

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



**BASİT BÜTÇE MODELLERİ İLE BARAJ GÖLLERİNDE
BESİN ELEMENTİ DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ROJDA DUYGU ÖGEL

BOLU, HAZİRAN - 2018

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



BASİT BÜTÇE MODELLERİ İLE BARAJ GÖLLERİNDE
BESİN ELEMENTİ DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ROJDA DUYGU ÖGEL

BOLU, HAZİRAN - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Rojda Duygu ÖGEL tarafından hazırlanan “BASİT BÜTÇE MODELLERİ İLE BARAJ GÖLLERİNDE BESİN ELEMENTİ DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 18/06/2018 tarihinde BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Doç. Dr. Nusret KARAKAYA
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Duran KARAKAŞ
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Elçin GÜNEŞ
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

İmza


.....


.....


.....

Mezuniyet Tarihi :

Doç. Dr. Ömer ÖZYURT 
.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Anneme,

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.

Rojda Duygu ÖGEL



ÖZET

BASİT BÜTÇE MODELLERİ İLE BARAJ GÖLLERİNDE BESİN ELEMENTİ DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ROJDA DUYGU ÖGEL
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOC. DR. NUSRET KARAKAYA)

BOLU, HAZİRAN - 2018

Doğal ve yapay göllerde artan besin elementleri konsantrasyonu ötrofikasyonun ana nedenlerinden birisidir. Doğal ve yapay göllerin; besin elementlerince (fosfor ve/veya azot) ve organik maddece zenginleştirilmesi neticesinde su kütlesinde alg ve makrofit formlarının kontrolsüz büyümesi gerçekleşir ve neticede sucul ekosistemlerin yapısı, fonksiyonu ve istikrarında arzu edilmeyen değişiklikler ve su kalitesinde bozulmalar meydana gelir. Son 20 yılda, (a) basit ve tek denklemlerle ampirik (deneysel) bütçe modeli (Vollenweider, 1968); ve (b) daha detaylı üç boyutlu süreç temelli modeller olmak üzere doğal ve yapay göllerde besin maddesi değişimlerini nicelleştirmek için iki tür modelleme yaklaşımı geliştirilmiştir.

Bu çalışma; baraj göllerinde basit bütçe modelleri ile besin elementi dinamiğinin incelenmesine odaklanmıştır. Çalışmanın temel hipotezi basit bütçe modelleri ile baraj göllerinde besin elementi tahminlerinin yapılabileceğidir. Bu amaçla Yuvacık Baraj Gölü'nde 2010-2014 yılları arasında yapılmış ölçümler kullanılarak bu hipotez test edilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Baraj Gölünde 2010-2014 yılları arasında TP konsantrasyonu 0.014 mg/L ile 0.065 mg/L arasında değişirken TN konsantrasyonu 0.67 mg/L ile 1.450 mg/L arasında değişmektedir.

Çalışmada; Yuvacık Baraj Gölünün trofik seviyesi; Trofik Seviye İndeksine (TSI) göre belirlenmiş ayrıca Vollenweider tipi 9 farklı bütçe modeli ile TP ve TN konsantrasyonları tahmin edilmiştir. Bütçe modellerinin TN için R^2 değeri % 20.02 ile % 29.70 arasında değişmektedir. TP için ise R^2 değeri % 11.20 ile %57.20 arasında değişmektedir. Kullanılan bütçe modellerindeki katsayılar Yuvacık Baraj Gölü için özelleştirilmiştir. Bu özelleştirme işleminden sonra TN için R^2 değeri % 23.72 ile %34.96 arasında değişmiştir. TP için ise R^2 değeri %37.06 ile %57.79 arasında değişmiştir. Ayrıca Yuvacık Baraj Gölünde TP ve TN tahmini için model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerin TN için çapraz validasyon belirleme katsayısı % 31.47 iken TP için bu değer % 60.71 olmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER: Baraj gölü, Besin elementleri, Trofik seviye, Ötrofikasyon, Bütçe modeli

ABSTRACT

INVESTIGATION OF NUTRIENT CONCENTRATION CHANGES IN RESERVOIRS WITH SIMPLE BUDGET MODELS

MSC THESIS

ROJDA DUYGU ÖGEL

BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF.DR. NUSRET KARAKAYA)

BOLU, JUNE 2018

The increasing nutrient concentrations in artificial and natural lakes are one of the main causes behind eutrophication. As a result of the enrichment of organic matter and nutrients such as phosphorus and/or nitrogen, the uncontrolled growth of algae and macrophytes in water bodies, undesired changes occur in their structure, function and stability, with the degradation of water quality. For the last two decades, the two main modelling approaches have been developed to quantify changes in nutrients for the artificial and natural lakes: (a) simple and single empirical equations of budgets (Vollenweider, 1968), and (b) 3-D detailed process-based models.

This thesis focuses on the exploration of simple budgetary models and nutrient dynamics in dam reservoirs. The fundamental hypothesis of the present thesis is based on the ability of accurately predicting nutrients using the simple budgetary models. In this context, this hypothesis was tested using in-situ measurements carried out between 2010 and 2014 for dam reservoir Yuvacık. The in-situ data were acquired from the General Directory of Kocaeli Water and Sewage Management. TP concentration varied between 0.014 mg/L and 0.065 mg/L, while TN concentration changed from 0.67 mg/L to 1.450 mg/L in the reservoir.

In the thesis, the trophic level of the reservoir was determined according to the trophic level index (TLI), and TP and TN concentrations were estimated using a total of nine Vollenweider budgetary models. R^2 values of the budgetary models ranged from 20.02% to 29.7% for TN and from 11.20% to 57.20% for TP. The coefficients used in the models were made site-specific for the reservoir. After the calibration of site-specific coefficients, the R^2 values of the models have risen to the range of 23.72% to 34.96% for TN and of 37.06% to 57.79% for TP. The predictive models were developed for the predictions of TP and TN in the reservoir. Cross-validation predictive power of these models was 31.47% for TN and 60.71% for TP.

KEYWORDS: Reservoir, Nutrients, Trophic state, Eutrophication, Budget model

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
KISALTIMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Önemi.....	1
1.3 Literatür Özeti	2
1.3.1 Besin Elementleri.....	2
1.3.2 Göllerde Besin Elementlerinin Dinamiğini Tahmin Etmek İçin Kullanılan Modeller.....	8
2. MATERYAL ve METOT	12
2.1 Çalışma Sahası	12
2.2 Çalışmada Kullanılan Veri Setleri.....	13
2.3 Trofik Seviyenin Belirlenmesi	14
2.4 Vollenweider Tipi Modeller ile Baraj Göllerinde Besin Elementi Tahmini	15
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	18
3.1 Yuvacık Baraj Gölünün Trofik Seviyesi	18
3.2 Vollenweider Tipi Modellerin Performansları	18
3.3 Yuvacık Baraj Gölü İçin Vollenweider Tipi Modellerin İyileştirilmesi ve Geliştirilmesi	19
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	22
5. KAYNAKLAR	24
6. EKLER	28
EK A: Çalışmada kullanılan veriler	28
7. ÖZGEÇMİŞ	30

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Suda Bulunan Azot Türleri (Thomann ve Mueller, 1987).	3
Şekil 1.2. Suda Azot Döngüsü (Horne ve Goldman, 1994).....	5
Şekil 1.3. Suda Bulunan Fosfor Türleri (Thomann ve Mueller, 1987).....	6
Şekil 1.4. Suda Fosfor Döngüsü (Thomann ve Mueller, 1987).....	7
Şekil 2.1. Çalışma Sahasının Konumu.	12



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Modellerin özellikleri (Anagnostou vd., 2017).	11
Çizelge 2.1. Yuvacık Barajına ait bilgiler.....	13
Çizelge 2.2. Çalışmada kullanılan verilere ait betimleyici istatistikler.	14
Çizelge 2.3. TSI' ye bağlı trofik sınıflandırma.....	15
Çizelge 2.4. TP ve TN için test edilen Vollenweider tipi modeller.....	16
Çizelge 3.1. Yuvacık Baraj Gölünün trofik seviyesi.	18
Çizelge 3.2. Yuvacık Baraj Gölü için TN ve TP modellerinin performans katsayıları	19
Çizelge 3.3. TN ve TP için yeniden hesaplanmış model katsayıları.	20
Çizelge 3.4. TN ve TP için yeniden belirlenmiş model katsayıları hesaplanmış olan model performans katsayıları.....	20
Çizelge 3.5. TP ve TN için geliştirilen en uyumlu doğrusal model.....	21

