haritasından elde edilen kota bağlı alanların, gerçek alan değerleriyle karşılaştırması Şekil 7.2’de; kota bağlı hacim değerlerinin, gerçek hacim değerleriyle karşılaştırması ise Şekil 7.3’te verilmiştir. Ayrıca oluşturulan model batimetre haritası ile gerçek batimetre haritası arasındaki doğruluğu saptamak amacıyla Nash-Sutcliffe verimlilik indeksine (NSE) bakılmıştır. NSE indeksi genel olarak Denklem (7.1) ile hesaplanmaktadır (Nash ve Sutcliffe, 1970).

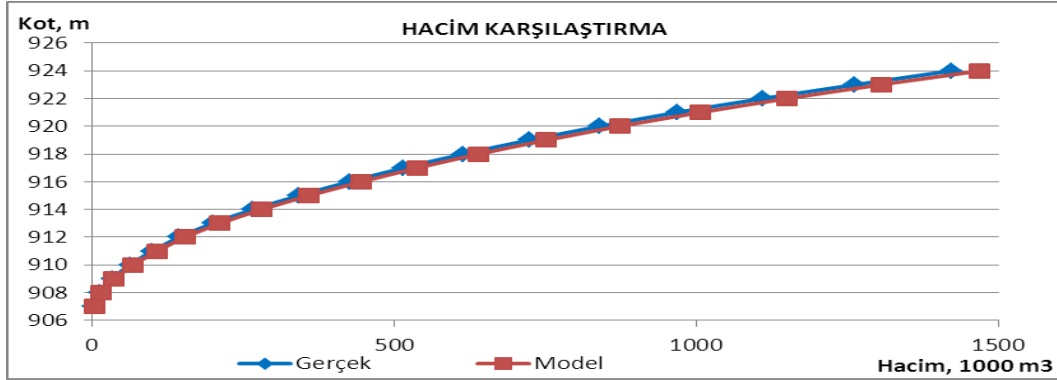
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (7.1)$$

Burada O_i , gözlem verisini; P_i , model verisini ve \bar{O} ise gözlem verilerinin ortalamasını ifade etmektedir. NSE indeksinin değeri $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. NSE indeksi 1 değerine ne kadar yakınsa, gözlemlenen ve modellenen değerler arasındaki verimlilik o kadar yüksektir. CE-QUAL-W2 modeli için hazırlanan batimetre haritasından elde edilen kot-alan ve kot-hacim değerleri ile gerçek kot-alan ve kot-hacim değerleri arasındaki NSE verimlilik

indeksleri hesaplandığında; bu indeks alan karşılaştırmaları için 0.99, hacim karşılaştırmaları için ise 0.97 olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen iki değer de 1'e çok yakın olması, CE-QUAL-W2 modeli için hazırlanan batimetre haritasının, göletin gerçek batimetre haritasına oldukça yakın olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 7.2. Kota bağlı, gerçek alan ve model alanı karşılaştırılması



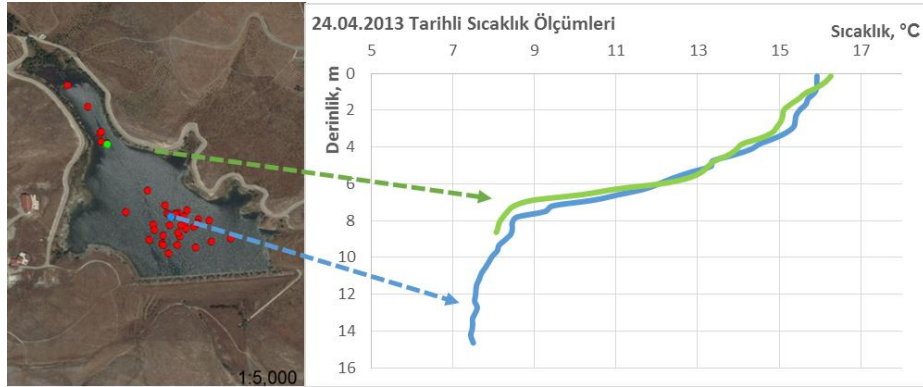
Şekil 7.3. Kota bağlı, gerçek hacim ve model hacmi karşılaştırılması

7.1.2. Başlangıç koşullarının tanımlanması

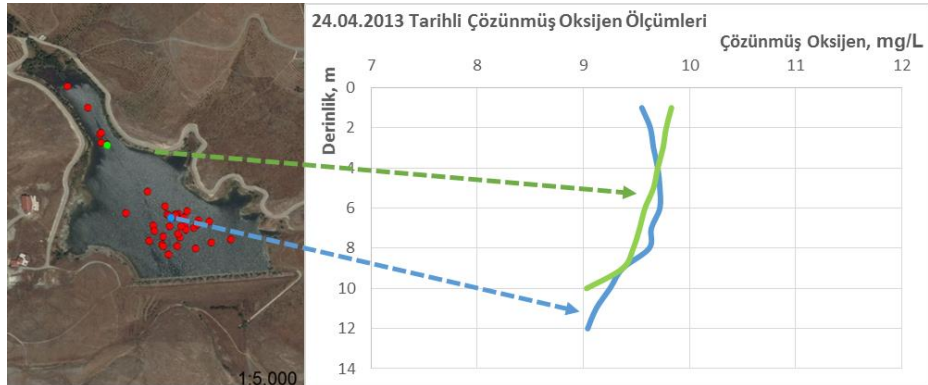
Başlangıç koşullarının belirlenmesi aşamasında ilk olarak zaman koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada ilk olarak modelleme işleminin yapılacağı zaman aralığı belirlenerek modele tanıtılmıştır. Modelleme işlemi için gereken tüm veriler incelendiğinde, modelleme işleminin zaman aralığı 26 Şubat 2013 - 30 Ekim 2014 olarak belirlenmiştir. Kontrol dosyası içerisinde modelin başlangıç zamanı "TMSTRT", bitiş zamanı da "TMEND" değişken

isimlerine jülyen tarihi olarak tanımlanmıştır. Bu değişkenlere sırasıyla 56 ve 669 değerleri girilmiştir.

İkinci aşamada ise başlangıç su sıcaklıkları ve modellenecek bileşenlerin başlangıç derişimlerinin modele tanımlanması yer almaktadır. Başlangıç koşulları CE-QUAL-W2 modeline girilirken üç farklı seçenek mevcuttur. Bunlardan birincisi; su kütlesinin her bölgesinde eşit koşulların kabul edildiği, ikincisi; su kütlesi için derinliğe bağlı homojen bir düşey profilin belirtildiği ve son olarak da her bir segment için ayrı ayrı düşey profillerin tanımlanması durumudur. Çalışma kapsamında incelenen Borabey göletinin nispeten küçük bir göl olması nedeniyle arazide yapılan ölçüm çalışmalarında segmentler arası sıcaklık ve çözülmüş oksijen profillerinde derinliğe bağlı olarak önemli farklılıklar bulunmadığı gözlemlenmiştir (Bkz. Şekil 7.4, Şekil 7.5). Bu sebeple, yapılan çalışmada Borabey göletinin sıcaklık ve çözülmüş oksijen parametrelerinin başlangıç koşulları, tüm gölet için homojen olarak birer adet düşey profille tanımlanmıştır.



Şekil 7.4. 24.04.2013 tarihli ölçüm çalışması derinlik-sıcaklık profil sonuçları



Şekil 7.5. 24.04.2013 tarihli ölçüm çalışması derinlik-çözülmüş oksijen profil sonuçları

Üçüncü aşamada ise, Borabey göletinin giriş ve çıkış yapılarının sayıları ve kotları tanımlanmıştır. Borabey göletinin mansabında bulunan tarım arazilerinde kullanılmak üzere, tek bir yapıdan su bırakılmaktadır. Suyun bırakıldığı çıkış yapısının kotu, JAVAD marka GNSS (Global Navigation Sattelite System) alıcısı kullanılarak ölçülmüştür. Çıkış yapısının kot değeri bırakılan suyun hangi katmandan bırakıldığı ve buna bağlı sıcaklık ve çözünmüş oksijen değerinin bilinmesi açısından önemlidir.

Dördüncü aşamada ise modellenen su kütlesinin tipi tanımlanmıştır. Bu kısımda “WTYPE” değişken ismi altında tuzlu su veya tatlı su seçenekleri mevcuttur. Borabey göleti bu kısımda modele tatlı su olarak tanımlanmıştır. Bu seçenek suyun yoğunluk hesaplamaları ve donma sıcaklığı gibi parametreleri etkilemesi açısından önemlidir. Ayrıca su kalitesi parametrelerinin modellenmesi sırasında tatlı sularda toplam çözünmüş katı madde miktarı hesaplanırken, tuzlu sularda ise tuzluluk miktarı hesaplanmaktadır.

Beşinci aşamada ise başlangıçtaki buz kalınlığının modele tanımlanması yer almaktadır. Modelleme çalışmasının başlangıç tarihinde çalışma alanında buz oluşumu varsa buzun kalınlığı modele “ICETHI” değişkeninin altında tanımlanmalıdır. Gerçekleştirilen modelleme çalışmasının başlangıcı olan 2013 yılının Şubat ayında Borabey göletinde buz oluşumu gözlenmediği için buz kalınlığı modele 0 olarak tanımlanmıştır.

7.1.3. Meteorolojik verilerin hazırlanması

Modelin çalıştırılması için gerekli olan meteorolojik koşullardan hava sıcaklığı, çiglenme noktası sıcaklığı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, yağış miktarı ve güneş ışınımı değerleri bu kısımda tanımlanmıştır. Meteoroloji dosyasının hazırlanması ile ilgili bilgiler bölüm 3.1.3’de verilmiştir. Yukarıda belirtilen parametrelere ek olarak yağış miktarı da ayrı bir dosya olarak modele tanımlanmıştır. Yağış miktarının modele tanımlandığı durumlarda, yağış sıcaklıklarının da modele ayrı bir girdi dosyası olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu aşamada yağış sıcaklığının ölçülememiş olması sebebiyle hava sıcaklıklarının yağış sıcaklıklarına eşit olduğu varsayılmış ve yağış sıcaklıkları için hava sıcaklıklarının değerleri kullanılmıştır.

7.1.4. Sınır koşullarının tanımlanması

Su girişi, su çıkışı ve yüzeysel sınır şartlarıyla ilgili koşullar CE-QUAL-W2 modeline bu kısımda tanımlanmaktadır.

Borabey göletinin su kazanımının memba yönündeki giriş debisi ve yağış ile olduğu, su kayıplarının ise mansap yönündeki çıkış debisi ve buharlaşma ile olduğu bu kısımda modele tanımlanmıştır.

Ayrıca yüzeysel ısı değişimi, güneş ışınımı absorpsiyonu, gaz değişimi ve rüzgar gibi yüzeysel sınır koşullarının özellikleri bu kısımda tanımlanmıştır. Yüzeysel ısı değişimi miktarı CE-QUAL-W2 modeli tarafından iki şekilde hesaplanabilmektedir. Bu seçenekler “SLHTC” değişken isminin altında yer alan “ET” ve “TERM” seçenekleridir. Bu seçeneklerden birincisinde yüzeysel ısı değişim miktarı hesaplanırken denge sıcaklıkları kullanılmaktadır. İkinci seçenekte ise yüzeysel ısı değişim miktarı hesaplanırken terim terime bir hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Ayrıca güneş ışınımı miktarının modele meteoroloji dosyası içerisinde girdi olarak tanımlanmadığı durumlarda, güneş ışınımı miktarının hesaplanması için gerekli olan enlem ve boylam değerleri sırasıyla “LAT” ve “LONG” değişken isimlerine tanımlanmaktadır.

Güneş ışınımı miktarının su kolonu içerisindeki dağılımını etkileyen su yüzeyi tarafından absorbe edilen güneş ışınımı oranı, güneş ışınımı etkisinin su tarafından sönmelenme oranı, inorganik askıda katılara bağlı azalma oranı ve organik katılara bağlı azalma oranı sırasıyla “BETA”, “EXH2O”, “EXINORG” ve “EXORG” değişken isimlerine bu kısımda tanımlanmaktadır. EXINORG ve EXORG parametreleri sadece su kalitesi parametrelerinin de modellendiği durumda etkili olmaktadır.

Rüzgar gerilimi (wind stress) fiziksel süreçlerde önemli bir parametre olması sebebiyle tüm uygulamalarda modele dahil edilmelidir. Ayrıca çözünmüş oksijen ve/veya toplam inorganik karbonun modellenmesi durumunda gaz değişimi parametresi de rüzgar gerilmesinden etkilenmektedir. Rüzgar gerilmesini etkileyen rüzgar korunaklılık katsayısı (WSC) da ayrı bir girdi dosyası olarak modele tanımlanmaktadır.

7.1.5. Hidrolik parametrelerin tanımlanması

Momentum için yatay dispersiyon katsayısı olan “AX” ile sıcaklık ve bileşenler için difüzyon katsayısı olan “DX” değişkenleri bu aşamada tanımlanmaktadır. Bu parametreler zamana ve segment uzunluklarına göre değişkenlik gösterebilmektedir. Gerçekleştirilen birçok çalışmada yapılan duyarlılık analizlerinin sonuçları bu parametrelerin varsayılan değerlerinin değiştirilmesinin rezervuarlar için çok etkili olmadığını ancak akarsular ve haliçler için önemli olabildiğini göstermiştir (Cole ve Wells, 2013). Başlangıçta her iki parametre için $1 \text{ m}^2/\text{s}$ olan değerler, modelin ön işlemcisinin (preW2-37_32.exe) çalıştırılmasının ardından, AX/DX teorisine göre, sonuçlarda belirtilen $0.0385 \text{ m}^2/\text{s}$ değeriyle değiştirilmiştir. Türbülanslı difüzyon katsayısının değeri göllerde $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ değerleri arasında değişmektedir (Chapra, 1997). Çalışmada kullanılan difüzyon katsayısının $0.0385 \text{ m}^2/\text{s}$ değeri belirtilen aralığa uygun bir değerdir.

Su kütlesinin tabanına etki eden güneş ışınımı miktarını ayarlayan ve 0 ile 1 arasında değişen “TSEDF” değişkeni de yine bu basamakta tanımlanmaktadır. Çalışma kapsamında güneş ışınımı miktarının su kütlesinin tabanına etki etmediği kabul edilmiş ve bu değer 0 olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca sediment sıcaklığını ifade eden “TSED” değişkeni yine bu basamakta tanımlanmaktadır. Cole ve Wells (2013) CE-QUAL-W2 modelinin el kitabında bu değer için bölgede ölçülen hava sıcaklığı değerlerinin yıllık ortalamasının kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında sediment sıcaklığı olarak tabandan 1 m yukarıda, yıl boyunca ölçülen su sıcaklığı değerlerinin ortalaması olan $9.77 \text{ }^\circ\text{C}$ değeri kullanılmıştır (Albek ve ark., 2015).

Yukarıda bahsedilen parametreler dışında CE-QUAL-W2 modelinde yer alan hidrolik parametrelerin varsayılan değerleri kullanılmıştır. Kullanılan tüm parametreler, değişken isimleri, varsayılan değerleri ve çalışmada kullanılan değerleri Şekil 7.6’da verilmiştir.

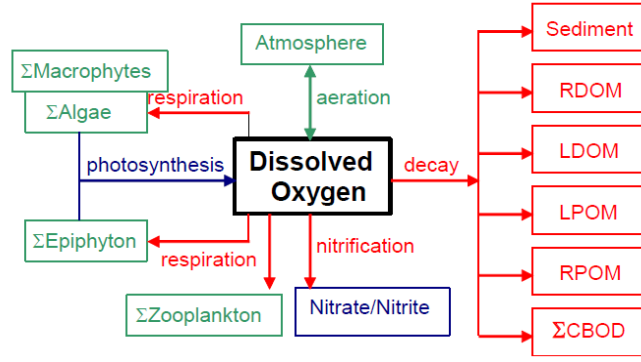
Hydraulic Coefficients:			
	Variable name	Default Values	WB #1
Hor. Eddy Viscosity [m ² /s]	[AX]	1.0	0.0385
Hor. Eddy Diffusivity [m ² /s]	[DX]	1.0	0.0385
Sediment Heat Ex. Coeff. [W/m ² /s]	[CBHE]	0.3	0.3
Sediment Temperature [C]	[TSED]	10.0	9.77
Interfacial Friction [-]	[FI]	0.015	0.015
Fraction Solar at Sed. to Water [-]	[TSEDF]	1.0	0
Vertical Eddy Viscosity	[AZC]	W2	W2
Max. Vertical Eddy Visc. [m ² /s]	[AZMAX]	1.0	1
Vertical Transport Hor. Momentum	[AZSLC]	IMP	IMP
For TKE1: BC choice =1[Ceik88],2[Rodi83],or 3[W2]	[FBC]	3	3
For TKE1: Roughness coefficient [-]	[E]	9.535	9.535
For TKE1: Coefficient used if FBC=1[0.431] or 2[0.07]	[ARODI]	0.431	0.431
For TKE1: Surface roughness and Manning's coefficient	[STRCKLR]	24.0	24
For TKE1: Boundary production coefficient	[BOUNDFR]	10.0	10
For TKE1: Calculation procedure for vertical transport	[TKECAL]	IMP	IMP
Friction Type	[FRICC]	MANN	CHEZY
Wind roughness height [m]	[Z0]	0.001	0.001

Şekil 7.6. CE-QUAL-W2 modelinde kullanılan hidrolik parametreler

7.1.6. Kinetik parametrelerin tanımlanması

CE-QUAL-W2 modeli içerisinde su kalitesi bileşenlerinin kinetiklerini etkileyen 120'den fazla parametre bulunmaktadır ve bu parametrelerden en az 10 tanesi su kalitesi bileşenlerinin kalibrasyonunda kullanılmaktadır. Su kalitesi bileşenlerini etkileyen tüm parametrelerle ilgili detaylı açıklamalar modelin el kitabının Ek-C kısmında yer almaktadır (Cole ve Wells, 2013). Bu çalışma kapsamında öncelikli hedef çözülmüş oksijenin modellenmesi olduğu için sadece çözülmüş oksijen dinamiklerini etkileyen su kalitesi parametreleri üzerinde durulmuştur.

Çözülmüş oksijen derişimi modellenirken, modelin hesaplamalarda kullandığı çözülmüş oksijen kaynak ve tüketicileri Şekil 7.7'de verilmiştir. Çözülmüş oksijen derişimini artıran en önemli kaynaklar suyun atmosferle teması sonucu gerçekleşen doğal havalandırma ile oksijen kazanımı ve alglerin, makrofitlerin ve epifitonların fotosentez sonucu ürettikleri oksijendir. Bunun yanı sıra çözülmüş oksijeni tüketen kaynaklar ise alglerin, makrofitlerin, epifitonların ve zooplanktonların solunumu ve organik sedimentlerle organik maddelerin bozunması veya çözünmesidir.

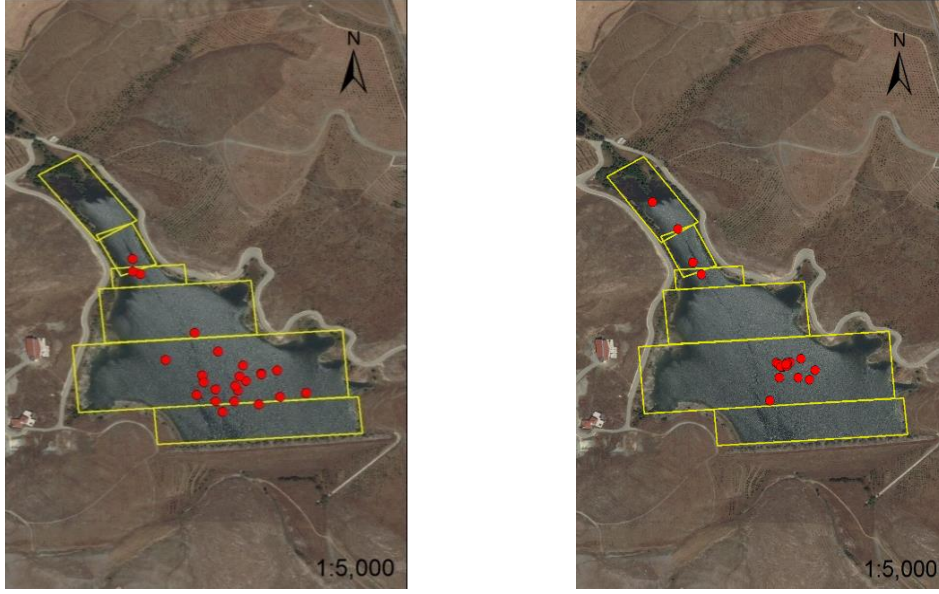


Şekil 7.7. Çözünmüş oksijen miktarını etkileyen bileşenler (Cole & Wells, 2013)

Çalışma kapsamında Borabey göletinde çözünmüş oksijen derişimi modellenirken Şekil 7.7’de yer alan bileşenlerden makrofitler, epifitonlar, zooplanktonlar ve CBOD bileşenleri herhangi bir ölçüm verisi olmadığı için kullanılmamıştır ve kontrol dosyası içerisinde devre dışı bırakılmıştır. Devre dışı bırakılan parametreler dışındaki diğer parametrelerle ilgili tüm kinetik katsayıların varsayılan değerleri kullanılmıştır.

7.1.7. Kalibrasyon ve validasyon verilerinin hazırlanması

Bu aşamada modelin kalibrasyonu ve validasyonu sırasında modelleme sonuçları ile karşılaştırma amacıyla kullanılacak olan 2013 ve 2014 yıllarına ait ait sıcaklık ve çözünmüş oksijen ölçümlerinin verileri CE-QUAL-W2 modelinin okuyacağı formata uygun hale getirilerek kalibrasyon ve validasyon verileri oluşturulmuştur. 2013 yılına ait ölçüm verileri modelin kalibrasyon dosyasında kullanılırken, 2014 yılına ait ölçüm verileri ise validasyon dosyasının oluşturulmasında kullanılmıştır. 2013 ve 2014 yıllarında ölçüm yapılan noktaların ve Borabey göletinin batimetre haritası için oluşturulan segmentlerinin ArcGIS yazılımından elde edilen görünümü Şekil 7.8’de verilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 7.8. (a) 2013 ve (b) 2014 yılları içerisinde ölçüm yapılan noktalar

Ölçüm yapılan noktalar incelendiğinde, yapılan ölçümlerin CE-QUAL-W2 modelinin batimetre haritasına göre, memba ve mansap yönlerinde birer adet sıfır/sınır segmenti olduğu düşünülerek, 6. segmenti temsil ettiği görülmektedir. Bu sebeple kalibrasyon ve validasyon dosyaları hazırlanırken, ölçüm noktalarının mansap yönünden uzaklıkları 6. segmenti temsil edecek şekilde dosya içerisinde tanımlanmıştır.

7.2. Modelin Çalıştırılması

CE-QUAL-W2 modeli, Borabey göletinin sıcaklık ve çözülmüş oksijen modellenmesi için çalıştırılmadan önce model girdilerinin kontrol edilmesi sağlanmıştır. Model girdileri kontrol edilirken CE-QUAL-W2 modelinin dosyaları içerisinde yer alan ve ön işlemci olarak adlandırılan yürütme (preW2-37_32.exe) programı çalıştırılarak model dosyaları taranmıştır. Bu işlem sonucunda saptanan hataların yer aldığı “pre.err” dosyası ve uyarıların yer aldığı “pre.wrn” dosyası oluşmaktadır. Bu dosyalar kontrol edilerek varsa hataların giderilmesi sağlanmalıdır. Bu işlemin ardından tüm girdi dosyalarıyla aynı klasör içerisinde yer alması gereken ve modeli çalıştırmaya yarayan yürütme programı (w2_ivf32.exe)

kullanılarak model çalıştırılmıştır. Modelin çalıştırılması sonucu elde edilen sonuçlar “.opt” uzantılı ascii-txt tabanlı dosyalar içerisinde sayısal olarak görüntülenebilmektedir. Ayrıca bir diğer sonuç dosyası olan “.w2L” uzantılı dosyada yer alan sonuçlar “W2_Post” yazılımı kullanılarak grafiksel olarak veya animasyon şeklinde de görüntülenebilmektedir.

