

**T.C.**  
**ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**GÖL METABOLİZMASININ DİEL OKSİJEN TEKNİĞİ İLE  
BELİRLENMESİ: ABANT GÖLÜ ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GONCA SİLAHAN TURAN**

**BOLU, HAZİRAN - 2015**

**T.C.**  
**ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GÖL METABOLİZMASININ DİEL OKSİJEN TEKNİĞİ İLE**  
**BELİRLENMESİ: ABANT GÖLÜ ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GONCA SİLAHAN TURAN**

**BOLU, HAZİRAN - 2015**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Gonca Sılaahan TURAN** tarafından hazırlanan “**GÖL METABOLİZMASININ DİEL OKSİJEN TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ: ABANT GÖLÜ ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması 26.06.2015 tarihinde Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

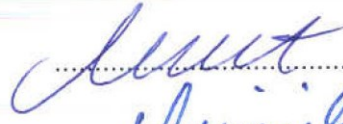
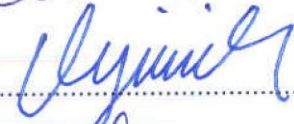
### Jüri Üyeleri

Danışman  
Doç. Dr. Nusret KARAKAYA

Üye  
Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK

Üye  
Yrd. Doç. Dr. Elçin HEPSAĞ GÜNEŞ

### İmza

  
.....  
  
.....  
  
.....

  
.....

Prof. Dr. Duran KARAKAŞ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

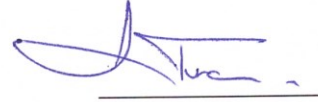
**Canım aileme,**

## ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Gonca Silahan TURAN

## ÖZET

### GÖL METABOLİZMASININ DİEL OKSİJEN TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ: ABANT GÖLÜ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GONCA SİLAHAN TURAN

ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. NUSRET KARAKAYA)

BOLU, HAZİRAN - 2015

Diel oksijen tekniği; göllerde, akarsularda ve lagünlerde brüt birincil üretim (GPP), net ekosistem üretimi (NEP) ve ekosistem solunumunun (R) tahmin edilmesi için son yıllarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tez çalışması ile; (1) Abant Göl'ünde; GPP, NEP ve R diel oksijen tekniği ile tahmin edilmiş ve (2) GPP, NEP ve R'nin zamansal değişimi için istatistiksel model oluşturulmuştur. Göl metabolizması bileşenlerini diel oksijen tekniği ile tahmin edebilmek için çözülmüş oksijen konsantrasyonu ( $CO$ ,  $mg L^{-1}$ ), çözülmüş oksijen doygunluk değeri ( $O_{2doygunluk}$ , %) ve su sıcaklığı ( $T_w$ ,  $^{\circ}C$ ) sahaya tesis edilen YSI Marka su kalite izleme sondaları ile sürekli ölçülmüştür. Metabolizma tahminlerinde kullanılan solar radyasyon ( $SR$ ,  $W m^{-2}$ ) ve rüzgâr hızı ( $WS$ ,  $m s^{-1}$ ) gibi meteorolojik değişkenlerin izlenmesi için T107 T marka meteoroloji istasyonu göl kenarına kurulmuştur. Ölçümlere 2012 yılında başlanmış ve 2014 yılında sona erdirilmiştir. Ölçümler Haziran-Kasım ayları arasında yapılmıştır. Göl metabolizmasını oluşturan bileşenlerin tahmini için gece ve gündüz saatlerindeki R eşit kabul edilmiştir. Yıllık ortalama göl metabolizma bileşenleri baz alındığında 2012, 2013 ve 2014 yılları için Abant Göl'ü net heterotrof ( $GPP/R < 1$  ve  $NEP < 0$ ) karakter göstermektedir. Ayrıca GPP ve R değerleri aylık bazda zamana bağlı olarak modellenmiştir. İstatistiksel modelleme çalışmalarında GPP ve R'nin aylık ortalamaları (tüm istasyonlardan elde edilen verilerin aylık ortalamaları) kullanılmış ve göl için genel bir istatistiksel model oluşturulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Göl metabolizması, brüt birincil üretim, net ekosistem üretimi, ekosistem solunumu, diel oksijen tekniği

## **ABSTRACT**

### **DETERMINING LAKE METABOLISM USING DIEL OXYGEN TECHNIQUE: A CASE STUDY OF LAKE ABANT**

#### **MSC THESIS**

**GONCA SILAHAN TURAN**

**ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF  
NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. NUSRET KARAKAYA)**

**BOLU, JUNE 2015**

Recently, diel oxygen method has been intensively used to estimate gross primary production (GPP), net ecosystem production (NEP), and ecosystem respiration (R) from lakes, rivers, and lagoons. This master thesis (1) estimated GPP, NEP, and R of Lake Abant using diel oxygen technique; and (2) built statistical model for the prediction of temporal changes in GPP, NEP, and R. To estimate lake metabolism components using diel oxygen technique, dissolved oxygen concentration (DO, mg L<sup>-1</sup>), saturated dissolved oxygen value (O<sub>2saturated</sub>, %), and water temperature (T<sub>w</sub>, °C) were continuously measured with YSI-brand water quality monitoring probes installed *in situ*. To monitor meteorological variables such as solar radiation (SR, W m<sup>-2</sup>) and wind speed (WS, m s<sup>-1</sup>) used in the metabolism estimates, T107 T-brand meteorological station was set up by the lake. Measurements were started in 2012 and ended in 2014. Measurements were carried out between the months of June to November. To estimate the components of lake metabolism, nighttime and daytime R values were assumed to be equal. Considering mean annual lake metabolism components as the reference, Lake Abant was found to be of a net heterotrophic character (GPP/R < 1 and NEP < 0) for 2012, 2013 and 2014. Also, GPP and R were modelled as a function of time on a monthly basis. In the statistical modelling, monthly GPP and R averages (obtained from all the stations) were used to construct a general empirical model for the entire lake.

**KEYWORDS:** Lake metabolism, gross primary productivity, net ecosystem productivity, ecosystem respiration, diel oxygen technique

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

|                                                                |      |
|----------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET.....                                                      | v    |
| ABSTRACT .....                                                 | vi   |
| İÇİNDEKİLER .....                                              | vii  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                             | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                           | ix   |
| RESİM LİSTESİ .....                                            | x    |
| KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ .....                            | xi   |
| TEŞEKKÜR .....                                                 | xii  |
| 1. GİRİŞ.....                                                  | 1    |
| 2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ.....                   | 3    |
| 2.1 Birincil Üretim .....                                      | 3    |
| 2.2 Birincil Üretimin Tahminlerinde Kullanılan Yöntemler ..... | 4    |
| 2.3 Diel Oksijen Tekniği .....                                 | 6    |
| 3. MATARYEL VE METOD .....                                     | 8    |
| 3.1 Çalışma Alanının Tanımı .....                              | 8    |
| 3.2 İzleme Çalışmaları.....                                    | 10   |
| 3.3 Metabolizma Bileşenlerinin Hesaplanması .....              | 12   |
| 3.4 İstatistiksel Analizler .....                              | 14   |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....                                  | 15   |
| 4.1 İzleme Çalışmalarının Sonuçları .....                      | 15   |
| 4.2 Göl Metabolizma Bileşenlerinin Hesaplanması .....          | 18   |
| 4.3 Göl Metabolizmasının Zamana Bağlı Değişimi .....           | 24   |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                     | 26   |
| 6. KAYNAKLAR.....                                              | 28   |
| 7. EKLER.....                                                  | 33   |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.1.</b> Çalışma alanının konumu .....                                                                                                                                               | 8  |
| <b>Şekil 3.2.</b> Örnekleme yerlerinin konumları.....                                                                                                                                         | 10 |
| <b>Şekil A.1.</b> A1-1 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış<br>göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri<br>grafikle sunum için -1 ile çarpılmıştır)..... | 34 |
| <b>Şekil A.2.</b> A1-2 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış<br>göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri<br>grafikle sunum için -1 ile çarpılmıştır)..... | 35 |
| <b>Şekil A.3.</b> A2-1 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış<br>göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri<br>grafikle sunum için -1 ile çarpılmıştır)..... | 36 |
| <b>Şekil A.4.</b> A2-2 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış<br>göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri<br>grafikle sunum için -1 ile çarpılmıştır)..... | 37 |
| <b>Şekil A.5.</b> A3-1 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış<br>göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri<br>grafikle sunum için -1 ile çarpılmıştır)..... | 38 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1. Abant Gölü'nde sürekli izleme yapılan noktalar ile ilgili genel bilgiler. ....                                                                           | 11 |
| Çizelge 3.2. Abant Gölü göl metabolizması hesaplarında kullanılan diğer parametreler. ....                                                                            | 13 |
| Çizelge 4.1. Abant Gölü'nde 2012 yılında sürekli izleme sondalarında elde edilen verilere ait istatistikler. ....                                                     | 15 |
| Çizelge 4.2. Abant Gölü'nde 2013 yılında sürekli izleme sondalarında elde edilen verilere ait istatistikler. ....                                                     | 16 |
| Çizelge 4.3. Abant Gölü'nde 2014 yılında sürekli izleme sondalarında elde edilen verilere ait istatistikler. ....                                                     | 17 |
| Çizelge 4.4. Abant Gölü'nde meteoroloji istasyonundan elde edilen verilere ait özet istatistikler. ....                                                               | 18 |
| Çizelge 4.5. Abant Gölü'nde 2012 yılı için hesaplanan göl metabolizması bileşenleri. ....                                                                             | 19 |
| Çizelge 4.6. Abant Gölü'nde 2013 yılı için hesaplanan göl metabolizması bileşenleri. ....                                                                             | 20 |
| Çizelge 4.7. Abant Gölü'nde 2014 yılı için hesaplanan göl metabolizması bileşenleri. ....                                                                             | 21 |
| Çizelge 4.8. Abant Gölü'nde her bir istasyonda hesaplanan yıllık ortalama göl metabolizma bileşenlerinin yıllar arası Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları. ....       | 22 |
| Çizelge 4.9. Abant Gölü'nde her bir istasyonda hesaplanan yıllık ortalama göl metabolizma bileşenlerinin aylar arası Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları. ....        | 23 |
| Çizelge 4.10. Abant Gölü'nde her bir istasyonda hesaplanan yıllık ortalama göl metabolizma bileşenlerinin istasyonlar arası Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları. .... | 23 |
| Çizelge 4.11. Abant Gölü'nde GPP ve R'nin zamana bağlı değişimini açıklayan en uyumlu doğrusal model. ....                                                            | 25 |

## RESİM LİSTESİ

### Sayfa

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| <b>Resim 3.1.</b> Abant Gölü'ndeki izleme sistemi. .... | 11 |
|---------------------------------------------------------|----|

## KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

|                                           |                                                                                 |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>                                  | : Çözünmüş oksijen konsantrasyonunda değişime neden diğer prosesler             |
| <b>Chl-<i>a</i></b>                       | : Klorofil-a                                                                    |
| <b>ÇO</b>                                 | : Çözünmüş oksijen                                                              |
| <b><math>\Delta O_2/\Delta t</math></b>   | : Çözünmüş oksijen konsantrasyonun zamanla değişimi                             |
| <b>EC</b>                                 | : Elektriksel iletkenlik                                                        |
| <b>F</b>                                  | : Atmosferik oksijen alış verişi                                                |
| <b>GPP</b>                                | : Brüt ekosistem üretim hızı                                                    |
| <b><math>k_{600}</math></b>               | : Gaz aktarma hızı                                                              |
| <b>NEP</b>                                | : Net ekosistem üretim hızı                                                     |
| <b><math>O_{2\text{doygunluk}}</math></b> | : Çözünmüş oksijen doygunluk değeri                                             |
| <b>R</b>                                  | : Ekosistem solunum hızı                                                        |
| <b>S</b>                                  | : Tuzluluk                                                                      |
| <b>Sc</b>                                 | : Schmidt sayısı                                                                |
| <b>SR</b>                                 | : Solar radyasyon                                                               |
| <b><math>T_w</math></b>                   | : Su sıcaklığı                                                                  |
| <b>WS</b>                                 | : Rüzgar hızı                                                                   |
| <b><math>Z_{\text{mix}}</math></b>        | : Karışım derinliği (su sıcaklığının 1 metrede 1 °C düşmeye başladığı derinlik) |

## TEŞEKKÜR

Öncelikli olarak bilgi ve birikimini hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Nusret KARAKAYA'ya sonsuz teşekkür ederim. Tezin ortaya çıkmasında büyük katkıları olan Prof. Dr. Fatih EVRENDİLEK'e teşekkür ederim. Projemizin saha çalışmalarına katılan ve projenin değişik aşamalarında görev alarak yeri doldurulamayacak katkılar sunan Kadir ERDEM ve AİBÜ Çevre Mühendisliği Bölümü öğrencisi Rojda Duygu ÖGEL'e, projemizin saha çalışmaları sırasında her türlü yardımı sunan başta Cem SUVEREN, Adem GÜL ve İsmail HAKKIYILMAZ olmak üzere T.C. Orman ve Su Bakanlığı'nın 9. Bölge Müdürlüğü Bolu Milli Parklar Şube Müdürlüğü çalışanlarına, meteoroloji istasyonumuzun kurulması için yer temin eden Abant Palace Oteli yöneticilerine ve saha çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Ali Haydar ERGÜN'e, örneklerin laboratuvar analizlerine yardım eden başta Elif Tuğçe ERSÖZ, Berna TEMİZ, Sinem EMİROĞLU, Nur Selin YAR ve Jale ODABAŞI olmak üzere Abant İzzet Baysal Üniversitesi Çevre Mühendisliği yüksek lisans ve lisans öğrencilerine teşekkür ederim. Ayrıca tez yazım aşamasında bilgilerini esirgemeyen değerli arkadaşım Deniz CİNGİZ'e teşekkür ederim.

Bu tez TÜBİTAK tarafından desteklenen 111Y059 nolu proje kapsamında hazırlanmıştır. Bu nedenle TÜBİTAK'a destekleri için teşekkür ederim. “Yenilikçi Gıda Teknolojiler Ar-Ge Merkezi (YENİGIDAM)” başlıklı ve 2009K120410 no'lu DPT projesinin yürütücüsü Doç. Dr. Gülsün AKDEMİR EVRENDİLEK'e laboratuvar olanaklarını kullanıma açmasından dolayı ayrıca teşekkür ederim.

## 1. GİRİŞ

Göller diğer çoğu ekosistemler ile kıyaslandığında mekânsal olarak işgal ettiği alan küçük olsa da biyoçeşitlilik bakımından oldukça zengindirler. Göl ekosistemlerinin değişen çevre koşullarına bağlı olarak nasıl tepkiler ürettiğini daha iyi anlayabilmek, değişik baskılar altında önleyici ve iyileştirici önlemler alabilmek bakımından çok önemlidir. Çeşitli baskılar altında (evsel ve endüstriyel atıksu deşarjı, aşırı su kullanımı, tarımsal faaliyetler, iklim değişikliği, kentleşme vb.) göllerin ekosistem yapısı ve metabolizması bozulmakta, sunduğu hizmet ve ürünler (örneğin içme ve sulama suyu, rekreasyon amaçlı kullanım, balıkçılık vb.) ortadan kalkmaktadır. Göllerde meydana gelen büyük çaplı ve uzun süreli değişimler yapılan uzun süreli izleme, yerinde deneyler vb. araştırmalar sayesinde ortaya çıkartılmakta ve göllerin sürdürülebilir yönetimi için karar vericilere önemli bilgiler temin edilmektedir.