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

H	: Ortalama derinlik
MAE	: Ortalam mutlak hata
N	: Örnek sayısı
<i>p</i>	: Önem düzeyi
R^2	: Regresyon katsayısı
RMSE	: Kök ortalama kare hatası
RRMSE	: Nispi kök ortalama kare hatası
SE	: Standart hata
t	: Hidrolik bekleme süresi
T_{Nutin}	: Ortalama yıllık toplam fosfor veya toplam azot girdi konsantrasyonu
$T_{Nutgöl}$: Gölde ölçülen toplam fosfor veya toplam azot girdi konsantrasyonu
TN	: Toplam azot
TP	: Toplam fosfor
TSI	: Trofik seviye indeksi
VIF	: Varyasyon enflasyon faktörü

TEŞEKKÜR

Tezin tüm aŐamalarında yardımlarını ve anlayıŐını benden esirgemeyip, destek veren değerli danıŐmanım Doç. Dr. Nusret KARAKAYA baŐta olmak üzere, tüm Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakóltesi Çevre Mühendisliği Bölümü çalıŐanlarına ve attığım her adımda yanımda olan canım anneme teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Doğal ve yapay göllerde besin maddesi konsantrasyonu artışı ötrofikasyonun ana nedenlerinden birisidir. Doğal ve yapay göllerin; besin maddelerince (fosfor ve/veya azot) ve organik maddece zenginleştirilmesi neticesinde su kütlelerinde alg ve makrofit formlarının kontrolsüz büyümesi gerçekleşir ve neticede sucul ekosistemlerin yapısı, fonksiyonu ve istikrarında arzu edilmeyen değişiklikler ve su kalitesinde bozulmalar meydana gelir.

Son 20 yılda, göllerde besin maddesi değişimlerini nicelleştirmek için iki tür modelleme yaklaşımı geliştirilmiştir; (a) basit ve tek denklemlilikli ampirik (deneysel) bütçe modeli (Vollenweider, 1968); ve (b) süreç temelli modeller (Cerco ve Cole, 1993).

Bu çalışma; baraj göllerinde basit bütçe modelleri ile besin maddesi dinamiğinin incelenmesine odaklanmıştır. Çalışmanın temel hipotezi basit bütçe modelleri ile baraj göllerinde besin maddesi tahminlerinin yapılabileceğidir. Bu amaçla Yuvacık Baraj Gölü'nde 2010-2014 yılları arasında yapılmış ölçümler kullanılarak bu hipotez test edilmiştir.

1.2 Çalışmanın Önemi

Doğal ve yapay göllerde besin maddeleri açısından kirlenme kontrol stratejilerinin etkinliği modeller aracılığı ile ortaya konulabilmektedir. Zamansal ve mekânsal çözünürlüğü yüksek, süreç temelli modellerin kirlenme kontrol stratejileri geliştirilirken bir araç olarak hali hazırda kullanılabilmesi için çok sayıda veriye ve uzmanlığa ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkemizde bu tür modellerin kullanılabilmesi için kısa süre içinde temel verilerin üretilmesi ve uzmanlık ihtiyacının karşılanması mümkün görünmemektedir. Bu nedenle kullanımı kolay, veri ihtiyacı az ve uzmanlık gereksinimi çok fazla olmayan modellerin kirlenme kontrol stratejileri geliştirilirken

kullanılması ülkemiz açısından önemlidir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar bu ihtiyaca cevap verebilecek yaklaşımları ele almaktadır.

1.3 Literatür Özeti

1.3.1 Besin Elementleri

Besin elementleri canlı organizmaların hücrelerinde yapı taşı olarak kullanılan elementlerdir. Göllerde besin maddelerinin konsantrasyonu havzadaki arazi kullanım pratiklerine, arazi örtüsüne, jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerine, iklim koşullarına ve insan faaliyetlerine bağlı olarak değişmektedir (Bellos ve diğ., 2004). Besin elementleri bakteriler, algler ve diğer birincil üreticiler tarafından doğrudan kullanılabilen ve besin zincirinde daha yüksek seviyelere doğru hareket etmektedirler (Brönmark ve Hansson, 1998). Göl ekosistemleri için başlıca besin elementleri azot, fosfor, silisyum ve hücre yapısında mikro düzeyde bulunan demir diğer elementlerdir.

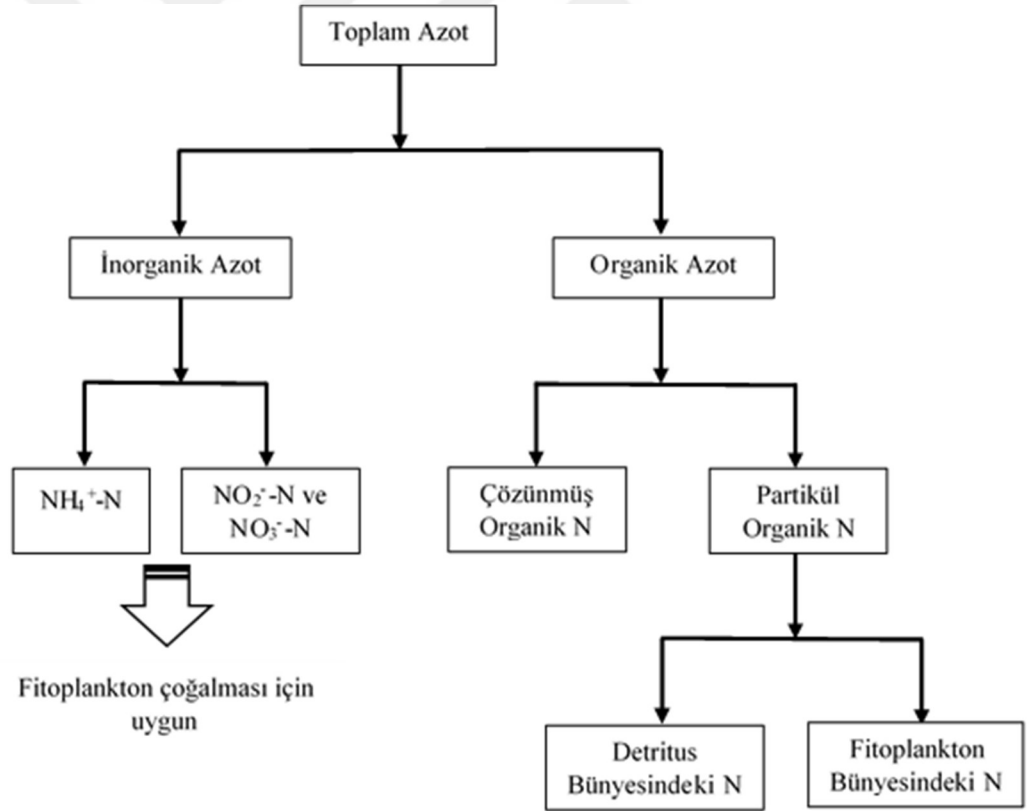
1.3.1.1 Azot

Sucul ekosistemlerde azot, en çok azot gazı şeklinde bulunmaktadır. Azot gazı kimyasal olarak kolay tepkime vermediği için birçok canlı tarafından kullanılmamaktadır. Ancak bazı mikroorganizmalar, bakteriler ve mavi-yeşil algler tarafından fikse edilerek canlı bünyesine alınabilmektedir (Spellman, 1996). Bununla birlikte sularda daha az miktarlarda bulunan nitrat (NO_3^-), amonyum (NH_4^+), nitrit (NO_2^-) ve üre ise biyolojik sistem için daha önemlidir. Azot bileşiklerinin sucul ortamdaki mevcudiyeti ve miktarı sucul canlıların çeşidini, bolluğunu ve beslenme koşullarını etkilemektedir. Azot canlı hücrelerin ana bileşenlerinden birisidir ve canlıların kuru ağırlığının yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır (Horne ve Goldman, 1994).

Azot bileşikleri su ortamına hem doğal yollarla hem de insan faaliyetleri sonucunda girmektedir. Doğal kaynaklar arasında; organik madde ve hayvan atıklarının ayrışması, jeolojik yapı, ıslak çökeltme ve azot fiksasyonu yer almaktadır. Evsel ve endüstriyel atıksular, tarımsal ve kentsel alanlardan gelen yüzeysel akış suları

ve vahşi katı atık depolama sahası sızıntı suları ile de azot türleri su kaynaklarına taşınmaktadır.

Su ortamında bulunan azot türleri Şekil 1.1’de verilmiştir. Nitrat (NO_3^-) ve amonyum (NH_4^+) suda bulunan bakteriler, mantarlar ve fitoplanktonlar için kullanılabilir azot bileşikleridir. Amonyum fitoplanktonların doğrudan kullandıkları azot bileşimidir. Nitratın ise kullanılmadan önce amonyuma indirgenmesi gerekmektedir. Bu süreç enerji gerektirmektedir. Bu nedenle enerji esas alındığında amonyum canlılar için daha uygun bir azot kaynağıdır (Postma ve diğ., 1984). Fitoplanktonların bahar patlaması sırasında en çok kullandıkları azot bileşiği azotun en ileri oksidasyon ürünü olan nitrattır (Horne ve Goldman, 1994; Otero ve Siegel, 2004). Nitrit ise bir ara ürün olup göllerde çok düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır.