7.3. Modelin Kalibrasyonu

Modelin çalıştırılmasının ve ham olarak elde edilen sonuçların görüntülenmesinin ardından ilk basamak kalibrasyon çalışmalarına başlamaktır. Kalibrasyon işlemi gözlem verileri ile model sonuçlarının tutarlı hale getirilebilmesi amacıyla bazı model parametrelerinin değerlerinin ayarlanmasıdır.

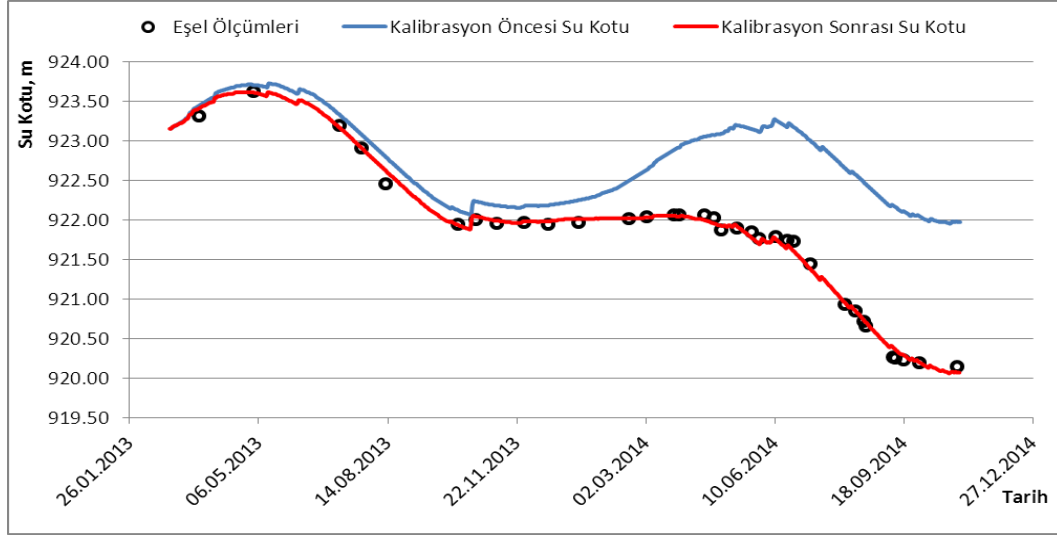
CE-QUAL-W2 modelinin kalibrasyon basamakları; su seviyesinin kalibrasyonu, sıcaklık parametrelerinin kalibrasyonu ve su kalitesi parametrelerinin kalibrasyonu şeklindedir. Özellikle sıcaklık parametresinin kalibrasyonu öncesinde parametrelerin duyarlılık analizleri gerçekleştirilerek kalibrasyon yapılacak parametrelerin öncelikleri belirlenmiştir.

7.3.1. Su seviyesinin kalibrasyonu

CE-QUAL-W2 modelinin kalibrasyonunda ilk ve en önemli basamak su seviyesinin kalibrasyonudur. Su seviyesinin ve buna bağlı su hacminin doğru modellenmemesi diğer tüm hesaplamaları doğrudan etkilemesi açısından önemli bir kalibrasyon parametresidir. Bu sebeple giriş ve çıkış debilerinin modele tanımlanmasının ardından model çalıştırılarak su seviyelerinin gözlem verileriyle tutarlılığına bakılmalıdır. Su seviyelerinin eşleşmediği durumlarda su seviyeleri kalibre edilmelidir.

2013 ve 2014 yılları için giriş ve çıkış debilerinin modele tanımlanmasının ardından model çalıştırılarak su seviyeleri kontrol edilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucunda 2013 ve 2014 yılları için hesaplanan su seviyelerinin gözlem verilerinden fazla olduğu gözlemlenmiştir. 2013 ve 2014 yılları için modele tanımlanan giriş debilerinde yüzdesel azaltımlar yapılarak su seviyelerinin kalibrasyonu sağlanmıştır (Devonis, 2011). Modelin çalıştırılmasının ardından elde

edilen su seviyelerinin kalibrasyonsuz su seviyeleri ve kalibrasyon sonucu elde edilen su seviyelerinin görünümü Şekil 7.9'da verilmiştir. Su seviyelerinin kalibrasyonunun ardından, kalibrasyon sonrası elde edilen su kotları ile eşel ölçümleri arasında NSE indeksi 1.00 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 1'e eşit olması eşel ölçümlerinden elde edilen su kotları ile modelden elde edilen su kotlarının son derece tutarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 7.9. 2013-2014 yıllarının kalibrasyonsuz ve kalibrasyonlu su seviyeleri

7.3.2. Sıcaklık kalibrasyonu

Su seviyelerinin kalibrasyonunun ardından ikinci basamak su sıcaklığını etkileyen parametrelerin kalibrasyonunun gerçekleştirilmesidir. Bu aşamada öncelikle CE-QUAL-W2 modelinin el kitabı ve konuyla ilgili literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. CE-QUAL-W2 modelinin el kitabında yer alan, sıcaklığı etkileyen parametreler ve bu parametrelerin varsayılan değerleri Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. CE-QUAL-W2 modelinin sıcaklık kalibrasyon parametreleri

Parametre	FORTTRAN Adı	Varsayılan Değeri
Boylamsal eddy viskozitesi	[AX]	1 m ² /s
Boylamsal eddy difüzyon katsayısı	[DX]	1 m ² /s
Chezy veya Manning katsayısı	[FRICT]	70 m ² /s
Rüzgar korunaklılık katsayısı	[WSC]	Kalibrasyon Parametresi
Su yüzeyinin absorbe ettiği güneş ışınımı oranı	[BETA]	0.45
Suyun ışığı sönmülleme katsayısı	[EXH2O]	0.45 m ⁻¹
İnorganik katıların ışığı sönmülleme katsayısı	[EXORG]	0.01 m ⁻²
Organik katıların ışığı sönmülleme katsayısı	[EXINOR]	0.2 m ⁻³

Çizelge 7.1’de verilen parametrelerden eddy viskozitesi (AX), Chezy katsayısı (FRICT) ve rüzgar korunaklılık katsayısı (WSC); ısı ve bileşenlerin taşınımını etkileyen hidrodinamik parametreleri, doğrudan etkilemektedir. Geri kalan parametreler ise hidrodinamiği etkileyen su sıcaklığını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Çizelge 7.1’de yer alan EXINORG ve EXORG parametreleri ise sadece su kalitesi bileşenleri modellendiği zaman su sıcaklığını etkilemektedir (Cole ve Wells, 2013).

CE-QUAL-W2 modelinin kalibrasyon parametreleriyle ilgili detaylı bir literatür taraması yapıldığında kalibrasyon işleminde kullanılan bazı parametrelerin modelin el kitabında verilen parametrelerle benzerlik gösterdiği, bunun yanı sıra farklı parametrelerin de bu parametrelere ek olarak veya bu parametrelerin yerine modelin sıcaklık kalibrasyonunda kullanıldığı gözlemlenmiştir. Chung ve Oh (2006) muson ikliminde yer alan monomiktik bir göl üzerinde yapmış oldukları çalışmada; sıcaklık simülasyonunu etkileyen parametreler için duyarlılık analizi gerçekleştirerek sıcaklık kalibrasyonunda hangi parametrelerin daha etkili olduğunu gözlemlenmişlerdir. Duyarlılık analizi için boylamsal eddy viskozitesi (AX), boylamsal eddy difüzyon katsayısı (DX), chezy katsayısı (FRICC), rüzgar korunaklılık katsayısı (WSC), su yüzeyi tarafından absorbe edilen güneş ışınımı oranı (BETA), suyun güneş ışınımını sönmülleme katsayısı (EXH2O), sediment ısı değişim katsayısı (CBHE) ve giriş debisinin sıcaklığı (TIN) parametrelerini kullanmışlardır. Yapılan duyarlılık analizi sonucunda WSC, FRICC ve CBHE parametreleri termal yapıyı etkileyen önemli parametreler olarak dikkat çekmiştir. Bu parametrelerden rüzgar hızıyla çarpılan WSC parametresi rüzgarın etkinliğini artırıp-azaltılarak termoklin derinliğiyle birlikte, katmanlaşma ve hızlandırılmış karışım sırasında suyun sıcaklık profilini etkilemektedir. FRICC katsayısı su kütlesi

ile taban arasındaki sınır pürüzlülüğünün derecesidir. Bu parametrenin artışı dikey sıcaklık değişiminin artmasına ve karışımın hızlanmasına sebep olur. CBHE parametresi de sadece katmanlaşmaya olan etkisi sebebiyle hipolimniyon tabakasında önemli bir parametredir. Ayrıca yapılan duyarlılık analizi sonucunda AX, DX, BETA ve EXH2O parametrelerinin sıcaklık kalibrasyonunda çok etkili olmadığı da saptanmıştır.

Afshar ve ark. (2011) ise PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu/Particle Swarm Optimization) ile CE-QUAL-W2 modelinin BETA, EXH2O, WSC, AX, DX, FRICT, AFW, BFW ve CFW gibi sıcaklık parametrelerini otomatik olarak kalibre ederek en uygun parametre değerlerini belirlemişlerdir. Bu parametrelerden AX, FRICT ve WSC ısı ve taşınımı etkileyen katsayılar; AFW, BFW ve CFW buharlaşma miktarına etki eden katsayılar ve diğer parametreler de sıcaklığı doğrudan etkileyen hidrodinamik parametrelerdir. Kalibrasyon sonucunda elde edilen parametre değerleri Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. CE-QUAL-W2 modelinin kalibrasyonu sonucunda elde edilen sıcaklık parametreleri

Parametre	FORTTRAN Adı	Model Parametresi
Başlangıç gününün rüzgar korunaklık katsayısı	[WSC]	0.85
Bitiş gününün rüzgar korunaklık katsayısı	[WSC]	0.78
Su yüzeyinin absorbe edilen güneş ışınımı oranı	[BETA]	0.49
Suyun ışığı sönmüleme katsayısı	[EXH2O]	0.24 m ⁻¹
Chezy veya Manning katsayısı	[FRICT]	77 m ² /s
Boylamsal eddy viskozitesi	[AX]	6 m ² /s
Boylamsal eddy difüzivitesi	[DX]	1 m ² /s
Rüzgar hızı denklemindeki a katsayısı	[AFW]	9.28
Rüzgar hızı denklemindeki b katsayısı	[BFW]	0.59
Rüzgar hızı denklemindeki c katsayısı	[CFW]	2.27

Kim ve Kim (2006) CE-QUAL-W2 modelini kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada; kalibrasyon sırasında ayarlanması gereken parametrelerden; boylamsal eddy viskozitesi (AX), boylamsal eddy difüzivitesi (DX), chezy katsayısı (FRICC) ve WSC parametrelerinin hidrodinamiği etkilediğini; su yüzeyi tarafından absorbe edilen güneş ışınımı oranı (BETA) ve taban ısı alışverişi katsayısının (CBHE) direkt olarak ısı bütçesini etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca ısı bütçesini etkileyen diğer parametreleri buharlaşmayla ısı kaybı, kısa ve uzun dalga ışınım, konveksiyon, kondüksiyon ve su yüzeyinden geri ışınım olarak belirtmişlerdir. Kalibrasyon

sırasında, ölçümü yapılmayan kalibrasyon parametrelerinin varsayılan değerleri kullanılmıştır. Ancak düşey eddy viskozite değeri (AZMAX) için varsayılan değer dışında ($1 \text{ m}^2/\text{sn}$), rüzgar kırılmasının baskın olduğu koşullarda önerilen $1.2 \text{ m}^2/\text{s}$ değerini kullanmışlardır. Ayrıca WSC katsayısı da rüzgarın etkinliğini ayarlamak için kullanılmıştır. WSC parametresi 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu değer 1'e yaklaştıkça rüzgarın etkisi daha fazla olmaktadır. Bu çalışmada WSC parametresi için 0.85 değeri kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada kalibre edilen modelin 8 yıllık verilerle de doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Afshar ve Kazemi (2012) yapmış oldukları çalışmada; CE-QUAL-W2 modelinin kalibrasyon işlemini hibrit ANN-PSO algoritması kullanarak otomatik olarak gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmanın ilk aşamasında PSO, CE-QUAL-W2 modelinin içerisine gömülerek kalibrasyon parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. İkinci basamakta ise simülasyon modeli çalıştırılarak durum izlenmiştir. Yine bu çalışmada CE-QUAL-W2 için kalibrasyon parametreleri; modelin ilk çalışma günü ve son çalışma günü için WSC parametresi, BETA, EXH2O, AX, DX, FRICT, AFW, BFW ve CFW olarak belirtilmiştir. Su seviyelerinin kalibrasyonu ise bu çalışmada ikinci planda kalmıştır.

Batick (2011) yapmış olduğu çalışmada CE-QUAL-W2 modelini kullanarak sıcaklık ve çözünmüş oksijen modellemesi gerçekleştirmiştir. Sıcaklık için model kalibre edilirken WSC ve gölge katsayılarının (SHADE) en önemli parametreler olduğunu belirtmiştir. Sıcaklık kalibrasyonu için önemli olan diğer parametreleri ise WINDH, meteorolojik ölçümlerin yapıldığı yerin yüksekliği; AFW, buharlaşma ile soğuma katsayısı; AX, boylamsal eddy viskozitesi DX, boylamsal eddy difüvizitesi; AZMAX, düşey eddy viskozitesi olarak belirtmiştir. Bu parametrelerin değişmesi sıcaklık profillerinin şekillerini değiştirmekle birlikte, soğuma veya ısınmaya da neden olabileceğini belirtmiştir.

Gelda (1998) CE-QUAL-W2 ile yapmış olduğu sıcaklık modellemesi çalışmasında, sıcaklık için kalibre edilmesi gereken model parametrelerini; boylamsal eddy viskozitesi (AX), boylamsal eddy difüvizitesi (DX), chezy katsayısı (FRICC) ve WSC parametresi olarak belirtmiştir. Bu parametreler su sıcaklığını etkileyen hidrodinamikleri doğrudan etkilemektedir. Isı bütçesini

etkileyen diğer iki kalibrasyon parametresi ise; su yüzeyi tarafından absorbe edilen güneş ışınımı oranı (BETA) ve taban ısı değişim katsayısıdır (CBHE).

Berger ve ark. (2005) CE-QUAL-W2 ile yapmış oldukları modelleme çalışmasında sıcaklık parametresinin kalibrasyonda önemli gördükleri parametreleri; rüzgar korunaklılık katsayısı (WSC), yeraltı suyu giriş sıcaklığı (TIN) ve çıkış debileri olarak belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmayı gerçekleştirdikleri bölgenin özellikle WSC katsayısına çok duyarlı olduğunu belirtmişlerdir. WSC katsayısı baraja yakın bölgede 0.75 olarak, memba segmentlerinde ise 0.6 olarak belirlenmiştir. Bir diğer kalibrasyon parametresi olan EXH2O parametresi için ise tek değer kullanmak yerine Secchi disk verilerini kullanarak zamana bağlı olarak, 0.27 ile 0.96 arasında değişen parametre değerlerini kullanmışlardır.

CE-QUAL-W2 modeli kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar da göz önünde bulundurularak genel bir değerlendirme yapılacak olursa, su sıcaklığını etkileyen parametrelerin kalibrasyonu gerçekleştirilirken farklı çalışmalarda toplamda 15 adet farklı parametre kullanılmıştır.

Borabey göleti için gerçekleştirilen modelleme çalışmasında sıcaklık parametrelerinin kalibrasyonu yapılırken ilk olarak 8 parametre ile duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. CE-QUAL-W2 modelinin el kitabında birincil kalibrasyon parametresi olarak belirtilen, rüzgar hızının gölet yüzeyi üzerindeki etkisini ayarlamaya yarayan WSC parametresinin değeri 1 olarak ayarlanarak kalibrasyon parametresi olmaktan çıkarılmış ve bu analize dahil edilmemiştir. Bunun sebebi rüzgar hızı ölçümlerinin arazide yer alan meteoroloji istasyonunda yapılmış olması ve herhangi bir ayarlamaya gereksinim duyulmamasıdır.

Yapılan duyarlılık analizinde BETA, EXH2O, AX, DX, CBHE, AFW, BFW ve CFW parametreleri kullanılmıştır. AX ve DX parametreleri için tanımlanan 0.0385 m²/s değeri dışında diğer parametrelerin her birinin başlangıç değeri olarak varsayılan değerleri kullanılmıştır. Modelin çalıştırılmasının ardından, “W2_Post” yazılımı kullanılarak kalibrasyon dosyasıyla karşılaştırma yapılmış ve ortalama mutlak hata (Absolute Mean Error) değerleri hesaplanmıştır. Ortalama mutlak hata değeri (7.2)’de belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Ortalama Mutlak Hata} = \frac{\sum |Model - Gözlem|}{Gözlem Sayısı} \quad (7.2)$$

Duyarlılık analizi yapılırken her bir parametre, diğer parametreler başlangıç değerinde sabit kalmak koşuluyla, %5, %10 ve %15 oranlarında artırılıp-azaltılarak gözlem ve model sonuçları arasındaki ortalama mutlak hata (O.M.H.) değerleri hesaplanmıştır. Duyarlılık analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3. Sıcaklık parametrelerinin duyarlılık analizi

	-%15	-%10	-%5	Başlangıç	+%5	+%10	+%15
BETA	0.38	0.41	0.43	0.45	0.47	0.50	0.52
O.M.H.	0.68	0.69	0.70	0.70	0.71	0.74	0.76
EXH2O	0.38	0.41	0.43	0.45	0.47	0.50	0.52
O.M.H.	0.72	0.69	0.69	0.70	0.73	0.78	0.82
AX	0.0327	0.0347	0.0366	0.0385	0.0404	0.0424	0.0443
O.M.H.	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
DX	0.0327	0.0347	0.0366	0.0385	0.0404	0.0424	0.0443
O.M.H.	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
CBHE	0.26	0.27	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35
O.M.H.	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
AFW	7.82	8.28	8.74	9.20	9.66	10.12	10.58
O.M.H.	0.70	0.68	0.68	0.70	0.74	0.79	0.85
BFW	0.39	0.41	0.44	0.46	0.48	0.51	0.53
O.M.H.	0.68	0.69	0.69	0.70	0.71	0.73	0.74
CFW	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.30
O.M.H.	0.68	0.68	0.68	0.70	0.74	0.80	0.89

Duyarlılık analizinin ardından parametre pertürbasyonu yöntemi kullanılarak her bir parametrenin %5'lik, %10'luk ve %15'lik değişimleri sonucu gözlem ve model sonuçları arasındaki ortalama mutlak hatanın etkilenme yüzdesi hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamayla ilgili sonuçlar Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4. Parametrelerin etki yüzdeleri

	O.M.H. Etkilenme Yüzdesi		
	% değişim miktarı		
	± 5	± 10	± 15
BETA	0.71	3.57	5.71
EXH2O	2.86	6.43	7.14
AX	0.00	0.00	0.00
DX	0.00	0.00	0.00
CBHE	0.00	0.00	-0.71
AFW	4.29	7.86	10.71
BFW	1.43	2.86	4.29
CFW	4.29	8.57	15.00

Yapılan duyarlılık analizi ve parametre pertürbasyonu hesaplamaları sonucunda Borabey göletinin sıcaklık kalibrasyonunda en etkili parametrelerin

EXH2O, BETA, AFW, BFW ve CFW parametreleri olduğu gözlemlenmiştir. Duyarlılık analizi sonucunda kalibre edilmesi gereken parametrelerin belirlenmesinin ardından kalibrasyon işlemine geçilmiştir.

CE-QUAL-W2 modelinin hesaplamalarda kullandığı, su yüzeyine etki eden güneş ışınımı miktarı ve derinliğe bağlı değişimi, Denklem (7.3)'te verilmiştir (Cole ve Wells, 2013).

$$H_s(z) = (1 - \beta)H_s e^{-\eta z} \quad (7.3)$$

Burada $H_s(z)$, z derinliğine etki eden güneş ışınımı miktarını; β , su yüzeyi tarafından absorbe edilen güneş ışınımı oranını (BETA); H_s , su yüzeyine ulaşan güneş ışınımı miktarını; η , suyun güneş ışınımı miktarını sönmüleme katsayısını (EXH2O) ve z, derinliği göstermektedir. Denklem (7.3) incelendiğinde BETA ve EXH2O parametreleri, su kütlelerinin ısı değişimlerinde birlikte etkili olmaktadır. Bu sebeple sıcaklık kalibrasyonu yapılırken bu parametreler birlikte kalibre edilmişlerdir.

Farklı EXH2O değerlerine karşılık farklı BETA değerleri verilerek model çalıştırılmış ve kalibrasyon dosyasıyla karşılaştırılan sonuçların ortalama mutlak hatasının en düşük olduğu parametre değerleri saptanana kadar bu işleme devam edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda BETA parametresinin 0.29 ve EXH2O parametresinin 0.49 m^{-1} olduğu durumda ortalama mutlak hatanın minimum olduğu gözlemlenmiştir. Kalibrasyon işlemi öncesinde $0.70 \text{ }^\circ\text{C}$ olan ortalama mutlak hata değeri, bu parametrelerin kalibrasyonu sonucunda $0.68 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye düşürülmüştür.

Kalibrasyon işlemi sırasında BETA ve EXH2O parametrelerinin ortalama mutlak hata değerini düşürdüğü, diğer parametrelerin ise hata miktarını artırdığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple BETA ve EXH2O parametrelerinin kalibre edilmesinden sonra kalibrasyon işlemi sonlandırılmıştır.

Sıcaklık kalibrasyonu öncesinde ve kalibrasyon sonrasında gözlem ve model sonuçları arasındaki ortalama mutlak hataları gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.5. Kalibrasyon öncesi ve sonrası ortalama mutlak hata değerleri

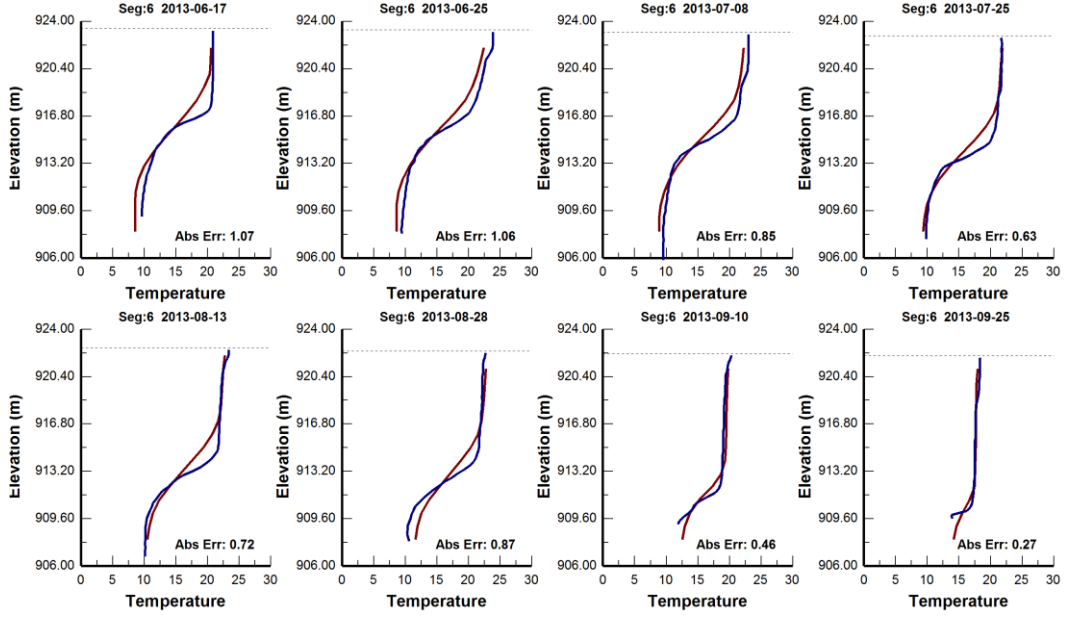
Kalibrasyon	Öncesi	Sonrası
Tarih	O.M.H.	O.M.H.
2013-02-26	0.08	0.09
2013-03-04	0.33	0.34
2013-03-14	0.45	0.47
2013-03-21	0.52	0.55
2013-04-04	1.02	1.02
2013-04-24	1.19	1.18
2013-05-02	1.24	1.18
2013-05-23	1.45	1.27
2013-06-17	1.07	1.02
2013-06-25	1.06	0.99
2013-07-08	0.85	0.76
2013-07-25	0.63	0.56
2013-08-13	0.73	0.70
2013-08-28	0.87	0.87
2013-09-10	0.46	0.46
2013-09-25	0.27	0.25
2013-10-08	0.46	0.45
2013-10-22	0.16	0.20
2013-11-07	0.49	0.50
Ortalama Mutlak Hata Miktarları	0.70°C	0.68°C

CE-QUAL-W2 modelinin el kitabında ortalama mutlak hatanın 0.5°C değeri civarında olması durumunda kalibrasyon işleminin başarılı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yine modelin el kitabında yer alan, 70 adet farklı çalışma sonucunda elde edilen ortalama mutlak hatalar Çizelge 7.6'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde yapılan çalışmalarda elde edilen ortalama mutlak hata değerleri en düşük 0.3°C ve en yüksek 0.9°C olarak hesaplanmıştır. Borabey göleti için yapılan bu çalışmada sıcaklığı etkileyen parametrelerin kalibrasyonu sonucunda elde edilen 0.68°C ortalama mutlak hata değerinin kalibrasyon işlemine uygun bir değer olduğu görülmüştür.