Gelişen su kalitesi izleme sistemleri sayesinde göl ekosistemlerinin sürekli izlenmesi ve yüksek frekanslı veriler yardımıyla göl metabolizması bileşenlerinin günlük değişiminin tespit edilebilmesi, metabolizma bileşenleri ile çevresel koşullar (su kalitesi, iklim vb.) arasındaki ilişkinin anlaşılabilmesini olanaklı hale getirmiştir. Ayrıca yüksek frekanslı veriler yardımıyla göl ekosistemlerinin davranışlarının anlaşılması, modellenmesi ve izleme teknolojilerinin geliştirilmesi için uluslararası ağlar oluşturulmaya başlanmıştır. Bu çerçevede GLEON (Küresel Göl Ekolojisi İzleme Ağı; <https://www.gleon.org>) ve NETLAKE (Avrupa Göl İzleme Ağı; <https://www.dkit.ie/netlake>) gibi ağlar göllerde yerinde yüksek frekanslı ölçümler yardımıyla göl metabolizması, ötrofikasyon, siyanobakteri büyümesi gibi konularda araştırma yapan ve teknoloji geliştiren iki önemli uluslararası organizasyondur.

Brüt birincil üretim (GPP), net ekosistem üretimi (NEP) ve ekosistem solunumu (R) literatürde göl metabolizmasını oluşturan bileşenler olarak ele alınmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Türkiye’de ilk defa bir gölde yüksek frekanslı su kalitesi verileri toplanmış ve bu veriler kullanılarak göl metabolizması bileşenleri günlük olarak ilk defa tahmin edilmiştir.

Bu alışma ile; (1) Abant Göl'ünde; brüt birincil üretim (GPP), net ekosistem üretimi (NEP) ve ekosistem solunumu (R) diel oksijen tekniği ile tahmin edilmiş, (2) GPP, NEP ve R'nin değışimleri için istatistiksel model oluşturulmuştur.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1 Birincil Üretim

Göl ekosistemlerinde fotosentez yoluyla üretilen tüm organik madde miktarı brüt birincil üretim (GPP) olarak adlandırılmaktadır. Ototrofik ve hetetrofik (ekosistem) solunum hızı (R) brüt birincil üretimden çıkartılarak net ekosistem üretimi (NEP) hesaplanmaktadır (Tanyolaç, 2011).

$$NEP = GPP - R \quad (1)$$

Sucul ekosistemlerde organik madde üretimi, sistemde yaşayan fitoplanktonik algler, littoral bölgedeki makrofitler ve sedimentte bulunan sesil algler tarafından meydana getirilmektedir. Birincil üretimi sınırlayan faktörlerin başında ışık şiddeti ve suda bulunan inorganik madde miktarı gelmektedir. Işıkla birlikte sucul sistemlerde azot, fosfor ve demir konsantrasyonu birincil üretim üzerinde sınırlayıcı etkiye sahiptir (Saygı, 2000).

Birincil üretim, fotosentez hızına ve fitoplankton gelişimi için gerekli olan besin tuzlarının miktarındaki değişime bağlı olarak tahmin edilebilmektedir. Karbondioksit, su, makro ve mikro besin maddeleri gibi inorganik bileşiklerden organik maddelerin meydana gelmesi olarak da tanımlanan birincil üretimde temel proses; karbondioksitin indirgenmesi esasına dayanmaktadır. Algler tarafından meydana getirilen organik üretim; CO<sub>2</sub>'in alınımı, farklı zamanlarda yapılan biokütle ölçümleri ve üretilen çözünmüş oksijen miktarı ve tüketilen besin maddelerinin miktarının ölçülmesi şeklinde temel hesaplamalarla belirlenebilmektedir (Ağırbaş, 2010).

Birincil üretimin tespitine yönelik çalışmaların büyük bir kısmında kullanılan teknikler fotosentez hızının doğrudan ölçülmesi üzerine dayanmaktadır. Fotosentez ölçülürken doğrudan üretilen oksijen miktarı, karbondioksit ve suyun doğrudan kullanılma miktarı ve üretilen organik madde konsantrasyonundan yararlanılmaktadır. Fotosentezin ölçülmesinde dolaylı yöntemler de vardır. Örneğin,

CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>'nin konsantrasyonundaki değişimler pH ve spesifik iletkenliğin tespiti ile fotosentez dolaylı ölçülebilmektedir (Saygı, 2000). Günümüzde birincil üretimin tahminlerinde yaygın olarak kullanılan üç yöntem bulunmaktadır. Bunlar, “Karanlık- Aydınlik Şişe Yöntemi”, “İşaretlenmiş C (<sup>14</sup>C) Yöntemi” ve “Diel Oksijen Tekniği” dir.

## **2.2 Birincil Üretimin Tahminlerinde Kullanılan Yöntemler**

Karanlık-Aydınlık Şişe Yöntemi doğal su örneklerinin biri aydınlık, diğeri karanlık iki şişe içerisine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Aydınlik şişe, solunum ve fotosentezin her ikisinin de beraber gerçekleştiği şişedir. Karanlık şişeye ışık nüfuz etmez, bu şişede sadece solunum gerçekleşmektedir. Her iki şişede de oksijen konsantrasyonları belirlendikten sonra, hava almayacak şekilde şişelerin kapakları kapatılır ve suyun içine yerleştirilir. Belli bir süre geçtikten sonra şişeler açılır ve oksijen konsantrasyonları belirlenir. Daha sonra bu iki oksijen seviyeleri arasındaki fark sayesinde fotosentez ve solunum hızları çeşitli denklemler yardımıyla hesaplanır (Chapra, 1997).

Karanlık-Aydınlık Şişe Yönteminin uygulamalarında çeşitli yaklaşımlar vardır. Baskın alt bitkilerin olduğu sığ sistemlerde, Karanlık-Aydınlık Sediment Çemberleri kullanılabilir. Çemberler içerisinde sürekli oksijen verileri elde etmek için tipik olarak sondalar ve otomatik kaydediciler kullanılmaktadır. Derin sistemler için, derinlikle birlikte ışık azalacağından fotosentez değişikliğini hesaplamak için şişeler diziler şeklinde yerleştirilmektedir. Elde edilen sonuçlardan tek bir derinlik ve ortalama değer oluşturmak için integrasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Chapra, 1997).

Karanlık-Aydınlık Şişe Yöntemi kolay uygulanabilir bir yöntem olmasına karşın metodun bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu yöntem ile kommünite metabolizması hesaplanmaktadır. Bu nedenle yalnızca solunum ölçümlerinde şişe içerisinde bulunan fitoplanktonların değil, bakteri ve zooplanktonlardan kaynaklanan değişimler de ölçülmektedir. Bu duruma çözüm olarak filtrasyon önerilse de, filtrasyonda fitoplanktonlarında tutulacak olması uygun bir yöntem olmadığını göstermektedir (Saygı, 2000).

Birincil üretimin ölçüm yöntemleri arasında kullanılan yöntemlerden bir diğeri ise İşaretlenmiş C ( $^{14}\text{C}$ ) Metodudur. Bu yöntem ilk defa Steeman-Nielsen tarafından 1952 yılında Sargasso Körfezinde birincil üretimin ölçülmesi amacıyla yapılan bir çalışmada uygulanmıştır. Bu teknik  $^{14}\text{C}$  ile yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadır (Saygı, 2000). Bu yöntem ayrıca Steeman- Nielsen olarak da adlandırılmaktadır (Cirik, 2012).  $^{14}\text{C}$  yöntemi, 5760 yıl yarılanma ömrüne sahip olan  $^{14}\text{C}$  radyoaktivitesine dayanmaktadır (Dodson, 2005). Bu yöntemde planktonun tükettiği radyoaktif karbon ölçülür (Cirik, 2012).  $^{14}\text{C}$  iz elementinin bir miktarı  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  formunda göl suyu örneklerine ilave edilir. Göl suyu, göl ortamında veya laboratuvar ortamında, 1 saat veya 1 saate yakın bir süre içinde, iz elementle birlikte inkübe edilir. İnkübasyon sonrası algler sudan filtreleme yöntemiyle ayrılır (Dodson, 2005).  $^{14}\text{CO}_2$ 'nin fitoplanktonlar tarafından asimile edileceği düşünüldüğünden inkübasyon sonrası  $^{14}\text{C}$  hesaplanabilir (Cirik, 2012). Ne kadar iz elementinin organik karbon tarafından sabitlenmiş olduğunu alglerdeki radyoaktivite gösterir. Sabit karbonun toplam miktarıyla, sabit iz elementi miktarının orantılı olduğu kabul edilir. Radyoaktif olmayan  $\text{CO}_2$  ile  $^{14}\text{C}$  iz elementi arasındaki oran, su içinde olduğu gibi algler içinde geçerlidir.  $^{14}\text{C}$  yöntemi Karanlık-Aydınlık Şişe Yöntemine göre 100 kat daha hassastır (Dodson, 2005).  $^{14}\text{C}$  Yöntemi birincil üretimi saptamada kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Çünkü bu yöntemle yapılan çalışmalar ekosistemin işleyişini bozmaz (Tanyolaç, 2011). Fakat her yöntemde olduğu gibi bu yöntemde de problemler ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biri, asimile edilen  $^{14}\text{C}$  ün bir kısmının solunum ile tekrar su ortamına salınması durumudur (Dodson, 2005).

$\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  gibi çözünür gazların, sürekli ve güvenilir ölçümlerini yapan cihazların gelişi, araştırmacılara, bütün sistemlerin metabolizma tahminlerinde uzun serili yüksek frekanslı veriler elde etmede kolaylık sağlamıştır. Diel oksijen tekniği, Karanlık-Aydınlık Şişe Yöntemi ve İşaretlenmiş C ( $^{14}\text{C}$ ) Metodu yaklaşımlarından daha önemli avantajlara sahiptir. Şişelerde muhafazayı, sediment odalarını ve önemli olabilecek çeşitli başka cihazları içeren kap etkisi ve kap çalışmalarını aralarında karşılaştırmak zordur. Birçok kap çalışmalarında detay noktalarının rapor edilmesi konusunda başarısızlıklar olmuştur. Ayrıca kap yaklaşımları ölçek yaklaşımı problemlerinin sıkıntısını çekmektedir. Diel Oksijen Tekniğinin kullanımı yeni anlayışlar geliştirmiştir (Van de Bogert vd., 2007). Diel Oksijen Tekniği, özellikle göllerde, sucul sistemlerde, birincil üretimi ve solunumu incelemek için yaygın olarak kullanılan bir metot haline gelmiştir. Bu metot sayesinde çözünmüş oksijen

konsantrasyonu ve ilgili fiziksel, kimyasal parametrelerin sürekli ölçümlerinin birkaç günden daha uzun sürede yüksek frekanslarda ölçümleri olanaklı kılınmıştır. Sonuç olarak, NEP, GPP ve R, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 24 saatlik periyotlar boyunca sürekli olarak ölçülmesiyle doğrudan sayısal olarak hesaplanmaktadır (Staehr vd., 2010).

### 2.3 Diel Oksijen Tekniği

Diel Oksijen Tekniği; göllerde, lagünlerde ve akarsularda GPP, NEP ve R'nin tahmin edilmesi için son yıllarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Diel Oksijen Tekniğinin kabulüne göre; bir su kütlesinde çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki değişim fotosentetik oksijen üretimi, solunum ve hava ile oksijen alışverişi arasındaki dengeyi yansıtmaktadır. (Seely, 1969; Wang vd., 2003; Staehr vd., 2010; Ciavatta vd., 2008; Vallino vd., 2008; Staehr ve Sand-Jensen, 2007; Van de Bogert vd., 2007; Hanson vd., 2003; Evrendilek ve Karakaya, 2015).

Teknik kapsamında; çözünmüş oksijen konsantrasyonu ( $\text{ÇO}$ ,  $\text{mg L}^{-1}$ ), su sıcaklığı ( $T_w$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), elektriksel iletkenlik ( $\text{EC}$ ,  $\text{mS cm}^{-1}$ ) ve tuzluluk ( $S$ ; ‰) değişkenleri maksimum 15 dakika aralıklarla ölçülmelidir. Ayrıca rüzgar hızı ( $WS$ ,  $\text{m s}^{-1}$ ) ve solar radyasyon ( $SR$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ) gibi destekleyici değişkenler izleme programına dahil edilmelidir. Ayrıca elde imkanların mevcut olması durumunda çözünmüş organik karbon ( $\text{DOC}$ ,  $\text{mg L}^{-1}$ ), besi maddeleri (azot ve fosfor türleri) ve klorofil-a ölçümlerinin yapılması tavsiye edilmektedir (Staehr vd., 2010).

Diğer metotlarla karşılaştırıldığında (örneğin  $^{14}\text{C}$ ) tekniğin uygulaması kolay ve ucuzdur. Ayrıca teknik ile GPP, NEP ve R'nin değişimlerini gün ölçeğinde tahmin etmek mümkündür. (Van de Bogert vd., 2007; Staehr vd., 2010). Hava ile su kütlesi arasındaki oksijen akısının sayısal olarak ifade edilmesindeki zorluklar ile GPP, NEP ve R değerlerindeki mekansal heterojenliğin (düşey ve yatay yönde) nasıl ele alınacağı konuları metotla ilgili en önemli belirsizlikler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte Van de Bogert vd. (2007) mekansal değişimi ortaya koyabilmek amacıyla bir çalışma yapmıştır.

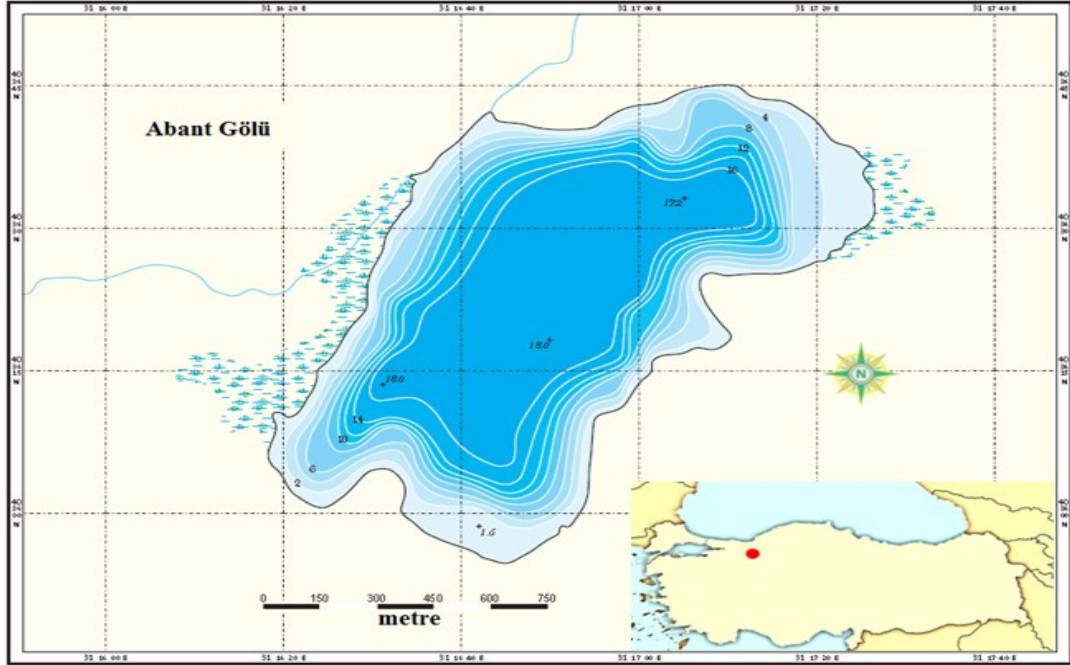
Gece ve gündüz saatlerindeki ekosistem solunumunun ( $R_{\text{gece}}$  and  $R_{\text{gündüz}}$ ) eşit olduğu varsayımı söz konusu metodun en önemli kabullerinden birisidir. Literatürde bu varsayım ile hareket edilerek değişik sucul ekosistemler için söz konusu metotla GPP, NEP ve R tahmin edilmiştir (Hanson vd., 2003; Lauster vd., 2006; Staher ve Sand-Jensen, 2007; Staher vd., 2010). Bu kabul nedeniyle  $R_{\text{gündüz}}$  ve buna bağlı olarak GPP daha düşük tahmin edilmektedir (Staehr vd., 2010).

