T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜLOĞLU BARAJ GÖLÜ'NDE (EDİRNE) MİKROSİSTİN VARLIĞININ ARAŞTIRILMASI

Salih Murat ARAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. BELGİN ELİPEK

EDİRNE – 2014

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof.Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof.Dr. Yılmaz ÇAMLITEPE
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Belgin ELİPEK
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Biyoloji Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Doç. Dr. Belgin ELİPEK

Doç. Dr. Reyhan AKÇAALAN ALBAY

Doç. Dr. Hüseyin GÜHER

12/06/2014

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

12/06/2014
Salih Murat ARAT

Yüksek Lisans Tezi
Süloğlu Baraj Gölü'nde (Edirne) Mikrosistin Varlığının Araştırılması
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

ÖZET

Edirne ili Süloğlu ilçesinde bulunan ve sulama/taşkın korumanın yanı sıra içme/kullanma suyu temininde de yararlanılan Süloğlu Baraj Gölü'nde gerçekleştirilen bu çalışmada, bazı siyanobakteriler tarafından üretilen mikrosistinin (hepatotoksin) Süloğlu Baraj Gölü'ndeki varlığı belirlenmeye çalışıldı.

Bu amaç doğrultusunda, Aralık 2012 – Ekim 2013 tarihleri arasında, gölün belirli derinliklerden (yüzey, 1 m, 3 m, 5 m, 9 m ve 20 m) aylık periyotlarla vertikal olarak alınan su örneklerinde mikrosistin analizi yapılırken, suyun bazı fizikokimyasal özellikleri (sıcaklık, ışık geçirgenliği, pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, askıda katı madde, NO_3-N, o-PO_4^{-3}) ve klorofil-*a* miktarları da tespit edilmeye çalışıldı.

Çalışmada, sadece Ağustos ve Eylül aylarında yapılan örneklemelerde düşük konsantrasyonlarda (0.2-0.3 µg/L) Mikrosistin-LR varlığı tespit edilirken, buna sebep olan siyanobakterilerin *Microcystis* spp. türlerine ait olduğu belirlendi. Sonuç olarak, Süloğlu Baraj Gölü'nde tespit edilen mikrosistin miktarının, suyun kullanım alanlarını sınırlayacak düzeyde olmadığı gözlendi.

Yıl : 2014

Sayfa Sayısı : 50

Anahtar Kelimeler : Mikrosistin, *Microcystis* spp., Süloğlu Baraj Gölü, Çevresel koşullar

Master's Thesis

The Investigation of the Presence of Microcystin in Suloglu Dam Lake (Edirne)

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Biology

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the presence of microcystin (hepatotoxin) which is produced by some cyanobacteria in Suloglu Dam Lake which is located in Suloglu district of Edirne Province. The lake is used for irrigation/preventing flood and as a drinking/using water supply.

For this aim, microcystin analyses was done at the water samples from some depths (surface, 1 m, 3 m, 5 m, 9 m and 20 m) between December 2012 and October 2013 at monthly intervals. Also, some physicochemical properties (temperature, light permeability, pH, conductivity, dissolved oxygen, solid suspended material, NO_3-N, o-PO_4^{-3}) and Chlorophyll-*a* were determined.

Microcystin-LR was found at low levels (0.2 and 0.3 μg/L) in August and September periods and *Microcystis* spp. were detected as a main producer of this toxin in the lake. As a result, the microsystin levels in Suloglu Dam Lake does not limit the usage of the lake waters.

Year : 2014

Number of Pages :50

Keywords :Microcystin, *Microcystis* spp., Suloglu Dam Lake, enviromental conditions

TEŞEKKÜR

Gerek lisans, gerekse lisansüstü eğitimim boyunca yanımda olarak, destek ve yardımlarını esirgemeyen, değerli tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Belgin Elipek'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında Biyoloji Bölümü'nün tüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan Biyoloji Bölüm Başkanlığı başta olmak üzere, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, Biyoloji Bölümü'nün ve Hidrobiyoloji Anabilim Dalı'nın tüm değerli öğretim elemanlarına; laboratuar ve literatür desteklerinin yanı sıra bilgi ve tecrübelerini paylaşan çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Reyhan AKÇAALAN ALBAY (İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi) ve ekibine, her zaman desteklerini hissettiğim ve laboratuar imkanlarından yararlanmamı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Meriç ALBAY'a (İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi) teşekkürü bir borç bilirim.