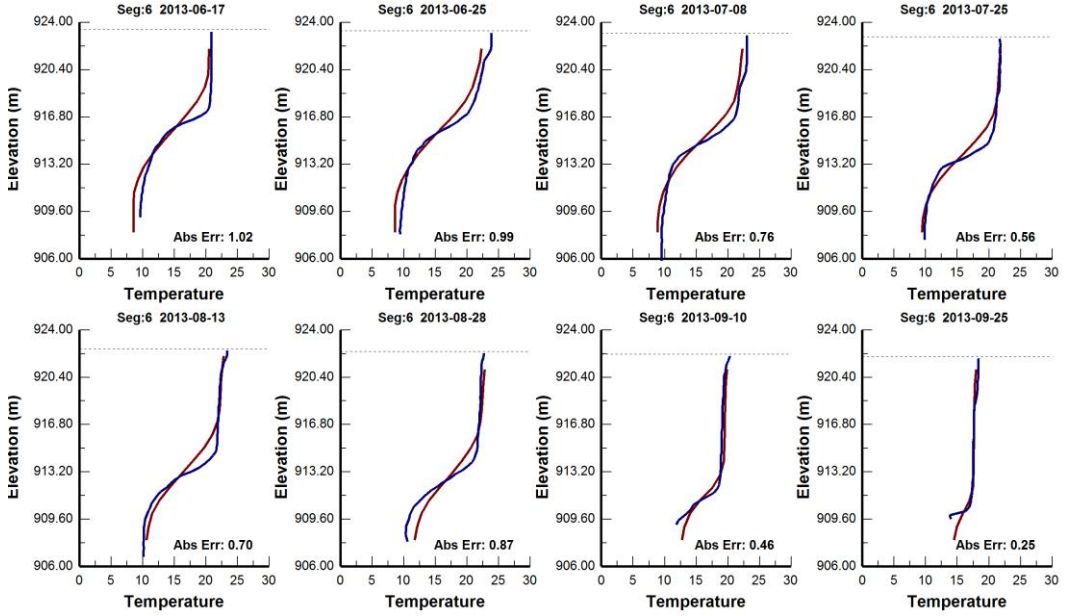
Çizelge 7.6. Farklı çalışmalara ait ortalama mutlak hatalar (Cole & Wells, 2013)

	Reservoir	# years	AME, °C		Reservoir	# years	AME, °C
1	Allatoona	4	0.6	36	Monroe	4	0.7
2	Alum Creek	1	0.5	37	Neely Henry	2	0.6
3	Barklay	1	0.5	38	Neversink	3	0.4
4	Bluestone	2	0.5	39	Norman	3	0.7
5	Brownlee	2	0.6	40	Oxbow	1	0.3
6	Bull Run 1	2	0.5	41	Oahe	2	0.9
7	Bull Run 2	2	0.7	42	Occoquan	1	0.9
8	Bumsville	1	0.9	43	Paint Creek	1	0.4
9	Caesar Creek	1	0.6	44	Paintsville	1	0.4
10	Cannonsville	5	0.7	45	Patoka	3	0.7
11	Cave Run	4	0.8	46	Pepacton	3	0.6
12	C.J. Strike	2	0.7	47	Pineflat	5	0.6
13	Croton	1	0.7	48	Powell	1	0.7
14	Cumberland	1	0.5	49	J. Percy Priest	3	0.8
15	Deer Creek, OH	1	0.4	50	Quabbin	1	0.7
16	Deer Creek, ID	5	0.8	51	Richard B. Russell	3	0.5
17	DeGray	8	0.9	52	Rhodiss	2	0.6
18	Fishtrap	1	0.8	53	Riffe	1	0.7
19	Fort Peck	2	0.7	54	Rimov	1	0.5
20	Francis Case	2	0.7	55	Rondout	3	0.5
21	Herrington	1	0.7	56	Sakakawea	2	0.7
22	Hickory	1	0.5	57	Schoharie	2	0.8
23	J.W. Flanagan	1	0.5	58	Shasta	1	0.6
24	Jordanelle	3	0.7	59	Shepaug	1	0.6
25	J. Strom Thurmond	5	0.9	60	Stonewall Jackson	2	0.5
26	James	1	0.6	61	Toledo Bend	1	0.7
27	Houston	6	0.5	62	Taylorville	2	0.9
28	Lanier	2	0.9	63	Tolt	1	0.5
29	Loch Raven	1	0.9	64	Travis	1	0.3
30	Long Lake	1	0.5	65	Wabush	1	0.6
31	Lost Creek	1	0.6	66	Wachusett	4	0.7
32	Maumelle	2	0.7	67	Weiss	2	0.6
33	Mayfield	1	0.6	68	West Point	3	0.8
34	Moehnetalsperre	1	0.4	69	Walter F. George	2	0.6
35	Mountain Island	1	0.7	70	Youghiogheny	2	0.8

Modelin kalibrasyon aşamalarında, özellikle katmanlaşma dönemine ait W2_Post yazılımından elde edilen kalibrasyon öncesi ve kalibrasyon sonrasında model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırıldığı grafikler Şekil 7.10'da, verilmiştir. Bu grafiklerde mavi ile çizilmiş olanlar gözlem sonuçları, kırmızı ile çizilmiş olanlar ise model sonuçlarını göstermektedir.



(a)



Kırmızı: Model Mavi: Gözlem

(b)

Şekil 7.10. Model ile gözlem sonuçlarının (a) kalibrasyonsuz hali, (b) BETA ve EXH2O parametrelerinin kalibrasyonu sonrası

7.3.3. Çözünmüş oksijen kalibrasyonu

Sıcaklığı etkileyen parametrelerin kalibrasyonundan sonra çözünmüş oksijenin kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözünmüş oksijen parametresi kalibre edilirken ilk olarak 0.1 ile 1 g O₂/m²-gün değerleri arasında değişen sıfırıncı dereceden sediment oksijen ihtiyacı (SOI) değerinin kalibre edilmesi gerekmektedir (Cole ve Wells, 2013).

Çözünmüş oksijen parametresinin kalibrasyonunda ortalama mutlak hatanın minimum olduğu sıfırıncı dereceden SOI değeri, her bir segment için 1 g O₂/m²-gün olarak belirlenmiştir. Model ve gözlem değerleri arasındaki ortalama mutlak hata değeri ise 1.12 mg O₂/L'dir. Sıfırıncı dereceden SOI değerinin kalibrasyonu sonucunda elde edilen ortalama mutlak hata miktarlarını gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.7. SOI kalibrasyonu sonrası

Tarih	O.M.H.
2013-02-26	0.35
2013-03-04	0.56
2013-03-14	0.33
2013-03-21	0.39
2013-04-04	0.34
2013-04-24	0.85
2013-05-02	2.42
2013-05-23	3.17
2013-06-17	1.58
2013-06-25	1.56
2013-07-08	1.17
2013-07-25	1.60
2013-08-13	1.67
2013-08-28	1.57
2013-09-10	1.08
2013-09-25	1.58
2013-10-08	0.32
2013-10-22	0.47
2013-11-07	0.23
Ortalama Mutlak Hata Miktarı	----- 1.12 mg O ₂ /L

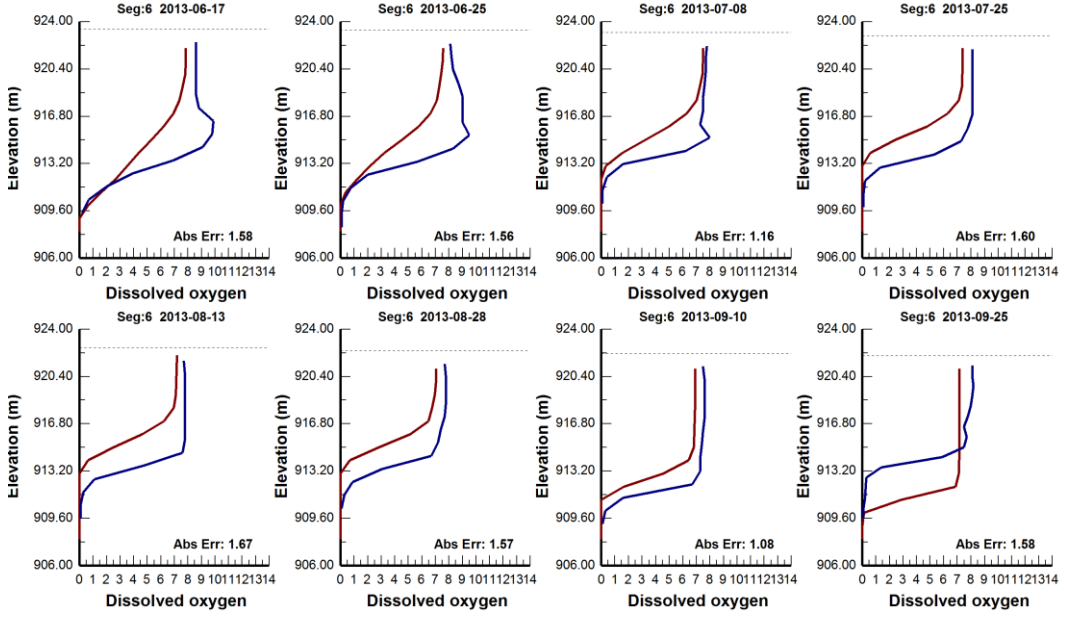
Ayrıca CE-QUAL-W2 modelinin el kitabında göllerin doğal yollardan havalanmasıyla oksijen kazanımının rüzgar hızlarına bağlı olarak hesaplandığı farklı denklemler yer almaktadır (Cole ve Wells, 2013). Bu denklemler içerisinde 6 numaralı havalandırma denklemi model çalıştırılırken varsayılan denklem olarak atanmıştır. Ortalama mutlak hata miktarının biraz daha düşürülmesi amacıyla diğer denklemler de denenerak ortalama mutlak hata miktarının değişimi incelenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan denklemlerle ilgili ayrıntılar EK-4’te yer almaktadır. Yapılan çalışma sonucunda farklı denklemler kullanılarak elde edilen ortalama mutlak hata miktarının değişimini gösteren istatistiksel sonuçlar Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Çizelge 7.8. Farklı havalandırma denklemleri kullanılarak hesaplanan istatistiksel sonuçlar

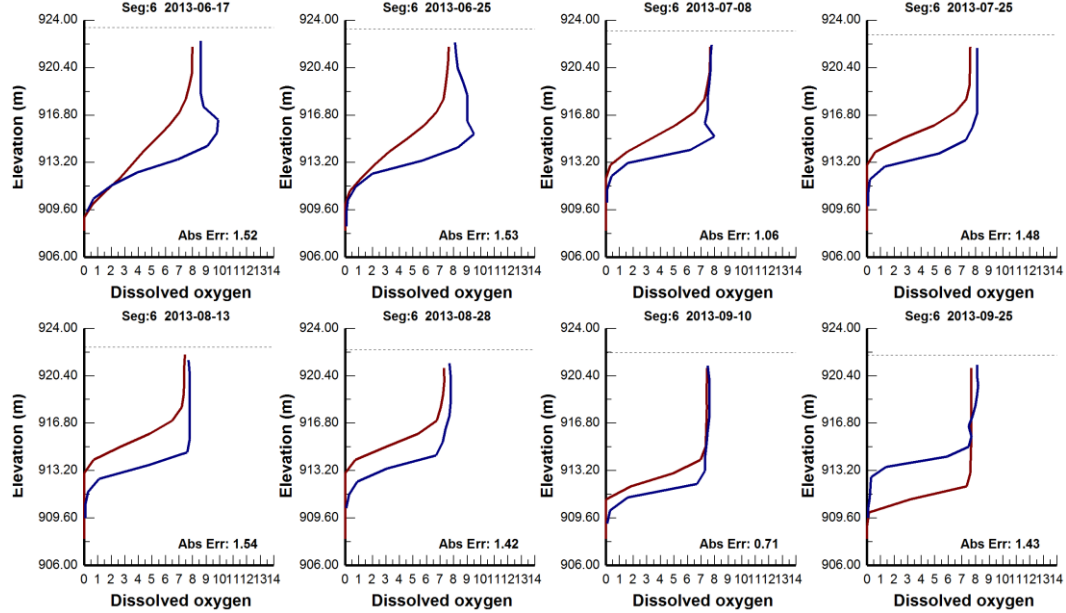
	Havalandırma Denkleminin Numarası												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tarih	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.	O.M.H.
2013-02-26	0.354	0.354	0.354	0.354	0.352	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354	0.354
2013-03-04	0.390	0.584	0.624	0.593	0.426	0.556	0.634	0.410	0.649	0.642	0.612	0.576	0.423
2013-03-14	0.176	0.371	0.410	0.377	0.197	0.333	0.421	0.200	0.440	0.433	0.402	0.349	0.219
2013-03-21	0.226	0.440	0.484	0.444	0.257	0.393	0.499	0.255	0.523	0.514	0.477	0.410	0.274
2013-04-04	0.419	0.307	0.269	0.302	0.400	0.335	0.255	0.414	0.236	0.245	0.278	0.322	0.411
2013-04-24	0.776	0.879	0.954	0.895	0.786	0.854	0.976	0.786	1.014	0.987	0.921	0.881	0.792
2013-05-02	2.414	2.432	2.489	2.444	2.400	2.422	2.506	2.403	2.536	2.516	2.464	2.440	2.399
2013-05-23	3.138	3.179	3.197	3.183	3.138	3.170	3.201	3.143	3.209	3.203	3.189	3.177	3.149
2013-06-17	1.507	1.603	1.618	1.604	1.512	1.580	1.623	1.520	1.631	1.628	1.617	1.586	1.531
2013-06-25	1.516	1.576	1.574	1.573	1.519	1.562	1.576	1.527	1.578	1.579	1.580	1.561	1.535
2013-07-08	1.045	1.202	1.243	1.206	1.076	1.165	1.260	1.062	1.283	1.274	1.236	1.178	1.071
2013-07-25	1.452	1.644	1.715	1.651	1.494	1.595	1.746	1.476	1.793	1.771	1.697	1.613	1.488
2013-08-13	1.519	1.722	1.785	1.728	1.564	1.674	1.814	1.543	1.857	1.838	1.771	1.690	1.554
2013-08-28	1.381	1.644	1.695	1.644	1.423	1.570	1.721	1.420	1.763	1.751	1.695	1.582	1.448
2013-09-10	0.661	1.210	1.367	1.232	0.761	1.080	1.423	0.712	1.507	1.466	1.327	1.135	0.749
2013-09-25	1.432	1.669	1.739	1.675	1.437	1.584	1.767	1.434	1.813	1.796	1.731	1.605	1.446
2013-10-08	0.510	0.588	0.847	0.601	0.277	0.319	0.960	0.371	1.124	1.069	0.818	0.390	0.301
2013-10-22	0.197	0.675	0.924	0.717	0.136	0.474	1.002	0.134	1.132	1.071	0.862	0.573	0.116
2013-11-07	0.247	0.333	0.439	0.344	0.371	0.231	0.477	0.181	0.541	0.516	0.425	0.256	0.124
Ortalama Mutlak Hata Miktarları	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	1.019	1.180	1.249	1.188	1.028	1.118	1.274	1.018	1.315	1.298	1.235	1.141	1.020

Varsayılan havalandırma denklemi olan 6 numaralı denklem kullanılarak modellenen çözülmüş oksijen değerleri ile ölçülen çözülmüş oksijen değerleri arasındaki ortalama mutlak hata değeri 1.118 mg O₂/L iken, 8 numaralı havalandırma denklemi kullanılarak hesaplama yapıldığında ortalama mutlak hata değerinin 1.018 mg O₂/L değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Modelin çözülmüş oksijen kalibrasyonu aşamasında denenen farklı havalandırma denklemlerinden başlangıçta varsayılan denklem olarak atanan 6 numaralı havalandırma denklemi ile ortalama mutlak hata değerinin en düşük olduğu 8 numaralı havalandırma

denkleminin katmanlaşma dönemine ait W2_Post yazılımından elde edilen grafiksel sonuçları Şekil 7.11’de verilmiştir.



(a)



Kırmızı: Model Mavi: Gözlem

(b)

Şekil 7.11. Model ile gözlem sonuçları: (a) 6 numaralı havalandırma denklemi, (b) 8 numaralı havalandırma denklemi sonucu

Çözünmüş oksijen derişiminin modellenmesi ile ilgili çeşitli yıllarda ve farklı bölgelerde yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmalarda elde edilen minimum, maksimum ve ortalama O.M.H. değerleri Çizelge 7.9'da verilmiştir (Cole ve Wells, 2013). Borabey göletinin çözünmüş oksijen derişiminin modellenmesi çalışmasında kalibrasyon işlemi sonucu elde edilen 1.02 mg O₂/L değeri, daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırıldığında bu değerun uygun aralıkta olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 7.9. Çözünmüş oksijen ortalama mutlak hata değerleri

Yıl	Çalışma Alanı	Min. O.M.H.	Maks. O.M.H.	O.M.H.	Ölçüm-Gözlem Sayısı
1979	West Point Rezervuarı	0.05	2.62	0.82	9
1980	DeGray Rezervuarı	0.37	0.79	0.58	12
1988	Richard B. Russell Rezervuarı	0.27	2.00	1.05	24
1991	Weiss Rezervuarı	0.29	1.23	0.84	10
1992	Allatoona Rezervuarı	0.61	1.20	0.73	12
1992	Brownlee Rezervuarı	0.37	3.37	1.25	11
1992	C. J. Strike Rezervuarı	0.64	2.55	1.24	6
1992	Walter F. George Rezervuarı	0.51	1.68	0.99	5
1993	Neely Henry Rezervuarı	0.18	1.70	0.88	5
1994	J. Strom Thurmond Rezervuarı	0.08	1.53	0.85	11
1994	Monroe Rezervuarı	0.12	1.23	0.76	8
1996	Richard B. Russell Rezervuarı	0.16	0.97	0.66	12
1996	Rimov Rezervuarı	0.68	1.45	0.96	5
1998	Shepaug Rezervuarı	0.42	1.75	0.87	24

7.4. Modelin Validasyonu

2013 yılına ait sıcaklık ve çözünmüş oksijen ölçüm verileri CE-QUAL-W2 modelinin kalibrasyonu amacıyla kullanılırken, 2014 yılı boyunca yapılan ölçümlerin verileri kalibre edilen modelin doğrulamasını yapmak amacıyla kullanılmıştır. Bu aşamada kalibrasyon sonucu saptanan parametre değerleri kullanılarak model 2013-2014 yılları için birlikte çalıştırılmış ve 2014 yılının ölçüm verileri ile model sonuçları arasındaki ortalama mutlak hata değerleri hesaplanmıştır.

2014 yılı içerisindeki ölçümler sonucu elde edilen verilerin, model sonuçları ile karşılaştırılması sonucu elde edilen istatistiksel veriler Çizelge 7.10'da verilmiştir. Çizelge 7.10 incelendiğinde 2014 yılı için gözlem ve model verileri arasındaki ortalama mutlak hata değerlerinin sıcaklık için 0.86°C ve çözünmüş

oksijen için 1.18 mg O₂/L olduğu gözlemlenmiştir. 2013 ve 2014 yılları birlikte değerlendirildiğinde ise gözlem ve model verileri arasındaki ortalama mutlak hata değerleri sıcaklık için 0.77°C ve çözülmüş oksijen için 1.09 mg O₂/L olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.10. 2014 yılı için hesaplanan ortalama mutlak hatalar

Tarih	Sıcaklık O.M.H.	Çöz. Oksijen O.M.H.
2014-01-09	0.99	0.96
2014-03-03	1.11	0.65
2014-03-31	0.82	1.45
2014-04-17	0.81	2.44
2014-04-24	0.87	2.53
2014-05-08	0.94	2.11
2014-05-23	0.94	2.31
2014-06-11	1.08	*
2014-06-12	0.87	1.58
2014-06-20	1.07	1.11
2014-06-25	0.91	0.83
2014-07-08	0.87	0.67
2014-08-04	0.77	0.28
2014-08-18	0.87	0.79
2014-09-10	0.66	0.88
2014-09-12	0.75	0.72
2014-09-30	0.10	0.59
2014-10-30	1.05	0.21
Ortalama Mutlak Hata Miktarları	0.86 °C	1.18 mg O ₂ /L

* Çözülmüş oksijen ölçümü yapılamamıştır

8. RTRM İNDEKSİ ve HESAPLANMASI

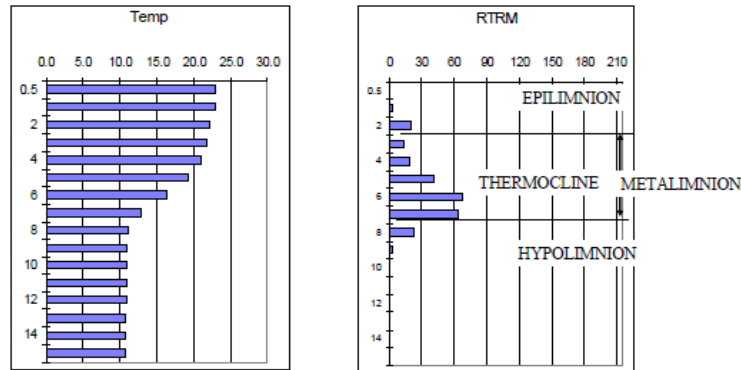
Su kütlelerinde oluşan termal katmanlaşmanın yoğunluğu ardışık derinlikler için hesaplanan bağıl termal karışım dirençlerini ifade eden RTRM (Relative Thermal Resistance to Mixing) değerlerinin karşılaştırılması ile elde edilebilmektedir. RTRM indeksi konusunda ilk çalışmalar Birge (1910) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu indeks birçok çalışmada RTRM olarak geçmekle birlikte Becker ve ark. (2009), Branco ve ark. (2009) ve Alpaslan ve ark. (2012) gerçekleştirdikleri çalışmalarda bu indeksten su kolonunun bağıl kararlılığı (RWCS-Relative Water Column Stability) şeklinde bahsetmişlerdir.