Diel Oksijen Tekniği; akarsularda da GPP, NEP ve R'nin tahmin edilmesi için son yıllarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Seely, 1969; Wang vd., 2003; Staehr vd., 2010; Ciavatta vd., 2008; Vallino vd., 2008; Staehr ve Sand-Jensen, 2007; Van de Bogert vd., 2007; Hanson vd., 2008). Literatürde; “kapalı hazne”, “açık hazne”, “tek istasyonlu” ve “iki istasyonlu” olmak üzere Diel Oksijen Tekniğinin çeşitli uygulama şekilleri akarsu metabolizması tahminlerinde kullanılmaktadır (Grimm ve Fisher, 1984; Marzolf vd., 1994; McCutchan vd., 1998; Fellows vd., 2001; Izagirre vd., 2008; Loperfido vd., 2009; Riley ve Dodds, 2013). Ayrıca arazi kullanımında meydana gelen değişimlerin akarsu metabolizması üzerindeki etkileri çalışılan bir diğer konudur (Young ve Huryn, 1998; Mulholland vd., 2005; Houser vd., 2005; Gücker vd., 2009; Bernot vd., 2010). Ancak, noktasal deşarjların (arıtılmış veya arıtılmamış kentsel veya evsel atıksular, arıtılmış veya arıtılmamış endüstriyel atıksular, yağmursuyu toplama sistemlerinin suları vb.) veya akarsudan su çekilmesinin olası etkileri ile ilgili çalışmalara dünya literatüründe rastlanmamıştır. Ayrıca Türkiye akarsularında, akarsu metabolizması ile ilgili bir çalışma bilindiği kadarıyla henüz yapılmamıştır.

### 3. MATARYEL VE METOD

#### 3.1 Çalışma Alanının Tanımı

Batı Karadeniz Bölgesinde, Bolu İl sınırları içinde bulunan Abant Gölü, kuzey 40° 35' 32", 40° 37' 36" enlemleri ile, doğu 31° 14' 48", 31° 18' 34" boylamları arasında yer almaktadır (Bkz. Şekil 3.1). Abant Gölü, Abant ve Mudurnu Sıradağları arasında yer alan oval biçimli bir vadi içinde bulunmaktadır. Deniz yüzeyinden yaklaşık 1350 m. olan Göl yeraltı suları ve yan derelerle beslenmektedir. Göl, kış aylarında donmaktadır. Abant Gölü'nü besleyen belli başlı dereler batıda, Beşpoyraz ile doğuda Fındıklı Deresi'dir. Gölü çevreleyen ve yükseklikleri 1800 m.ye ulaşan dağlar birçok küçük akarsuyun açtığı vadilerle yarılmıştır. Göl ayağı, gölün kuzeydoğu ucunda Büyüksu Deresi (Abant Deresi) adı ile çıkar ve Filyos Çayı'nın iki ana kolundan biri olan Bolu Suyu'nu oluşturur (Külköylüoğlu vd., 2003).



Şekil 3.1. Abant Gölü'nün konumu

Tez çalışmasının konu aldığı Abant Gölü ulusal öneme sahip sulak alanlarından birisidir ve tabiat koruma parkı içinde yer almaktadır. Gölün oluşumu

ile ilgili çeşitli görüşler vardır. Göl'ün bir vadinin kenarından gelen bir yıkıntı seti ile tıkanması sonucu oluştuğu bu görüşlerden birisidir. Göl'ün bir krater gölü olduğu yönünde görüşler de vardır. Üçüncü bir görüş ise; Göl'ün çeşitli toprak çökmesi ve toprak yapısındaki aşınmaların meydana getirdiği toprak kaymasının sonucunda (tektonik olaylar) oluştuğudur. Bununla birlikte yakın dönemde yapılan jeolojik çalışmalardan Göl'ün bir krater gölü olmadığı ve tektonik oluşumlu bir göl olduğu anlaşılmaktadır (Külköylüoğlu vd., 2003).

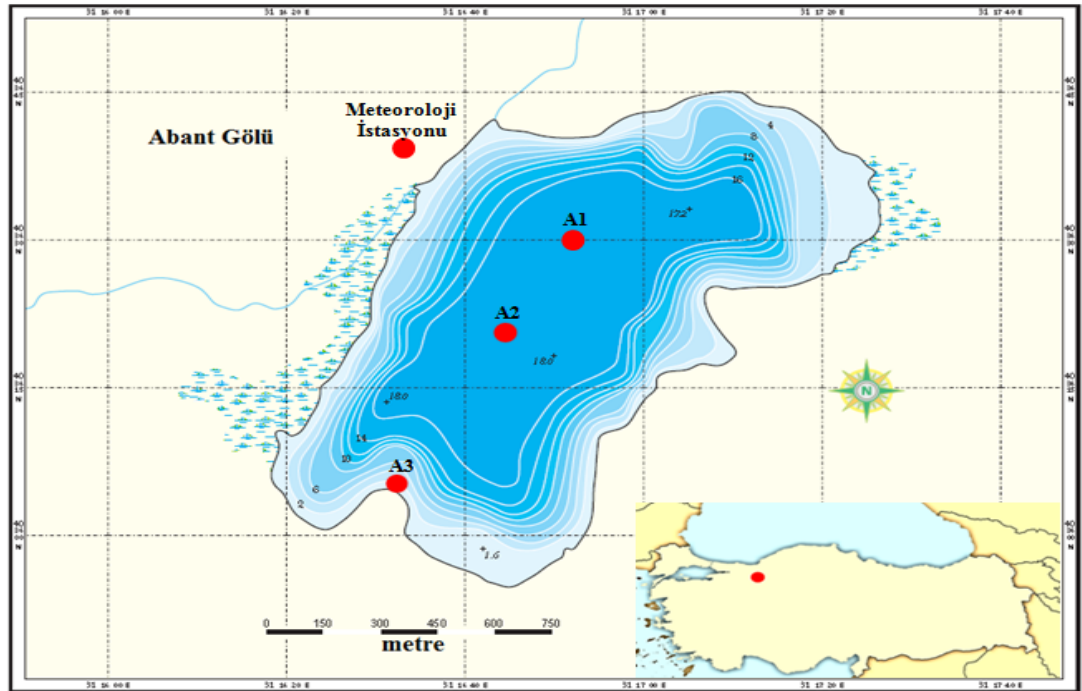
Bölgenin; Batı Karadeniz dağ sıralarının deniz etkisini engellemesi nedeniyle ve doğu-batı doğrultulu düzlüklerin batıdan gelecek etkilere engel teşkil etmesi dolayısıyla Batı Karadeniz, Karadeniz ardı, Marmara ve İç Anadolu iklim tipleri arasında bir geçiş iklim bölgesi özelliği taşıdığını söylemek mümkündür. Başka bir ifade ile kışın yarı-nemli, yazın ise orta derecede su eksikliği bulunan bir iklim tipi bölgede görülmektedir.

Abant Gölü hafif alkali özellikte bir göldür. Abant Gölü'nün tür kompozisyonu da bunu doğrulamaktadır. Abant Gölü su kalitesi ile ilgili en son çalışma Külköylüoğlu vd. (2005) tarafından 2003-2005 yılları arasında yürütülmüştür. Yapılan çalışmalar Abant Gölü'nün mezotrofik özelliklere sahip bir göl olduğunu göstermektedir (Külköylüoğlu vd., 2005). Göl içerisinde; Alabalık (*Salmo trutta abanticus*, Tontonese, 1954), Bıyıklı balık (*Barbus capito*, Güldenstaedt, 1773) ve Tatlısu kefali (*Leuciscus cephalus* Linnaeus, 1758) bulunmaktadır. Bununla birlikte gölde Gökkuşığı Alabalığı olarak bilinen ve Hollanda balık yumurtasından elde edilen bir Alabalık türü daha bulunmaktadır. Literatüre *Salma trutta abanticus*, Tortonose olarak geçen alabalık türü Abant Gölü için endemiktir. Obalı vd. (2002) ve Külköylüoğlu vd. (2005) tarafından Abant Gölü'ndeki fitoplankton türleri ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür. En son Külköylüoğlu vd. (2005) tarafından 2003-2005 yılları arasında yapılan çalışmada 292 takson kaydedilmiştir. Obalı vd. (2001) tarafından Abant Gölü'nde zooplankton türleri ile ilgili de çalışma yürütülmüştür. Söz konusu çalışmada; Rotifera'dan 20, Cladocera'dan 13 ve Copepoda'dan 2 tür olmak üzere toplam 35 tür tespit edilmiştir. Abant Gölü'nün zooplankton faunasının % 26,35'ini Cladocera, % 32,55'ini Copepoda ve % 41,10'unun Rotiferaya ait bireylerden oluştuğu tespit edilmiştir.

### 3.2 İzleme Çalışmaları

Göl metabolizması bileşenlerini Diel Oksijen Tekniği ile tahmin edebilmek için çözünmüş oksijen konsantrasyonu ( $\text{ÇO}$ ,  $\text{mg L}^{-1}$ ), çözünmüş oksijen doygunluk değeri ( $\text{O}_{2\text{doygunluk}}$ , %) ve su sıcaklığı ( $T_w$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) sahaya tesis edilen YSI Marka su kalite izleme sondaları ile yerinde sürekli ölçülmüştür. Söz konusu sondaların el kitaplarında detaylı bir şekilde verilmiş olan kalibrasyon prosedürleri sahaya her ziyaret sırasında uygulanarak sondalar kalibre edilmiştir. Sondaların enerji tedariki piller ile sağlanmış ve her arazi ziyaretinde sondaların pilleri değiştirilmiştir. Metabolizma tahminlerinde kullanılan solar radyasyon ( $\text{SR}$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ) ve rüzgâr hızı ( $\text{WS}$ ,  $\text{m s}^{-1}$ ) gibi meteorolojik değişkenlerin izlenmesi için T107 T Marka meteoroloji istasyonu göl kenarına kurulmuştur (Konumu için Bkz. Şekil 3.2. ve sondaların takıldığı dubalar için Bkz. Resim 3.1.). Meteoroloji istasyonunun enerji tedariki güneş panelleri ile ağılanmıştır.

Her 15 günde bir araziye gidilerek belirtilen süre içerisinde sürekli izleme ve ölçüm gerçekleştiren sondalardan ve meteoroloji istasyonunda veriler bilgisayara aktarılmıştır ve koruma altına alınmıştır. Olumsuz hava koşulları, resmi tatiller vb. nedenler dolayısı ile araziye çıkma süresi nadiren 15 günü geçmiştir.



Şekil 3.2. Bolu Abant Gölü’ndeki örnekleme yerlerinin konumu

İzleme istasyonları ile ilgili bilgiler Çizelge 3.1.'de özetlenmiştir. 2012, 2013 ve 2014 yıllarında Haziran-Aralık ayları arasında yapılan ölçümler istatistiksel modelleme çalışmalarında ve modellerin doğrulanmasında kullanılmıştır.



**Resim 3.1.** Abant Gölü'ndeki izleme sistemi

**Çizelge 3.1.** Abant Gölü'nde sürekli izleme yapılan noktalar ile ilgili genel bilgiler.

| Örnekleme Yeri | İstasyon Adı | Örnekleme Derinliği | Örnekleme Tarihi                                                        | Örnekleme Sıklığı | Ölçülen Değişkenler                                                                                                                                                                                                     |
|----------------|--------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1             | A1-1         | 2 metre             | 06.06.2012-30.11.2012<br>25.05.2013-23.11.2013<br>24.06.2014-30.12.2014 | 15 dakika         | - $\text{ÇO}$ , $\text{mg L}^{-1}$<br>- $\text{O}_{2\text{doygunluk}}$ , %<br>- $\text{EC}$ , $\text{mS cm}^{-1}$<br>- $\text{S}$ , ‰<br>- $\text{T}_w$ , $^{\circ}\text{C}$                                            |
|                | A1-2         | 6 metre             | 06.06.2012-30.11.2012<br>25.05.2013-23.11.2013<br>24.06.2014-24.11.2014 | 15 dakika         | - $\text{Chl-a}$ , $\mu\text{g L}^{-1}$<br>- $\text{ÇO}$ , $\text{mg L}^{-1}$<br>- $\text{O}_{2\text{doygunluk}}$ , %<br>- $\text{EC}$ , $\text{mS cm}^{-1}$<br>- $\text{S}$ , ‰<br>- $\text{T}_w$ , $^{\circ}\text{C}$ |
| A2             | A2-1         | 2 metre             | 06.06.2012-30.11.2012<br>25.05.2013-23.11.2013<br>24.06.2014-24.11.2014 | 15 dakika         | - $\text{ÇO}$ , $\text{mg L}^{-1}$<br>- $\text{O}_{2\text{doygunluk}}$ , %<br>- $\text{EC}$ , $\text{mS cm}^{-1}$<br>- $\text{S}$ , ‰<br>- $\text{T}_w$ , $^{\circ}\text{C}$                                            |
|                | A2-2         | 6 metre             | 23.07.2012-30.11.2012<br>01.06.2013-23.11.2013<br>24.06.2014-24.11.2014 | 15 dakika         | - $\text{ÇO}$ , $\text{mg L}^{-1}$<br>- $\text{O}_{2\text{doygunluk}}$ , %<br>- $\text{EC}$ , $\text{mS cm}^{-1}$<br>- $\text{S}$ , ‰<br>- $\text{T}_w$ , $^{\circ}\text{C}$                                            |
| A3             | A3-1         | 2 metre             | 06.06.2012-30.11.2012<br>25.05.2013-23.11.2013<br>24.06.2014-24.11.2014 | 15 dakika         | - $\text{ÇO}$ , $\text{mg L}^{-1}$<br>- $\text{O}_{2\text{doygunluk}}$ , %<br>- $\text{EC}$ , $\text{mS cm}^{-1}$<br>- $\text{S}$ , ‰<br>- $\text{T}_w$ , $^{\circ}\text{C}$                                            |

### 3.3 Metabolizma Bileşenlerinin Hesaplanması

Göl metabolizmasını oluşturan bileşenlerin (GPP, NEP ve R) hesaplanması için kullanılan denklem aşağıda verilmiştir (Staehr vd., 2010):

$$\Delta O_2/\Delta t = GPP - R \pm F \pm A \quad (2)$$

Burada  $\Delta O_2/\Delta t$  ( $mg\ O_2\ m^{-3}\ saat^{-1}$ ) çözünmüş oksijen konsantrasyonunun zamanla değişimini, GPP ( $mg\ O_2\ m^{-3}\ saat^{-1}$ ) brüt ekosistem üretimini, R ( $mg\ O_2\ m^{-3}\ saat^{-1}$ ) ekosistem solunumunu, F atmosferik oksijen alış verişini ( $mg\ O_2\ m^{-2}\ saat^{-1}$ ) ve A ( $mg\ O_2\ m^{-3}\ saat^{-1}$ ) ise çözünmüş oksijen konsantrasyonunda değişime neden olan diğer prosesleri (örneğin yatay ve düşey yöndeki adveksiyon) içermektedir. F değeri, ölçülen çözünmüş oksijen konsantrasyonu doygunluk değerinin altında ise pozitif, üstünde ise negatif olmaktadır.