Ve ayrıca,

Lisans ve lisansüstü öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca değerli bilgilerinden ve deneyimlerinden yararlandığım değerli hocam Sayın Arş.Gör.Dr. Burak ÖTERLER'e; arazi ve laboratuar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım doktora öğrencisi Pınar ALTINOLUK'a çok teşekkür ederim.

Yaşamımın her alanında olduğu gibi, eğitim hayatım boyunca da yanımda ve destekçim olan, maddi ve manevi destekleriyle beni mutlu eden annem Hacer ARAT, babam Soner ARAT, ablam Fulay ARAT ŞALK ve eniştem Bahadır ŞALK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……..…….. i
ABSTRACT…….. ii
TEŞEKKÜR……. iii
İÇİNDEKİLER…… . v
SİMGELER ve KISALTMALAR…….…… . vi
ŞEKİLLER DİZİNİ……..… . viii
TABLOLAR DİZİNİ…….…... x
1. GİRİŞ……...…… 1
2. GENEL BİLGİLER…… 5
3. MATERYAL ve METOD……..……... 12
3.1. Çalışma Yerinin Tanımı…….. 12
3.2. Arazi Çalışmaları……..…….. 12
3.3. Laboratuvar Çalışmaları……..……... 15
4. BULGULAR…… 17
4.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Bazı Çevresel Faktörlere Ait Bulgular ……..... 18
4.2. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Klorofil-*a* Miktarlarına Ait Bulgular ...……..... 26
4.3. Süloğlu Baraj Gölü'nde Mikrosistin Varlığına ve Siyanobakterilere Ait Bulgular..... 28
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....…….. 33
6. KAYNAKLAR …….. 42
ÖZGEÇMİŞ ……..…. 50

SİMGELER ve KISALTMALAR

AKM : Askıda Katı Madde

ALA : Analiz Limitlerinin Altında

Chl_a : Klorofil-*a*

cm : Santimetre

^oC : Santigrad Derece

Ç.O. : Çözünmüş Oksijen

DSİ : Devlet Su İşleri

ELISA : Enzyme-linked Immunosorbent Assay

gr : Gram

hm^3 : Hektometreküp

HPLC-PDA : High–Performance Liquid Chromatography with Photodiode Array Detection

km : Kilometre

km^2 : Kilometrekare

kg : Kilogram

L : Litre

m : Metre

mg : Miligram

mL : Mililitre

MC-RR : Mikrosistin-RR

MC-LR : Mikrosistin-LR

MC-LA : Mikrosistin-LA

MC-LY : Mikrosistin-LY

MC-LW : Mikrosistin-LW

MC-LF : Mikrosistin-LF

MC-YR : Mikrosistin-YF

NO_3-N : Nitrat Azotu

o-PO_4^{-3} : Ortofosfat

PCR : Polymerase Chain Reaction

PP : Protein Phosphatase

PPIA : Protein Phosphatase Inhibition Assay

SSCP : Single-stranded conformational polymorphism

µS : Mikrosimens

µm : Mikrometre

µg : Mikrogram

WHO : Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ **Sayfa**

Şekil 2.1. Mikrosistinin Genel Formülü 7

Şekil 3.2.1. Süloğlu Baraj Gölü ve Örnekleme Alanı 13

Şekil 3.2.2. Süloğlu Baraj Gölü'nden Bir Görüntü..... 14

Şekil 4.1.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Hava ve Yüzey Suyu Sıcaklıkları ……. 18

Şekil 4.1.2. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Su Sıcaklıklarının (^{o}C) Vertikal Değişimi 19

Şekil 4.1.3. Süloğlu Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen pH Değerlerinin Vertikal Değişimi 20

Şekil 4.1.4. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Elektrik İletkenliği Değerlerinin (µS/cm) Vertikal Değişimi 21

Şekil 4.1.5. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Çözünmüş Oksijen Miktarlarının (mg/L) Vertikal Değişimi 22