RTRM indeksi denklem (8.1) kullanılarak hesaplanabilmektedir. (Chimney ve ark., 2006)

$$\psi = \frac{\rho_{z2} - \rho_{z1}}{\rho_4 - \rho_5} \quad (8.1)$$

Burada ψ , RTRM indeksini ifade etmektedir ve birimsizdir; ρ_{z2} ve ρ_{z1} , z_1 ve z_2 derinliklerindeki su yoğunluğunu ifade etmektedir ve birimleri kg/m^3 'tür; ρ_4 ve ρ_5 , sırasıyla 4 ve 5°C'lerde suyun yoğunluğunu ifade etmektedir.

Birer metre aralıklarla hesaplanan RTRM değerlerinden, 20'den büyük olanlar genellikle metalimniyon bölgesinin alt ve üst sınırlarının bulunduğu derinlikleri işaret etmektedir. Ayrıca RTRM değerleri toplanabilmektedir ve toplam RTRM değeri de termal katmanlaşmanın karışıma karşı toplam direncini göstermektedir. RTRM değerlerinin kullanımı Şekil 8.1'de verilmiştir (Kortmann, 2011).



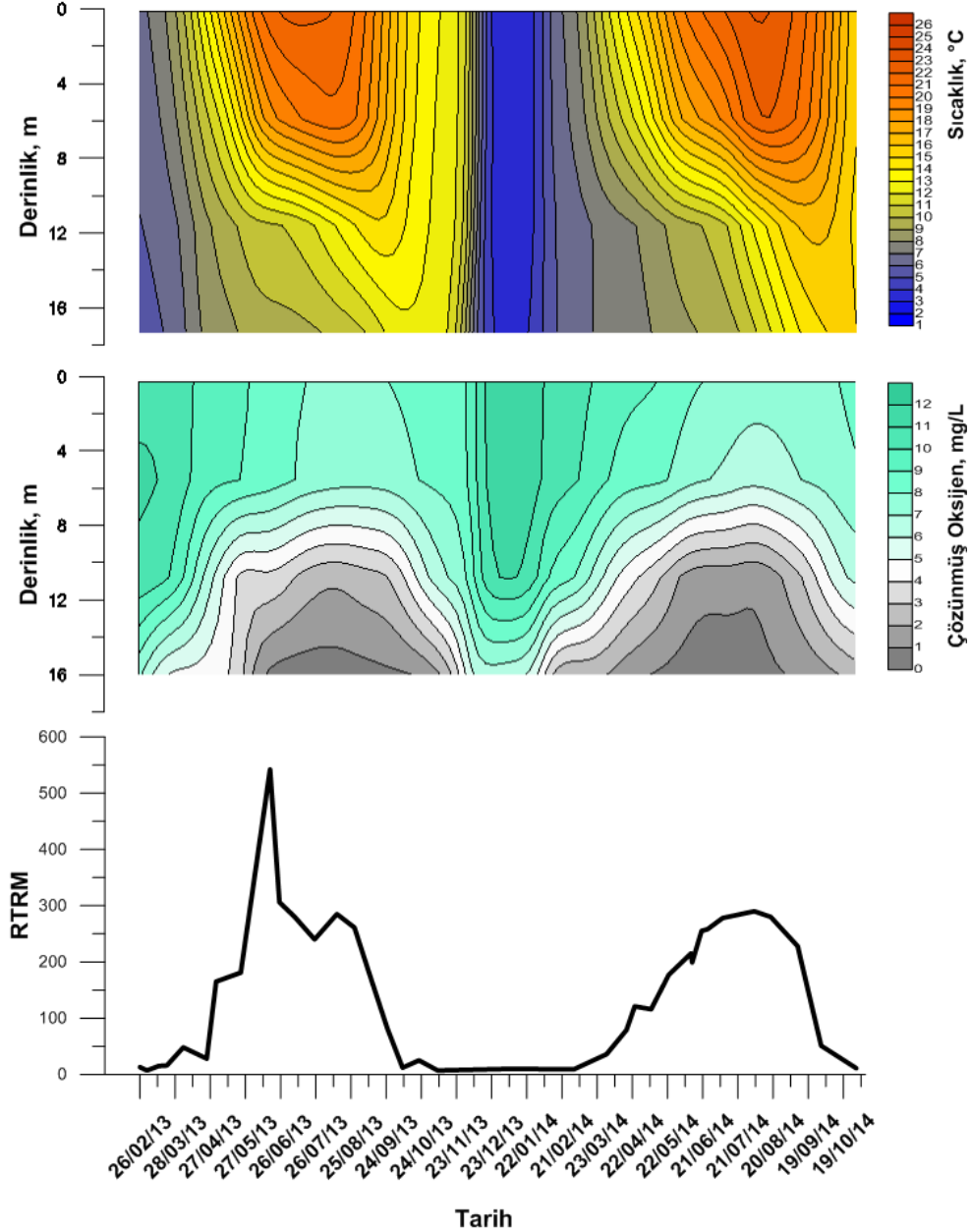
Şekil 8.1. RTRM indeksinin kullanımı (Kortmann, 2011)

Kısacası RTRM değeri göllerdeki termal katmanlaşmanın ölçülmesi konusunda basit ve bilgi verici bir indekstir. Termoklin bölgesinin yerini, metalimniyon bölgesinin genişliğini ve termal katmanlaşmanın kararlılığını göstermektedir (Kortmann, 2011).

Çalışma kapsamında hesaplanan RTRM değerleri, yapılan ölçüm çalışmaları sonucunda Castaway-CTD cihazından elde edilen yoğunluk verileriyle hesaplanmıştır.

9. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

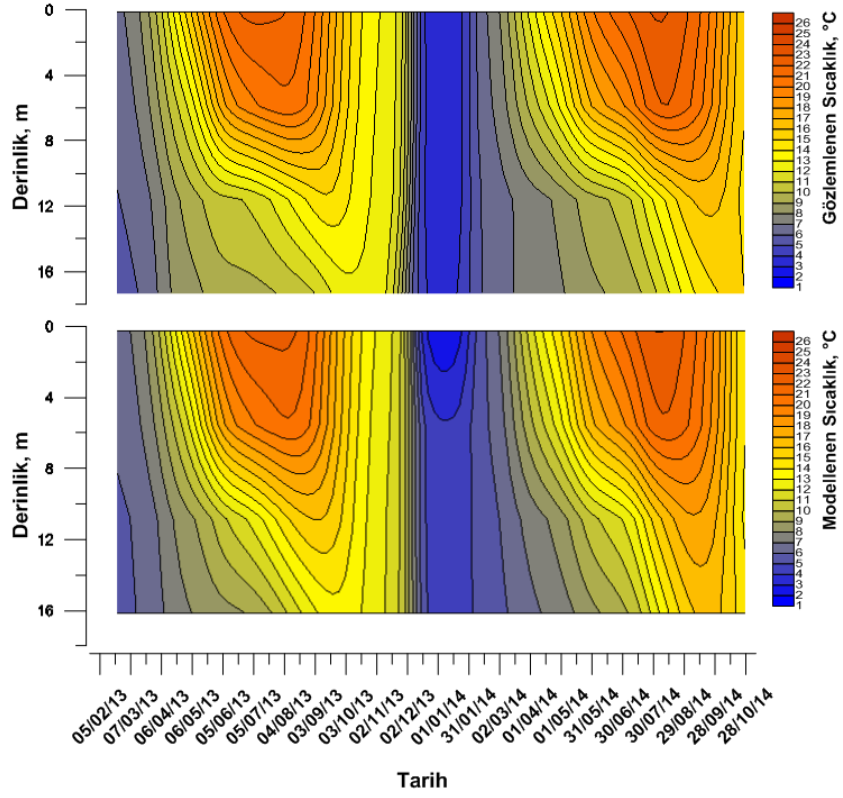
Borabey göletinin en derin bölgesinde yapılan ölçüm çalışmaları sonucunda 2013 ve 2014 yıllarına ait, derinliğe bağlı sıcaklık, çözülmüş oksijen profilleri ve Castaway-CTD cihazından elde edilen yoğunluk verileriyle hesaplanan derinliğe bağlı toplam günlük RTRM değerleri Şekil 9.1’de verilmiştir.



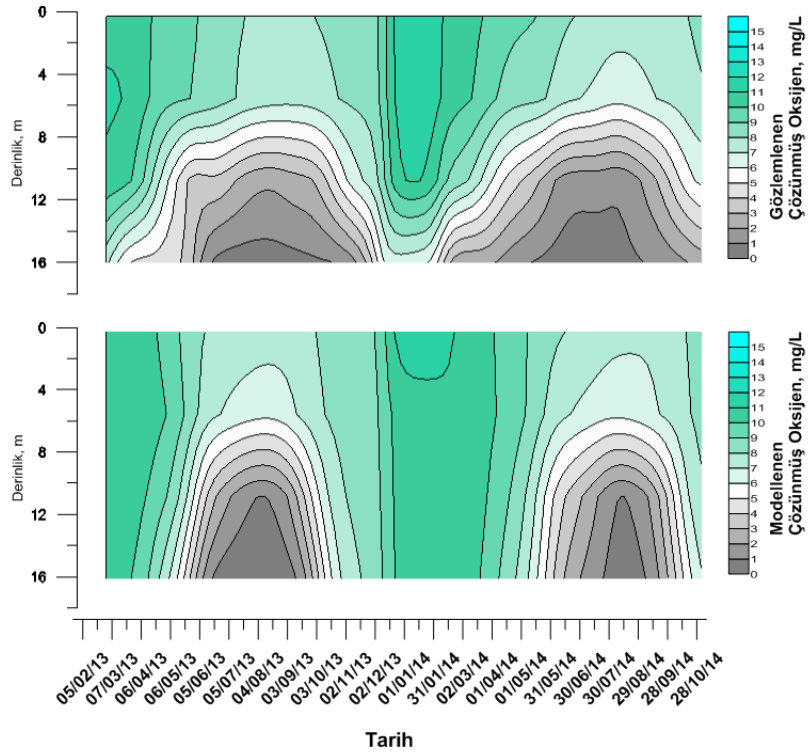
Şekil 9.1. Borabey göletinin sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM profilleri

Derinliğe bağılı sıcaklık ve çözünmüş oksijen ölçümleri, hesaplanan toplam RTRM değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde Borabey göletinde meydana gelen termal katmanlaşmanın 2013 yılında Nisan ayının sonu Mayıs ayının başlangıcı gibi oluştuğu ve Ağustos ayının sonlarına kadar devam ettiği, 2014 yılında ise Nisan ayının ortaları gibi oluştuğu ve Ağustos ayının sonlarına kadar devam ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca hesaplanan toplam RTRM değerleri incelendiğinde; 2013 yılında meydana termal katmanlaşmanın karışım direncinin, 2014 yılında meydana gelen termal katmanlaşmanın karışım direncinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu koşullar göz önüne alındığında gölün yılda bir kez karıştığı görülmektedir. Bu durum Borabey göletinin termal katmanlaşma açısından monomiktik bir göl olduğunu göstermektedir.

CE-QUAL-W2 modeli kullanılarak Borabey göletinde gerçekleştirilen sıcaklık ve çözünmüş oksijen modellemesi çalışmasında 2013 ve 2014 yılları için gözlem ve model sonuçları arasında elde O.M.H. değerleri EK-5'te yer alan çizelgede verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sıcaklık için gözlem ve model verileri arasında hesaplanan O.M.H. değerinin ortalaması 0.77 °C ve çözünmüş oksijen için gözlem ve model verileri arasında hesaplanan O.M.H. değerinin ortalaması 1.09 mg O₂/L olarak belirlenmiştir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar (sıcaklık için Bkz. Çizelge 7.6, çözünmüş oksijen için Bkz. Çizelge 7.9) incelendiğinde her iki parametre için hesaplanan O.M.H. değerlerinin kabul edilebilir değerler olduğu gözlemlenmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen derinliğe bağılı sıcaklık ve çözünmüş oksijen profillerinin, model sonuçlarından elde edilen derinliğe bağılı sıcaklık ve çözünmüş oksijen profilleriyle grafiksel olarak karşılaştırılması sırasıyla Şekil 9.2'de ve Şekil 9.3'te verilmiştir. Sıcaklık parametresi için gözlem ve model verileri karşılaştırıldığında, CE-QUAL-W2 modelinin sıcaklık profillerini, termal katmanlaşmanın başlangıç ve bitiş tarihlerini oldukça tutarlı bir şekilde modellediği görülmektedir. Çözünmüş oksijen parametresi için gözlem ve model verileri karşılaştırıldığında ise özellikle katmanlaşmanın olduğu dönemde çözünmüş oksijen profillerinin birbirlerine çok yakın olduğu ve çözünmüş oksijen derişiminin düşmeye başladığı derinliklerin yakalandığı fakat modelin katmanlaşmanın başlangıç ve bitiş tarihlerini tam olarak yakalayamadığı görülmektedir.

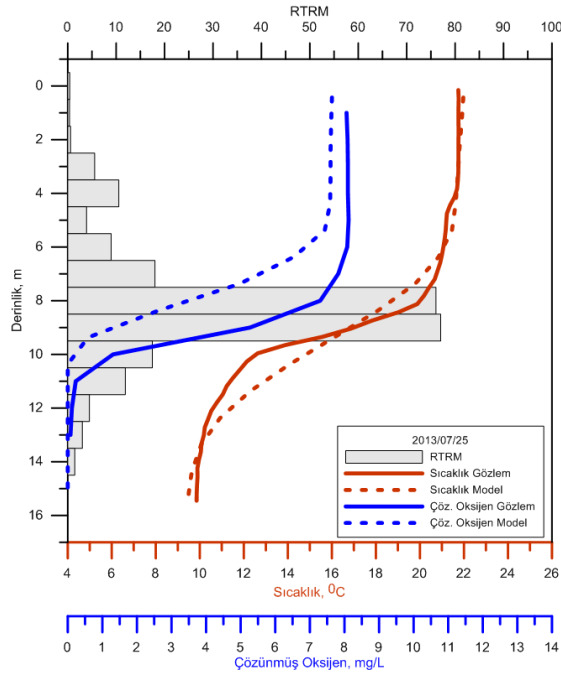


Şekil 9.2. Sıcaklık ölçüm sonuçlarının model sonuçlarıyla karşılaştırılması



Şekil 9.3. Çözünmüş oksijen ölçüm sonuçlarının model sonuçlarıyla karşılaştırılması

CE-QUAL-W2 modelinden elde edilen sıcaklık ve çözünmüş oksijen derişimi sonuçları, hesaplanan RTRM değerleriyle tek bir grafik üzerinde karşılaştırılarak termal katmanlaşma yapısı daha net ortaya konmaya çalışılmıştır. Ayrıca model sonuçlarının, gözlem sonuçları ile karşılaştırılması yine bu grafik üzerinde gösterilmiştir. Örnek olması açısından Borabey göletinin en derin noktasında gerçekleştirilen 25 Temmuz 2013 tarihli çalışma sonucunda sıcaklık ve çözünmüş oksijen için elde edilen gözlem verilerinin, model sonuçlarıyla ve derinliğe bağlı olarak hesaplanan RTRM değerleriyle karşılaştırılması Şekil 9.4' te verilmiştir.

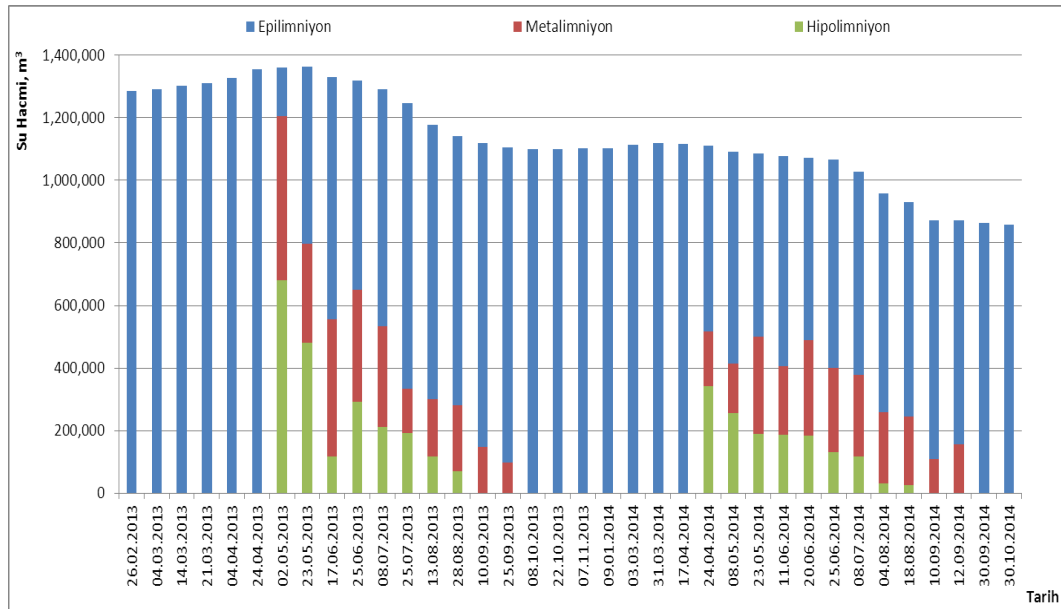


Şekil 9.4. 25 Temmuz 2013 tarihli çalışma sonuçları

Şekil 9.4'te yer alan sonuçlar incelendiğinde 25 Temmuz 2013 tarihinde modellenen sıcaklık ve çözünmüş oksijen parametrelerinin, ölçüm verileriyle oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu tarihte sıcaklık parametresi için hesaplanan O.M.H. değeri 0.56 °C ve çözünmüş oksijen için hesaplanan O.M.H. değeri ise 1.48 mg O₂/L'dir. Derinliğe bağlı RTRM değerleri incelendiğinde ise 8 m'den itibaren metalimniyon bölgesinin başladığı görülmektedir. Ayrıca aynı derinlikten itibaren sıcaklık ve çözünmüş oksijen değerlerinin düşüş göstermeye başlaması da bu durumu doğrular niteliktedir. RTRM değerlerinin 20 değerinin

altına düştüğü 10 m derinlikten itibaren ise hipolimniyon bölgesinin başladığı, sıcaklığın sabit olması ve çözülmüş oksijen derişiminin az olmasıyla da görülmektedir. Sıcaklık ve çözülmüş oksijen ölçüm verilerinin, modelleme sonuçlarıyla ve hesaplanan RTRM değerleriyle karşılaştırıldığı tüm grafikler EK-6'da verilmiştir.

Ölçüm yapılan günlere ait RTRM değerleri kullanılarak, katmanların oluşum derinliklerinin belirlenmesiyle birlikte, eşel ölçümleri ve kot-alan-hacim çizelgesi (Bkz. Çizelge 6.1) kullanılarak epilimniyon, metalimniyon ve hipolimniyon bölgelerinin hacimleri belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 9.5'te verilmiştir.



Şekil 9.5. Termal katmanlaşma sonucu oluşan bölgelerin hacimleri

Sonuç olarak termal katmanlaşmanın olduğu 2013 yılı Mayıs-Ağustos ayları ve 2014 yılı Nisan-Ağustos ayları arasındaki termal katmanlaşma yapısı incelendiğinde, her bir katmana ait hacim değerleri Çizelge 9.1'de olduğu gibi belirlenmiştir. Buna göre Borabey göletinde termal katmanlaşmanın olduğu dönemde gölün toplam hacminin yaklaşık %20'lik bir kısmının hipolimniyon, %20'lik bir kısmının metalimniyon ve kalan %60'lık kısmının ise epilimniyon bölgesi olarak nitelendirilebileceği görülmektedir. Fakat bu oransal dağılım yıllık ortalama hacimler esas alınması durumunda geçerlidir. Katmanlaşmanın oluşum

süreci incelendiğinde bahar aylarında havaların ısınması ile birlikte göldeki termal katmanlaşmanın yukarıdan itibaren oluşmaya başladığı ve Mayıs ayından itibaren hipolimniyon bölgesi hacminin göreceli olarak daha fazla olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 9.5). Zamana bağlı olarak katmanlaşma yapısı irdelendiğinde hipolimniyon tabaka hacminin giderek azaldığı ve sonbahar aylarında artan rüzgar hızlarına bağlı olarak termal katmanlaşmanın bozulması ile bu tabakanın ortadan kalktığı görülmektedir. Kış aylarında üst katmanlarda daha düşük sıcaklıklar ve diplerde daha yüksek sıcaklıklar görülmektedir. Kış aylarında da yüzeysel bir katmanlaşma yapısı gözlemlense de RTRM hesaplamalarında bu katmanlaşmanın önemli boyutlarda olmadığı görülmektedir.

Çizelge 9.1. Borabey göletinin 2013 ve 2014 yıllarındaki termal katmanlarının hacimleri

	Bölge Hacimleri		Bölge Yüzdeleri	
	2013	2014	2013	2014
Epilimniyon, m³	697226	645403	55	61
Metalimniyon, m³	311529	234742	24	23
Hipolimniyon, m³	270180	162288	21	16
Toplam, m³	1278935	1046434	100	100

Termal katmanlaşma sonucu oluşan bölge hacimlerinin hesaplanması, ileride yapılması muhtemel hipolimnetik oksijen ihtiyacının belirlenmesi çalışmaları için temel teşkil etmektedir.

10. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

CE-QUAL-W2 modeli kullanılarak gerçekleştirilen modelleme çalışmasında, model sonuçlarını etkilemesi muhtemel çeşitli sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunlar sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

Giriş ve çıkış debi miktarlarının ölçülemediği olması sonucunda çeşitli varsayımlar kullanılarak giriş ve çıkış debileri hesaplanmıştır. Hesaplanan çıkış debileri olduğu gibi kullanılırken, giriş suyu debileri ise 2013 ve 2014 yılları için çeşitli yüzdelerde azaltımlar yapılarak kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen giriş ve çıkış debileri kullanılarak su seviyesi oldukça tutarlı bir şekilde modellenmiştir (NSE=1.00). Hesaplama yöntemi kullanılarak elde edilen debi miktarlarının, daha gelişmiş bir havza modeli kullanılarak hesaplanması da muhtemeldir. İleride bu konuda çalışmaların yapılması durumunda, modelin girdi parametrelerini değiştirerek yapılan çalışmanın doğruluğunun saptanması mümkündür.

Ayrıca giriş debisi sıcaklıklarının ölçülemediği olması sonucunda, çalışma boyunca ölçümlerden elde edilen yüzey suyu sıcaklıklarının interpolasyonla yıl boyunca hesaplanması sonucu elde edilen sıcaklıklar, giriş debisi sıcaklıkları olarak kullanılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada giriş debileri çok düşük miktarlarda olduğu için giriş debisi sıcaklığı çok etkili olmamaktadır. Yapılan denemelerde çok büyük sıcaklık değerlerinin kullanıldığı durumlarda dahi O.M.H. değerinin çok fazla değişim göstermediği saptanmıştır. Ancak çok yüksek miktarda giriş debilerine sahip su kütlelerinde çalışma yapılırken giriş debisi sıcaklıklarının, önemli derecede değişikliklere sebebiyet vermesi muhtemeldir.