F değeri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır (Staehr vd., 2010):

$$F\ (mg\ O_2\ m^{-2}\ saat^{-1}) = k\ (\text{ÇO} - \text{ÇO}_{2\text{doygunluk}})/Z_{\text{mix}} \quad (3)$$

$$k\ (m\ saat^{-1}) = k_{600}(m\ saat^{-1}) * [Sc/600]^{-0,5} \quad (4)$$

$$Sc = 0,0476 * T^3 + 3,7818 * T^2 - 120 * T + 1800,6 \quad (5)$$

$$k_{600}(m\ saat^{-1}) = (2,07 + 0,21 U_{10}^{1,7})/100 \quad (6)$$

Burada  $\text{ÇO}_{2\text{doygunluk}}$  ( $mg\ L^{-1}$ ) çözünmüş oksijen konsantrasyonunun doygunluk değerini,  $\text{ÇO}$  ( $mg\ L^{-1}$ ) ise çözünmüş oksijen konsantrasyonunu göstermektedir.  $Z_{\text{mix}}$  (m) ise rüzgar nedeniyle su kolonunda meydana gelebilecek olan karışımın derinliğini göstermektedir.  $Z_{\text{mix}}$  değeri her 15 günde bir yapılacak olan sıcaklık profili ölçümleri ile belirlenmiştir. Su sıcaklığının 1 metrede 1 °C düşmeye başladığı derinlik  $Z_{\text{mix}}$  olarak tanımlanmıştır (Staehr vd., 2010).  $k$  ( $m\ saat^{-1}$ ) katsayısı; Schmidt sayısına (Sc) ve  $k_{600}$  ( $m\ saat^{-1}$ ) bağlı olarak hesaplanmıştır. Sc su sıcaklığına bağlı olarak Wanninkhof (1992) eşitliği ile hesaplanmıştır.  $k_{600}$  ise 10 metre yükseklikteki rüzgar hızına bağlı olarak Cole ve Caraco (1998) tarafından verilen eşitlik ile hesaplanmıştır. 10 metre yüksekliğindeki rüzgar hızı ( $U_{10}$ ) ise meteoroloji istasyonunda ölçülen rüzgar hızına bağlı olarak Smith (1985) tarafından verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda A değeri ihmal edilmiştir. Hesaplamalarda (GPP, NEP ve R'nin hesaplanmasında) kullanılan diğer eşitlikler Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Abant Gölü göl metabolizması hesaplarında kullanılan diğer parametreler.

| Parametre             | Eşitlik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gündüz fraksiyonu     | Gündüz fraksiyonu = gün ışığı alan toplam saat /24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| NEP <sub>gündüz</sub> | Eğer herhangi bir saatte ölçülen solar radyasyon değeri 40 W m <sup>-2</sup> den büyükse, o saat gündüz saati olarak kabul edilmiştir.<br>NEP <sub>saat</sub> (mg O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> saat <sup>-1</sup> ) = ΔO <sub>2</sub> -F/Z <sub>mix</sub><br>NEP <sub>gündüz</sub> (mg O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gündüz periyodu <sup>-1</sup> ) = gündüz saatlerindeki ortalama NEP <sub>saat</sub> x gündüz fraksiyonu x 24 |
| R                     | R <sub>gece</sub> (mg O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> saat <sup>-1</sup> ) = -gece saatlerindeki ortalama NEP <sub>saat</sub><br>R <sub>gündüz</sub> (mg O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> saat <sup>-1</sup> ): T <sub>w</sub> , EC ve pH'a bağlı olarak hesaplanacaktır.<br>R(mg O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) = R <sub>gece</sub> + R <sub>gündüz</sub>                                                          |
| GPP                   | GPP (mg O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) = NEP <sub>gündüz</sub> + R <sub>gece</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| NEP                   | NEP (mg O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) = GPP-R <sub>gündüz</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Ekosistem solunumu hesaplanırken; gece boyunca fotosentez olayının gerçekleşmediği kabul edilmiş (GPP=0) ve R<sub>gece</sub> hesaplanmıştır. (1) denklemi GPP=0 kabul ederek düzenlendiğinde R<sub>gece</sub> değeri gece saatlerindeki -NEP<sub>saat</sub> değerine eşit olmaktadır. Literatürde daha öncede belirtildiği gibi gece ve gündüz saatlerinde ekosistem solunumunun eşit olduğu varsayımı ile hesaplamalar yapılmıştır. İzleme istasyonlarından elde edilen veriler herhangi bir modelleme işlemine tabi tutulmadan göl metabolizma bileşenleri hesaplanmıştır. Bu yol ile günlük metabolizma bileşenleri hesaplanabilmektedir.

Hesaplamalarda 15 dakikada bir sürekli ölçülen değişkenlerin saatlik ortalamaları hesaplanmış ve metabolizma tahminlerinde kullanılmıştır.

### 3.4 İstatistiksel Analizler

Tüm istatistiksel analizler Minitab 17 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 2012, 2013 ve 2014 yıllarına ait veriler Tek Yönlü Varyans Analizini (ANOVA) takiben Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılarak, grup ortalamaları arasındaki farklar yıl, ay ve istasyon bazında karşılaştırılmıştır. Tek Yönlü Varyans Analizi, %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiş olup,  $p$  anlamlılık düzeyi %5 alınmıştır. Tüm istatistiksel analizler Minitab 17 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tek Yönlü Varyans Analizini (ANOVA) takiben Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılarak grup ortalamaları arasındaki önemli farklar tespit edilmiştir. Zamanın bir fonksiyonu olarak göl metabolizması bileşenlerinin tahmini için en iyi uyumlu doğrusal regresyon modeli geliştirilmiştir. Regresyon modelinin performans istatistikleri olarak düzeltilmiş belirleme katsayısı ( $R^2_{adj}$ ) ve bağımsız validasyon belirleme katsayısı ( $R^2_{bv}$ ) kullanılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 İzleme Çalışmalarının Sonuçları

Su kalite sondalarından elde edilen veriler ile ilgili bilgiler 2012, 2013 ve 2014 yılları için sırasıyla Çizelge 4.1., Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'da verilmiştir. Metabolizma bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılan meteorolojik değişkenler ile ilgili özet istatistiksel bilgiler ise Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

$Z_{mix}$  derinliğini belirlemek için gölde yapılan profil ölçümleri gölde sıcaklık tabakalaşmasının Mayıs-Haziran aylarında başladığını ve Ekim-Kasım aylarına kadar devam ettiğini göstermektedir.

**Çizelge 4.1.** Abant Gölü'nde 2012 yılında sürekli izleme sondalarında elde edilen verilere ait istatistikler.

| İstasyon Adı | İstatistiksel Parametre | Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) | pH    | $\text{O}_{2\text{doygunluk}}$ (%) | $\text{ÇO}$ (mg/L) |
|--------------|-------------------------|---------------------------------|-------|------------------------------------|--------------------|
| A1-1         | $n^*$                   | 13275                           | 13275 | 13275                              | 13275              |
|              | Min                     | 7,07                            | 7,67  | 59,10                              | 6,66               |
|              | Maks                    | 24,55                           | 8,45  | 88,90                              | 7,82               |
|              | Ortalama                | 16,91                           | 8,16  | 74,68                              | 7,23               |
|              | Std.Sapma               | 4,73                            | 0,20  | 6,77                               | 0,18               |
| A1-2         | $N^*$                   | 16731                           | 16731 | 16731                              | 16731              |
|              | Min                     | 10,51                           | 7,69  | 59,50                              | 6,21               |
|              | Maks                    | 24,16                           | 8,46  | 98,20                              | 8,59               |
|              | Ortalama                | 19,04                           | 8,23  | 82,96                              | 7,67               |
|              | Std.Sapma               | 2,68                            | 0,17  | 5,5                                | 0,27               |
| A2-1         | $n^*$                   | 18425                           | 18425 | 18425                              | 18425              |
|              | Min                     | 7,03                            | 7,67  | 62,80                              | 7,07               |
|              | Maks                    | 24,59                           | 8,45  | 118,40                             | 9,91               |
|              | Ortalama                | 18,57                           | 8,21  | 83,46                              | 7,81               |
|              | Std.Sapma               | 4,37                            | 0,18  | 6,86                               | 0,22               |
| A2-2         | $n^*$                   | 11607                           | 11607 | 11607                              | 11607              |
|              | Min                     | 15,95                           | 7,87  | 71,10                              | 6,78               |
|              | Maks                    | 22,36                           | 8,41  | 116,40                             | 10,65              |
|              | Ortalama                | 19,26                           | 8,12  | 85,07                              | 7,84               |
|              | Std.Sapma               | 1,38                            | 0,10  | 5,12                               | 0,40               |
| A3-1         | $n^*$                   | 17899                           | 17899 | 17899                              | 17899              |
|              | Min                     | 6,96                            | 7,79  | 59,90                              | 6,70               |
|              | Maks                    | 25,29                           | 8,45  | 112,70                             | 9,56               |
|              | Ortalama                | 18,08                           | 8,19  | 80,80                              | 7,63               |
|              | Std.Sapma               | 4,68                            | 0,15  | 7,95                               | 0,29               |

$n^*$ : örnek sayısı

**Çizelge 4.2.** Abant Gölü'nde 2013 yılında sürekli izleme sondalarında elde edilen verilere ait istatistikler.

| İstasyon Adı | İstatistiksel Parametre | Sıcaklık (°C) | pH    | O <sub>2</sub> doygunluk (%) | ÇO (mg/L) |
|--------------|-------------------------|---------------|-------|------------------------------|-----------|
| A1-1         | <i>n</i> *              | 16325         | 16325 | 16325                        | 16325     |
|              | Min                     | 8,25          | 7,57  | 58,60                        | 6,83      |
|              | Maks                    | 22,23         | 8,34  | 95,10                        | 8,73      |
|              | Ortalama                | 16,51         | 8,05  | 80,66                        | 7,87      |
|              | Std.Sapma               | 4,19          | 0,22  | 7,58                         | 0,29      |
| A1-2         | <i>n</i> *              | 14928         | 14928 | 14928                        | 14928     |
|              | Min                     | 8,40          | 7,79  | 80,00                        | 8,91      |
|              | Maks                    | 21,76         | 8,30  | 147,20                       | 14,99     |
|              | Ortalama                | 15,97         | 8,11  | 110,81                       | 10,92     |
|              | Std.Sapma               | 3,90          | 0,11  | 12,68                        | 0,82      |
| A2-1         | <i>n</i> *              | 14373         | 14373 | 14373                        | 14373     |
|              | Min                     | 8,36          | 5,74  | 74,30                        | 8,67      |
|              | Maks                    | 23,11         | 8,58  | 115,60                       | 10,86     |
|              | Ortalama                | 16,68         | 7,78  | 100,94                       | 9,81      |
|              | Std.Sapma               | 4,08          | 0,49  | 9,18                         | 0,37      |
| A2-2         | <i>n</i> *              | 8245          | 8245  | 8245                         | 8245      |
|              | Min                     | 8,18          | 7,61  | 69,90                        | 7,95      |
|              | Maks                    | 21,45         | 8,55  | 130,30                       | 13,49     |
|              | Ortalama                | 13,40         | 8,03  | 98,01                        | 10,19     |
|              | Std.Sapma               | 4,12          | 0,28  | 17,15                        | 1,36      |
| A3-1         | <i>n</i> *              | 14545         | 14545 | 14545                        | 14545     |
|              | Min                     | 8,90          | 7,59  | 64,10                        | 7,21      |
|              | Maks                    | 23,89         | 8,44  | 114,70                       | 10,09     |
|              | Ortalama                | 17,35         | 8,15  | 87,53                        | 8,39      |
|              | Std.Sapma               | 4,17          | 0,24  | 7,29                         | 0,34      |

*n*\*: örnek sayısı

**Çizelge 4.3.** Abant Gölü’nde 2014 yılında sürekli izleme sondalarında elde edilen verilere ait istatistikler.

| İstasyon Adı | İstatistiksel Parametre | Sıcaklık (°C) | pH    | O <sub>2</sub> doygunluk (%) | ÇO (mg/L) |
|--------------|-------------------------|---------------|-------|------------------------------|-----------|
| A1-1         | <i>n</i> *              | 14674         | 14674 | 14674                        | 14674     |
|              | Min                     | 8,03          | 7,51  | 59,20                        | 6,54      |
|              | Maks                    | 23,83         | 10,51 | 88,50                        | 7,93      |
|              | Ortalama                | 17,51         | 8,32  | 76,24                        | 7,29      |
|              | Std.Sapma               | 4,77          | 0,48  | 6,48                         | 0,32      |
| A1-2         | <i>n</i> *              | 12639         | 12639 | 12639                        | 12639     |
|              | Min                     | 8,86          | 7,81  | 84,25                        | 9,04      |
|              | Maks                    | 22,58         | 8,32  | 155,50                       | 14,26     |
|              | Ortalama                | 17,81         | 8,15  | 116,39                       | 11,02     |
|              | Std.Sapma               | 4,14          | 0,10  | 14,53                        | 0,74      |
| A2-1         | <i>n</i> *              | 11567         | 11567 | 11567                        | 11567     |
|              | Min                     | 8,84          | 7,39  | 78,64                        | 9,07      |
|              | Maks                    | 23,57         | 9,02  | 127,50                       | 11,59     |
|              | Ortalama                | 18,25         | 8,18  | 108,71                       | 10,19     |
|              | Std.Sapma               | 4,76          | 0,52  | 13,56                        | 0,44      |
| A2-2         | <i>n</i> *              | 13563         | 13563 | 13563                        | 13563     |
|              | Min                     | 8,84          | 6,51  | 87,08                        | 8,48      |
|              | Maks                    | 22,44         | 8,25  | 133,50                       | 12,50     |
|              | Ortalama                | 17,33         | 7,76  | 109,75                       | 10,53     |
|              | Std.Sapma               | 4,33          | 0,37  | 9,92                         | 0,48      |
| A3-1         | <i>n</i> *              | 12519         | 12519 | 12519                        | 12519     |
|              | Min                     | 8,74          | 7,37  | 76,10                        | 6,70      |
|              | Maks                    | 23,63         | 8,18  | 118,50                       | 10,88     |
|              | Ortalama                | 18,64         | 7,82  | 104,78                       | 9,80      |
|              | Std.Sapma               | 4,25          | 0,16  | 7,32                         | 0,47      |

*n*\*: örnek sayısı

Çözünmüş oksijen konsantrasyonu ve pH’ın günlük döngüsüne bakıldığında beklendiği gibi sabah saatlerinden (08:00) başlayarak ÇO konsantrasyonunun ve pH’ın artmaya başladığı ve bu durumun öğleden sonraya kadar (18:00) devam ettiği tüm istasyonlarda görülmektedir. Bu saatlerde pH’taki artışın sebebi CO<sub>2</sub>’in fitoplanktonlar tarafından asimile edilerek kullanılmaya başlamasıdır. Gece saatlerinde ise süreç tam tersine dönmekte CO<sub>2</sub> salınımındaki artışa bağlı olarak pH azalmaktadır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu da benzer şekilde gündüz saatlerinde fitoplankton aktivitesi ile birlikte artmakta, gece saatlerinde ise üretimin yerine solunum baskın olduğu için azalmaktadır.

**Çizelge 4.4.** Abant Gölü'nde meteoroloji istasyonundan elde edilen verilere ait özet istatistikler.

| Tarih                 | İstatistiksel Parametre | Hava Sıcaklığı (°C) | Rüzgar Hızı (WS. m s <sup>-1</sup> ) | Solar Radyasyon (SR. W m <sup>-2</sup> ) |
|-----------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| 06.06.2012-30.11.2012 | <i>n</i> *              | 25632               | 25632                                | 25632                                    |
|                       | Min                     | -4,54               | 0                                    | 0                                        |
|                       | Maks                    | 38,29               | 5,24                                 | 1238                                     |
| 25.05.2013-23.11.2013 | <i>n</i> *              | 26352               | 26352                                | 26352                                    |
|                       | Min                     | -3,32               | 0                                    | 0                                        |
|                       | Maks                    | 33,90               | 4,96                                 | 1263                                     |
| 24.06.2014-24.11.2014 | <i>n</i> *              | 26496               | 26496                                | 26496                                    |
|                       | Min                     | -5,46               | 0                                    | 0                                        |
|                       | Maks                    | 36,49               | 5,00                                 | 1161                                     |

*n*\*: örnek sayısı

#### 4.2 Göl Metabolizma Bileşenlerinin Hesaplanması

Göl metabolizması bileşenlerinin aylık ortalamaları Çizelge 4.5., Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7.'de her bir istasyon için ayrı ayrı sunulmuştur. Şekil Ek A.1. ile Şekil Ek A.5. arasında, hesaplanan göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimleri verilmiştir.