Şekil 4.1.6. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Askıda Katı Madde Miktarlarının (mg/L) Vertikal Değişimi 23

Şekil 4.1.7. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Işık Geçirgenliği (Secchi disk derinliği) Değerleri (cm) 24

Şekil 4.1.8. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen o-PO_4^{-3} Miktarlarının (mg/L) Mevsimsel Değişimi ……..... 25

Şekil 4.1.9. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen NO_3-N Miktarlarının (mg/L) Mevsimsel Değişimi 25

Şekil 4.2.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Klorofil-*a* Miktarlarının (μg/L) Vertikal Değişimi 27

Şekil 4.3.1. *Microcystis aeruginosa* Kolonilerinin Mikroskop Görüntüsü 29

Şekil 4.3.2. Süloğlu Baraj Gölü'nde *Microcystis* spp. Kolonilerine Ait Kitlesel Görüntü 29

Şekil 4.3.3. Süloğlu Baraj Gölü'nde *Microcystis* spp.'e Ait Koloni Sayılarının Vertikal Dağılımı 30

Şekil 4.3.4. Süloğlu Baraj Gölü'nde *Microcystis* spp.'e Ait Hücre Sayılarının Vertikal Dağılımı 31

Şekil 5.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Su Sıcaklıklarının Mevsimsel ve Vertikal Değişimi 38

Şekil 5.2. Süloğlu Baraj Gölü'nde Yüzey Suyunda Ölçülen Çözünmüş Oksijen ve Su Sıcaklıklarının Karşılaştırılması 39

TABLOLAR DİZİNİ **Sayfa**

Tablo 4.2.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Klorofil-*a* Miktarlarının Aylık ve Vertikal Değerleri (μg/L)…..... 26

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sucul ortamlar, canlıların barındıkları, beslendikleri, neslin devamı için üreme, yumurtlama, kuluçkalanma faaliyetlerini gerçekleştirdikleri ve hücrelerin metabolik aktiviteleri için gerekli olan çözünmüş gazların sağlandığı en temel ortamlardandır [1]. Kullanılabilir su kaynaklarına olan ihtiyacın her geçen gün artması nedeniyle, sucul ekosistemlerin su kalitelerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar daha da önem kazanmıştır.

Sucul ekosistemin içindeki yaşamı anlayabilmek için organizmayla birlikte, organizmayı etkileyebilecek dış etmenlerin de tespit edilmesi ve böylece sucul ekosistemdeki diğer abiyotik ve biyotik faktörlerin de bilinmesi daha güvenilir sonuçlar verecektir. Çünkü canlılar, değişen çevre koşullarına farklı şekilde cevap verirler [1, 2, 3].

Tatlısu ekosistemleri, diğer habitatlar ile karşılaştırıldığında, yeryüzünde çok daha az bir alan kaplamalarına rağmen, özellikle insanoğlunun yaşamında son derece önemli bir konumdadır [4, 5].

Eski çağlardan bu yana insanoğlu, suyun kontrolü ile ilgili yöntemler geliştirmeye yönelmişler ve bu çalışmalar sonucunda su kaynaklarını istenilen zamanda ve istenilen şekilde kullanabilmek için suyu barajlarda biriktirme yolunu seçmişlerdir [6, 7]. Bu baraj göllerinde değişen çevresel faktörler ve sulama faaliyetleri sonucunda, sucul ekosistemde yaşayan canlılarda bir takım değişiklikler meydana gelebilir [1, 2, 3]. Tüm bu değişimlerden etkilenen canlıların tepkisi ise, ya ekosistemden yok olma ya da populasyonun aşırı çoğalması şeklinde olacaktır [6, 8]. Bu nedenle sucul ekosistemlerin bilimsel çalışmalarla takip edilmesi ve gerek fiziksel ve kimyasal, gerekse biyolojik özelliklerinin kayıt altına alınması önemlidir.