Giriş debisiyle gelen bileşen derişimlerinin uzun vadeli ölçüm sonuçları bulunmamaktadır. Modelleme çalışmasında kullanılan, çözünmüş oksijen dışındaki bileşenlerin giriş debisindeki ve göletteki başlangıç derişimleri için elde edilen ölçüm verilerinin ortalaması alınarak hesaplanan değerler kullanılmıştır. Bazı bileşenlerin derişimleri ise hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Çözünmüş oksijen derişimi ise Borabey göletinde yüzeyde ölçülen çözünmüş oksijen miktarlarının, interpolasyonla yıl boyunca hesaplanması sonucu elde edilen değerler olarak girilmiştir. Bileşenlerin hem giriş debisindeki hem de göletteki derişimlerinin

ölçümlerinin yapılamaması, Borabey göleti için modellenen bileşen derişimlerinin doğruluğunun karşılaştırılması açısından olumsuz bir durum ortaya çıkarmıştır. Ayrıca modellenen su kalitesi bileşenleri göletteki sıcaklık ve çözünmüş oksijen hesaplamalarını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Su sıcaklıkları modellenirken, gölette var olan bileşenlerin derişimleri ışığın su derinliği boyunca etkisini azaltarak, ışığın sönümlenmesi katsayısına doğrudan etki etmektedir. Sadece sıcaklığın modellendiği durumda ışığın sönümlenme katsayısı, suyun sönümlenme (λ_{H_2O} , varsayılan 0.45 m^{-1}) katsayısına bağlı olarak değişirken, su kalitesi bileşenlerinin çalışmaya dahil edildiği durumlarda ise ışığın sönümlenmesi; suyun sönümlenmesine ve (λ_{H_2O} , varsayılan 0.25 m^{-1}), organik madde, inorganik madde, alg, makrofiton ve zooplanton derişimlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Su kalitesi bileşenlerinin modellendiği durumlarda ışığın sönümlenmesi katsayısı Denklem (10.1) ile hesaplanmaktadır (Cole ve Wells, 2013).

$$\lambda = \lambda_{H_2O} + \lambda_{ISS} + \lambda_{POM} + \lambda_a + \lambda_{macro} + \lambda_{zoo} \quad (10.1)$$

Burada, λ_{H_2O} ; suyun, λ_{ISS} ; inorganik askıda katıların, λ_{POM} ; partikül organik katıların, λ_{macro} ; makrofitlerin ve λ_{zoo} ; zooplanktonların ışığı sönümlenme katsayılarını ifade etmektedir. Suyun sönümlenme katsayısı dışındaki diğer tüm parametreler, bileşenlerin derişimlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Bahsedilen parametrelerin hesaplanmasıyla ilgili detaylı bilgiler modelin el kitabında verilmiştir (Cole ve Wells, 2013).

Bileşen derişimlerinin doğru modellenememesi sonucunda ışığın su derinliği boyunca sönümlenme miktarını ayarlayan katsayı da doğru hesaplanamaz. Işığın sönümlenme katsayısının doğru hesaplanmaması sonucu hidrodinamik parametreler de doğru hesaplanamayacak ve sıcaklık modellemesinde hata miktarı artacaktır. Bu sebeple toplam sönümlenme katsayısı hesaplanırken inorganik askıda katıların (λ_{EXSS}), organik askıda katıların (λ_{EXOM}) ve alglerin (λ_{EXA}) derişimlerine bağlı olarak zamana bağlı değişen sönümlenme katsayılarının değişim etkilerinin ortadan kaldırılması amacıyla bu katsayılara 0 değeri verilerek, toplam sönümlenme katsayısının sadece suyun sönümlenme katsayısına bağlı olması sağlanmıştır. Her iki durum için sıcaklık modellemesi sonuçları incelendiğinde, ışığın sönümlenmesinin tüm bileşenlere bağlı olduğu durumda 2013-2014 yıllarının

O.M.H. miktarı 1.12°C iken, sadece suyun sönümlemesine bağlı olduğu durumda bu değer 0.77°C olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca CE-QUAL-W2 modeli kullanılarak gerçekleştirilen sıcaklık ve çözünmüş oksijen modellemesi çalışmasının ardından, Borabey göletini besleyen su kaynakları ve göletten kullanılan tarımsal sulama suyuna bağlı olarak, göletteki su miktarının ileriki yıllarda ne seviyelerde olacağıyla ilgili 6 farklı senaryo üzerinde çalışma yapılmıştır. Oluşturulan senaryolar giriş ve çıkış debilerinin farklı alternatiflerine dayanarak oluşturulmuştur.

Borabey göletinin çıkış debisi miktarı tarımsal amaçlı sulama suyunun kullanım şekline göre değişmektedir. Yetkililerle yapılan görüşmeler sonucunda Borabey göletinin mansabında bulunan tarımsal arazilerin yağmurlama sulama şeklinde sulandığı saptanmıştır. Oluşturulan senaryolarda yağmurlama sulama yöntemine alternatif olarak damla sulama yöntemi seçilmiştir. Yağmurlama sulama yönteminin, damla sulama yöntemiyle değiştirilmesiyle birlikte su kullanımında ortalama % 50 oranında bir tasarruf sağlanmaktadır (Güngör ve Göncü, 2013). Çalışma kapsamında oluşturulan senaryolar için damla sulama yönteminin tarımsal sulama amacıyla kullanılan çıkış debisinde ortalama %50 oranında su tasarrufu sağladığı kabul edilmiştir.

Borabey göletinin giriş debisi miktarı ise meteorolojik koşullara ve sezonluk değişimlere bağlı olarak değişmektedir. Borabey göletinin giriş debisi miktarını etkileyen bir diğer parametre ise, göletin kuzeyinde yer alan derivasyon kanalıyla göleti besleyen alt havzalardan birinin Keskin göletine aktarılmış olmasıdır. Çalışma kapsamında oluşturulan senaryolarda giriş debisi miktarları, sezonun sulak ve kurak olmasına göre değişmektedir. Çalışmanın yapıldığı 2013 ve 2014 yılları boyunca giriş debisi miktarları incelendiğinde 2014 yılında, 2013 yılına göre çok az miktarda giriş debisi olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple 2013 yılı sulak olarak nitelendirilirken, 2014 yılı kurak sezon olarak tanımlanmıştır. Sulak olarak bahsedilen sezonlarda giriş debisi miktarları 2013 yılındaki giriş debisi miktarlarına, kurak olarak bahsedilen sezonlarda ise giriş debisi miktarları 2014 yılındaki giriş debisi miktarlarına eşit olarak kabul edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen giriş ve çıkış debisi alternatiflerine göre oluşturulan 6 farklı senaryoda 2013 ve 2014 yıllarının giriş ve çıkış debileri değiştirilmemiştir.

Senaryolar 2014 yılının sonuna eklenerek modele dahil edilmiş ve model 2013-2020 yılları arasında çalıştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmalar esnasında meteorolojik koşulların 2013-2014 yıllarında olduğu gibi devam ettiği varsayılmıştır. Oluşturulan tüm senaryolarla ilgili detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

Birinci senaryoda 2014-2020 yılları arası kurak sezon olarak değerlendirilerek, Borabey göletini besleyen su kaynağının 2014 yılındaki gibi az miktarda olduğu varsayılmıştır. Ayrıca tarımsal sulama amacıyla kullanılan suyun yağmurlama sulama yöntemiyle kullanıldığı ve çıkış debisi miktarının 2013-2014 yıllarında olduğu gibi devam ettiği varsayılmıştır.

İkinci senaryoda da 2014-2020 yılları arası kurak sezon olarak varsayılmıştır. Bu senaryoda 2014 yılının sonundan itibaren Borabey göletinden çıkan suyunun tarımsal sulamada damla sulama şeklinde kullanıldığı ve o tarihten itibaren çıkış debisi miktarında %50 oranında tasarruf sağlandığı varsayılmıştır.

Üçüncü senaryoda 2014-2020 yılları arası sulak sezon olarak değerlendirilerek, giriş debisi miktarlarının 2013 yılındaki giriş debisi miktarlarına eşit olduğu varsayılmıştır. Çıkış suyunun kullanıldığı tarımsal sulama yöntemi ise yağmurlama sulama yöntemi olarak varsayılmıştır.

Dördüncü senaryoda ise 2013-2020 yılları arasının sırasıyla bir sulak bir kurak sezon olarak devam ettiği varsayılmıştır. Bu yıllar arasında çıkış suyunun kullanıldığı tarımsal sulama yöntemi ise yağmurlama sulama yöntemi olarak varsayılmıştır.

Beşinci senaryoda da 2013-2020 yılları arasının sırasıyla bir sulak bir kurak sezon olarak devam ettiği varsayılmıştır. Çıkış suyunun kullanıldığı tarımsal sulama yönteminin ise 2014 yılının sonundan itibaren damla sulama yöntemiyle değiştirildiği varsayılmıştır.

Altıncı senaryoda ise 2014-2020 yılları arası sulak sezon olarak değerlendirilerek, giriş debisi miktarlarının 2013 yılındaki giriş debisi miktarlarına eşit olduğu varsayılmıştır. Çıkış suyunun kullanıldığı tarımsal sulama yönteminin ise 2014 yılının sonundan itibaren damla sulama yöntemiyle değiştirildiği varsayılmıştır.

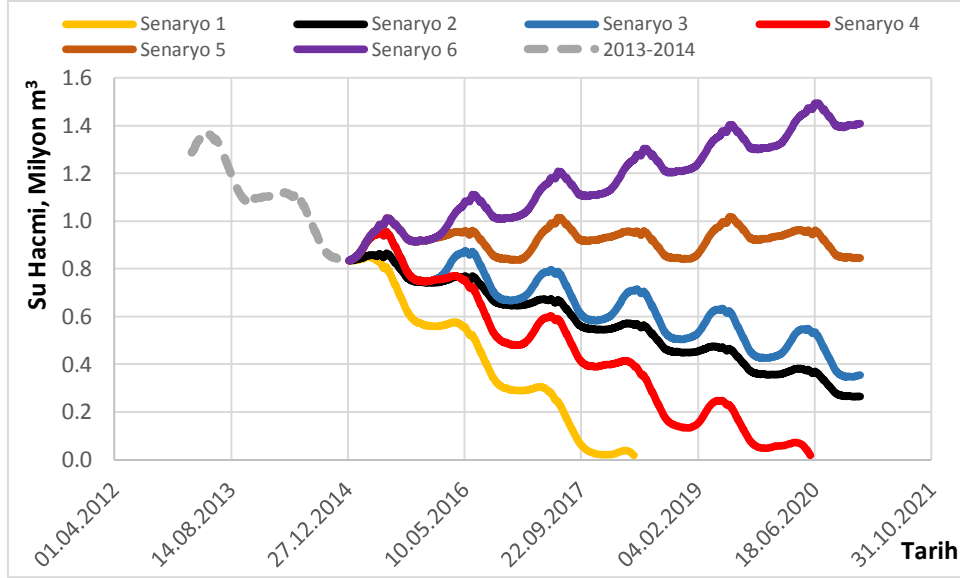
Oluşturulan tüm senaryoların 2013-2020 yılları arasındaki sezon bilgileri ve tarımsal sulama yöntemiyle ilgili bilgileri Çizelge 10.1'de verilmiştir. Çizelgede

yer alan sezonla ilgili kısaltmalardan S, sezonun sulak sezon olduğunu; K, sezonun kurak sezon olduğunu göstermektedir. Ayrıca tarımsal sulama yöntemiyle ilgili kullanılan kısaltmalardan Y, yağmurlama sulama yönteminin kullanıldığını; D, damla sulama yönteminin kullanıldığını göstermektedir.

Çizelge 10.1. Oluşturulan senaryolar

<i>Senaryo 1</i>	YILLAR							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sezon	S	K	K	K	K	K	K	K
Sulama Yöntemi	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Senaryo 2</i>	YILLAR							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sezon	S	K	K	K	K	K	K	K
Sulama Yöntemi	Y	Y	D	D	D	D	D	D
<i>Senaryo 3</i>	YILLAR							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sezon	S	K	S	S	S	S	S	S
Sulama Yöntemi	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Senaryo 4</i>	YILLAR							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sezon	S	K	S	K	S	K	S	K
Sulama Yöntemi	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
<i>Senaryo 5</i>	YILLAR							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sezon	S	K	S	K	S	K	S	K
Sulama Yöntemi	Y	Y	D	D	D	D	D	D
<i>Senaryo 6</i>	YILLAR							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sezon	S	K	S	S	S	S	S	S
Sulama Yöntemi	Y	Y	D	D	D	D	D	D

Model için gerekli olan tüm girdi dosyalarının hazırlanmasının ardından yukarıda belirtilen 6 farklı senaryo için model ayrı ayrı çalıştırılmış ve göldeki su miktarının hacimsel değişimiyle ilgili elde edilen sonuçlar Şekil 10.1’de verilmiştir. Ayrıca her bir senaryonun grafiksel sonucunun, 2015-2020 yılları arası için hesaplanan eğilim çizgisi denklemleri Çizelge 10.2’de verilmiştir.



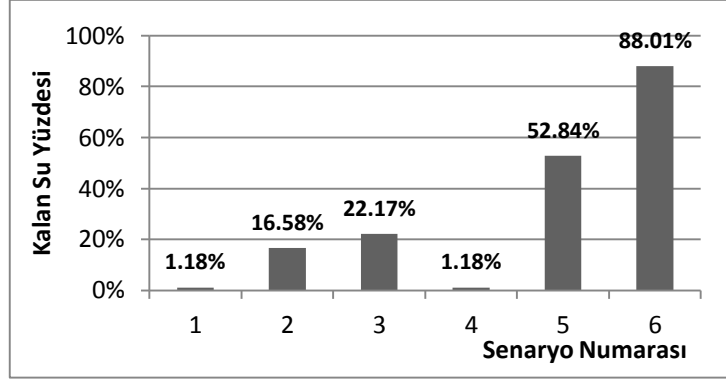
Şekil 10.1. Farklı senaryolar sonucu elde edilen su miktarları

Çizelge 10.2. Senaryoların eğilim çizgisi denklemleri

Senaryo Numarası	Eğilim Çizgisi Denklemi	R ²
1	$y = -752.13X + 3 \times 10^7$	0.97
2	$y = -267.72X + 1 \times 10^7$	0.98
3	$y = -227.62X + 1 \times 10^7$	0.84
4	$y = -477.82X + 2 \times 10^7$	0.95
5	$y = -5.392X + 1 \times 10^6$	0.005
6	$y = 260.65X - 1 \times 10^7$	0.92

Modelin 2014 yılı sonrasında 2020 yılına kadar farklı senaryolar için çalıştırılması sonucu elde edilen grafiksel sonuçlar ve her bir senaryonun eğilim çizgisi denkleminin eğimi incelendiğinde 6. senaryo hariç tüm senaryolar için göldeki mevcut su miktarının azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Sadece 6. senaryonun oluşması durumunda su miktarında artış olacağı gözlemlenmiştir. Eğilim çizgisi denklemlerinin eğimleri incelendiğinde, azalma eğiliminin en yüksek olduğu senaryo, 1. senaryoyken azalma eğiliminin en düşük olduğu senaryo ise 5. senaryodur. Mevcut durumun senaryo 1'deki gibi devam etmesi durumunda Borabey göletinde 5 Mayıs 2018 tarihinde, su kapasitesinin (1.6 milyon m³) sadece % 1.18'i kadar su kalacağı saptanmıştır. Mevcut durumun senaryo 4'teki gibi devam etmesi durumunda ise Borabey göletinde 30 Mayıs 2020 tarihinde su

kapasitesinin % 1.18'i kadar su kalacağı saptanmıştır. Senaryo 1 ve senaryo 4 için sırasıyla 5 Mayıs 2018 ve 30 Mayıs 2020, diğer senaryolar için ise 30 Aralık 2020 tarihlerinde Borabey göletinde kalan su miktarının göletin toplam su tutma hacmine oranlanmasıyla elde edilen yüzde değerleri Şekil 10.2'de verilmiştir.



Şekil 10.2. Gölette kalan su yüzdeleri

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde, Borabey göletinden uzun yıllar etkin bir şekilde faydalanmak için göletten kullanılan su miktarında azaltım yapılması gerektiği ortaya konmuştur. Göletten kullanılan su miktarının azaltılmasında, tarımsal sulama yöntemi olarak damla sulama yöntemine geçilmesinin faydalı olabileceği ortaya konmuştur. Ancak sadece tarımsal sulama yönteminin değiştirilerek göletteki su miktarının uzun yıllar yeteceği söylenemez. Damla sulama yöntemine geçilmesi durumunda dahi sezonsal değişimlere bağlı olarak su miktarının ilerleyen yıllarda azabileceği de ortaya konmuştur. Bu sebeple özellikle kurak sezonlarda, daha önceleri derivasyon kanalıyla Keskin göletine aktarılan, Borabey göletine ait alt havzanın yılın belirli dönemlerinde Borabey göletini beslemesi sağlanmalıdır. Aksi takdirde yakın zamanda göletteki su miktarının tamamen tükenmesi sonucu kaçınılmaz olacaktır.

KAYNAKLAR

- Afshar, A. ve Kazemi, H. (2012). Multi objective calibration of large scaled water quality model using a hybrid particle swarm optimization and neural network algorithm. *Ksce Journal of Civil Engineering*, 16(6), 913-918. doi: DOI 10.1007/s12205-012-1438-3
- Afshar, A., Kazemi, H. ve Saadatpour, M. (2011). Particle Swarm Optimization for Automatic Calibration of Large Scale Water Quality Model (CE-QUAL-W2): Application to Karkheh Reservoir, Iran. *Water Resources Management*, 25(10), 2613-2632. doi: DOI 10.1007/s11269-011-9829-7
- Ahsan, A. K. M. Q. ve Blumberg, A. F. (1999). Three-dimensional hydrothermal model of Onondaga Lake, New York. *Journal of Hydraulic Engineering-Asce*, 125(9), 912-923. doi: Doi 10.1061/(Asce)0733-9429(1999)125:9(912)
- Albek, E., Albek, M. ve Göncü, S. (2011). *Aşağı Porsuk Çayı Havzasında İklim Değişikliğinin Hidrolojik Çevrime ve Su Kalitesine Etkilerinin HSPF Modeli Kullanılarak İncelenmesi ve En İyi Su Yönetim Stratejilerinin Belirlenmesi*. TÜBİTAK Projesi (Proje No: 108 Y 091).
- Albek, E., Albek, M., Göncü, S. ve Şimşek Uygun, B. (2015). *Borabey Göleti ve Havzasının Su Kalitesinin Belirlenmesi ve Havza-Gölet Kalite Dinamiğinin İncelenmesi*. (Genel Amaçlı Ortak Proje, Proje No:1206F097), Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Alpaslan, K., Sesli, A., Tepe, R., Ozbey, N., Birici, N., Seker, T. ve Kocer, M. A. T. (2012). Vertical and Seasonal Changes of Water Quality in Keban Dam Reservoir. *Journal of FisheriesSciences.com*, 6(3), 252-262-262. doi: 10.3153/jfsc.com.2012029
- Anonim. (2011). Borabey Göletinin Kısa Tarihçesi. 2014, link: <http://www.sehirgazetesi.com.tr/yazardetay.asp?haber=1558&yazar=8>
- Babajimopoulos, C. ve Papadopoulos, F. (1986). Mathematical Prediction of Thermal Stratification of Lake Ostrovo (Vegoritis), Greece. *Water*

Resources Research, 22(11), 1590-1596. doi: Doi
10.1029/Wr022i011p01590

Baharim, N. H., Ismail, R. ve Omar, M. H. (2011). Effects of Thermal Stratification on the Concentration of Iron and Manganese in a Tropical Water Supply Reservoir. *Sains Malaysiana*, 40(8), 821-825.

Bai, X. Z., Wang, J., Schwab, D. J., Yang, Y., Luo, L., Leshkevich, G. A. ve Liu, S. Z. (2013). Modeling 1993-2008 climatology of seasonal general circulation and thermal structure in the Great Lakes using FVCOM. *Ocean Modelling*, 65, 40-63. doi: DOI 10.1016/j.ocemod.2013.02.003

Batick, B. M. (2011). *Modeling Temperature and Dissolved Oxygen In The Cheatham Reservoir With CE-QUAL-W2*. (Master of Science), Vanderbilt University.

Becker, V., Huszar, V. L. M. ve Crossetti, L. O. (2009). Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir. *Hydrobiologia*, 628(1), 137-151.

Beletsky, D. ve Schwab, D. J. (2001). Modeling circulation and thermal structure in Lake Michigan: Annual cycle and interannual variability. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 106(C9), 19745-19771. doi: Doi
10.1029/2000jc000691

Bell, V. A., George, D. G., Moore, R. J. ve Parker, J. (2006). Using a 1-D mixing model to simulate the vertical flux of heat and oxygen in a lake subject to episodic mixing. *Ecological Modelling*, 190(1-2), 41-54. doi: DOI
10.1016/j.ecolmodel.2005.02.025

Belolipetsky, P. V., Belolipetskii, V. M., Genova, S. N. ve Mooij, W. M. (2010). Numerical modeling of vertical stratification of Lake Shira in summer. *Aquatic Ecology*, 44(3), 561-570. doi: DOI 10.1007/s10452-010-9330-z

Bengtsson, L., Herschy, R. W. ve Fairbridge, R. W. (2012). Encyclopedia of Lakes and Reservoirs *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Netherlands: Springer.

- Berger, C. J., Wells, S. A. ve Annear, R. (2005). Laurence Lake Temperature Model.
- Birge, E. (1910). An unregarded factor in lakes temperatures. . *Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett*, 16, 989-1004.
- Bonnet, M. P., Poulin, M. ve Devaux, J. (2000). Numerical modeling of thermal stratification in a lake reservoir. Methodology and case study. *Aquatic Sciences*, 62(2), 105-124. doi: DOI 10.1007/s000270050001
- Branco, B. F. ve Torgersen, T. (2009). Predicting the onset of thermal stratification in shallow inland waterbodies. *Aquatic Sciences*, 71(1), 65-79. doi: DOI 10.1007/s00027-009-8063-3
- Branco, C. W. C., Kozlowsky-Suzuki, B., Sousa-Filho, I. F., Guarino, A. W. S. ve Rocha, R. J. (2009). Impact of climate on the vertical water column structure of Lajes Reservoir (Brazil): A tropical reservoir case. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 14(3), 175-191-191. doi: 10.1111/j.1440-1770.2009.00403.x
- Cantin, A., Beisner, B. E., Gunn, J. M., Prairie, Y. T. ve Winter, J. G. (2011). Effects of thermocline deepening on lake plankton communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(2), 260-276. doi: Doi 10.1139/F10-138
- Chapman, L. J., Chapman, C. A., Crisman, T. L. ve Nordlie, F. G. (1998). Dissolved oxygen and thermal regimes of a Ugandan crater lake. *Hydrobiologia*, 385, 201-211. doi: Doi 10.1023/A:1003527016384
- Chapra, S. C. (1997). *Surface Water-Quality Modeling*: McGraw-Hill Companies
- Chimney, M. J., Wenkert, L. ve Pietro, K. C. (2006). Patterns of vertical stratification in a subtropical constructed wetland in south Florida (USA). *Ecological Engineering*, 27(4), 322-330. doi: DOI 10.1016/j.ecoleng.2006.05.017
- Chung, S. W. ve Oh, J. K. (2006). Calibration of CE-QUAL-W2 for a monomictic reservoir in al monsoon climate area. *Water Science and Technology*, 54(11-12), 29-37. doi: Doi 10.2166/Wst.2006.841

- Churchill, J. H. ve Kerfoot, W. C. (2007). The impact of surface heat flux and wind on thermal stratification in Portage Lake, Michigan. *Journal of Great Lakes Research*, 33(1), 143-155. doi: Doi 10.3394/0380-1330(2007)33[143:Tioshf]2.0.Co;2
- Cole, T. M. (2000). Reservoir thermal modeling using CE-QUAL-W2. *Development and Application of Computer Techniques to Environmental Studies VIII*, 4, 237-246.
- Cole, T. M. ve Tillman, D. H. (1999). Water Quality Modeling of Lake Monroe Using CE-QUAL-W2. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station.
- Cole, T. M. ve Wells, S. A. (2013). *CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.7*. Portland State University Portland, OR.
- Çevlik, H. ve Eliboğ, M. (2009). *Yamula Barajı Limnolojisi*. Ankara: T. C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Dayyani, S., Mohammadi, K. ve Najib, H. R. (2003, 1-3 April 2003). *River Flow Estimation For Ungaged Stations Using GIS Model*. Paper presented at the Seventh International Water Technology Conference, Egypt.
- Devonis, C. S. (2011). *Wachusett Reservoir Contaminant Spill Modeling Using CE-QUAL W2*. (Master of Science), University of Massachusetts, Amherst, MA 01003.
- Dueri, S., Castro-Jimenez, J. ve Zaldivar, J. M. (2009). Modelling the influence of thermal stratification and complete mixing on the distribution and fluxes of polychlorinated biphenyls in the water column of Ispra Bay (Lake Maggiore). *Chemosphere*, 75(9), 1266-1272. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.01.066
- Edinger, J. E. ve Buchak, E. M. (1975). "A Hydrodynamic, Two-Dimensional Reservoir Model: The Computational Basis". *US Army Engineers*.
- Elci, S. (2008). Effects of thermal stratification and mixing on reservoir water quality. *Limnology*, 9(2), 135-142. doi: DOI 10.1007/s10201-008-0240-x