2012 yılında, yıllık ortalama GPP; 8,35 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> ile 24,61 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> arasında değişirken R; 8,69 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> ile 24,96 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. 2013 yılında GPP; 10,27 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> ile 20,32 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> arasında değişirken R; 11,24 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> ile 24,09 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. 2014 yılında ise ortalama GPP; 9,03 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> ile 17,54 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> arasında değişirken ortalama R; 9,90 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> ile 19,14 mmol O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Oluşturulan model yıllık ortalamalar baz alındığında 2012, 2013 ve 2014 yılları için sistemin net heterotrof (GPP/R< 1 ve NEP<0) olduğunu göstermektedir.

A3-1 istasyonunda 2012 ve 2013 yıllarının Temmuz ayında en yüksek GPP ve R tahmin edilmiştir. 2014 yılında ise yine Temmuz ayında A2-2 istasyonunda en yüksek GPP ve R tahmin edilmiştir (Bkz. Çizelge 4.5., Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7.). 2012 yılında en düşük NEP Kasım ayında A3-1 istasyonunda hesaplanmışken, 2013 yılında en düşük NEP A2-2 istasyonunda Haziran ayı için hesaplanmıştır. 2014 yılında ise en düşük NEP A2-2 istasyonunda Ağustos ayı için hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 4.5., Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7.).

**Çizelge 4.5.** Abant Gölü'nde 2012 yılı için hesaplanan göl metabolizması bileşenleri.

| İstasyon        | Ay           | NEP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | GPP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | R<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| A1-1            | Haziran 2012 | 0,72 ± 0,26                                                     | 10,70 ± 0,47                                                    | 9,98 ± 0,37                                                   |
|                 | Temmuz 2012  | 0,01 ± 2,77                                                     | 9,52 ± 3,83                                                     | 9,51 ± 4,83                                                   |
|                 | Ağustos 2012 | -0,17 ± 2,99                                                    | 9,43 ± 2,66                                                     | 9,60 ± 2,38                                                   |
|                 | Eylül 2012   | -0,16 ± 1,35                                                    | 7,33 ± 2,39                                                     | 7,49 ± 2,81                                                   |
|                 | Ekim 2012    | -0,81 ± 1,93                                                    | 7,00 ± 1,85                                                     | 7,81 ± 2,90                                                   |
|                 | Kasım 2012   | -1,19 ± 2,87                                                    | 6,57 ± 2,49                                                     | 7,76 ± 3,83                                                   |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-0,26 ± 0,67</b>                                             | <b>8,43 ± 1,68</b>                                              | <b>8,69 ± 1,12</b>                                            |
| A1-2            | Haziran 2012 | 2,20 ± 4,95                                                     | 20,47 ± 8,98                                                    | 18,27 ± 12,38                                                 |
|                 | Temmuz 2012  | -0,33 ± 6,00                                                    | 16,34 ± 9,22                                                    | 16,67 ± 11,92                                                 |
|                 | Ağustos 2012 | -0,18 ± 2,95                                                    | 8,96 ± 4,55                                                     | 9,14 ± 5,37                                                   |
|                 | Eylül 2012   | -0,81 ± 1,86                                                    | 7,40 ± 3,45                                                     | 8,21 ± 4,01                                                   |
|                 | Ekim 2012    | -1,01 ± 2,71                                                    | 6,19 ± 2,28                                                     | 7,20 ± 3,94                                                   |
|                 | Kasım 2012   | -1,70 ± 2,39                                                    | 6,35 ± 2,64                                                     | 8,05 ± 3,60                                                   |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-0,63 ± 1,34</b>                                             | <b>10,95 ± 6,00</b>                                             | <b>11,26 ± 4,88</b>                                           |
| A2-1            | Haziran 2012 | 0,47 ± 2,71                                                     | 10,86 ± 5,09                                                    | 10,39 ± 4,72                                                  |
|                 | Temmuz 2012  | -0,09 ± 3,40                                                    | 9,43 ± 3,22                                                     | 9,34 ± 4,98                                                   |
|                 | Ağustos 2012 | -0,37 ± 3,28                                                    | 8,08 ± 3,01                                                     | 8,45 ± 5,47                                                   |
|                 | Eylül 2012   | -0,28 ± 1,81                                                    | 7,02 ± 3,28                                                     | 7,30 ± 4,04                                                   |
|                 | Ekim 2012    | -0,80 ± 1,16                                                    | 7,23 ± 2,18                                                     | 8,03 ± 2,49                                                   |
|                 | Kasım 2012   | -1,32 ± 2,39                                                    | 7,45 ± 4,47                                                     | 8,77 ± 5,08                                                   |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-0,36 ± 0,63</b>                                             | <b>8,35 ± 1,51</b>                                              | <b>8,71 ± 1,07</b>                                            |
| A2-2            | Haziran 2012 | -2,56 ± 10,17                                                   | 25,17 ± 14,39                                                   | 27,73 ± 10,87                                                 |
|                 | Temmuz 2012  | 0,50 ± 4,48                                                     | 10,47 ± 8,75                                                    | 9,97 ± 11,05                                                  |
|                 | Ağustos 2012 | -0,92 ± 2,05                                                    | 10,46 ± 4,82                                                    | 11,38 ± 5,46                                                  |
|                 | Eylül 2012   | -2,88 ± 3,70                                                    | 12,57 ± 3,89                                                    | 15,45 ± 4,70                                                  |
|                 | Ekim 2012    | -2,55 ± 2,47                                                    | 11,77 ± 5,62                                                    | 14,32 ± 6,24                                                  |
|                 | Kasım 2012   | -                                                               | -                                                               | -                                                             |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-1,68 ± 1,44</b>                                             | <b>14,09 ± 6,26</b>                                             | <b>15,77 ± 7,04</b>                                           |
| A3-1            | Haziran 2012 | -0,29 ± 5,81                                                    | 35,01 ± 12,65                                                   | 35,30 ± 12,48                                                 |
|                 | Temmuz 2012  | -0,36 ± 6,38                                                    | 45,46 ± 18,88                                                   | 45,82 ± 20,01                                                 |
|                 | Ağustos 2012 | 0,57 ± 6,55                                                     | 28,53 ± 12,65                                                   | 27,96 ± 16,19                                                 |
|                 | Eylül 2012   | -0,53 ± 4,29                                                    | 21,91 ± 15,12                                                   | 22,44 ± 16,57                                                 |
|                 | Ekim 2012    | -0,18 ± 2,39                                                    | 10,15 ± 4,65                                                    | 10,33 ± 6,03                                                  |
|                 | Kasım 2012   | -0,35 ± 3,66                                                    | 6,58 ± 2,41                                                     | 7,90 ± 4,37                                                   |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-3,14 ± 0,61</b>                                             | <b>24,61 ± 14,83</b>                                            | <b>24,96 ± 14,58</b>                                          |

**Çizelge 4.6.** Abant Gölü'nde 2013 yılı için hesaplanan göl metabolizması bileşenleri.

| İstasyon        | Ay           | NEP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | GPP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | R<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| A1-1            | Haziran 2013 | 0,20 ± 2,94                                                     | 14,07 ± 3,38                                                    | 13,87 ± 3,34                                                  |
|                 | Temmuz 2013  | 0,77 ± 1,93                                                     | 10,43 ± 3,38                                                    | 9,66 ± 3,37                                                   |
|                 | Ağustos 2013 | -0,21 ± 1,46                                                    | 11,23 ± 3,03                                                    | 11,44 ± 3,07                                                  |
|                 | Eylül 2013   | 0,69 ± 1,72                                                     | 9,84 ± 3,58                                                     | 9,15 ± 3,68                                                   |
|                 | Ekim 2013    | -0,04 ± 3,66                                                    | 11,23 ± 5,64                                                    | 11,27 ± 6,37                                                  |
|                 | Kasım 2013   | -2,01 ± 4,61                                                    | 10,68 ± 4,13                                                    | 12,69 ± 7,10                                                  |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-0,10 ± 1,01</b>                                             | <b>11,25 ± 1,48</b>                                             | <b>11,35 ± 1,78</b>                                           |
| A1-2            | Haziran 2013 | -6,05 ± 18,58                                                   | 28,58 ± 21,17                                                   | 34,63 ± 26,82                                                 |
|                 | Temmuz 2013  | -4,42 ± 10,43                                                   | 23,55 ± 14,01                                                   | 27,97 ± 20,93                                                 |
|                 | Ağustos 2013 | -2,37 ± 5,02                                                    | 9,71 ± 5,50                                                     | 12,08 ± 8,18                                                  |
|                 | Eylül 2013   | -0,71 ± 3,17                                                    | 8,38 ± 4,30                                                     | 9,09 ± 5,64                                                   |
|                 | Ekim 2013    | -1,40 ± 5,67                                                    | 9,10 ± 6,69                                                     | 10,50 ± 6,67                                                  |
|                 | Kasım 2013   | -4,05 ± 7,71                                                    | 14,44 ± 10,38                                                   | 18,49 ± 8,59                                                  |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-3,17 ± 2,03</b>                                             | <b>15,63 ± 8,51</b>                                             | <b>18,79 ± 10,42</b>                                          |
| A2-1            | Haziran 2013 | -1,19 ± 2,74                                                    | 9,26 ± 4,10                                                     | 10,45 ± 5,15                                                  |
|                 | Temmuz 2013  | -0,66 ± 3,57                                                    | 10,89 ± 3,73                                                    | 11,55 ± 5,70                                                  |
|                 | Ağustos 2013 | -1,06 ± 2,72                                                    | 10,22 ± 3,97                                                    | 11,28 ± 5,50                                                  |
|                 | Eylül 2013   | 0,35 ± 2,57                                                     | 9,25 ± 3,82                                                     | 8,90 ± 5,10                                                   |
|                 | Ekim 2013    | 0,09 ± 4,51                                                     | 10,05 ± 6,41                                                    | 9,96 ± 6,20                                                   |
|                 | Kasım 2013   | -3,32 ± 4,47                                                    | 11,97 ± 7,35                                                    | 15,29 ± 8,33                                                  |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-0,97 ± 1,31</b>                                             | <b>10,27 ± 1,04</b>                                             | <b>11,24 ± 2,20</b>                                           |
| A2-2            | Haziran 2013 | -8,38 ± 9,27                                                    | 28,16 ± 15,70                                                   | 36,54 ± 21,04                                                 |
|                 | Temmuz 2013  | -0,05 ± 19,84                                                   | 33,50 ± 23,78                                                   | 33,55 ± 23,11                                                 |
|                 | Ağustos 2013 | -                                                               | -                                                               | -                                                             |
|                 | Eylül 2013   | -                                                               | -                                                               | -                                                             |
|                 | Ekim 2013    | -2,02 ± 5,31                                                    | 11,46 ± 6,70                                                    | 13,48 ± 7,80                                                  |
|                 | Kasım 2013   | -4,60 ± 6,62                                                    | 8,17 ± 5,15                                                     | 12,77 ± 7,95                                                  |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-3,77 ± 3,60</b>                                             | <b>20,32 ± 12,40</b>                                            | <b>24,09 ± 12,72</b>                                          |
| A3-1            | Haziran 2013 | -0,62 ± 5,91                                                    | 26,85 ± 13,43                                                   | 27,47 ± 16,13                                                 |
|                 | Temmuz 2013  | -0,17 ± 5,64                                                    | 32,83 ± 13,48                                                   | 33,00 ± 16,16                                                 |
|                 | Ağustos 2013 | -0,73 ± 4,79                                                    | 23,56 ± 13,16                                                   | 24,29 ± 14,48                                                 |
|                 | Eylül 2012   | 0,76 ± 3,72                                                     | 11,93 ± 5,98                                                    | 11,17 ± 5,52                                                  |
|                 | Ekim 2012    | 0,26 ± 3,94                                                     | 11,50 ± 5,39                                                    | 11,24 ± 5,04                                                  |
|                 | Kasım 2012   | -5,01 ± 6,04                                                    | 9,14 ± 6,94                                                     | 14,15 ± 11,57                                                 |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-0,92 ± 2,08</b>                                             | <b>19,30 ± 9,76</b>                                             | <b>20,22 ± 9,29</b>                                           |

**Çizelge 4.7.** Abant Gölü'nde 2014 yılı için hesaplanan göl metabolizması bileşenleri.

| İstasyon        | Ay           | NEP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | GPP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | R<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| A1-1            | Haziran 2014 | 0,81 ± 1,57                                                     | 7,70 ± 3,17                                                     | 6,89 ± 4,12                                                   |
|                 | Temmuz 2014  | -0,24 ± 2,29                                                    | 12,73 ± 3,92                                                    | 12,97 ± 4,27                                                  |
|                 | Ağustos 2014 | -0,09 ± 3,27                                                    | 12,94 ± 5,31                                                    | 13,03 ± 5,95                                                  |
|                 | Eylül 2014   | 0,18 ± 2,80                                                     | 10,92 ± 4,85                                                    | 10,74 ± 6,97                                                  |
|                 | Ekim 2014    | -0,22 ± 2,03                                                    | 8,81 ± 3,72                                                     | 9,03 ± 3,90                                                   |
|                 | Kasım 2014   | -1,05 ± 3,06                                                    | 8,25 ± 3,26                                                     | 9,30 ± 4,97                                                   |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-0,10 ± 0,61</b>                                             | <b>10,23 ± 2,30</b>                                             | <b>10,33 ± 2,41</b>                                           |
| A1-2            | Haziran 2014 | -16,15 ± 17,07                                                  | 30,03 ± 21,67                                                   | 46,18 ± 36,47                                                 |
|                 | Temmuz 2014  | -6,29 ± 12,91                                                   | 25,88 ± 14,61                                                   | 32,17 ± 22,42                                                 |
|                 | Ağustos 2014 | -3,25 ± 6,12                                                    | 15,43 ± 15,90                                                   | 18,68 ± 17,05                                                 |
|                 | Eylül 2014   | -0,15 ± 2,26                                                    | 4,36 ± 3,44                                                     | 4,51 ± 3,96                                                   |
|                 | Ekim 2014    | -0,16 ± 2,66                                                    | 5,06 ± 2,40                                                     | 5,22 ± 3,58                                                   |
|                 | Kasım 2014   | -3,14 ± 3,96                                                    | 4,95 ± 3,08                                                     | 8,09 ± 6,16                                                   |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-4,86 ± 5,99</b>                                             | <b>14,29 ± 11,44</b>                                            | <b>19,14 ± 16,92</b>                                          |
| A2-1            | Haziran 2014 | -0,30 ± 1,69                                                    | 5,54 ± 5,14                                                     | 5,84 ± 5,20                                                   |
|                 | Temmuz 2014  | -1,67 ± 3,36                                                    | 12,43 ± 6,83                                                    | 14,10 ± 8,09                                                  |
|                 | Ağustos 2014 | -1,00 ± 3,66                                                    | 15,80 ± 9,22                                                    | 16,80 ± 10,01                                                 |
|                 | Eylül 2014   | -0,59 ± 2,29                                                    | 10,25 ± 3,99                                                    | 10,84 ± 4,99                                                  |
|                 | Ekim 2014    | -0,48 ± 1,60                                                    | 5,32 ± 2,13                                                     | 5,80 ± 2,75                                                   |
|                 | Kasım 2014   | -1,18 ± 2,80                                                    | 4,81 ± 3,70                                                     | 5,99 ± 4,41                                                   |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-0,87 ± 0,51</b>                                             | <b>9,03 ± 4,53</b>                                              | <b>9,90 ± 4,79</b>                                            |
| A2-2            | Haziran 2014 | -0,31 ± 2,75                                                    | 13,47 ± 17,69                                                   | 13,78 ± 14,95                                                 |
|                 | Temmuz 2014  | -4,28 ± 11,94                                                   | 35,03 ± 23,76                                                   | 39,31 ± 30,96                                                 |
|                 | Ağustos 2014 | -6,46 ± 11,43                                                   | 16,92 ± 14,06                                                   | 23,38 ± 18,62                                                 |
|                 | Eylül 2014   | -1,13 ± 3,89                                                    | 4,68 ± 2,55                                                     | 5,81 ± 3,72                                                   |
|                 | Ekim 2014    | -0,64 ± 2,19                                                    | 4,26 ± 3,30                                                     | 4,90 ± 4,41                                                   |
|                 | Kasım 2014   | -0,92 ± 2,77                                                    | 4,86 ± 2,24                                                     | 5,78 ± 3,14                                                   |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-2,29 ± 2,50</b>                                             | <b>13,20 ± 11,94</b>                                            | <b>15,49 ± 13,66</b>                                          |
| A3-1            | Haziran 2014 | -0,71 ± 4,30                                                    | 23,07 ± 13,47                                                   | 23,77 ± 14,96                                                 |
|                 | Temmuz 2014  | -1,88 ± 7,83                                                    | 28,70 ± 17,53                                                   | 30,58 ± 19,01                                                 |
|                 | Ağustos 2014 | 0,90 ± 7,43                                                     | 22,99 ± 14,23                                                   | 22,09 ± 13,82                                                 |
|                 | Eylül 2014   | -1,15 ± 5,72                                                    | 13,35 ± 11,37                                                   | 14,50 ± 13,34                                                 |
|                 | Ekim 2014    | 0,69 ± 3,23                                                     | 10,04 ± 6,99                                                    | 9,35 ± 6,81                                                   |
|                 | Kasım 2014   | -3,45 ± 6,13                                                    | 7,10 ± 5,52                                                     | 10,55 ± 5,76                                                  |
| <b>Ortalama</b> |              | <b>-0,93 ± 1,63</b>                                             | <b>17,54 ± 8,57</b>                                             | <b>18,47 ± 8,36</b>                                           |

Her bir istasyonda; yıllık ortalama göl metabolizma bileşenleri arasında bir fark olup olmadığı Tukey metoduna göre % 95 güven seviyesinde test edilmiştir. Çizelge 4.8.'de analiz sonuçları simgesel olarak gösterilmiştir. Tek Yönlü Varyans Analizine göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- GPP değerleri için, A1-1 ve A2-1 istasyonunda 2012 yılı ile diğer yıllar arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p<0.05$ ). A1-2 istasyonunda 2012 ve 2013 yılları arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p<0.05$ ). A2-2 istasyonunda ise 2013 yılı ile diğer yıllar arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p<0.05$ ).