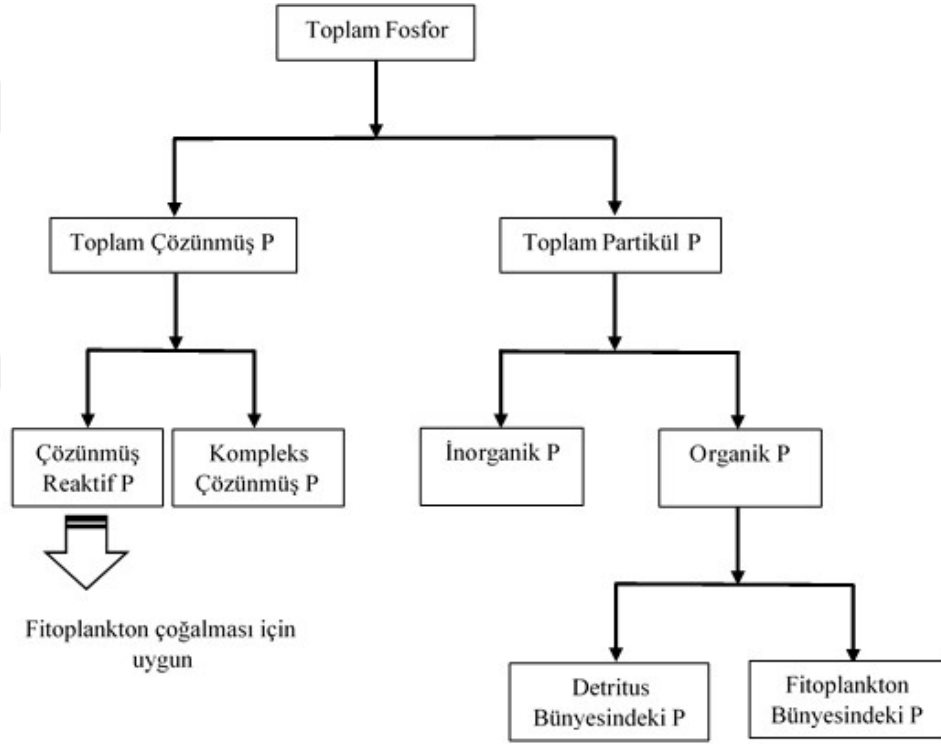


Şekil 1.1. Suda Bulunan Azot Türleri (Thomann ve Mueller, 1987).

Su ortamındaki azot döngüsü Şekil 1.2’de verilmiştir. Suda bulunan organik azot mineralizasyon süreci ile amonyuma dönüşmektedir. Oksijenli ortamda amonyum nitrifikasyon süreci ile önce nitrite sonra nitrate yükseltgenmektedir. Anoksik koşullarda ise denitrifikasyon süreci ile nitrat önce nitrite sonra azot gazına dönüşmektedir. Sedimentte parçalanmış organik azotun çoğu difüzyon ile sedimentten su ortamına amonyum ya da nitrat olarak geri dönmektedir. Azot bir miktarı üre ve çözülmüş organik azot olarak da su kolonuna salınmaktadır fakat bu akıllar bilinmemektedir (Gürel vd., 2005). Sedimentten amonyum ve nitrat salınımını etkileyen temel faktörler ise su sıcaklığı, çözülmüş oksijen konsantrasyonu, sediment sınır tabakasındaki hidrodinamik koşullar, pH ile tuzluluktur. Sedimentte organik maddenin parçalanarak amonyuma dönüşmesini etkileyen en önemli faktör sıcaklıktır. Sıcaklığın artması ile birlikte amonyumun oluşum hızı ve gözenek suyundaki konsantrasyonu artmaktadır. Gözenek suyundaki amonyum ise sedimentin çeşitli nedenlerle hareketi ile su ortamına salınmaktadır. Sedimentten amonyumun salınması mevsimsel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Su sıcaklığının yüksek olduğu mevsimlerde ve aerobik bölge derinliğinin az olduğu mevsimlerde (yaz mevsimi) sedimentten azot, amonyum formunda salınmaktadır. Kış ve ilkbaharda ise aerobik bölge derinliğinin daha fazla olması nedeniyle nitrifikasyon baskın bir süreçtir ve bu nedenle sedimentten azot, nitrat olarak salınmaktadır (Gürel vd., 2005).

Su ortamına hem doğal yollarla hem de insan faaliyetleri sonucunda girmektedir. Doğal kaynaklar arasında; organik madde ve hayvan atıklarının ayrışması ve jeolojik yapı yer almaktadır. Evsel ve endüstriyel atıksular, tarımsal ve kentsel alanlardan gelen yüzeysel akış suları, hayvan faaliyetleri ve vahşi katı atık depolama sahası sızıntı suları ile de fosfor su kaynaklarına taşınmaktadır.

Su ortamında bulunan fosfor türleri Şekil 1.3’de verilmiştir. Fosfor göllerde hem inorganik hem de organik formda bulunmaktadır (Horne ve Goldman, 1994; Wetzel, 2001). Alg, bakteri ve sucul bitkilerce doğrudan kullanılabilen fosfor formu çözülmüş reaktif fosfordur (Ortofosfat: PO_4^{3-}). Fosfor, birçok alg ve bakteri tarafından çoğalma faaliyetleri için gerekenden daha hızlı asimile edilmektedir (Wetzel, 2001).



Şekil 1.3. Suda Bulunan Fosfor Türleri (Thomann ve Mueller, 1987).

Su ortamındaki fosfor döngüsü Şekil 1.4’de verilmiştir. Alglerin hemen hemen tamamı fosforu aşırı derecede tüketebilmektedir. Fosfor bünyeye ortofosfat olarak alındıktan sonra bir kısmı çoğalma için kullanılmakta olup kalan kısmı hücre içinde depolanmaktadır. Alg büyümesi ve çoğalması incelendiğinde fazla fosforun hücre boşluklarında polifosfat granülleri olarak depolandığı gözlemlenmiştir. İhtiyaç halinde hücre boşluklarında depolanan polifosfatlar enzimlerle ayrıştırılmakta ve metabolik

1.3.2 Göllerde Besin Elementlerinin Dinamiğini Tahmin Etmek İçin Kullanılan Modeller

Doğal ve yapay göllerde besin elementlerinin dinamiğini anlamak için çok sayıda model geliştirilmiştir. Bu modeller kirlenme kontrol stratejilerinin geliştirilmesinde de kullanılmaktadır. Bu modeller büyük veri setlerine, uzmanlığa ve zamana ihtiyaç duymaktadırlar. Besin elementlerinin dinamiğini araştırmak için kullanılan modeller bu bölümde derlenmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

AQUATOX

AQUATOX, ilk olarak 1974'de yayınlanan bir model serisinin son sürümüdür. Yazılımın geliştirilmesi için ABD EPA finansal destek vermiştir (Park vd., 2008). AQUATOX çeşitli çevresel baskılayıcıların sudaki ekosistemler üzerindeki etkilerini, kirleticilerin suya, sedimente ve biyolojik bileşenlere geçişini simüle eder, başka bir deyişle su ortamlarındaki farklı stres kaynaklarının ekolojik ve çevresel etkilerini öngören biyolojik ve ekolojik süreçleri simüle eden, süreç temelli bir modeldir. Simüle ettiği süreçler arasında, fosfor ve azot döngüsü, çözülmüş oksijen dinamiği, toksik organik madde parçalanması ve dönüşümü, su-sediment etkileşimleri, biyoakümülyasyon, büyüme-üreme-mortalite ve besin ağı etkileşimleri yer almaktadır (Kiarinad vd., 2006). AQUATOX, fosfor ve azot döngülerini, oksijen üretimini ve tüketimini etkileyen mevsimsel makrofitlerin yaşam döngüsünü de içermektedir (Chen vd., 2012; Park vd., 2008; Rashleigh, 2003).

CAEDYM

CAEDYM'in ilk versiyonu Michael Herzfeld ve David Hamilton tarafından geliştirilmiştir. Fortran dilinde yazılan CAEDYM, göllerde ve rezervuarlarda, sulak alanlarda, nehirlerde ve kıyı sularında kullanılmak amacıyla geliştirilmiş ekolojik bir modeldir (Trolle vd., 2008) Hidrodinamik modeller ile (DYRES, ELCOM) desteklenmiş olan CAEDYM çözülmüş oksijen, besin maddeleri, fitoplankton dinamiği, zooplankton ve bakteri dinamiğini simüle edebilmektedir (Robson vd., 2008; Trolle vd., 2008).