- Erturk, A., Ekdal, A., Gurel, M., Zorlutuna, Y., Tavsan, C., Seker, D. Z., . . . Ozturk, I. (2008). Application of water quality modelling as a decision support system tool for planned Buyuk Melen reservoir and its watershed. *Sustainable Use and Development of Watersheds*, 227-242. doi: Doi 10.1007/978-1-4020-8558-1_14
- Gelda, R. K. (1998). Calibration, Verification, and an Application of a Two-Dimensional Hydrothermal Model [CE-QUAL-W2 (t)] for Cannonsville Reservoir. *Journal of Lake and Reservoir Management*, 14(2-3), 186-196.
- Göncü, S., Albek, E., Avdan, U. ve Avdan, Z. Y. (2014). *Porsuk Baraj Gölü'nün Katmanlaşmaya Bağlı Çözünmüş Oksijen Derişiminin Monitorlanması ve Gölün Doğal Özümseme Kapasitesinin Arttırılmasına Yönelik Hipolimnetik Havalandırma Yönteminin Uygunluğunun Araştırılması*. (Genel Amaçlı Ortak Proje, Proje No:1208F129), Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Göncü, S., Avdan, U., Yiğit Avdan, Z. ve Hasanoğlu, E. (2014). *Akustik Doppler Cihazı Kullanılarak Batimetri Haritasının Elde Edilmesi*.7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Çorum.
- Güngör, Ö. ve Göncü, S. (2013). Application of the soil and water assessment tool model on the Lower Porsuk Stream Watershed. *Hydrological Processes*, 27. doi: DOI: 10.1002/hyp.9228
- Hasanoğlu, E. (2012). *Su Kütlelerinde Sıcaklık Modellenmesi*. (Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Hassan, H., Aramaki, T., Hanaki, K., Matsuo, T. ve Wilby, R. (1998). Lake stratification and temperature profiles simulated using downscaled GCM output. *Water Science and Technology*, 38(11), 217-226. doi: Doi 10.1016/S0273-1223(98)00658-1
- Kalff, J. (2002). *Limnology* (First ed.): Benjamin Cummings.
- Kaur, J., Jalgama, G., Atkinson, J. F., DePinto, J. V. ve Nemura, A. D. (2007). Modeling dissolved oxygen in a dredged Lake Erie tributary. *Journal of Great Lakes Research*, 33(1), 62-82. doi: Doi 10.3394/0380-1330(2007)33[62:Mdoiad]2.0.Co;2

- Kaya, M. (2013). *Küçük Su Kütlelerinde Su Kalitesinin Havza Bileşenleri ile Etkileşimi*. (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Kim, Y. ve Kim, B. (2006). Application of a 2-dimensional water quality model (CE-QUAL-W2) to the turbidity interflow in a deep reservoir (Lake Soyang, Korea). *Lake and Reservoir Management*, 22(3), 213-222.
- Kortmann, R. W. (2011). *RTRM Relative Thermal Resistance to Mixing*. Ecosystem Consulting Service, Inc. link: <http://science.kennesaw.edu/~jdirnber/limno/LecApplied/RTRM.pdf>
- Kuo, J. T., Liu, W. C., Lin, R. T., Lung, W. S., Yang, M. D., Yang, C. P. ve Chu, S. C. (2003). Water quality modeling for the Feitsui Reservoir in northern Taiwan. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(3), 671-687. doi: DOI 10.1111/j.1752-1688.2003.tb03684.x
- Kuo, J. T., Lung, W. S., Yang, C. P., Liu, W. C., Yang, M. D. ve Tang, T. S. (2006). Eutrophication modelling of reservoirs in Taiwan. *Environmental Modelling & Software*, 21(6), 829-844. doi: DOI 10.1016/j.envsoft.2005.03.006
- Kurup, R. G., Hamilton, D. P. ve Phillips, R. L. (2000). Comparison of two 2-dimensional, laterally averaged hydrodynamic model applications to the Swan River Estuary. *Mathematics and Computers in Simulation*, 51(6), 627-638. doi: Doi 10.1016/S0378-4754(99)00146-9
- Lap, B. Q., Tuan, N. V., Hamagami, K., Iguchi, S., Mori, K. ve Hirai, Y. (2009). Formation and Disappearance of Thermal Stratification in a Small Shallow Lake. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*, 54(1), 251-259.
- Li, Y. P., Acharya, K., Chen, D. ve Stone, M. (2010). Modeling water ages and thermal structure of Lake Mead under changing water levels. *Lake and Reservoir Management*, 26(4), 258-272. doi: Doi 10.1080/07438141.2010.541326
- Lindim, C., Pinho, J. L. ve Vieira, J. M. P. (2011). Analysis of spatial and temporal patterns in a large reservoir using water quality and hydrodynamic

- modeling. *Ecological Modelling*, 222(14), 2485-2494. doi: DOI 10.1016/j.ecolmodel.2010.07.019
- Mallya, Y. J. (2007). *The Effects Of Dissolved Oxygen On Fish Growth In Aquaculture*. The United Nations University, Reykjavik, Iceland.
- McKee, J. E. ve Wolf, H. W. (1963). *Water Quality Criteria* (Second ed.): California State Water Resources Control Board.
- Mercan, D. E. ve Kabdaşlı, S. (2008). 1998 su yılı için Beyşehir Gölü'nün hidrodinamik modellemesi. *İtü Dergisi*, 7(2), 75-82.
- Mtada, O. S. M. (1987). The influence of thermal stratification on pelagic fish yields in Lake Kariba, Zambia/Zimbabwe. *The Fisheries Society of the British Isles*, 30, 127-133.
- Nash, J. E. ve Sutcliffe, I. V. (1970). River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I - A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- Nevers, M. B. ve Whitman, R. L. (2005). *Lake Monitoring Field Manual*: U. S. Geological Survey.
- Pinel-Alloul, B., Methot, G. ve Malinsky-Rushansky, N. Z. (2004). A short-term study of vertical and horizontal distribution of zooplankton during thermal stratification in Lake Kinneret, Israel, *Hydrobiologia*, 526(1), 85-98. doi: Doi 10.1023/B:Hydr.0000041611.71680.Fc
- Rice, D. A., Tsay, T. K., Effler, S. W. ve Driscoll, C. T. (1989). Modeling Thermal Stratification in Transparent Adirondack Lake. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*, 115(4), 440-456.
- Serbes, U. C. ve Kavas, C. Y. (2013). *Borabey Göleti'ndeki Termal Katmanlaşmanın Belirlenmesi ve Göletin Batimetrik Haritasının Çıkarılması*. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Shaw, B., Mechenich, C. ve Klessig, L. (2004). *Understanding Lake Data*.
- Song, K., Xenopoulos, M. A., Buttle, J. M., Marsalek, J., Wagner, N. D., Pick, F. R. ve Frost, P. C. (2013). Thermal stratification patterns in urban ponds and

their relationships with vertical nutrient gradients. *J Environ Manage*, 127, 317-323. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.05.052

Spigel, R. (2008). Lake Ototoa study: modeling thermal stratification. Auckland Regional Council: National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd.

Stansbury, J., Kozimor, L., Admiraal, D. ve Dove, E. (2008). Water quality modeling of the effects of macrophytes on dissolved oxygen in a shallow tailwater reservoir. *Lake and Reservoir Management*, 24(4), 339-348. doi: Doi 10.1080/07438140809354844

Wan, Y. S., Ji, Z. G., Shen, J., Hu, G. D. ve Sun, D. T. (2012). Three dimensional water quality modeling of a shallow subtropical estuary. *Marine Environmental Research*, 82, 76-86. doi: DOI 10.1016/j.marenvres.2012.09.007

Weiner, R. F. ve Matthews, R. (2003). *Environmental Engineering* (Fourth ed.). U.S.A.: Butterworth-Heinemann.

Williams, N. T. (2007). *Modeling Dissolved Oxygen In Lake Powell*. (Master of Science), Brigham Young University.

Ek-1 CE-QUAL-W2 Modeli Girdi Dosyaları

qin_br1.npt: Giriş debisi dosyası

tin_br1.npt: Giriş debisinin su sıcaklıkları dosyası

cin_br1.npt: Giriş debisinin bileşen derişimleri dosyası

qtr_br1.npt: Yan kol giriş debisi dosyası

ttr_br1.npt: Yan kol giriş debisi su sıcaklıkları dosyası

ctr_br1.npt: Yan kol giriş debisiyle gelen bileşen derişimleri dosyası

eu_h_br1.npt: Memba yönündeki su kotu dosyası

tuh_br1.npt: Memba yönündeki model başlangıç su sıcaklığı dosyası

cuh_br1.npt: Memba yönündeki model başlangıç bileşen derişimleri dosyası

edh_br1.npt: Mansab yönündeki su kotu dosyası

tdh_br1.npt: Mansab yönündeki model başlangıç su sıcaklığı dosyası

cdh_br1.npt: Mansab yönündeki model başlangıç bileşen derişimleri dosyası

qot_br1.npt: Çıkış debisi dosyası

ext_wb1.npt: Işığın sönümlenmesi (Light extinction) dosyası

qwd.npt: Su çekimi dosyası

vpr.npt: Başlangıç koşullarına göre belirlenen baraj düşey profili dosyası

lpr.npt: Başlangıç koşullarına göre belirlenen boylamsal ve düşey profil dosyası

wsc.npt: Rüzgar korunaklılık dosyası

shd.npt: Gölge dosyası

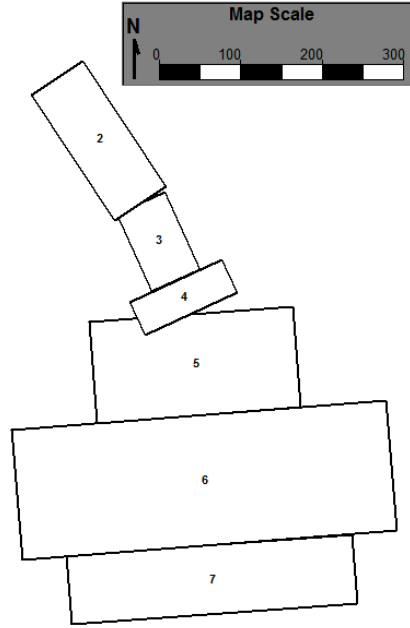
qgt.npt: Kapak çıkış debisi/işletimi dosyası

Ek-2 Meteorolojik Parametreler

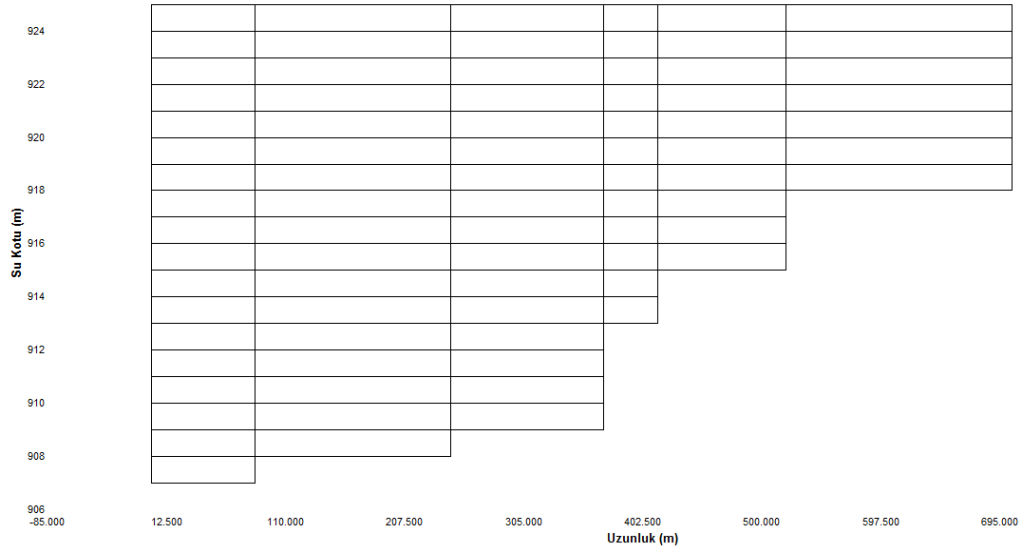
Parametreler	2013 Yılı Aylar												2014 Yılı Aylar									
	1	2*	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Minimum Hava Sıcaklığı, °C	-8.1	-3.9	-7.2	1.8	7.1	8.2	10.2	13.3	4.8	-1.9	-2.2	-10.8	-3.4	-6.9	-5.3	-0.1	4.2	7.7	11.1	14.2	4.9	-0.4
Maksimum Hava Sıcaklığı, °C	14.7	16.2	22.8	26.9	29.2	34.2	30.5	32.2	31.7	23.6	21.1	11.0	13.1	19.8	21.1	24.4	27.6	33.2	35.4	36.1	31.2	23.6
Ortalama Hava Sıcaklığı, °C	1.8	5.6	6.6	10.7	17.7	19.4	20.7	21.9	16.6	10.6	7.9	-1.8	2.7	4.9	6.6	11.4	14.7	18.3	22.1	22.9	17.1	12.3
Minimum Çiğlenme Noktası Sıcaklığı, °C	-10.5	-5.7	-11.8	-4.7	-1.5	2.9	1.8	1.2	-3.3	-7.8	-3.9	-12.9	-7.4	-9.4	-8.7	-4.0	1.0	4.7	3.8	3.8	-4.9	-2.2
Maks. Çiğ. Noktası Sıcaklığı, °C	6.7	7.1	9.9	11.1	14.5	18.7	16.9	16.1	14.1	11.1	9.0	5.2	6.6	6.2	7.3	11.4	15.3	17.3	18.5	17.9	17.0	13.7
Ortalama Çiğlenme Noktası Sıcaklığı, °C	-0.6	1.9	1.2	4.5	8.0	10.7	11.6	11.8	7.0	3.0	2.9	-5.1	0.5	-0.8	1.0	4.8	8.6	11.5	13.5	13.5	11.2	8.2
Maksimum Rüzgar Hızı, m/s	9.8	8.5	8.0	9.8	8.0	9.4	7.2	6.7	6.7	8.5	6.3	7.6	6.7	6.7	7.2	8.9	7.6	6.7	7.6	6.7	8.5	7.6
Ortalama Rüzgar Hızı, m/s	1.79	1.40	1.70	2.23	1.80	2.24	2.87	2.44	1.94	1.40	0.82	1.06	0.85	1.03	1.70	1.61	1.75	2.01	2.63	2.41	1.86	1.30
Maksimum Güneş Işınımı, W/m ²	687	731	965	1000	1085	1116	1110	1000	928	865	567	507	702	775	997	1055	1132	1134	1156	1020	955	849
Ortalama Güneş Işınımı, W/m ²	62.8	114.9	144.5	200.0	249.9	263.6	260.8	262.1	217.9	140.9	95.2	69.6	63.5	122.7	153.7	202.8	222.7	242.9	276.5	254.4	175.1	129.9
Maksimum Yağış, mm/saat	9.2	13.4	90.0	24.0	104.8	120.0	4.6	41.6	44.4	89.4	8.0	9.6	11.2	17.8	32.2	22.2	93.0	164.9	71.6	81.2	87.2	81.8
Ortalama Yağış, mm/saat	0.04	0.06	0.11	0.08	0.08	0.15	0.00	0.01	0.02	0.29	0.03	0.00	0.03	0.00	0.06	0.05	0.27	0.28	0.08	0.05	0.18	0.13
Başın Rüzgar Yönü	D	D	D	BKB	BKB	BKB	KKB	BKB	BKB	BKB	D	DKD	D	D	B	B	BKB	BKB	BKB	BKB	BKB	BKB

* 15 günlük veri kaybı mevcuttur.

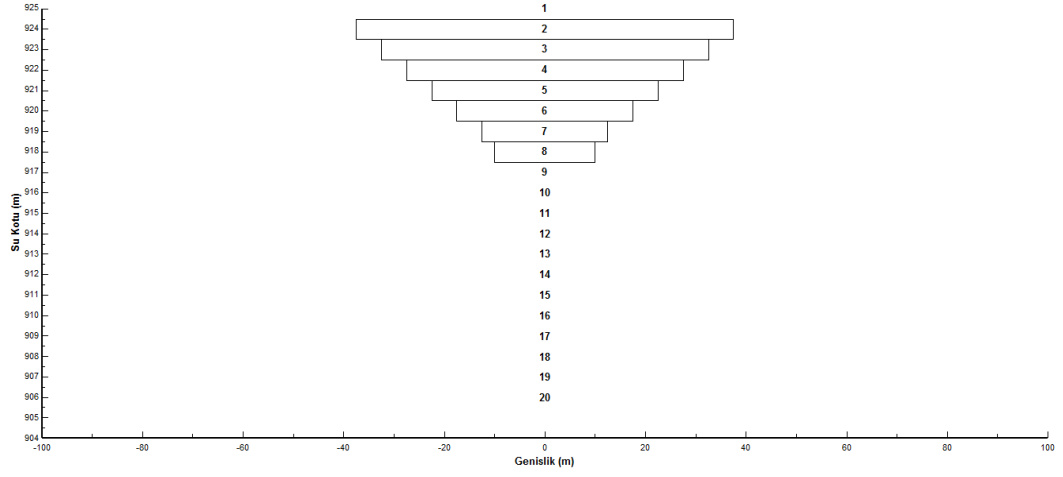
Ek-3 Segmentler Ve Katmanlar



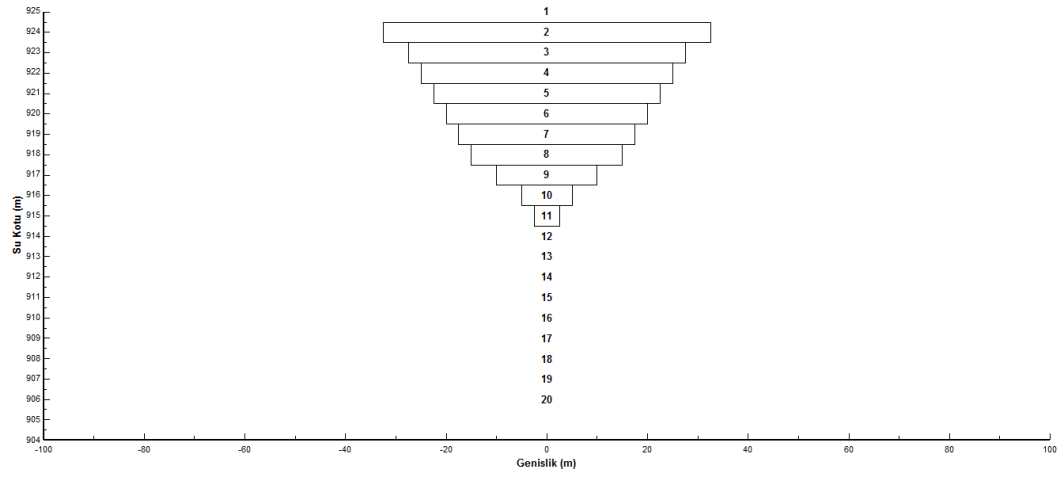
Şekil EK-2.1. Segmentlerin üst görünümü



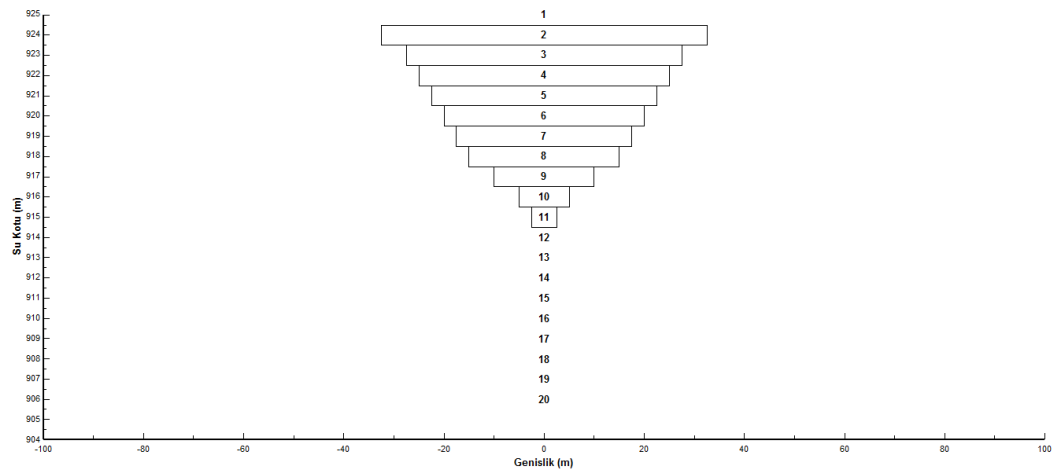
Şekil EK-2.2. Segmentlerin yan görünümü



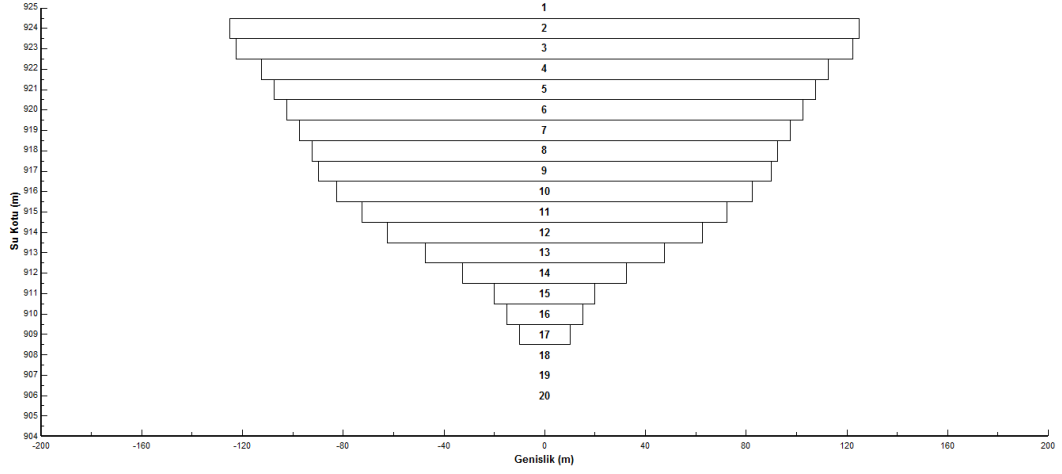
Şekil EK-2.3. İkinci segmentin katman görünümü



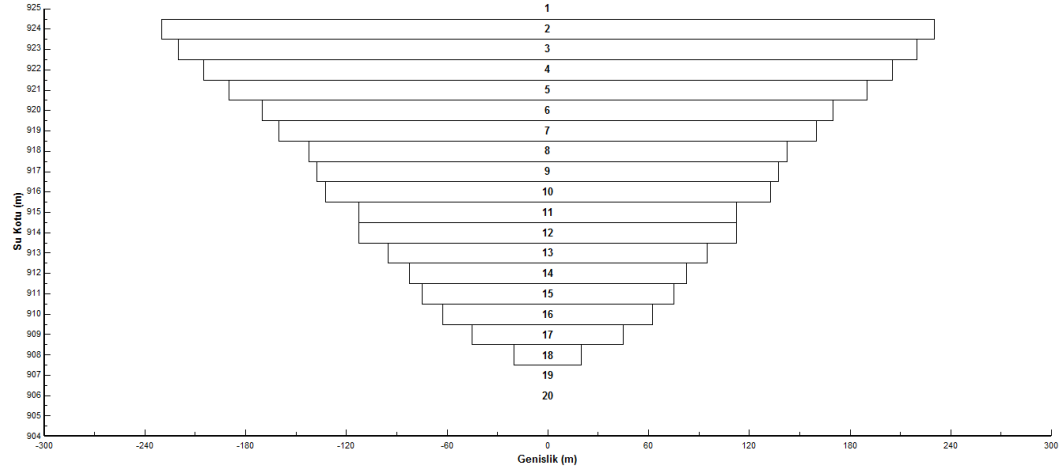
Şekil EK-2.4. Üçüncü segmentin katman görünümü



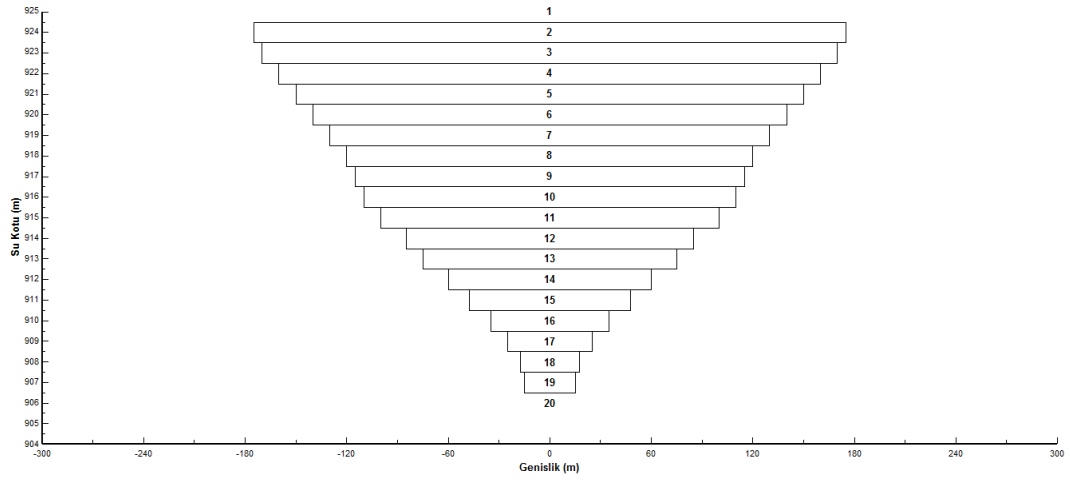
Şekil EK-2.5. Dördüncü segmentin katman görünümü



Şekil EK-2.6. Beşinci segmentin katman görünümü



Şekil EK-2.7. Altıncı segmentin katman görünümü



Şekil EK-2.8. Yedinci segmentin katman görünümü

Ek-4 Çözünmüş Oksijen Denklemleri

Table B-16. Lake reaeration equations as a function of wind speed at 20°C.