- R değerleri için, A1-1, A2-1 ve A2-2 istasyonlarında, 2012 yılı ile diğer yıllar arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p<0.05$ ). A1-2 ve A2-2 istasyonlarında 2012 ve 2013 yılları arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p<0.05$ ).
- NEP değerleri için, A1-2 istasyonunda 2012 yılı ile diğer yıllar arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p<0.05$ ).

**Çizelge 4.8.** Abant Gölü'nde her bir istasyonda hesaplanan yıllık ortalama göl metabolizma bileşenlerinin yıllar arası Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.

| İstasyon | Yıllar | GPP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | R<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | NEP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) |
|----------|--------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| A1-1     | 2012   | 8,43 ± 4,09 <sup>b</sup>                                        | 8,80 ± 5,03 <sup>b</sup>                                      | -0,37 ± 2,78 <sup>a</sup>                                       |
|          | 2013   | 11,40 ± 4,09 <sup>a</sup>                                       | 11,52 ± 5,03 <sup>a</sup>                                     | -0,12 ± 2,78 <sup>a</sup>                                       |
|          | 2014   | 10,89 ± 4,09 <sup>a</sup>                                       | 11,11 ± 5,03 <sup>a</sup>                                     | -0,23 ± 2,78 <sup>a</sup>                                       |
| A1-2     | 2012   | 11,40 ± 12,24 <sup>b</sup>                                      | 11,97 ± 15,56 <sup>b</sup>                                    | -0,57 ± 7,79 <sup>a</sup>                                       |
|          | 2013   | 16,42 ± 12,24 <sup>a</sup>                                      | 19,72 ± 15,56 <sup>a</sup>                                    | -3,30 ± 5,03 <sup>b</sup>                                       |
|          | 2014   | 12,37 ± 12,24 <sup>a,b</sup>                                    | 15,72 ± 15,56 <sup>a,b</sup>                                  | -3,35 ± 5,03 <sup>b</sup>                                       |
| A2-1     | 2012   | 8,61 ± 5,61 <sup>b</sup>                                        | 9,12 ± 6,43 <sup>b</sup>                                      | -0,51 ± 3,08 <sup>a</sup>                                       |
|          | 2013   | 10,21 ± 5,61 <sup>a</sup>                                       | 11,05 ± 6,43 <sup>a</sup>                                     | -0,84 ± 3,08 <sup>a</sup>                                       |
|          | 2014   | 10,29 ± 5,61 <sup>a</sup>                                       | 11,33 ± 6,43 <sup>a</sup>                                     | -1,04 ± 3,08 <sup>a</sup>                                       |
| A2-2     | 2012   | 12,78 ± 15,29 <sup>b</sup>                                      | 13,71 ± 17,58 <sup>b</sup>                                    | -1,43 ± 8,55 <sup>a</sup>                                       |
|          | 2013   | 20,87 ± 15,29 <sup>a</sup>                                      | 23,87 ± 17,58 <sup>a</sup>                                    | -2,62 ± 8,55 <sup>a</sup>                                       |
|          | 2014   | 14,53 ± 15,29 <sup>b</sup>                                      | 17,16 ± 17,58 <sup>a,b</sup>                                  | -3,00 ± 8,55 <sup>a</sup>                                       |
| A3-1     | 2012   | 20,22 ± 15,44 <sup>a</sup>                                      | 20,53 ± 16,26 <sup>a</sup>                                    | -0,31 ± 5,37 <sup>a</sup>                                       |
|          | 2013   | 21,09 ± 15,44 <sup>a</sup>                                      | 21,62 ± 16,26 <sup>a</sup>                                    | -0,54 ± 5,37 <sup>a</sup>                                       |
|          | 2014   | 19,40 ± 15,44 <sup>a</sup>                                      | 20,03 ± 16,26 <sup>a</sup>                                    | -0,63 ± 5,37 <sup>a</sup>                                       |

Aynı harf içermeyen ortalama değerler birbirinden önemli derecede farklıdır.

Aylık ortalama göl metabolizma bileşenleri arasında bir fark olup olmadığı Tukey metoduna göre % 95 güven seviyesinde test edilmiştir. Bütün istasyonlarda elde edilen göl metabolizması bileşenleri bir arada kullanılmıştır. Çizelge 4.9.'da analiz sonuçları simgesel olarak gösterilmiştir. Tek Yönlü Varyans Analizine göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- GPP ve R değerleri için, Haziran-Temmuz ve Ekim-Kasım ayları arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Ağustos ayı ile diğer aylar arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p<0.05$ ).
- NEP değeri için, Eylül-Ekim ayları ile Kasım ayları arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır.

**Çizelge 4.9.** Abant Gölü'nde her bir istasyonda hesaplanan yıllık ortalama göl metabolizma bileşenlerinin aylar arası Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.

| Aylar   | GPP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | R<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | NEP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) |
|---------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Haziran | 19,98 ± 10,75 <sup>a</sup>                                      | 21,45 ± 12,44 <sup>a</sup>                                    | -1,47 ± 5,63 <sup>a,b</sup>                                     |
| Temmuz  | 20,98 ± 10,75 <sup>a</sup>                                      | 21,92 ± 12,44 <sup>a</sup>                                    | -0,93 ± 5,63 <sup>a,b</sup>                                     |
| Ağustos | 14,08 ± 10,75 <sup>b</sup>                                      | 15,19 ± 12,44 <sup>b</sup>                                    | -1,11 ± 5,63 <sup>a,b</sup>                                     |
| Eylül   | 10,42 ± 10,75 <sup>c</sup>                                      | 10,66 ± 12,44 <sup>c</sup>                                    | -0,24 ± 5,63 <sup>a</sup>                                       |
| Ekim    | 9,07 ± 10,75 <sup>c</sup>                                       | 9,71 ± 12,44 <sup>c</sup>                                     | -0,64 ± 5,63 <sup>a</sup>                                       |
| Kasım   | 8,26 ± 10,75 <sup>c</sup>                                       | 10,34 ± 12,44 <sup>c</sup>                                    | -2,08 ± 5,63 <sup>b</sup>                                       |

Aynı harfi içermeyen ortalama değerler birbirinden önemli derecede farklıdır.

Ayrıca her bir istasyon; yıllık ortalama göl metabolizma bileşenleri açısından Tukey metoduna göre % 95 güven seviyesinde birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.10.'da analiz sonuçları simgesel olarak gösterilmiştir. Tek Yönlü Varyans Analizine göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- A3-1 istasyonu ile diğer istasyonlar arasında GPP ve R açısından anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p < 0.05$ ).
- A1-1, A2-1 ve A3-1 istasyonları ile A1-2 ve A2-1 istasyonları arasında NEP açısından anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p < 0.05$ ).

**Çizelge 4.10.** Abant Gölü'nde her bir istasyonda hesaplanan yıllık ortalama göl metabolizma bileşenlerinin istasyonlar arası Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.

| İstasyon | GPP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | R<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) | NEP<br>(mmol O <sub>2</sub> m <sup>-3</sup> gün <sup>-1</sup> ) |
|----------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| A1-1     | 10,32 ± 11,15 <sup>c</sup>                                      | 10,55 ± 12,75 <sup>c</sup>                                    | -0,23 ± 5,60 <sup>a</sup>                                       |
| A1-2     | 13,48 ± 11,15 <sup>b</sup>                                      | 17,66 ± 12,75 <sup>b</sup>                                    | -2,21 ± 5,60 <sup>b</sup>                                       |
| A2-1     | 9,66 ± 11,15 <sup>c</sup>                                       | 10,44 ± 12,75 <sup>c</sup>                                    | -0,78 ± 5,60 <sup>a</sup>                                       |
| A2-2     | 15,40 ± 11,15 <sup>b</sup>                                      | 15,68 ± 12,75 <sup>b</sup>                                    | -2,26 ± 5,60 <sup>b</sup>                                       |
| A3-1     | 20,29 ± 11,15 <sup>a</sup>                                      | 20,77 ± 12,75 <sup>a</sup>                                    | -0,48 ± 5,60 <sup>a</sup>                                       |

Aynı harfi içermeyen ortalama değerler birbirinden önemli derecede farklıdır.

Kıyıda teşkil edilmiş olan A3-1 istasyonunda daha yüksek GPP ve R tahmin edilmiştir. Tukey metoduna göre sonuçlar arasında yapılan karşılaştırma % 95 güven seviyesinde A3-1 istasyonu ile diğer istasyonlar arasında anlamlı bir fark ( $p < 0.05$ ) olduğunu göstermektedir. Bu bulgu da daha önce yapılmış çalışmalar ile uyumludur (Van De Bogert vd., 2007; Lauster vd., 2006). Kara-su etkileşiminin fazla olduğu bu bölgede su içi bitkileri ve bentik aktivite bu farklılığın oluşmasına neden olmuş olabilir.

Yıllık ortalama göl metabolizması bileşenleri incelendiğinde; 6 metre derinlikteki istasyonların (A1-2 ve A2-2) verileri kullanılarak yapılan tahminlerin, 2

metre derinlikteki istasyonların (A1-1 ve A2-1) verileri kullanılarak yapılan tahminlerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.5, Çizelge 4.6. ve Çizelge 4.7.). Bu bulgular literatürle de uyumludur. Van de Bogert vd. (2012) tarafından Sparkling Gölü ve Peter Gölü'nde yapılan çalışmalar pelajik bölgede göl metabolizma bileşenlerinin derinliğe bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Yine Coloso vd. (2008) tarafından Crampton Gölü'nde yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Biyolojik ve fiziksel proseslerde derinliğe bağlı olarak meydana gelen değişimin bu farklılığın ardındaki itici güç olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bulanıklığı az, seki diski derinliği yüksek göllerde ışığın, karışım derinliğinin de altına kadar ulaştığı ve birincil üretimin karışım derinliğini altındaki bölgede bile çok yüksek olabileceği rapor edilmektedir (Coloso vd., 2008).

#### **4.3 Göl Metabolizmasının Zamana Bağlı Değişimi**

Göl metabolizması bileşenleri ile ilgili istatistiksel modeller literatürde çok azdır. Staehr vd. (2012) tarafından göl metabolizma bileşenleri için; gölün fiziksel özellikleri (göl yüzey alanı, ortalama derinlik, göl havzasında orman örtüsünün yüzdesi), gölün biyolojik ve kimyasal özelliklerini (Chl-*a* konsantrasyonu, çözünmüş organik karbon ve su sıcaklığı) dikkate alan regresyon modelleri geliştirilmiştir. Staehr vd. (2012) tarafından geliştirilen regresyon modellerinin  $R^2$  değerleri GPP, R ve NEP için sırasıyla % 57, % 63 ve % 38 olmuştur. Yine Coloso vd. (2011) ABD'de bulunan Peter Gölü ve Paul Gölü için ayrı ayrı regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Regresyon modellerinde açıklayıcı değişken olarak rüzgar hızı, su sıcaklığı, Chl-*a* konsantrasyonu gibi değişkenleri kullanmışlardır. Coloso vd. (2011) tarafından Peter Gölü için geliştirilen regresyon modellerinin  $R^2$  değerleri GPP, R ve NEP için 2008 yılında sırasıyla % 30 % 43 ve % 34; 2009 yılında ise sırasıyla % 43, % 55 ve % 51 olmuştur. Paul Gölü için ise regresyon modellerinin  $R^2$  değerleri GPP, R ve NEP için 2008 yılında sırasıyla %32, %55 ve %22; 2009 yılında ise sırasıyla % 22, % 54 ve % 12 olmuştur.

Bu çalışmada GPP ve R değerleri sadece zamana (ay ölçeğinde) bağlı olarak modellenmiştir. İstatistiksel modelleme çalışmalarında GPP ve R'nin aylık ortalamaları (tüm istasyonlardan elde edilen verilerin aylık ortalamaları) kullanılmış ve göl için genel bir istatistiksel model çıkartılmıştır. 2012 ve 2013 yılı verileri

modelleme çalışması için, 2014 verileri ise doğrulama çalışmaları için kullanılmıştır. 2014 yılının Haziran ayına ait veriler 1 haftalık bir zaman dilimini kapsadığı için doğrulama çalışmalarında kullanılmamıştır. En uyumlu doğrusal regresyon modeli için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11.'de verilmiştir. Elde edilen modelin GPP'nin zamana bağımlılığını açıklama gücü ( $R^2_{adj}$ ) % 78,11'dir. Elde edilen modelin R'nin zamana bağımlılığını açıklama gücü ise % 76,32'dir. Elde edilen modellerin GPP ve R'yi tahmin gücü ( $R^2_{bv}$ ) sırasıyla % 94,25 ve % 94,27'dir. 2014 yılı Haziran ayı verilerinin dâhil edilmesi durumunda elde edilen modelin GPP ve R'yi tahmin gücü ( $R^2_{bv}$ ) sırasıyla % 48 ve % 59 olmaktadır.