Suyun kirliliği, içerdiği fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerin olumsuz yönde değişmesiyle bu faktörlerin oranlarının eşik değerleri aşması sonucu ekolojik dengenin bozulması veya suyun kullanılabilir niteliğinin değişmesi şeklinde karşımıza çıkar [4]. Dolasıyla, mevcut su kaynağından ne şekilde yararlanılabileceğinin belirlenebilmesi için, tüm bu biyotik-abiyotik faktörlerin ve bunların değişim takibinin iyi yapılması gerekir. Yeryüzünde insan nüfusunun giderek artmasıyla beraber tüketilebilir su miktarına olan talebin artmasının yanı sıra, mevcut su kaynaklarının hızla kirlenmesiyle, kullanılabilir nitelikte suya olan talep de artmıştır [4]. Oysa insan fizyolojisinin düzgün işleyebilmesi için günlük tüketmesi gereken su miktarı istirahat halinde bile 27gr/kg iken, pek çok durumlarda bu miktar yükselebilmektedir [9].

Algler, sucul ortamlarda çok geniş bir yayılım alanına sahip olmaları sebebiyle, bu ortamların en önemli oksijen kaynağıdırlar ve su ekosistemindeki bentik omurgasızlardan balıklara kadar tüm canlıların oksijen ve besin ihtiyaçlarını karşılarlar [10]. Ancak, sucul ekosistemlere besin tuzlarının deşarjıyla birlikte alglerin aşırı derecede artması söz konusu olacaktır [2]. Bu aşırı alg çoğalması, sucul ekosistemlerde bulanıklığının artmasına ve su bitkilerinin işlevlerinin baskılanarak oksijen üretimlerinin azalmasına ve omurgasız canlılar ile beraber balık habitatlarının da yavaş yavaş yok olmasına yol açar [11]. Bu aşırı alg artışıyla beraber göllerde ötrofikasyon ve neticesinde su kalitesinin bozulması söz konusudur [2]. Göllerde fitoplankton artışıyla beraber ötrofikasyona sebep olan en önemli faktör azot ve fosfor olmakla birlikte, azotun 0.3 mg/L, fosforun 0.02 mg/L'yi aşmadığı durumlarda aşırı alg artışlarının söz konusu olmadığı da bildirilir [12]. Sucul ortamlarda bazı alg türlerinin aşırı artış göstermesi, uygun şartlarda toksik maddeler üretebilmelerine de yol açabilir [13]. Bu da gerek sucul ortamdaki canlıların yaşamı için, gerekse o su kaynağından yararlanan insanlar için büyük bir tehdit oluşturur [13]. Çünkü besin zinciri yoluyla basamağın üst sıralarındaki canlılara dek ulaşacaktır.

Siyanobakteriler, prokaryotik canlılar olup, tek veya çok hücreli olabilmelerinin dışında, koloniyel yapı da göstermektedirler [5]. Yapılarındaki fotosentetik pigmentler nedeniyle mavi-yeşil algler olarak da adlandırılan bu grubun üyelerine Antartika'daki donmuş su habitatlarından sıcak su kaynaklarına kadar büyük bir yayılış alanında rastlanır [14]. Siyanobakteriler, denizel, acı su ve tatlı su kaynaklarında (özellikle göller ve içme su kaynakları gibi) sucul ortamlarda gelişebilirler [15]. Özellikle ötrofik

göllerde ve içme su kaynaklarında siyanobakterilerin büyük kütlelere ulaşması söz konusudur [16]. Tatlı sulardan tuzlu sulara kadar birçok ortamda yaşamlarını sürdürebilen bu canlıların şimdiye dek yaklaşık 150 cins ve 2000 türü tanımlanmış olup, bunlardan 40'tan fazla türün toksik madde üretme yeteneğinde olduğu bildirilmiştir [17, 18]. Toksik madde üretebilen siyanobakteri türlerinin de geniş bir ekolojik dağılım alanına sahip olduğu, donmuş su kaynaklarında yaşayan *Planktothrix*'ten tropikal su kaynaklarında gelişen *Microcystis*, *Cylindrospermopsis'e* kadar pek çok cins içerir [19, 20].