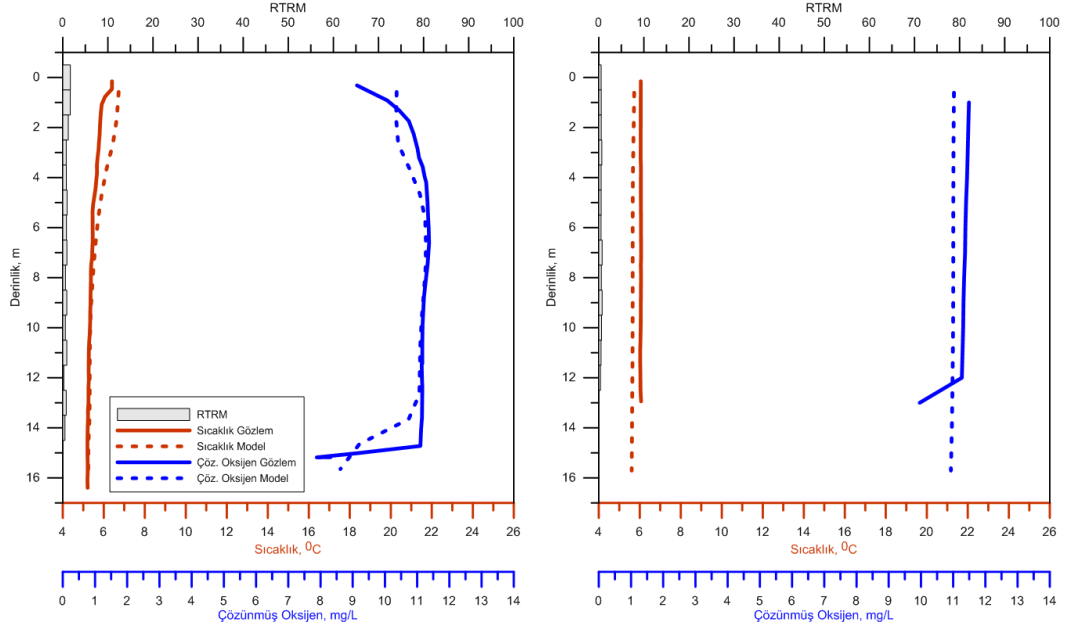
#	Equation	Comments	Reference
1	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.864W}{H}$	W, m s ⁻¹ at 10 m H, m K _L , m day ⁻¹	Broecker et al (1978)
2	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{\alpha W^\beta}{H}$	α = 0.2, β = 1 for W < 3.5 m s ⁻¹ α = 0.057, β = 2 for W > 3.5 m s ⁻¹ where W is a daily average wind speed	Gelda et al (1996)
3	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.728W^{0.5} - 0.317W + 0.0372W^2}{H}$	W, m s ⁻¹ at 10 m K _L , m day ⁻¹	Banks and Herrera (1977)
4	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.0986W^{1.64}}{H}$ [at 20°C] or $K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.0986W^{1.64}}{H} \left(\frac{600}{Sc}\right)^{0.5}$	The latter equation was the original equation used where W is measured at 10 m and Sc is the Schmidt number Sc=(ν/D)=13750[0.10658exp(- .0627T)+.00495] T = temperature, °C ν=kinematic viscosity D=diffusivity	Wanninkhof et al. (1991)
5	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{D_{O_2}}{(200 - 60W^{0.5})10^{-6}}$	D _{O₂} = oxygen molecular diffusivity, m ² s ⁻¹ W, m s ⁻¹ K _L , m s ⁻¹	Chen, Kanwisher (1963)
6	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.5 + 0.05W^2}{H}$		Cole and Buchak (1995)
7	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.362\sqrt{W}}{H}$ W < 5.5 m/s $K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.0277W^2}{H}$ W > 5.5 m/s		Banks (1975)
8	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.64 + 0.128W^2}{H}$	Recommended form for WQRSS reser- voir model	Smith (1978)
9	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.156W^{0.63}}{H}$ W ≤ 4.1m/s $K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.0269W^{1.9}}{H}$ W > 4.1m/s		Liss (1973)
10	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.0276W^2}{H}$		Downing and Truesdale (1955)
11	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.0432W^2}{H}$		Kanwisher (1963)
12	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.319W}{H}$		Yu et al (1977)
13	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.398}{H}$ W < 1.6 $K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{0.155W^2}{H}$ W ≥ 1.6	W = wind speed, m s ⁻¹	Weiler (1974)
14	$K_a = \frac{K_L}{H} = \frac{C_1 + C_2W^{C_3}}{H}$	User defined relationship where: W, m s ⁻¹ at 10 m K _a , day ⁻¹ C ₁ , C ₂ , C ₃ are user defined	

Ek-5 İstatistiksel Sonuçlar

Tarih	Sıcaklık O.M.H.	Çözünmüş Oksijen O.M.H.
2013-02-26	0.089	0.35
2013-03-04	0.34	0.41
2013-03-14	0.47	0.20
2013-03-21	0.55	0.26
2013-04-04	1.02	0.41
2013-04-24	1.18	0.79
2013-05-02	1.18	2.40
2013-05-23	1.27	3.14
2013-06-17	1.02	1.52
2013-06-25	0.99	1.53
2013-07-08	0.76	1.06
2013-07-25	0.56	1.48
2013-08-13	0.70	1.54
2013-08-28	0.87	1.42
2013-09-10	0.46	0.71
2013-09-25	0.25	1.43
2013-10-08	0.45	0.37
2013-10-22	0.20	0.13
2013-11-07	0.50	0.18
2014-01-09	0.99	0.96
2014-03-03	1.11	0.65
2014-03-31	0.82	1.45
2014-04-17	0.81	2.44
2014-04-24	0.87	2.53
2014-05-08	0.94	2.11
2014-05-23	0.94	2.31
2014-06-11	1.08	*
2014-06-12	0.87	1.58
2014-06-20	1.07	1.11
2014-06-25	0.91	0.83
2014-07-08	0.87	0.67
2014-08-04	0.77	0.28
2014-08-18	0.87	0.73
2014-09-10	0.66	0.88
2014-09-12	0.75	0.72
2014-09-30	0.10	0.59
2014-10-30	1.05	0.21
Ortalama Mutlak Hata Miktarları	--- 0.77 °C	--- 1.09 mg O ₂ /L

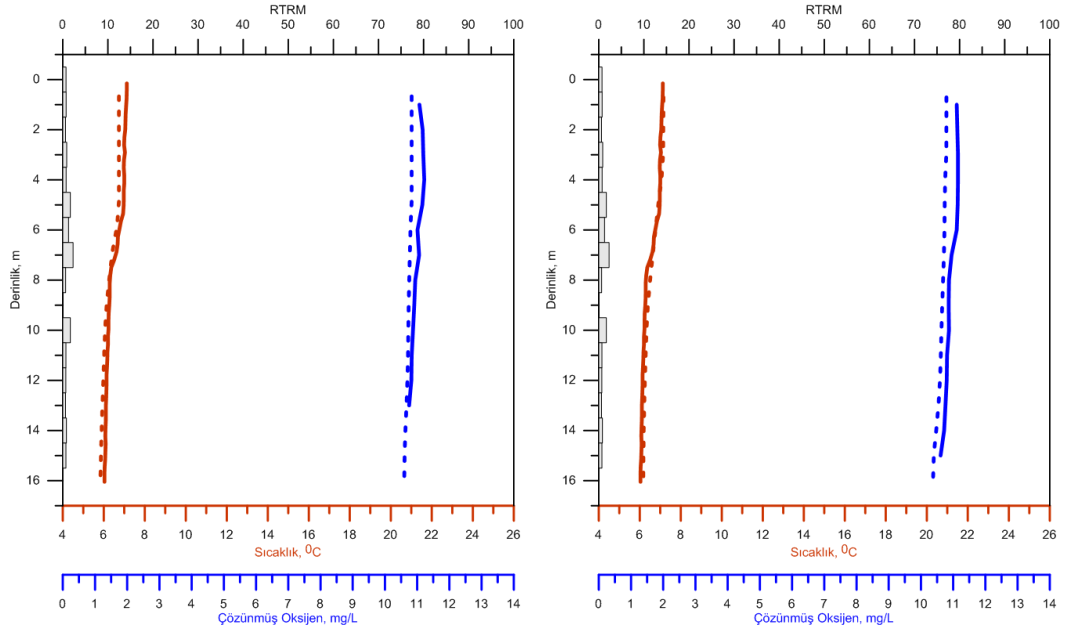
* Çözünmüş oksijen ölçümü yapılamamıştır.

Ek-6 Sonuç Grafikleri



(a)

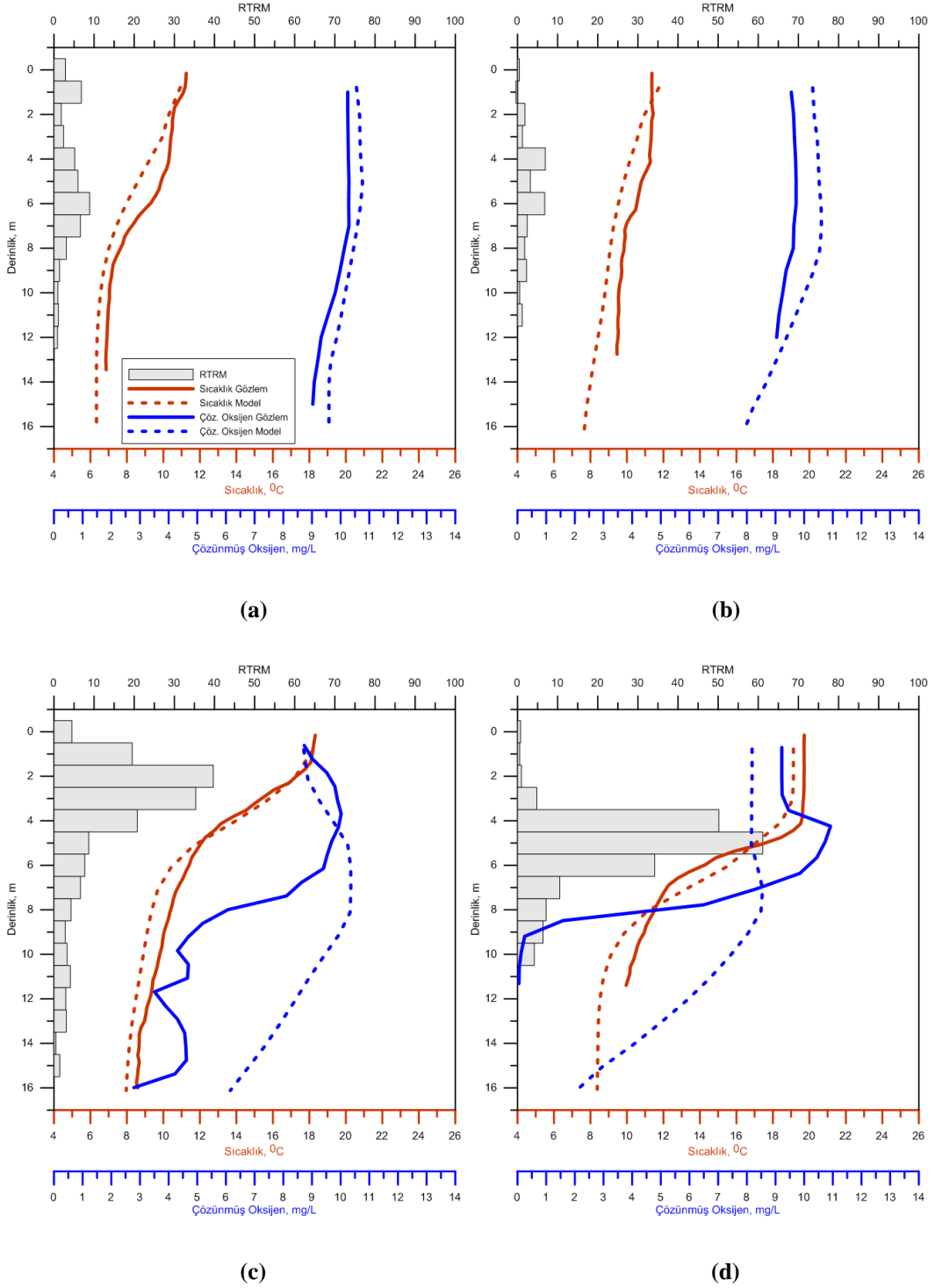
(b)



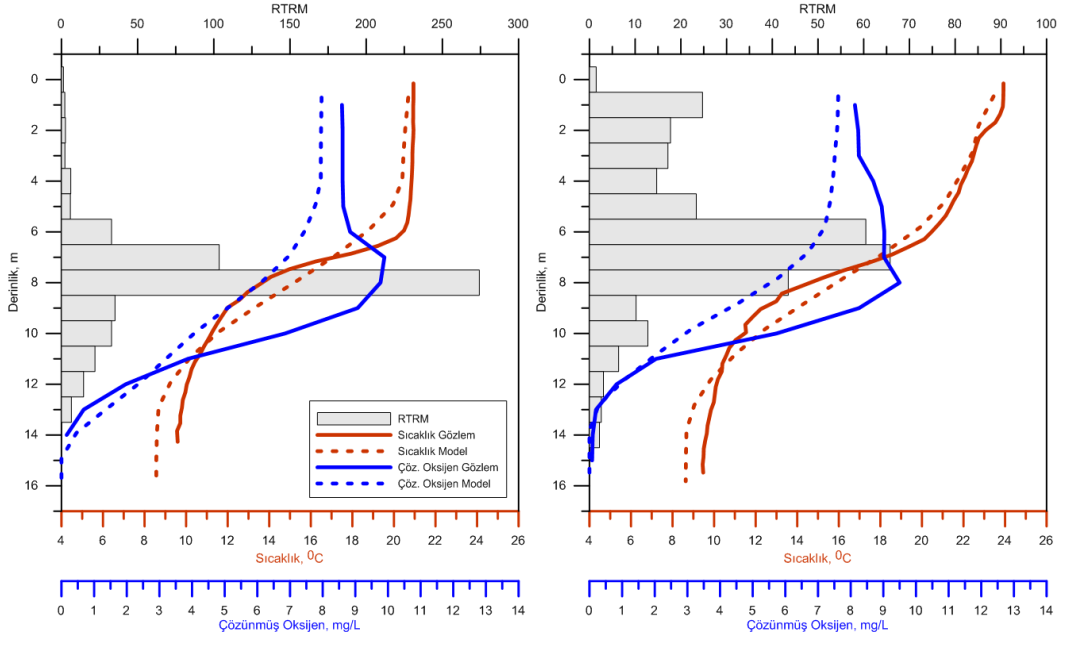
(c)

(d)

Şekil EK-6.1. Borabey göleti için ölçüm ve modelleme çalışmaları sonucu elde edilen sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM grafikleri. (a) 26 Şubat 2013, (b) 04 Mart 2013, (c) 14 Mart 2013 ve (d) 21 Mart 2013 tarihlerine ait grafiklerdir.

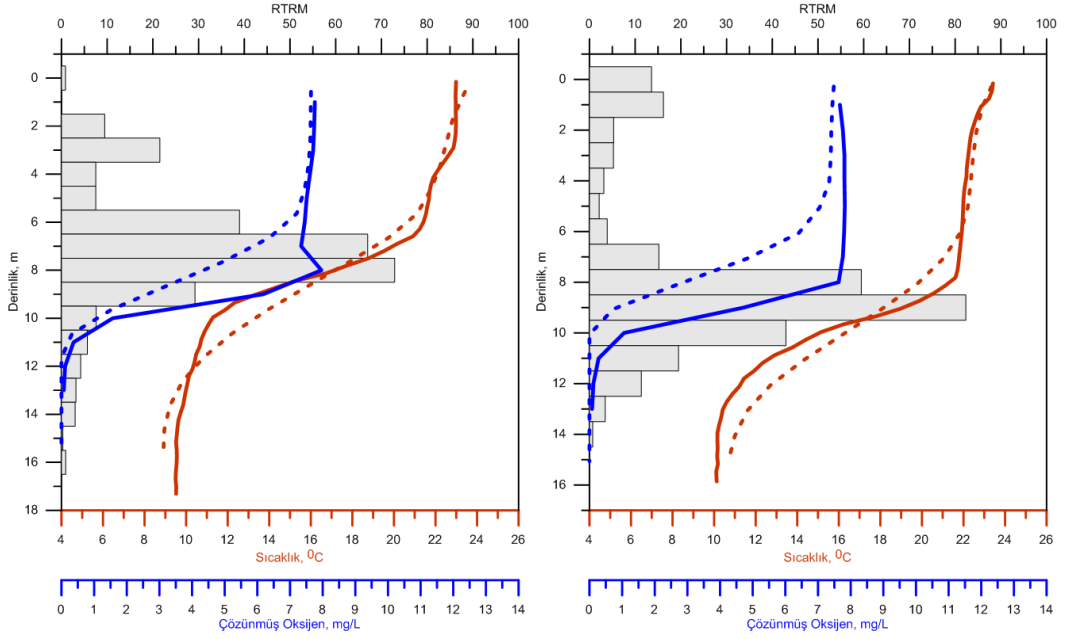


Şekil EK-6.2. Borabey göleti için ölçüm ve modelleme çalışmaları sonucu elde edilen sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM grafikleri. (a) 04 Nisan 2013, (b) 24 Nisan 2013, (c) 02 Mayıs 2013 ve (d) 23 Mayıs 2013 tarihlerine ait grafiklerdir.



(a)

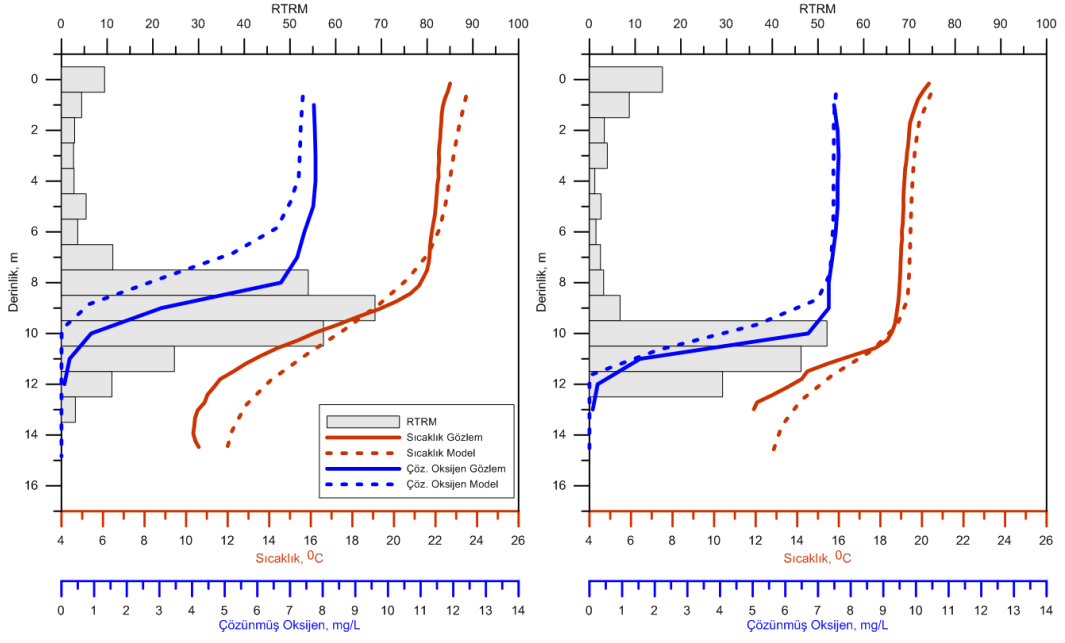
(b)



(c)

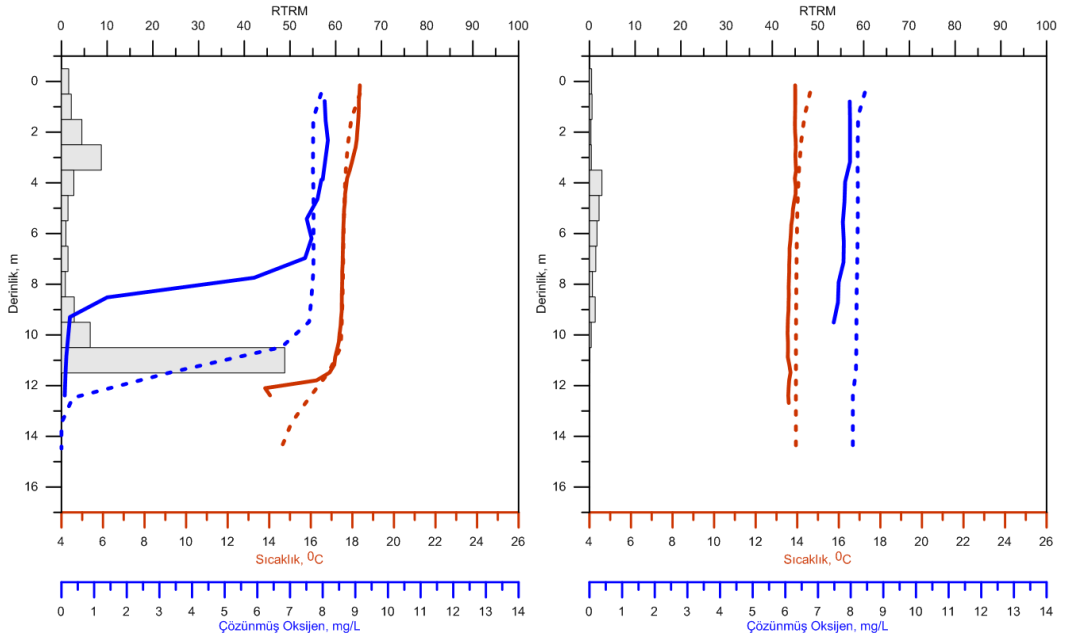
(d)

Şekil EK-6. 3. Borabey göleti için ölçüm ve modelleme çalışmaları sonucu elde edilen sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM grafikleri. (a) 17 Haziran 2013, (b) 25 Haziran 2013, (c) 08 Temmuz 2013 ve (d) 13 Ağustos 2013 tarihlerine ait grafiklerdir.