**Çizelge 4.11.** Abant Gölü'nde GPP ve R'nin zamana bağlı değişimini açıklayan en uyumlu doğrusal model.

| Model      | Terim | Katsayı | SE    | T-Value | VIF | $R^2_{adj}$<br>(%) | $R^2_{bv}$ (%) | n | p     |
|------------|-------|---------|-------|---------|-----|--------------------|----------------|---|-------|
| <b>GPP</b> | Kesen | 30,97   | 4,90  | 6,32    | 1   | 78,11              | 94,25          | 6 | <0.05 |
|            | Ay    | -2,452  | 0,565 | -4,34   |     |                    |                |   | <0.05 |
| <b>R</b>   | Kesen | 32,08   | 5,65  | 5,68    | 1   | 76,32              | 94,27          | 6 | <0.05 |
|            | Ay    | -2,697  | 0,652 | -4,14   |     |                    |                |   | <0.05 |

Literatürde yer alan çalışmalarla kıyaslandığında bu çalışmada elde edilen regresyon modellerinin  $R^2$  değerleri daha yüksektir. Yanıt değişkenlerinin (GPP, R ve NEP) aynı olmasına karşın açıklayıcı değişkenlerin farklı olması bu çalışmada daha yüksek  $R^2$  değerlerini elde edilmesine sebebiyet vermiş olabilir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Göl metabolizması ile ilgili çalışmalarda solunum (R) kavramı farklı süreçleri içerecek şekilde tanımlanmaktadır. Odum (1956) R'yi bentik ve planktonik organizmaların solunum amacıyla çözünmüş oksijeni kullanması ve bazen de kimyasal oksidasyon olarak tanımlamakta ve organik maddelerin oksidasyon sürecini R kavramı içinde anmamaktadır. Thomann ve Mueller (1987) R'nin mikrobiyal solunum da içerdiğini (karbonlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve azotlu biyokimyasal oksijen ihtiyacı olarak) ancak kendilerinin R'yi planktonik solunum olarak ele aldıklarını belirtmişlerdir. Staehr vd. (2010) R'yi günlük çevrim ekosistemde içinde yer alan tüm organizmaların oksijen tüketimi olarak ele almışlar ve fotokimyasal ve abiyotik oksijen tüketimini bunun dışında tutmuşlardır. Buna karşın Holtgrieve vd. (2010) R'yi oksijen tüketen ve heterotrofik solunum, kimyasal oksidasyon, ve fotooksidasyon süreçlerini de içeren tüm reaksiyonları solunum olarak tanımlamışlardır. Van de Bogert vd. (2007) de benzer şekilde R'yi oksijen tüketen tüm süreçler olarak ele almışlardır. Wang vd. (2003) ve Ciavatta vd. (2008) ise R'yi tüm oksijen tüketen süreçler olarak tanımlamış ve R'nin hangi süreçleri içerdiğini belirtmemişlerdir. Yapılan çalışmalardan da görüldüğü gibi çözünmüş oksijen konsantrasyonunda azalmaya neden olan tüm süreçlerin hepsi veya bir kısmı solunum kavramı altında toplanmaya çalışılmıştır. Farklı karakterdeki göllerde, göl metabolizması ile ilgili yapılan çalışmaları karşılaştırmak için, solunum kavramının hangi süreçleri içerdiği açığa kavuşturulması gereken konulardan birisidir. Ayrıca solunum kavramı içinde değerlendirilen her bir sürecin katkısının (ototrofların solunumu, karbonlu ve azotlu bileşiklerin parçalanmasını da içeren heterotrofi solunum) diel oksijen tekniği ile ayrı ayrı belirlenmesi oldukça zordur. Bu çalışmada çözünmüş oksijenin kullanıldığı tüm biyolojik süreçler solunum kavramı içinde değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada göl metabolizmasını hesaplamak için kullanılan diel oksijen tekniğinin; gece ve gündüz saatlerindeki ekosistem solunumunun birbirine eşit olduğu kabulü yapılmıştır.  $R_{gece}$  ile  $R_{gündüz}$  değerlerinin eşit kabul edilmesi durumunda Staehr vd. (2010) işaret ettiği gibi  $R_{gündüz}$  ve buna bağlı olarak GPP'nin

daha düşük tahmin edilmesine neden olmaktadır. Ayrıca Karakaya (2011) Yeniçağa Gölü'nde yaptığı çalışmada  $R_{gece}$  ve  $R_{gündüz}$  değerlerini su sıcaklığı, pH ve iletkenliğe bağlı olarak modellemiş ve bu iki değişkenin ( $R_{gece}$  ile  $R_{gündüz}$ ) eşit kabul edilmemesi durumunda GPP'nin daha yüksek değerlere ulaştığı sonucuna varmıştır. Bu nedenle gece ve gündüz saatlerindeki solunumun birbirine eşit olduğu kabulünün sınanması gereklidir.

Bu çalışmada saatlik ham ÇO verileri kullanılarak yapılan hesaplamalarda negatif GPP ve R değerleri de bulunmuştur. Haftalık ve aylık ortalamalar ile yapılan hesaplamalarda da aynı sorun devam etmiştir. Bu problemin aşılması için önerilen çözümler gürültü giderme tekniklerinin kullanılması ve mümkün olduğu kadar çok ölçümün yapılmasıdır (Staeher vd., 2010). Bilindiği gibi gürültülü diel ÇO verileri GPP ve R'nin sıfırın altında tahmin edilmesine neden olabilmektedir (Staeher vd., 2010). Bu çalışmada A ile ifade edilen süreçlerin ihmal edilmesi nedeniyle bu durumun ortaya çıktığı düşünülmektedir. A'nın diel oksijen tekniğinde nasıl ele alınması gerektiği, A'yı ihmal etmenin olası sonuçları başlı başına bir araştırma konusudur. Diel oksijen tekniğinin göl metabolizma bileşenlerini gerçekçi bir şekilde tespit edebilmesi için bu hususun da araştırılması ve hesaplama tekniklerini geliştirilmesi gereklidir.

Göl metabolizması üzerine uç olayların (sıcak hava dalgaları, aşırı yağışlar, ani basınç değişimleri, kuraklık vb.) etkisinin araştırılması yeni çalışma alanlarından birisidir. Bu konuda yapılacak çalışmalar uç olaylar karşısında alınması gereken önlemlerin neler olduğu konusunda karar vericilere yol gösterecektir. Yönetim pratiklerinin (arazi kullanımı değişimi, gölden su çekimi vb.) göl ekosistemler üzerindeki etkilerinin tanımlanması amacıyla yüksek frekanslı verilerden yararlanılarak tahmin edilen göl metabolizması bileşenleri kullanılabilir. Yine göl metabolizması bileşenleri trofik seviyenin belirlenmesinde ve ekosistem kalitesinin tanımlanmasında kullanılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

Ağırbaş E (2010) Güneydoğu Karadeniz’de Pigment Konsantrasyonu Ve Birincil retim’in evre Koşulları ile Etkileşimi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Başbuğ Saygı Y (2000) Yeniçağa Gölü’nün (Bolu) Bazı Limnolojik zellikleri; Primer ve Sekonder Produktivitesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bernot M J, Sobota D J, Hall R O, Mulholland P J, Dodds W K, Webster J R, Tank J L, Ashkenas L R , Cooper L W, Dahm C N, Gregory S V, Grimm N B, Hamilton S K, Johnson S L, McDowell W H, Meyer J L, Peterson B, Poole G C, Valett H M, Arango C, Beaulieu J J, Burgin A J, Crenshaw C, Helton A M, Johnson L, Merriam J, Niederlehner B R, O’Brien J M, Potter J D, Sheibley R W, Thomas S M, Wilson K (2010) “Inter-Regional Comparison of Land-Use Effects on Stream Metabolism,”, *Freshwater Biology*, 55:1874-1890.

Chapra S C (1997) “Surface Water-Quality Modelling, McGraw-Hill”, New York.

Cirik S ve Cirik ř (2012) Limnoloji, Ege Üniversitesi Yayınları, İzmir.

Ciavatta S, Pastres R, Badetti C, Ferrari G, Beck M B (2008) “Estimation of Phytoplanktonic Production and System Respiration from Data Collected by a Real-time Monitoring Network in the Lagoon of Venice” *Ecol. Model.*, 212, 28–36.

Cole J J ve Caraco N F (1998) “Atmospheric Exchange of Carbon Dioxide in A Low-wind Oligotrophic Lake Measured by the Addition of SF<sub>6</sub>”, *Limnol. Oceanogr.*, 43, 647–656.

Coloso J J, Cole J J, Hanson P C, Pace M L (2008) “Depth-Integrated, Continuous Estimates of Metabolism in a Clear- Water Lake”, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 65:712-722.

Coloso J J, Cole J J and Pace M L (2011) "Difficulty in Discerning Drivers of Lake Ecosystem Metabolism with High-Frequency Data" *Ecosystems*, 14:935-948, USA.

Dodson S I (2005) "Introduction to Limnology" McGraw-Hill Higher Education, Boston.

Evrendilek F, Karakaya N (2015) "Spatiotemporal Modeling of Saturated Dissolved Oxygen Through Regressions After Wavelet Denoising of Remotely and Proximally Sensed Data", *Earth Science Informatics* 8:247-254.

Fellows C S, Valett H M, Dahm C N (2001) "Whole-Stream Metabolism in Two Montane Streams: Contribution of The Hyporheic Zone" *Limnol. Oceanogr.*, 46(3), 523-531.

Grimm N B ve Fisher S G (1984) "Exchange Between Interstitial and Surface Water: Implications for Stream Metabolism and Nutrient Cycling" *Hydrobiologia*, 111, 219-228.

Gücker B, Boechat I G, Giani A (2009) "Impacts of Agricultural Land Use On Ecosystem Structure and Whole-Stream Metabolism of Tropical Cerrado Streams", *Freshwater Biology*, 54:2069-2085.

Hanson P C, Bade D L, Carpenter S R (2003) "Lake Metabolism: Relationships with Dissolved Organic Carbon and Phosphorus", *Limnol. Oceanogr.*, 48, 1112–1119.

Holtgrieve G W, Schindler D E, Branch T A, A'mar Z T (2010) "Imultaneous Quantification of Aquatic Ecosystem Metabolism and Reaeration Using A Bayesian Statistical Model of Oxygen Dynamics" *Limnol. Oceanogr.*, 55, 1047-1063.

Houser J N, Mulholland P J, Maloney K O (2005) "Catchment Disturbance and Stream Metabolism: Patterns in Ecosystem Respiration and Gross Primary Production Along A Gradient of Upland Soil and Vegetation Disturbance", *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 24(3):538-552.

Izagirre O, Agirre U, Bermejo M, Pozo J, Elozegi A (2008) "Environmental Controls of Whole-Stream Metabolism Identified from Continuous Monitoring of

Basque Streams” Journal of The North American Benthological Society, 27(2), 252-268.

Karakaya N (2011) “Does Different Versus Equal Daytime and Nighttime Respiration Matter for Quantification of Lake Metabolism Using Diel Dissolved Oxygen Cycles?” Annales de Limnologie-International Journal of Limnology, 47(3), 251-257.

Külköylüoğlu O, Kılıç M, Dgel M, Usta E (2003) “Abant Gölü (Bolu) ve evre Sularında Mevsime Bağlı Su Kalitesi Değişimi ve Ostrakoda (Crustacea) Dağılımı” TUBİTAK Proje Raporu, Proje No: YDABAG-101Y030.

Külköylüoğlu O, Obalı O, Dgel M, Kılıç M, eleklki A (2005) “Abant Gölü ve Gölköy Göleti Arasında Mevsime Bağlı Su Kalite Değişimi ve Alg Potansiyelinin Karşılaştırmalı Analizi”, TUBİTAK Proje Raporu, Proje No: TBAG 103T028.

Lauster G, Hanson H, Kratz T K (2006) “Gross Primary Production and Respiration Differences Among Littoral and Pelagic Habitats in Northern Wisconsin lakes”, Can.J. Fish. Aquat.Sci., 63, 1130-1141.

Loperfido J V, Just C L, Schnoor J L (2009) “High-Frequency Diel Dissolved Oxygen Stream Data Modeled for Variable Temperature and Scale” Journal of Environmental Engineering, 135(12):1250-1256.

Marzolf E R, Mulholland P J, Steinman A D (1994) “Improvements to the Diurnal Upstream-Downstream Dissolved Oxygen Change Technique for Determining Whole-Stream Metabolism in Small Streams” Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 51(7), 1591-1599.

McCutchan J H, Lewis W M, Saunders J F (1998) “Uncertainty in the Estimation of Stream Metabolism from Open-Channel Oxygen Concentrations” J. N. Am. Benthol. Soc., 17(2), 155-164.

Mulholland P J, Houser J N, Maloney K O (2005) “Stream Diurnal Dissolved Oxygen Profiles as Indicators Of In-Stream Metabolism and Disturbance Effects: Fort Benning as A Case Study”, Ecological Indicators, 5:243-252.

Obalı O, Toker C, Altındağ A, Atıcı T, Ölmez D (2001) “Türkiye’deki Bazı Göl ve Baraj Göllerinde Mevsimsel Olarak Su ve Planktonik Organizmalarda Ağır Metal Kirlenmesi”, A.Ü. Araştırma Fonu Projesi.

Obalı O, Atıcı T, Elmacı A (2002) “Abant Gölü (Bolu) Fitoplanktonu Üzerine Taksonomik Bir Çalışma”, OT Sistemetik Botanik Dergisi, 9, 143-155.

Odum H T (1956) “Primary Production in Flowing Waters”, Limnol. Oceanogr., 1, 102–117.

Riley A J, Dodds WK (2013) “Whole-Stream Metabolism: Strategies for Measuring and Modeling Diel Trends of Dissolved Oxygen” Freshwater Science, 32(1), 56-69.

Seeley M C (1969) “The Diurnal Curve in Estimates of Primary Production”, Chesapeake Sci., 10(3/4), 322–326.

Staehr P A, Sand-Jensen K (2007) “Temporal Dynamics and Regulation of Lake Metabolism”, Limnol. Oceanogr., 52(1), 108–120.

Staehr P A, Bade D, Van De Bogert M C, Koch G R, Williamson C, Hanson P, Cole J J, Kratz T (2010) “Lake Metabolism and The Diel Oxygen Technique: State of The Science”, Limnol. Oceanogr.-Meth., 8, 628–644.

Staehr P A, Spohr L B, Jensen K S, Stedmon C (2012) “Lake Metabolism Scales with Lake Morphometry Conditions”, Aquatic Sciences, 74:155-169.

Tanyolaç J (2011) “Limnoloji”, Hatiboğlu Basımevi, Ankara.

Thomann R V, Mueller J A (1987) “Principles Of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper Collins Publishers inc”, New York.

Vallino J J, Hopkinson C S, Garritt R H (2008) “Estimating Estuarine Gross Production, Community Respiration and Net Ecosystem Production: A Nonlinear Inverse Technique”, Ecol. Model., 187, 281–296.

Van De Bogert M C, Carpenter S R, Cole J J, Pace M L (2007) “Assessing Pelagic and Benthic Metabolism Using Free Water Measurements”, Limnol. Oceanogr.-Meth., 5, 145–155.

Van De Bogert M C, Bade D L, Carpenter S R, Cole J J, Pace M L, Hanson P C, Langman O C (2012) "Spatial Heterogeneity Strongly Affects Estimates of Ecosystem Metabolism in Two North Temperate Lakes", *Limnol. Oceanogr.*, 57: 1689-1700.