EFDC

EFDC, Virginia Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından geliştirilen bir modeldir. Biri hidrodinamik ve bir diğeri su kalitesi olmak üzere iki farklı modülden oluşmaktadır. Model fosfor, azot ve silisyum döngüsü gibi ötrofikasyonla ilgili ekolojik süreçleri simüle etmektedir (Zhao vd., 2013). Model ötrofikasyon işlemlerini kütle denge teknikleriyle simüle eder. Besin maddeleri, karbon döngüleri ve çözünmüş oksijen dinamiği olmak üzere 21 durum değişkenini ele almaktadır.

ERSEM

ERSEM, pelajik ve bentik ekosistemleri ve bunların arasındaki ilişkiyi tanımlayan genel bir modeldir. Model, 1990-1993 yılları arasında Avrupa MAST projesi ERSEM I kapsamında denizlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş ve daha sonra modelde yapısal iyileştirmeler yapılmıştır. ERSEM pelajik ile bentik ekosistemlerde çözünmüş oksijen dağılımının yanı sıra fosfor, azot, karbon döngüsünü simüle etmektedir (Anagnostou vd., 2017).

MIKE3FM-ECOLAB

ECOLAB, Danimarka'da Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilen matematiksel modelleme yazılımının bir modülüdür. Hidrodinamik modül ile birleştirilir ve birden fazla ötrofikasyon şablonu içerir. Ötrofikasyon süreçlerini değerlendirmek ve suda yaşayan ekosistem dinamiklerini öngörmek için kullanılabilir (Lessin ve Raudsepp, 2006). ECOLAB fiziksel, kimyasal ve ekolojik durum değişkenleri arasındaki etkileşimleri tanımlar (DHI, 2014). Model, ötrofikasyon problemini tanımlamak için gerekli olan durum değişkenlerini belirleyerek geliştirilmiştir. Her bir durum değişkeni için, bu belirli durum değişkeninin evrimini kontrol eden ekolojik süreçleri tanımlayan bir denklem oluşturulmuştur (Liungman ve Arancibia, 2010). ECOLAB, kullanıcıya kendi şablonunu oluşturma veya var olanları kullanma becerisi kazandıran esnek bir modeldir.

MOHID

MOHID, Lizbon Teknik Üniversitesi Instituto Superior Técnico (IST) 'de Deniz ve Çevre Teknolojisi Araştırma Merkezi (MARETEC) tarafından geliştirilen, 3 boyutlu bir su kalite modelidir. Körfezler, akarsular, rezervuarlar, kıyı suları ve

okyanuslardaki alg, bakteri, çözünmüş oksijen, besin elementleri, organik madde, fitoplankton ve zooplankton dinamikleri modellenmektedir (web: www.mohid.com).

WASP

WASP, farklı su kütlelerinin çeşitli kalite sorunlarını simüle etmek için geliştirilmiş dinamik bir modeldir (Umgiesser vd., 2002; Wool vd., 2001). Hidrodinamik modeli ve su kalitesi modelini birlikte veya ayrı ayrı çalıştırabilen iki ayrı modülden oluşmaktadır. WASP, EUTRO modeli PEM'in (Potomac Eutrophication Model) basitleştirilmiş bir formudur ve ötrofikasyon ile çözünmüş oksijen kinetiğini etkileyen süreçleri (Wang, vd., 1999) modellemektedir. Azot, fosfor, çözünmüş oksijen ve klorofil-a dahil olmak üzere sekiz durum değişkenini simüle edebilmektedir (Umgiesser vd., 2002).

CE-QUAL-W2-2D

CE-QUAL-W2 2D iki boyutlu bir su kalitesi ve hidrodinamik modeldir. Model, göller, rezervuarlar ve haliçler gibi tabakalı su sistemlerinde yaygın olarak uygulanmıştır ve su seviyeleri, yatay ve dikey hızlar, sıcaklık ve diğer 21 su kalitesi parametresinin (çözünmüş oksijen, besin maddeleri, organik maddeler, algler, pH, karbonat döngüsü, bakteriler ve çözünmüş ve asılı katılar) tahmini için geliştirilmiştir (<http://www.cee.pdx.edu/w2/>).

CE-QUAL-ICM

CE-QUAL-ICM besi maddelerinin simülasyonunda kullanılan bir modeldir. Model , haliç, göl ve nehir gibi bir çok farklı çevreye uygulanmıştır. Model, fitoplanktonik ve zooplanktonik süreçler-etkileşimler, fosfor, azot, karbon, silisyum döngüsü; ve oksijen dinamikleri gibi süreçleri modellemektedir. CE-QUAL- ICM, durum değişkenlerinin her biri için yatay, dikey ve zaman ayırımına göre üç boyutta bir yığın denklemi çözmektedir (Cercio vd., 2009).

Yukarıda sıralanan modellerin avantaj ve dezavantajları ile bazı karakteristik özellikleri Çizelge 1.1'de özetlenmiştir.

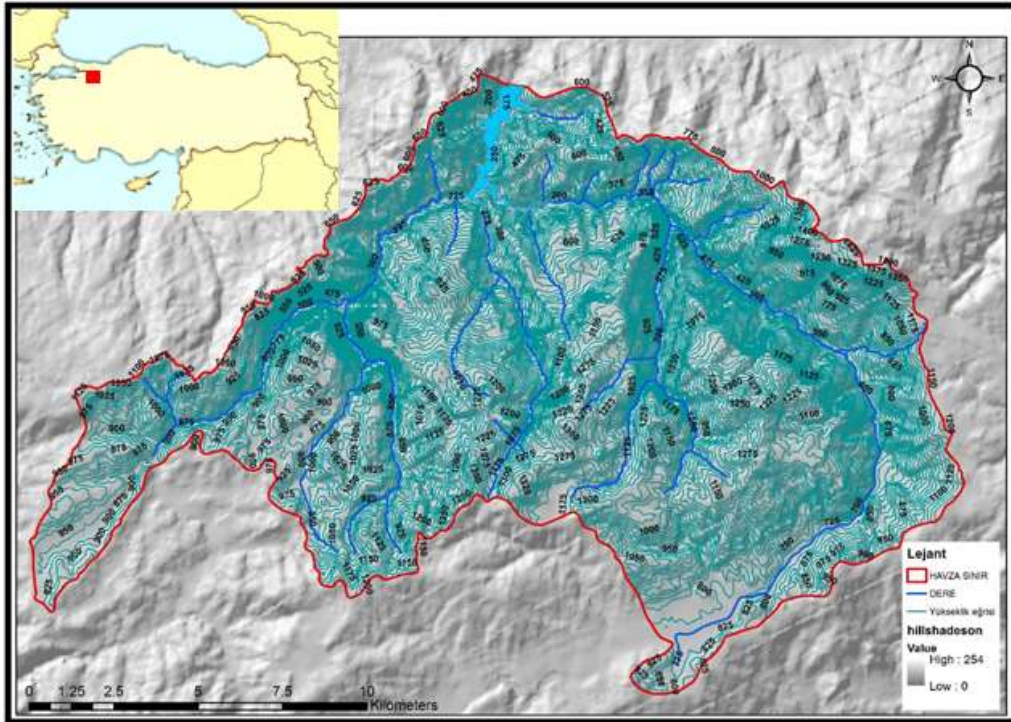
Çizelge 1.1. Modellerin özellikleri (Anagnostou vd., 2017)