(a)

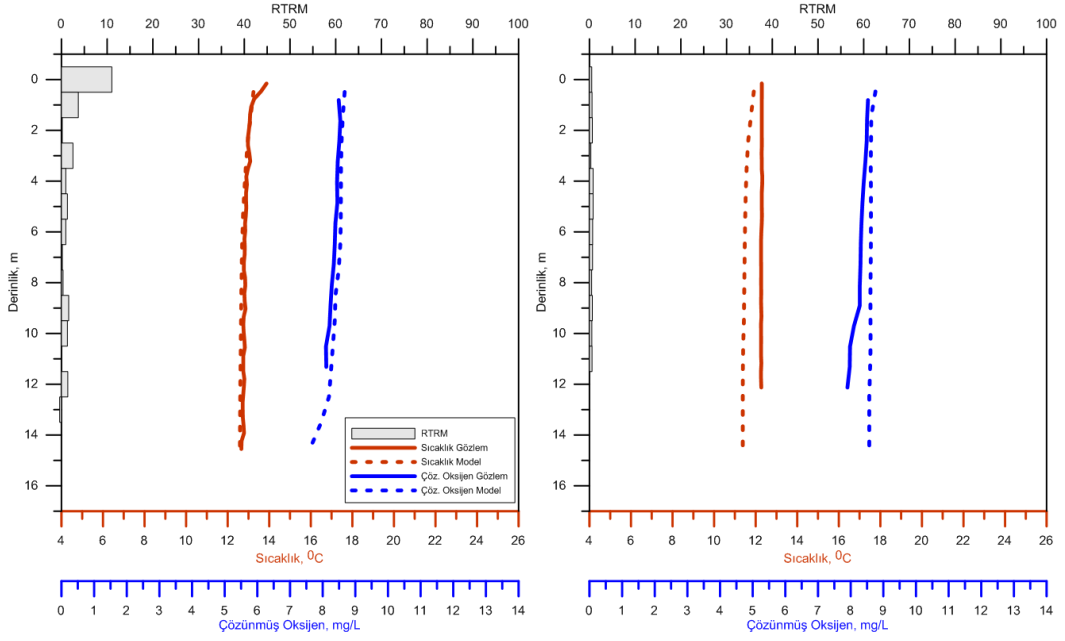
(b)



(c)

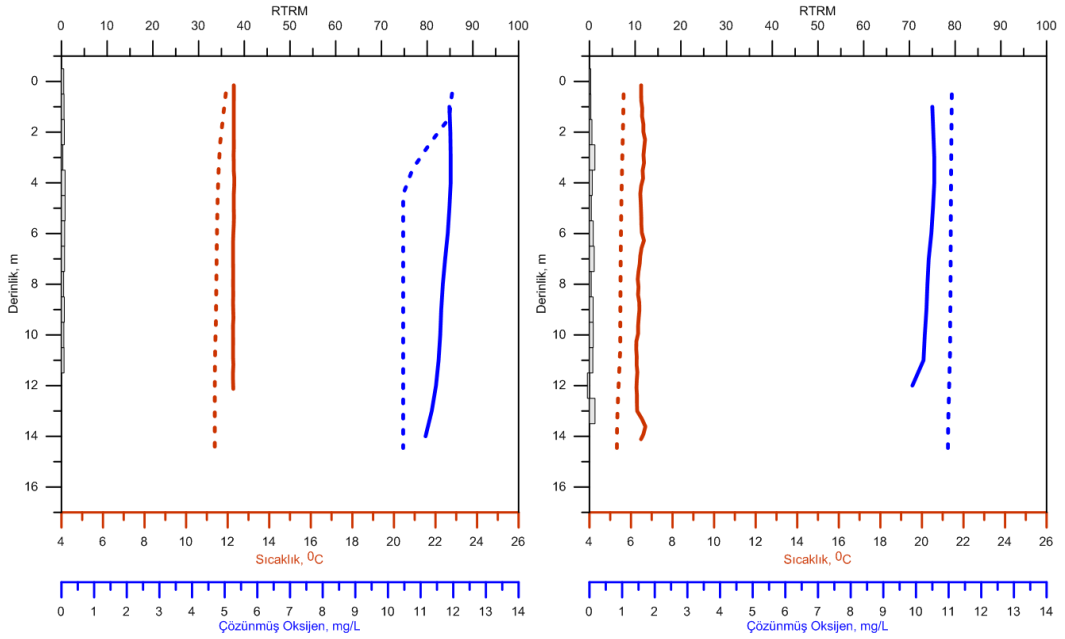
(d)

Şekil EK-6.4. Borabey göleti için ölçüm ve modelleme çalışmaları sonucu elde edilen sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM grafikleri. (a) 28 Ağustos 2013, (b) 10 Eylül 2013, (c) 25 Eylül 2013 ve (d) 08 Ekim 2013 tarihlerine ait grafiklerdir.



(a)

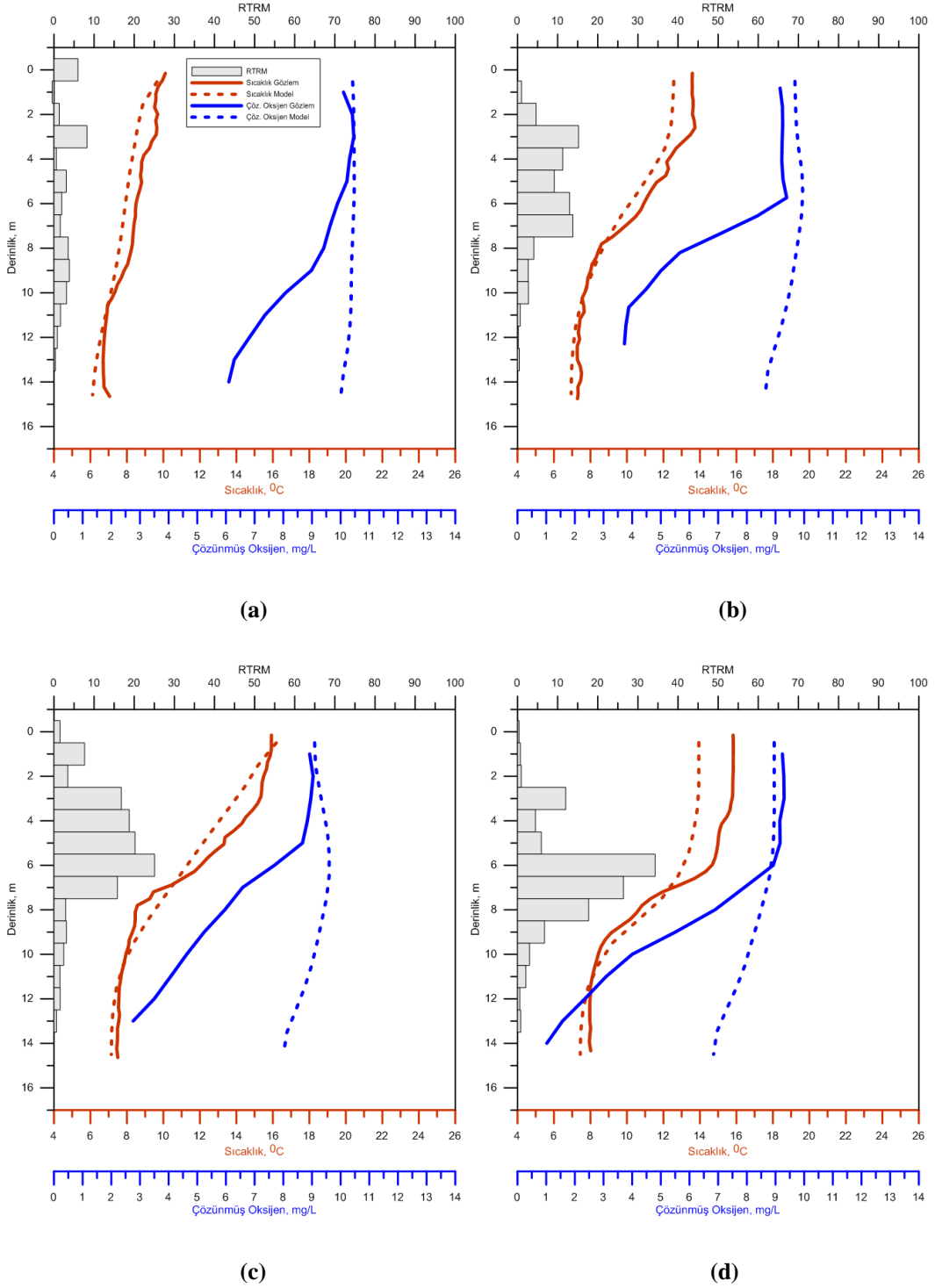
(b)



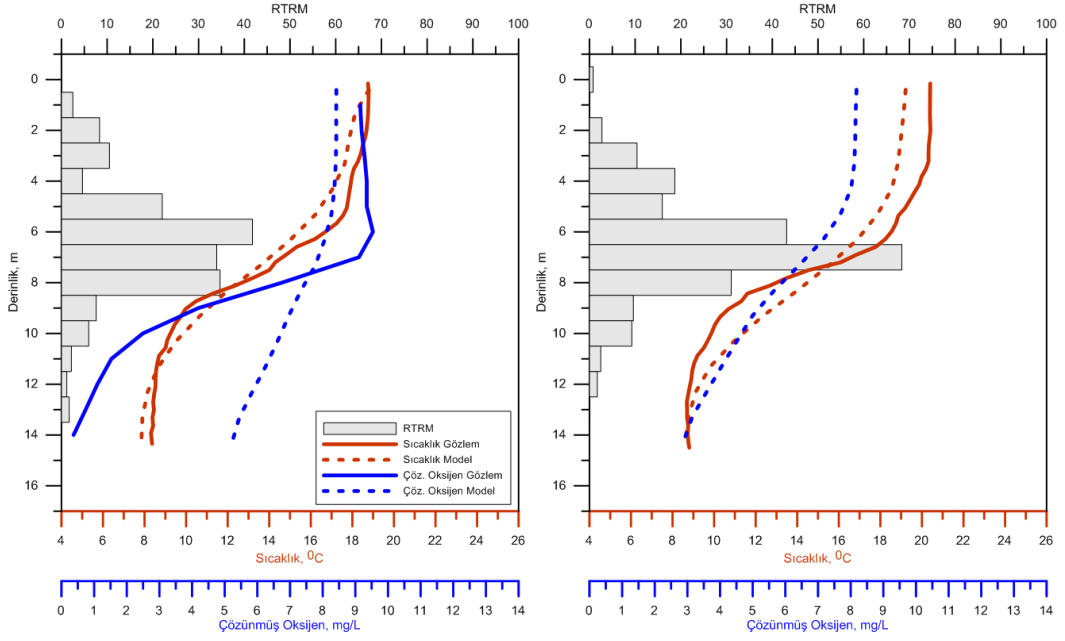
(c)

(d)

Şekil EK-6.5. Borabey göleti için ölçüm ve modelleme çalışmaları sonucu elde edilen sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM grafikleri. (a) 22 Ekim 2013, (b) 07 Kasım 2013, (c) 09 Ocak 2014 ve (d) 04 Mart 2014 tarihlerine ait grafiklerdir.

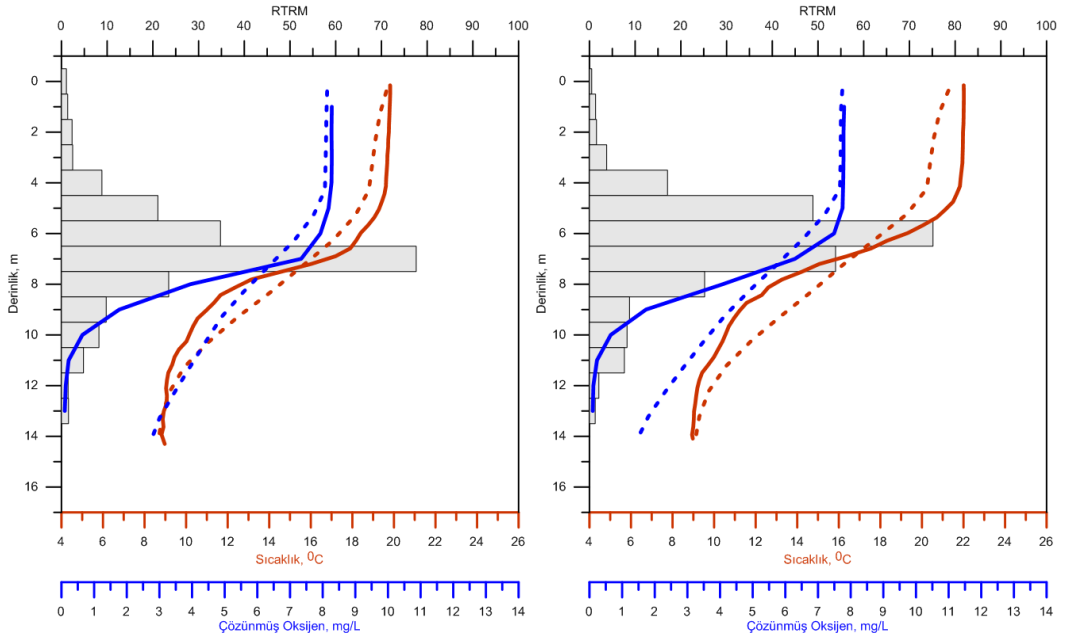


Şekil EK-6.6. Borabey göleti için ölçüm ve modelleme çalışmaları sonucu elde edilen sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM grafikleri. (a) 31 Mart 2014, (b) 17 Nisan 2014, (c) 24 Nisan 2014 ve (d) 08 Mayıs 2014 tarihlerine ait grafiklerdir.



(a)

(b)*

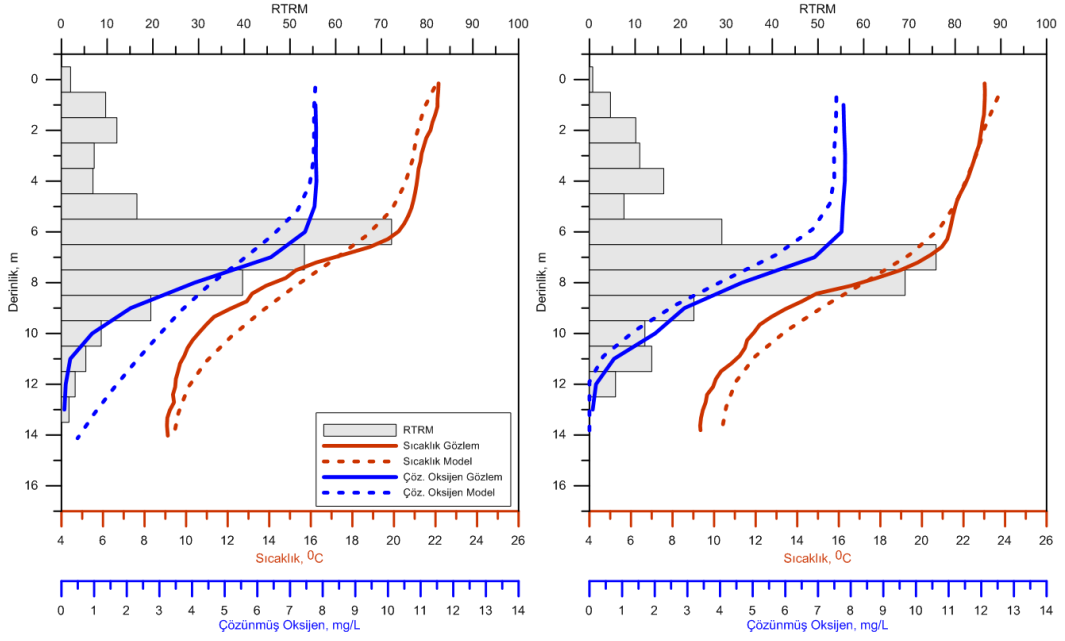


(c)

(d)

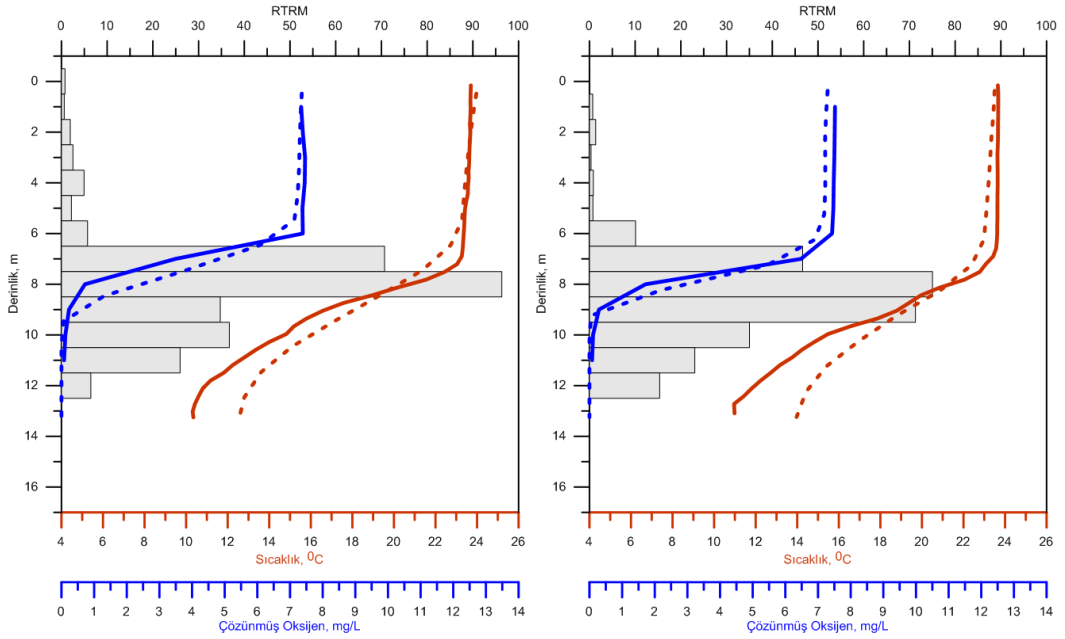
Şekil EK-6.7. Borabey göleti için ölçüm ve modelleme çalışmaları sonucu elde edilen sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM grafikleri. (a) 23 Mayıs 2014, (b) 11 Haziran 2014, (c) 12 Haziran 2014 ve (d) 20 Haziran 2014 tarihlerine ait grafiklerdir.

* Çözülmüş oksijen ölçümü yapılamamıştır.



(a)

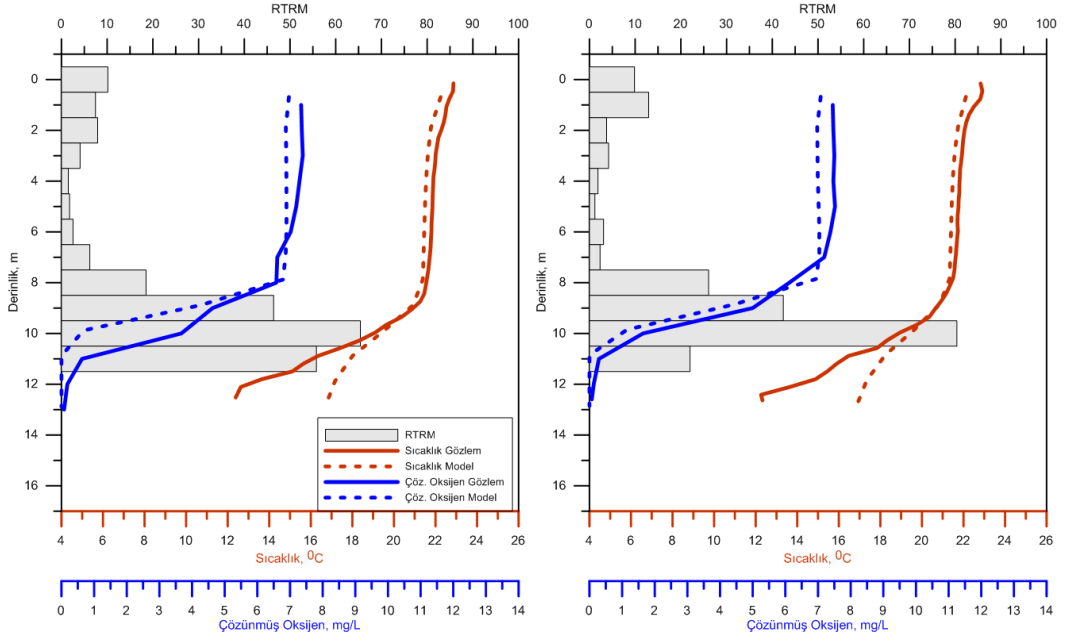
(b)



(c)

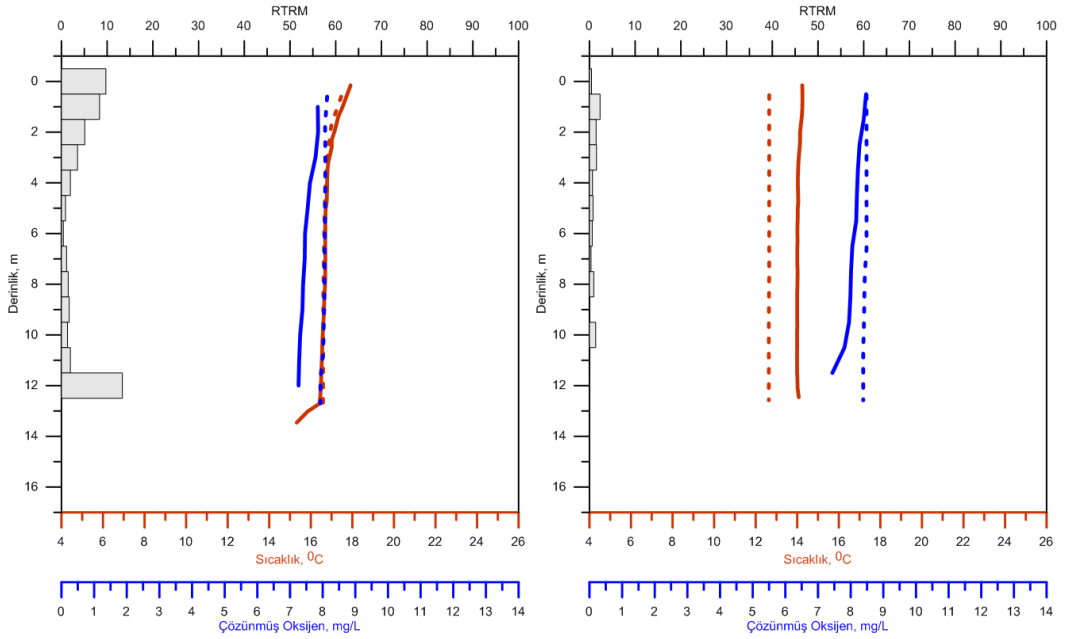
(d)

Şekil EK-6.8. Borabey göleti için ölçüm ve modelleme çalışmaları sonucu elde edilen sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM grafikleri. (a) 25 Haziran 2014, (b) 08 Temmuz 2014, (c) 04 Ağustos 2014 ve (d) 18 Ağustos 2014 tarihlerine ait grafiklerdir.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil EK-6.9. Borabey göleti için ölçüm ve modelleme çalışmaları sonucu elde edilen sıcaklık, çözülmüş oksijen ve RTRM grafikleri. (a) 10 Eylül 2014, (b) 12 Eylül 2014, (c) 30 Eylül 2014 ve (d) 30 Ekim 2014 tarihlerine ait grafiklerdir.