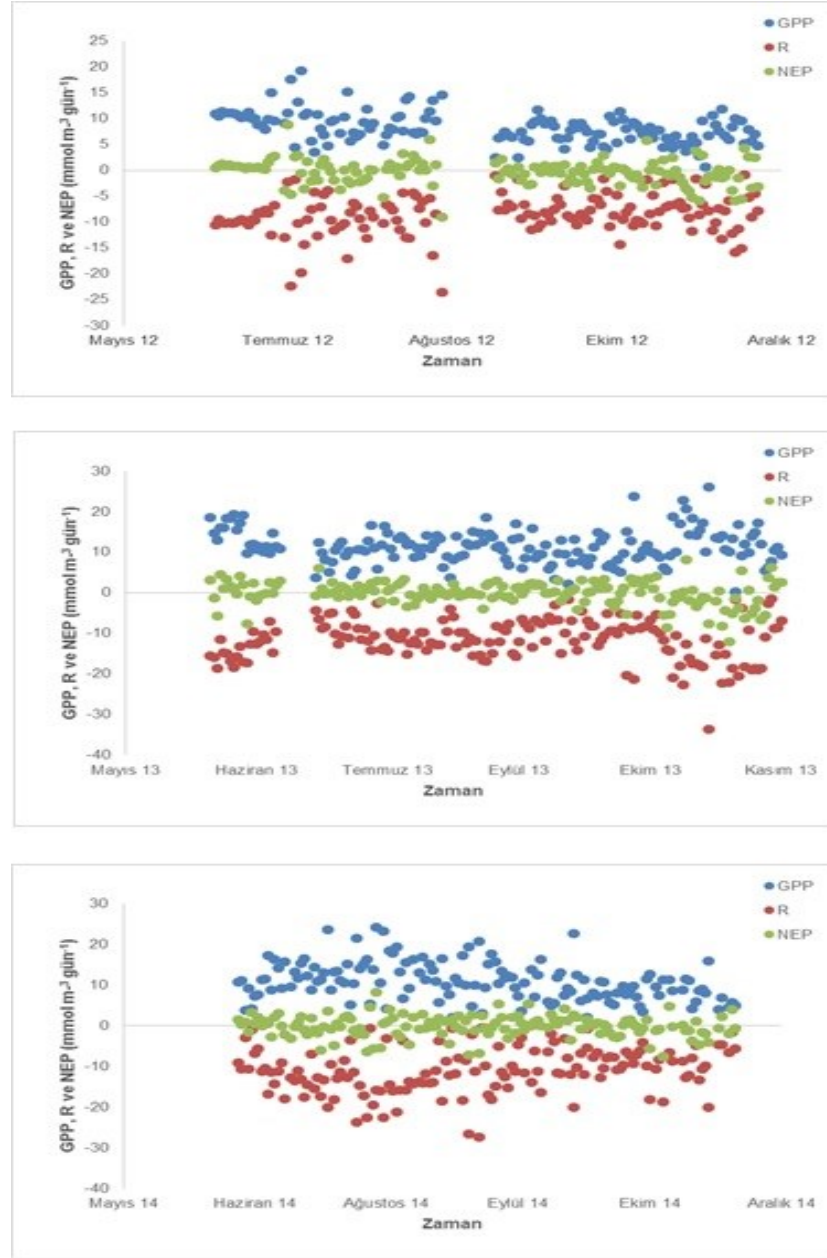
Young R G ve Huryn A D (1998) "Effects of land Use On Stream Metabolism and Organic Matter Turnover", *Ecological Applications*, 9:1359-1376.

Wang H, Hondzo M, XU C, Poole V, Spacie A (2003)" Dissolved Oxygen Dynamics of Streams Draining an Urbanized and an Agricultural Catchment", *Ecol. Model.*, 160, 145–161.

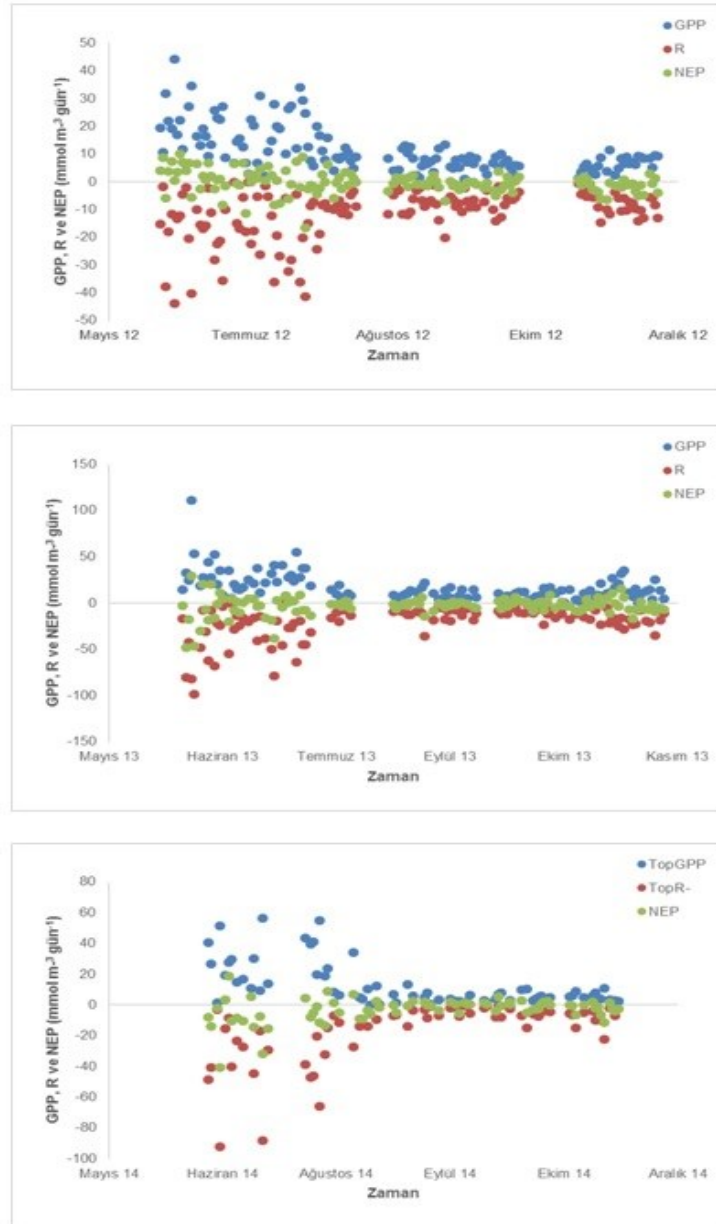
## **7. EKLER**

### **EK A**

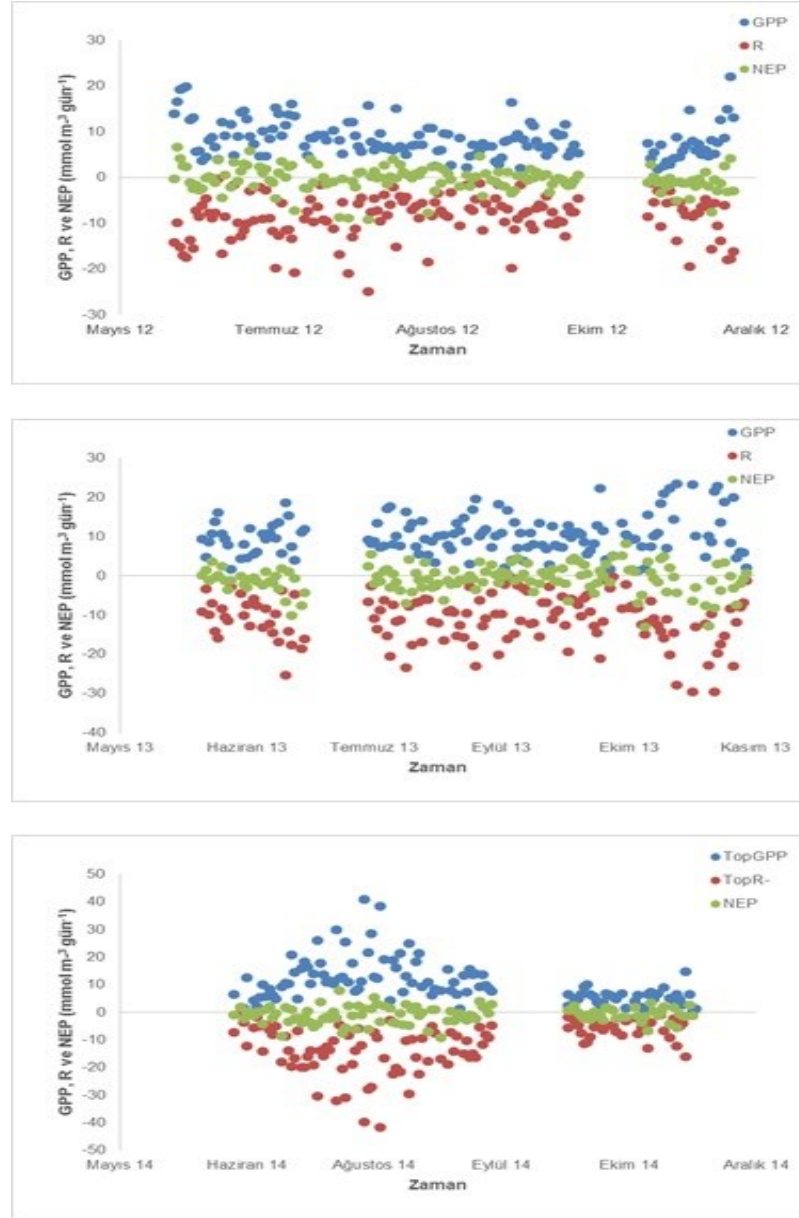
Şekil Ek A.1. ile Şekil Ek A.5. arasında, Abant Gölü'nde hesaplanan göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimleri verilmiştir.



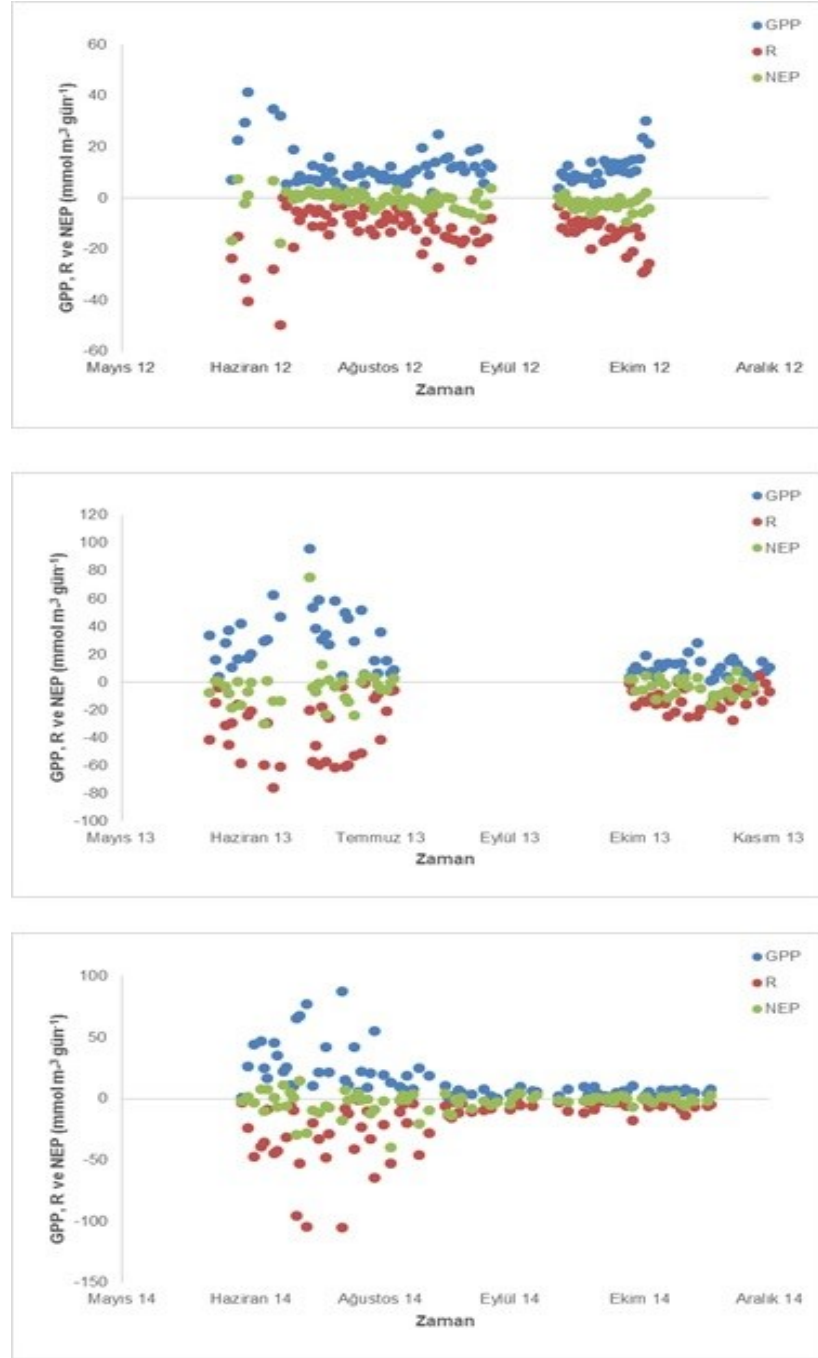
**Şekil A.1.** A1-1 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri grafikte sunum için -1 ile çarpılmıştır)



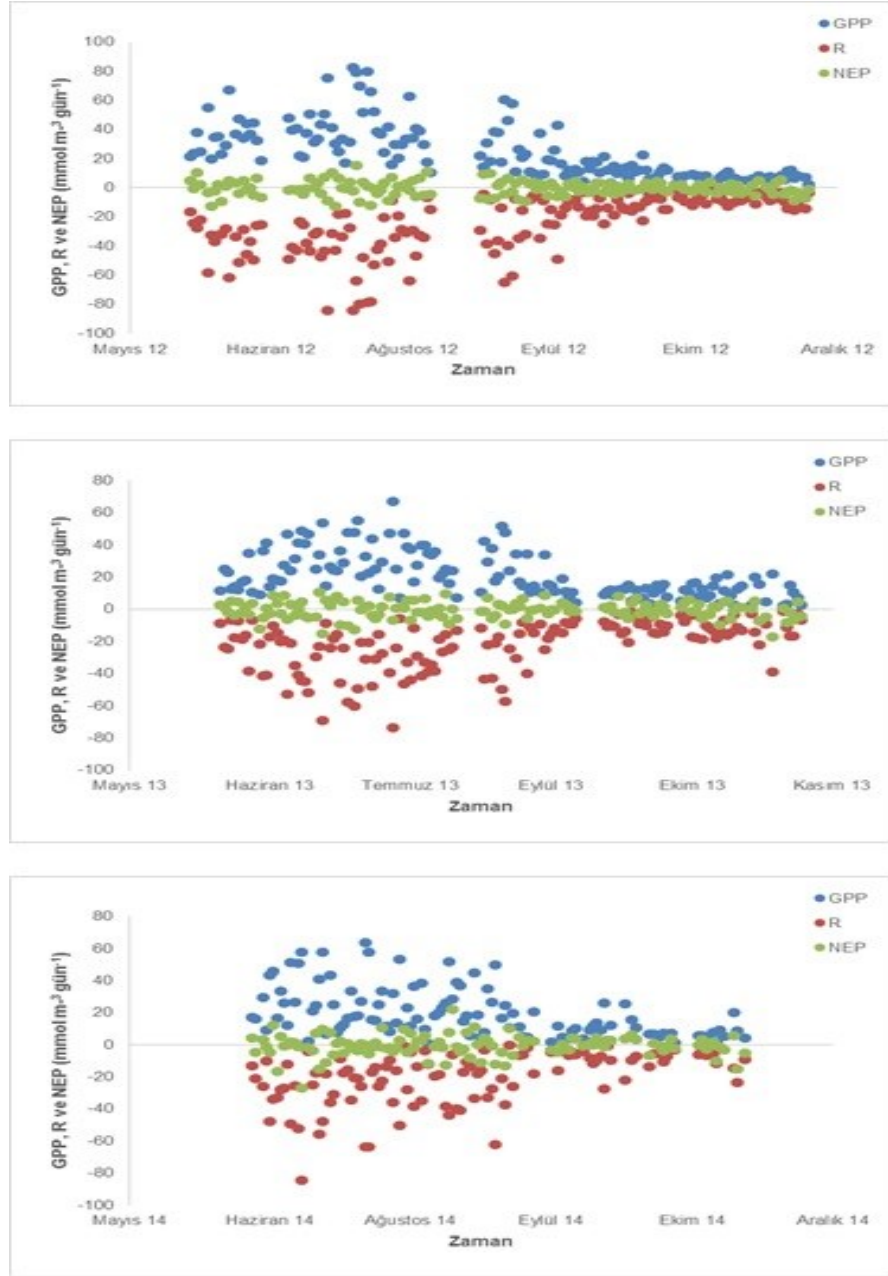
**Şekil A.2.** A1-2 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri grafikte sunum için -1 ile çarpılmıştır)



**Şekil A.3.** A2-1 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri grafikte sunum için -1 ile çarpılmıştır)



Şekil A.4. A2-2 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri grafikte sunum için -1 ile çarpılmıştır)



**Şekil A.5.** A3-1 istasyonunda 2012, 2013 ve 2014 yıllarında hesaplanmış göl metabolizma bileşenlerinin günlük değişimi (R değerleri grafikte sunum için -1 ile çarpılmıştır)