Model	AQUATOX	CAEDYM	CE-QUAL-ICM	Delft3D-ECO/GEM	EFDC	ERSEM	MIKE3FM-ECOLAB	MOHID	WASP
Ele aldığı değişkenler	Alg, BOİ, biokütle, chl-a, çözülmüş oksijen, balık, omurgasızlar, besin elementleri, periphyton, fitoplankton, sucul bitkiler, toksik maddeler	Alg, BOİ, çözülmüş oksijen, balık, omurgasızlar, metaller, besin elementleri, organik karbon, AKM, zooplankton	Alg, besin elementleri, detritus, çözülmüş oksijen, metaller, organik karbon, sucul bitkiler, zooplankton	Alg, bentik madde döngüsü, çözülmüş oksijen, besin elementleri, midyeler, fitoplankton, zooplankton	Alg, bakteri, karbon, KOİ, diatoms, çözülmüş oksijen, metaller, besin elementleri, AKM	Alg, bakteri, bentik canlılar, chl-a, detritus, çözülmüş oksijen, epibentik fauna, baalıklar, demir, besin elementleri, organik madde, fitoplankton, zooplankton	Alg, chl-a, detritus, çözülmüş oksijen, besin elementleri, fitoplankton, zooplankton,	Alg, bakteri, çözülmüş oksijen, besin elementleri, organik madde, fitoplankton, zooplankton	Alg, CBOİ, chl-a, çözülmüş oksijen, besin elementleri, fitoplankton
Uygulama alanları	Körfez, göl, rezervuar, akarsu	Körfez, kıyı suları, göl, rezervuar, akarsu, sulak alan	Körfez, göl, akarsu	Körfez, kıyı suları, akarsu	Körfez, kıyı suları, göl, rezervuar, akarsu, sulak alan	Büyük sucul ekosistemleri, körfez, sığ deniz alanları, okyanus	Tüm sucul ekosistemler	Körfez, kıyı suları, okyanuslar, rezervuar, akarsu,	Tüm sucul ekosistemler
Avantajları	Esnek yapı, duyarlılık analizi olanağı, Makrofitlerin büyümesini, ölümünü ve parçalanma sürecini dikkate alır	Esnek yapı, zooplanktonların fitoplanktonlar ile beslenmesini dikkate alır	Bentik-sediment ilişkisini dikkate alır	Fiziksel, biyolojik ve kimyasal süreçleri çok detaylı ele alır, esnek yapı	Sedimenti dikkate alır	Pelajik ve bentik ekosistemleri bütünleştirir	Büyük alanlarda yüksek zamansal çözünürlükte çalışabilir	Esnek yapı, hetetrofik bakterileri simüle edebilir	Esnek yapı, modüler yapıda olması, sedimenti dikkate alır
Dezavantajları	İnorganik kirlenmeler dikkate alınmaz, metalleri ve organik maddeleri simüle edemez	Sediment oluşumunu, metalleri ve toksik maddeleri dikkate almaz	Bakterileri dikkate almaz	Mikrobiyal döngü ve kompleks fitoplankton kinetik yer almaz, çok sığ ekosistemler için uygulama zorluğu vardır	Zooplankton ve detritus dikkate alınmaz, uzmanlık gereksinimi yüksektir, alg üretim hızı değişken olmasına rağmen sabit alınır	Büyük ekosistemlere uygulanması güçtür	Beklenmeyen biyolojik olayları dikkate almaz, nitrifikasyon sürecini dikkate almaz, sedimentte dikkate aldığı prosesler geliştirilmelidir, zooplankton dışında diğer ikincil üreticileri dikkate almaz	Metaller ile besin elementlerinin biyojeokimyasal döngüsünü dikkate almaz	Makroalgleri ve perfitonları dikkate almaz, adveksiyon için ayrı bir hidrodinamik çözüm dosyası gereklidir, çok basitleştirilmiş bir sediment akı prosesi vardır

2. MATERYAL ve METOT

2.1 Çalışma Sahası

Yuvacık Baraj Gölü Marmara Bölgesinde Kocaeli İli sınırları içinde yer alan bir baraj gölüdür. Çalışma sahasının konumu Şekil 2.1’de verilmiştir. Yuvacık barajı 108.5 m temelden yüksekliğe sahip, 399 m kret uzunluğu ve 12 m kret genişliği olan kil çekirdekli kaya dolgu tipi bir barajdır. Barajın kret kotu 172.5 m, talveg kotu ise 70 m’dir. Kocaeli ili ve çevresine içme suyu sağlamak amacıyla inşa edilen barajın toplam beslenme alanı 257.86 km²’dir. Yuvacık baraj havzasında irili ufaklı çok sayıda dere bulunmaktadır. En büyük dereler Kirazdere, Serindere ve Kazanderedir. Serindere 120.33 km² lik beslenme alanı ile en büyük alt havzayı oluşturmakta, onu sırasıyla 79.54 km² ile Kirazdere, 23.10 km² ile Kazandere ve 34.69 km² ile ise ara havza takip etmektedir. Kirazdere, Serindere ve Kazanderede yıl boyunca sürekli su bulunmaktadır. Yuvacık Barajı ile ilgili bilgiler Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma Sahasının Konumu.

Çizelge 2.1. Yuvacık Barajına ait bilgiler

Baraj Rezervuar Bilgileri	Değer
Kret kotu (m)	172.5
Talveg kotu (m)	70
Talvegden yüksekliği (m)	102.5
Temelden yüksekliği (m)	108.5
Kret uzunluğu (m)	399
Kret genişliği (m)	12
Yuvacık Barajı toplam drenaj alanı (km ²)	257.86
Minimum su kotu (m)	112.50
Normal su kotu (m)	169.30
Maximum su kotu (m)	169.68
Minimum su kotunda baraj gölü yüzey alanı (m ²)	346,656
Normal su kotunda baraj gölü yüzey alanı (m ²)	1 723 886
Maksimum su kotunda baraj gölü yüzey alanı (m ²)	1 736 685
Minimum su kotunda baraj gölü faydalı hacmi (m ³)	0
Normal su kotunda baraj gölü faydalı hacim (m ³)	51 126 056
Maksimum su kotunda baraj gölü faydalı hacim (m ³)	51 795 142
Ölü hacim (m ³)	4 900 000
Yıllık regüle su (milyon m ³ /yıl)	142
Yıllık debi (milyon m ³ /yıl)	220.8
Regülasyon oranı (%)	64.3
Katastrofal feyazan piki (m ³ /s)	1593

2.2 Çalışmada Kullanılan Veri Setleri

Çalışmada kullanılan veriler Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Yuvacık Barajı için kullanılan verilere ait betimleyici istatistikler Çizelge 2.2’de verilmiştir. Kullanılan veri setinin tamamı ise Ek A’da sunulmuştur. Baraj Gölünde TP konsantrasyonu 0.014 mg/L ile 0.065 mg/L arasında değişirken TN konsantrasyonu 0.67 mg/L ile 1.450 mg/L arasında değişmektedir. Akarsularda fosfor konsantrasyonu 0.011 mg/L ile 0.092 mg/L arasında değişirken TN konsantrasyonu 0.1 mg/L ile 4.4 mg/L arasında değişmektedir.

Çizelge 2.2. Çalışmada kullanılan verilere ait betimleyici istatistikler

	İstatistiki Parametre	TP (mg/L)	TN (mg/L)	Debi (m³/sn)
Baraj Gölü	<i>N</i> *	48	48	-
	Min.	0.014	0.167	-
	Maks.	0.065	1.450	-
	Ortalama	0.033	0.753	-
	Std. Sapma	0.010	0.308	-
Kazandere	<i>N</i> *	48	48	48
	Min.	0.022	0.100	0.030
	Maks.	0.092	4.400	2.790
	Ortalama	0.050	0.865	0.523
	Std. Sapma	0.015	0.705	0.545
Kirazdere	<i>N</i> *	48	48	48
	Min.	0.017	0.100	0.160
	Maks.	0.086	3.000	5.560
	Ortalama	0.039	0.837	1.211
	Std. Sapma	0.012	0.704	1.171
Serindere	<i>N</i> *	48	48	48
	Min.	0.011	0.100	0.240
	Maks.	0.053	2.800	8.640
	Ortalama	0.030	0.841	2.125
	Std. Sapma	0.009	0.638	2.028

*N**: örnek sayısı

2.3 Trofik Seviyenin Belirlenmesi

Yuvacık Baraj Gölünün trofik seviyesi Trofik Seviye İndeksine (TSI) göre yapılmıştır. Carlson (1977) Trofik Seviye İndeksine (TSI) bağlı olarak bir trofik sınıflandırma yapmıştır. Carlson (1977) tarafından yapılan trofik sınıflandırma Çizelge 2.3'de verilmiştir. TSI aşağıda verilen matematiksel bağıntılar yardımıyla seki diski derinliği (metre), *Chl-a* (mg/m³) veya toplam fosfor (mg/m³) parametrelerinden biri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$\text{TSI (SD)} = 60 - 14.41 \ln (\text{SD})$$

$$\text{TSI (Chl-a)} = 9.81 \ln (\text{Chl-a}) + 30.6$$

$$\text{TSI (TP)} = 14.42 \ln (\text{TP}) + 4.15$$

Çizelge 2.3. TSI' ye bağlı trofik sınıflandırma

Trofik Seviye	TSI	Klorofil a (mg/m ³)	SD (m)	TP (mg/m ³)
Oligotrofik	<40	<2.6	<4	<12
Mezotrofik	40-50	2.6-7.3	4-2	12-24
Ötrofik	50-70	7.3-56	2-0.5	24-96
Hipertrofik	>80	>56	<0.25	>96

2.4 Vollenweider Tipi Modeller ile Baraj Göllerinde Besin Elementi Tahmini

Vollenweider'in önerdiği ampirik TP alıkonma modeli derin göllere ait trofik (besin seviyesinin) statünün boyutunu, değişim hızını ve eğilimini ve bu hususlara ait değişkenlikleri tanımlar. Göllerin TP yükünü değerlendiren Vollenweider modelleri çoğunlukla Avrupa ve Kuzey Amerika'daki büyük ve derin göllerin verilerine göre inşa edilmiştir. Vollenweider modelinin sığ göllere uygulanma zorluğunun ise bu göllerin jeomorfolojik yapı ve sedimentasyon özelliklerinden kaynaklandığı rapor edilmektedir. Vollenweider bütçe modeli ile; kararlı hal koşullarında besin maddesi konsantrasyonunun en genel hali aşağıda verilen denklem ile hesaplanmaktadır (Thomann ve Mueller, 1987):

$$TNu = \frac{W}{Q + k_s * V}$$

Burada;

W: Toplam Nütrient yükü (mg/yıl)

TNu: Toplam azot veya fosfor konsantrasyonu (µg/L)

Q: Çıkış su debisi (m³/yıl)

k_s: Çökelme hızı (yıl⁻¹)

V: Hacim (m³)

göstermektedir. Çökelme hızı k_s ise 10/H'ye eşittir ve H ortalama su derinliğini göstermektedir.

Vollenweider tipi bütçe modelleri ile noktasal ve yayılı kirletici kaynaklardan gelen yükler altında göllerde azot ve fosfor konsantrasyonlarının tahmini ile ilgili çalışmalar değişik göller için yapılmıştır. Çizelge 2.4' de hem toplam fosfor (TP) hem de toplam azot (TN) için

test edilen Vollenweider (girdi-çıkıtı) tipi modeller verilmiştir.

Çizelge 2.4. TP ve TN için test edilen Vollenweider tipi modeller

Model No	Model	Kaynak
M1	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 0.45t)$	Brett ve Benjamin, 2008
M2	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 1.06)$	Brett ve Benjamin, 2008
M3	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + (5.1/H)t)$	Brett ve Benjamin, 2008
M4	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 1.12 t^{0.53})$	Brett ve Benjamin, 2008
M5	$T_{Nutgöl} = (0.65 T_{Nutin}) / (1 + 0.17 t)$	Brett ve Benjamin, 2008
M6	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 3.0 t^{0.25} H^{0.58} T_{Nutin}^{0.53})$	Reckhow, 1988
M7	$T_{Nutgöl} = (0.32 T_{Nutin} t^{-0.18})$	Windolf, 1996
M8	$T_{Nutgöl} = (0.27 T_{Nutin} t^{-0.22} H^{-0.12})$	Windolf, 1996
M9*	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 2.0 t^{0.38} H^{0.29} T_{Nutin}^{1.14})$	Milstead vd., 2013
M10**	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin}) / (1 + 89.0 t^{0.40} H^{0.57} T_{Nutin}^{1.08})$	Milstead vd., 2013

*Sadece TN için; **Sadece TP için. $T_{Nutgöl}$ = gölde ölçülen TP veya TN konsantrasyonu (mg/L). T_{Nutin} = ortalama yıllık TP veya TN girdi konsantrasyonu (mg/L). H = ortalama derinlik (m). t = hidrolik bekleme süresi (yıl).

Çalışmada model performanslarının ortalama hatalarını/doğruluklarını tanımlamak için üç parametre; MAE (ortalama mutlak hata), RMSE (kök ortalama kare hatası), RRMSE (nispi kök ortalama kare hatası) ve regresyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. MAE, RMSE ve RRMSE değer aralıkları sıfır ile sonsuz arasında değişirken R^2 değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. MAE ile RMSE değerlerinin birimi yanıt/durum değişkeninin birimi ile aynı iken R^2 ve RRMSE değerlerinin birimi yoktur. Bu değerler ne kadar küçük ise (R^2 hariç) o kadar bu değerlerin iyi olduğunu; yani, ortalama model performans hatalarının o kadar küçük olduğunu gösterir. Ortalamalar hesaplanırken MAE değerleri, tahmin edilen ile ölçülen değerler arasındaki bireysel farklara/sapmalara eşit ağırlık verirken RMSE değerleri ise büyük hatalara daha fazla ağırlık verir. Diğer bir deyişle, büyük hataların özellikle arzu edilmediği durumlarda RMSE çok daha fazla yarayışlı olan bir ortalama hata parametresidir ve MAE ise doğrusal (daha doğal ve net) bir ortalama hata parametresidir. MAE ve RMSE tahmin hatalarındaki değişkenliği tespit etmek için birlikte kullanılır. RMSE değerleri her zaman MAE değerlerinden büyük veya MAE değerlerine eşit olur. RMSE ile MAE değerleri arasındaki fark ne kadar büyük olursa modelin bireysel tahmin hatalarındaki değişkenlik de o denli büyük olur. $RMSE = MAE$ değerlerinin eşitliği söz konusu ise, o zaman tüm bireysel tahmin hatalarının aynı büyüklükte olduğu anlamına gelmektedir. R^2 değerinin 1'e yaklaşması modelin tahmin gücünün iyi olduğunu göstermektedir. Söz konusu model performans katsayıları aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmaktadır (Benedini ve Tsakiris, 2013):

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^N |Q_i^{\text{mod}} - Q_i^{\text{obs}}|}{N}$$

$$\text{RMSE} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{\text{mod}} - Q_i^{\text{obs}})^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{RRMSE} = \frac{1}{\bar{Q}^{\text{obs}}} \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{\text{mod}} - Q_i^{\text{obs}})^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{\text{obs}} - \bar{Q}^{\text{obs}})(Q_i^{\text{mod}} - \bar{Q}^{\text{mod}})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (Q_i^{\text{obs}} - \bar{Q}^{\text{obs}})^2 \right]} \sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (Q_i^{\text{mod}} - \bar{Q}^{\text{mod}})^2 \right]}} \right]^2$$

Bu denklemlerde;

Q_i^{mod} : Tahmin sonucunu,

Q_i^{obs} : Ölçüm sonucunu,

\bar{Q}^{obs} : Ölçüm sonuçlarının ortalamasını

\bar{Q}^{mod} : Tahmin sonuçlarının ortalamasını

N: Örnek sayısını,

göstermektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Yuvacık Baraj Gölünün Trofik Seviyesi

Yuvacık Baraj Gölünün trofik seviyesindeki değişim TP parametresinden yararlanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.1’ de sunulmuştur. Yuvacık Baraj Gölünün ortalama TSI değerleri 48 ile 59 arasında değişmektedir. Buna göre Yuvacık Baraj Gölünün trofik seviyesinin genel olarak ötrofik olduğu söylenebilir. Baraj gölünün ortalama TSI değeri sadece Temmuz ayında 50’nin altına düşmektedir.

Çizelge 3.1. Yuvacık Baraj Gölünün trofik seviyesi

Aylar	TSI
Ocak	59±5
Şubat	56±3
Mart	55±3
Nisan	55±3
Mayıs	52±5
Haziran	50±6
Temmuz	48±5
Ağustos	50±5
Eylül	51±5
Ekim	56±4
Kasım	57±4
Aralık	56±3

3.2 Vollenweider Tipi Modellerin Performansları

Vollenweider tipi bütçe modelleri için elde edilen model performans katsayıları TN ve TP için Çizelge 3.2’de verilmiştir. TN için MAE, RMSE ve RRMSE parametreleri açısından en iyi sonucu M5 nolu model verirken R^2 açısından en iyi sonucu M9 nolu model vermiştir. TP için ise MAE, RMSE ve RRMSE parametreleri açısından en iyi sonucu M1 nolu model verirken R^2 açısından en iyi sonucu M6 nolu model vermiştir. TN için R^2 değeri % 20.02 ile % 29.70 arasında değişmektedir. TP için ise R^2 değeri % 11.20 ile %57.20 arasında değişmektedir. Model performansları değerlendirilirken uç değerler ayıklanmıştır. %95 güven aralığında kalan

ölçüm değerleri model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. TP için uç 2 değer TN için ise 3 değer ayıklanmıştır.

Çizelge 3.2. Yuvacık Baraj Gölü için TN ve TP modellerinin performans katsayıları

	Katsayı	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
TN	MAE	0.661	0.337	0.314	0.284	0.283	0.610	0.495	0.464	0.450
	RMSE	4.583	2.332	2.179	1.970	1.964	4.225	3.426	3.216	3.114
	RRMSE	6.086	3.098	2.893	2.616	2.608	5.611	4.550	4.272	4.136
	R^2	0.249	0.237	0.241	0.249	0.240	0.232	0.210	0.202	0.297
TP	MAE	0.006	0.014	0.006	0.008	0.010	0.020	0.022	0.021	0.026
	RMSE	0.039	0.096	0.044	0.054	0.066	0.138	0.154	0.144	0.182
	RRMSE	1.253	2.904	1.321	1.647	1.995	4.167	4.666	4.373	5.521
	R^2	0.436	0.371	0.388	0.481	0.399	0.572	0.184	0.112	0.358

3.3 Yuvacık Baraj Gölü İçin Vollenweider Tipi Modellerin İyileştirilmesi ve Geliştirilmesi

Çalışmanın bu aşamasında iki yol izlenmiştir: (1) Çizelge 2.4’de verilen modellerin katsayıları R^2 maksimum olacak şekilde çalışma sahası için yeniden oluşturulmuştur. Bu amaçla Excel yazılımının Çözücü eklentisi kullanılmıştır. (2) Veri setleri kullanılarak azot ve fosfor için ayrı ayrı model geliştirilmiştir.

Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’de yukarıda belirtilen birinci yol ile oluşturulan modeller ve elde edilen model performans katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.3. TN ve TP için yeniden hesaplanmış model katsayıları

Model No	Güncellenmiş Modeller (TN için)	Güncellenmiş Modeller (TP için)
M1	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+0.57t)$	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+2.69t)$
M2	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+1.06)$	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+1.06)$
M3	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+(576.32/H)t)$	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+(57.39/H)t)$
M4	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+8.75*10^9 t^{20.50})$	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+21.43 t^{2.94})$
M5	$T_{Nutgöl} = (0.65 T_{Nutin})/(1+2.56 t)$	$T_{Nutgöl} = (0.65 T_{Nutin})/(1+2.69 t)$
M6*	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+3.0 t^{0.75} H^0 T_{Nutin}^{1.59})$	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+3.0 t^{0.19} H^{0.64} T_{Nutin}^{0.75})$
M7	$T_{Nutgöl} = (0.30 T_{Nutin} t^0)$	$T_{Nutgöl} = (0.32 T_{Nutin} t^0)$
M8	$T_{Nutgöl} = (0.31 T_{Nutin} t^0 H^{-0.51})$	$T_{Nutgöl} = (0.32 T_{Nutin} t^{-0.22} H^{-0.12})$
M9*	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+3.0 t^{0.75} H^0 T_{Nutin}^{1.59})$	$T_{Nutgöl} = (T_{Nutin})/(1+3.0 t^{0.19} H^{0.64} T_{Nutin}^{0.75})$

*M6 ve M9 denklemleri aynı formda olduğu için aynı sonucu vermiştir.

Çizelge 3.4. TN ve TP için yeniden belirlenmiş model katsayıları hesaplanmış olan model performans katsayıları

	Katsayı	M1	M2	M3	M4	M5	M6*	M7	M8	M9*
TN	MAE	0.3060	0.3513	0.5256	0.3498	0.3872	0.2864	0.4645	0.6785	0.2864
	RMSE	2.0754	2.3826	3.5649	2.3724	2.6261	1.9427	3.1504	4.6015	1.9427
	RRMSE	2.9272	3.3605	5.0280	3.3461	3.7040	2.7401	4.4435	6.4902	2.7401
	R^2	0.2521	0.2372	0.2807	0.2577	0.2521	0.3496	0.2372	0.2452	0.3496
TP	MAE	0.0088	0.0144	0.0078	0.0065	0.0163	0.0176	0.0202	0.0206	0.0176
	RMSE	0.0599	0.0979	0.0529	0.0442	0.1104	0.1191	0.1372	0.1396	0.1191
	RRMSE	1.9311	3.1580	1.7069	1.4260	3.5626	3.8423	4.4258	4.5018	3.8423
	R^2	0.5194	0.3706	0.4469	0.5497	0.5194	0.5779	0.3706	0.3706	0.5779

*M6 ve M9 denklemleri aynı formda olduğu için aynı sonucu vermiştir.

Çizelge 3.4'den de görüldüğü üzere yeniden belirlenmiş model katsayıları ile R^2 değerleri hem TN hem de TP için artmıştır. TN için en iyi sonucu R^2 açısından en iyi sonucu M6 ve M9 nolu model verirken TP için R^2 açısından en iyi sonucu yine M6 nolu model vermiştir. TN için R^2 değeri % 23.72 ile %34.96 arasında değişmektedir. TP için ise R^2 değeri %37.06 ile %57.79 arasında değişmektedir.

Hali hazırdaki veri setleri kullanılarak TN ve TP için ayrıca geliştirilen modellere ilişkin bilgiler Çizelge 3.5'de verilmiştir. TN ve TP için geliştirilen modellerin korelasyon katsayısı

(R^2) sırasıyla % 37.80 ve % 67.78 olmaktadır. Düzeltilmiş belirleme katsayısı (R^2_{adj}) TN için % 35.04 ve TP için ise % 65.48 olarak hesaplanmıştır. Modellerin tahmin gücünü gösteren çapraz validasyon belirleme katsayısı (R^2_{pred}) ise TN için % 31.47 ve TP için ise % 60.71 olmuştur.

Çizelge 3.5. TP ve TN için geliştirilen en uyumlu doğrusal model

	Açıklayıcı Değişken	Katsayı	SE	T-value	p	VIF	N
TN	Sabit	0.4596	0.0666	6.90	<0.05		48
	TN _{giriş} *H	0.01744	0.00402	4.34	<0.05	3.45	
	TN _{giriş} ² *H*t	-0.0222	0.0106	-2.90	<0.05	345	
TP	Sabit	0.02752	0.00419	6.57	<0.05		48
	TP _{giriş}	0.3506	0.0937	3.74	<0.05	1.32	
	H ³ *t	-0.000002	0.0	-4.36	<0.05	7.15	
	TP _{giriş} *t ⁴	24.6	10.9	2.26	<0.05	6.82	

VIF: varyasyon enflasyon faktörü; SE: standart hata, p: önem düzeyi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal ve yapay göllerde besin elementleri nedeniyle trofik seviyenin artması en önemli sorunlardan biridir. Doğal ve yapay göllerin sunduğu ekosistem hizmetlerinin devamı için etkili kirlenme kontrol stratejileri hayata geçirilmelidir. Doğal ve yapay göllerin besin elementleri açısından özümleme kapasitelerini tespit ederek kirlenme kontrol stratejileri geliştirmek amacıyla su kalite modelleri bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında literatürde yer alan Vollenweider tipi modellerin besin elementlerini tahmin etme gücü Yuvacık Baraj Gölü özelinde test edilmiştir.

Vollenweider tipi basit modeller, göl ve barajlarda özümleme kapasitesi ile besin elementi konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu tip modeller süreç temelli modeller ile karşılaştırıldığında daha az veriye, zamana ve uzmanlığa ihtiyaç duymakta ve hızlı bir ön görüş yapmaya olanak tanımaktadır. Bütçe kısıtlamaları nedeniyle kirlenme kontrol stratejileri geliştirilirken bu tip modeller tercih edilmektedir. Bu tip modeller özellikle TP konsantrasyonunun tahmini için güvenilir sonuçlar üretebilmektedir. Bu çalışmada Yuvacık Baraj Gölü için elde edilen sonuçlar, hem literatürde yer alan Vollenweider tipi modeller hem de bu çalışmada geliştirilen modeller ile TP'yi tahmin etme gücünün TN'yi tahmin etme gücünden daha iyi olduğunu göstermektedir. Bu durum; toplam fosforun değişimini etkileyen önemli değişkenlerin fiziksel değişkenler (bekleme süresi ve su derinliği) olduğunu göstermektedir. Buna karşın toplam azotun değişiminde fiziksel süreçlerle birlikte diğer biyolojik süreçlerin de önemli rol üstlendiğine işaret etmektedir.

Bilindiği gibi su kalite değişkenleri zamansal ve mekânsal değişim göstermektedir. Bu değişimin dinamiğini anlamak su kaynaklarını yönetmek için oldukça önemlidir. Süreç temelli ve üç boyutlu su kalite modelleri ile su kalitesindeki zamansal ve mekânsal değişimi ele alabilmek mümkündür. Bununla birlikte Vollenweider tipi modeller ile göl veya baraj göllerinde kirlenme konsantrasyonlarının mekânsal değişimini ele almak mümkün değildir. Bu tip modeller ile tüm su kütlesi için tek bir ortalama değer üretilmektedir. Yine bu tip modeller ile sadece TP ve TN konsantrasyonları tahmin edilebilmektedir. Bu nedenle mekânsal değişim ile TP ve TN'yi oluşturan diğer besin elementlerinin dinamiğinin önemli olduğu çalışma sahalarında Vollenweider tipi modeller dışında modellerin kullanılması gereklidir.

Bu çalışmada sadece bir baraj gölü ele alınmıştır. Çalışma çok sayıda baraj gölünde elde edilen veriler ile genişletildiğinde Türkiye’de bulunan baraj göllerinde besin elementlerinin (TP ve TN) tahmini için kullanılabilir Vollenweider tipi model geliştirilebilir. Bu amaçla baraj göllerinde ve baraj göllerini besleyen akarsuların mansabında TN ve TP konsantrasyonlarının izlenmesine, baraj göllerini besleyen akarsularda debinin izlenmesine, baraj gölü seviyesinde ve hacminde meydana gelen değişimin izlenmesine ihtiyaç vardır.



5. KAYNAKLAR

- Anagnostou E, Areti Gianni A, Zacharia I, (2017) “Ecological modeling and eutrophication-A review”, *Natural Resources Modeling*, e12130, <https://doi.org/10.1111/nrm.12130>.
- Bellos D, Sawidis T, Tsekos I, (2004) “Nutrient Chemistry of River Pinios (Thessalia, Greece), *Environment International*”, 30, 105-15, DOI: 10.1016/S0160-4120(03)00153-3.
- Benedini M ve Tsakiris G, (2013) “Water Quality Modelling for Rivers and Streams”, Springer, NewYork.
- Brett MT ve Benjamin MM, (2008) “A review and reassessment of lake phosphorus retention and the nutrient loading concept”, *Freshwater Biology* 53: 194-211.
- Brönmark C. ve Hansson LA, (1998) “The Biology Lakes and Ponds”, Oxford University Press, UK.
- Carlson RE, (1977) “A trophic state index for lakes”, *Limnology and Oceanography*, 22:361-369.
- Cerco C, ve Cole T, (1993) “Three-dimensional Eutrophication Model of Chesapeake Bay”, *Journal of Environmental Engineering*, 119(6), 1006-10025.
- Cerco C, Tillman D, Hagy J, (2009) “Coupling and comparing a spatially- and temporally-detailed eutrophication model with an ecosystem network model: An initial application to Chesapeake Bay”, *Environmental Modelling and Software*, 25, 562–572.
- Chen CH, Lung WS, Li SW, Lin CF, (2012) “Technical challenges with BOD/DO modelling of rivers in Taiwan”, *Journal of Hydro-Environment Research*, 6, 3–8.
- DHI, (2014) “ECOLAB, Short Scientific Description”.
- Gürel M, Tanik A, Russo RC, Gönenç İE, (2005) “Biogeochemical Cycles, In: Coastal Lagoon Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development”, Chapter 4, Editors: Gönenç I.E. and Wolflin, J.P., CRC Press.
- Horne AJ ve Goldman CR, (1994) “Limnology”, Second Edition, McGraw-Hill Inc., NewYork.
- Kiarinad E, Bedoya D, Ghosh I, McGarvey K, Novotny V, (2006) “Review of watershed ecological models”, Center for Urban Environmental Studies Publications, Northeastern University, USA.
- Lessin G, Raudsepp U, (2007) “Modelling the spatial distribution of phytoplankton and inorganic nitrogen in Narva Bay, southeastern Gulf of Finland, in the biologically active period ecological modelling”, *Ecological Modelling*, 201,348–358.

- Liungman O, Arancibia PM, (2010) “Developing a 3D coupled hydrodynamic and an ecological model to be used in coastal management”, DHI, Denmark.
- Milstead WB, Hollister JW, Moore RB, Walker HA, (2013) “Estimating Summer Nutrient Concentrations in Northeastern Lakes from SPARROW Load Predictions and Modeled Lake Depth and Volume”, PLoS ONE 8(11): e81457.
- Park R, Clough J, Coombs WM, (2008) “AQUATOX: Modelling environmental fate and ecological effects in aquatic ecosystem”, *Ecological Modelling*, 213, 1–15.
- Reckhow KH, (1988) “Empirical models for trophic state in Southeastern U.S. lakes and reservoirs”, *Journal of the American Water Resources Association*, 24, 723-734. doi:10.1111/j.1752-1688.1988.tb00923.x.
- Rashleigh B, (2003) “Application of AQUATOX, a process- based model for ecological assessment, to Contentnea Creek in North Carolina”. *Journal of Freshwater Ecology*, 18, 515–522.
- Robson BJ, Hamilton DP, Webster IT, Chan T, (2008) “Ten steps applied to development and evaluation of process-based biogeochemical models of estuaries”. *Environmental Modelling & Software*, 23, 369–384.
- Thomann RT ve Mueller JA, (1987) “Principles of Surface Water Quality Modeling and Control”, Harper Collins Publishers, New York.
- Trolle D, Jørgensen T, Jeppesen E, (2008) “Predicting the effects of reduced external nitrogen loading on the nitrogen dynamics and ecological state of deep Lake Ravn, Denmark, using the DYRESM-CAEDYM model”, *Limnologica*, 38, 220–232.
- Umgiesser G, Canu DM, Solidoro C, Ambrose R, (2002) “A finite element ecological model: A first application to the Venice Lagoon”, *Environmental Modelling & Software*, 18, 131–145.
- Vollenweider RA, (1968) “Scientific Fundamentals of Eutrophication of Lakes and Flowing Waters”, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication Tech. Rep. DAS/CSI/68.27. OECD, Paris, pp. 154.
- Wassmann P. ve Olli K. (eds.), (2004) “Drainage basin nutrient inputs and eutrophication: an integrated approach”, University of Tromsø, Norway. 325 pp. ISBN 82-91086-36-2.
- Wetzel RG, (2001) “Limnology: Lake and River Ecosystems”, Academic Press, An Elsevier Science Imprint, USA, Third Edition.
- Windolf J, Jeppesen E, Jensen JP, Kristensen P, (1996) “Modelling of seasonal variation in nitrogen retention and in-lake concentration: A four-year mass balance study in 16 shallow Danish lakes”, *Biogeochemistry*, 33, 25-44.
- Wool T, Ambrose R, Martin J, Comer E, (2001) “Water quality analysis simulation program (WASP) User’s manual”, US EPA, USA.

Zhao L, Li Y, Zou R, He B, Zhu X, Liu Y, Zhu Y, (2013) “A three-dimensional water quality modelling approach for exploring the eutrophication responses to load reduction scenarios in Lake Yilong (China)”, *Environmental Pollution*, 177, 13–21.

<http://www.mohid.com>; Eriřim tarihi:20.04.2018.

<http://www.cee.pdx.edu/w2/>; Eriřim tarihi:20.04.2018.





EKLER

6. EKLER

EK A: Çalışmada kullanılan veriler

Çizelge A.1. Çalışmada kullanılan veriler.

Yıllar	Aylar	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Derinlik (m)	Bekleme Süresi (Yıl)
2010	Ocak	-	-	-	-
	Şubat	1.088	0.031	30.672	0.066
	Mart	1.150	0.027	30.329	0.127
	Nisan	0.967	0.028	32.468	0.207
	Mayıs	0.963	0.018	33.381	0.389
	Haziran	0.469	0.014	33.070	0.376
	Temmuz	0.670	0.016	33.115	0.369
	Ağustos	0.888	0.017	31.498	0.283
	Eylül	0.838	0.021	28.870	0.246
	Ekim	-	-	-	-
	Kasım	1.011	0.054	30.183	0.288
	Aralık	0.989	0.040	29.748	0.111
2011	Ocak	0.717	0.038	30.385	0.123
	Şubat	1.050	0.028	30.262	0.121
	Mart	0.900	0.039	30.351	0.078
	Nisan	0.869	0.027	32.389	0.153
	Mayıs	1.175	0.027	33.374	0.265
	Haziran	0.475	0.021	33.515	0.380
	Temmuz	0.650	0.015	32.884	0.328
	Ağustos	0.300	0.018	31.083	0.299
	Eylül	0.675	0.018	28.996	0.222
	Ekim	0.833	0.027	26.597	0.189
	Kasım	0.567	0.028	24.807	0.241
	Aralık	0.467	0.030	22.155	0.128
2012	Ocak	0.675	0.065	23.088	0.147
	Şubat	0.700	0.039	29.618	0.160
	Mart	0.450	0.034	30.277	0.082
	Nisan	1.450	0.043	30.500	0.062
	Mayıs	1.425	0.028	32.915	0.267
	Haziran	0.500	0.032	33.340	0.347
	Temmuz	0.550	0.028	32.653	0.308
	Ağustos	0.700	0.032	30.528	0.258
	Eylül	0.450	0.037	27.842	0.197
	Ekim	0.575	0.039	24.509	0.148
	Kasım	0.300	0.039	20.277	0.131
	Aralık	0.167	0.032	18.602	0.075

Çizelge A.1. (Devam)

Yıllar	Aylar	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Derinlik (m)	Bekleme Süresi (Yıl)
2013	Ocak	-	-	-	-
	Şubat	0.550	0.043	26.112	0.208
	Mart	0.750	0.032	28.613	0.264
	Nisan	0.875	0.039	30.635	0.319
	Mayıs	0.725	0.041	32.156	0.335
	Haziran	0.875	0.034	31.465	0.291
	Temmuz	0.425	0.031	29.532	0.291
	Ağustos	1.375	0.031	27.443	0.249
	Eylül	0.650	0.033	24.929	0.228
	Ekim	0.425	0.044	22.489	0.155
	Kasım	0.600	0.043	22.472	0.120
	Aralık	1.100	0.044	18.853	0.080
2014	Ocak	1.267	0.034	16.063	0.074
	Şubat	0.533	0.042	16.470	0.093
	Mart	0.333	0.045	16.754	0.137

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : ROJDA DUYGU ÖGEL

Doğum Yeri ve Tarihi : BALIKESİR – 01.01.1993

Lisans Üniversite : Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : rojda.ogel@hotmail.com

İletişim Adresi : İçerenköy Mah. Yurt Sk. Ay Apt. No:23 Kat:5 Daire:13
Ataşehir /İstanbul