Ayrıca, su sütununda farklı derinliklerde vertikal dağılım gösterebilen türler içermelerinin yanı sıra, sadece yüzeyde gelişim gösteren türler de içeren bu alglerin dağılımlarında pek çok çevresel faktör (besin maddeleri, su sıcaklığı, hava sıcaklığı, ışık, iklimsel durum gibi) etkili olabilmektedir [21, 22, 23]. Bazı siyanobakteriler ise, metabolizmalarındaki doğal aktivite sonucu sekonder metabolit olarak siyanotoksin üretme yeteneğine de sahiptirler [19]. Sularda siyanobakterilerin üretmiş olduğu mikrosistinlerle ilgili çalışmalar giderek daha fazla önem kazanmış ve ayrıca, Türkiye'de konuyla ilgili çalışmalar da son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır [22, 23, 24, 26, 17, 18, 27, 28]. Baraj gölleri, farklı amaçlar için inşa edilen yapay göller olarak tanımlanmakta olup, gerek yüksek akış hızları, gerekse giriş suyundaki askıda katı madde varlığı ve kısa süreli su değişimi gibi özellikleri nedeniyle doğal göllerden ayrılırlar [29]. Türkiye'de bulunan baraj göllerinin fitoplanktonik organizmaların kompozisyonlarının incelendiği pek çok çalışmada siyanobakterilerin (mavi-yeşil alglerin) zaman zaman sayısal artışlar gösterdikleri kaydedilmesine rağmen, siyanobakterilerin ürettiği toksik maddeleri de içeren çalışmalara son yıllarda daha fazla verilmeye başlanmıştır [29].

Süloğlu Baraj Gölü, Türkiye'nin kuzeybatısındaki Trakya'nın Edirne ili il sınırları dahilinde yer alan Süloğlu ilçesinde konumlanır. Önceleri taşkın koruma ve sulama amaçlı inşa edilen barajdan, daha sonraki yıllarda, artan talebi karşılamak üzere içme/kullanma suyu temininde de yararlanılmaya başlanmıştır. Şimdiye dek, Süloğlu Baraj Gölü'ndeki siyanobakterilerin ürettiği mikrosistin varlığının tespiti üzerine yapılmış herhangi bir bilimsel çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmayla, Süloğlu Baraj Gölü'nde bazı siyanobakteriler tarafından üretilen mikrosistin miktarının ve vertikal dağılımının belirlenmesi; tespit edilen mikrosistine

neden olan siyanobakteri türlerinin saptanması ve bu türün içinde yaşamakta olduğu ekosistemdeki bazı çevresel faktörlerin incelenmesinin yanısıra, Süloğlu Baraj Gölü'nün mikrosistin potansiyeli açısından sürdürülebilir kullanımı için önerilerde bulunulması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Prokaryotik, tek hücreli veya koloniyel olarak bilinen siyanobakteriler, içermiş oldukları baskın pigmentlerden dolayı, mavi-yeşil algler olarak da adlandırılırlar ve doğada oldukça geniş bir yayılım alanına sahiptirler [5]. Yapılarındaki pigmentler sayesinde fotosentez yaparak karbondioksit ve suyu fotolizlerler ve böylece besin ve oksijen üretimini gerçekleştirirler [14, 30]. Siyanobakterilerin çekirdek zarları olmadığından, pigmentler ve DNA materyali sitoplazma içinde dağınıktır [19]. Aksesuar pigmentleri olarak fikosiyanin, allofikosiyanin, fikoeritrin, klorofil-*a*, ksantofil, β karoten bulunmakte ve alglerin mavi-yeşil görünümü fikosiyanin ve diğer pigmentlerin fikoeritrin pigmentini örtmesinden kaynaklanmaktadır [19]. Planktonik siyanobakteriler sitoplazmik yapıda özelleşmiş gaz vakuolleri sayesinde su içerisinde vertikal olarak yer değiştirebilir [31]. Hücre çeperleri peptidoglikan yapıdadır ancak, prokaryotlara özgü 70 S ribozom yerine 80 S ribozom içerirler [19].

Sucul ekosistemlerde birincil üretimi sağlayan organizma grupları arasında yer alan siyanobakteriler, tüm yıl boyunca sayısal olarak yüksek oranda gözlenmeseler bile, çevresel koşulların uygun hale gelmesiyle birlikte aşırı derecede çoğalarak yüksek sayılara ulaşabilirler [30, 22]. Böyle bir durumda bir ya da birkaç türün komünitede baskın hale gelmesiyle, mikroalg ve ya siyanobakterilerin kütleleri çok kısa sürede (birkaç gün ya da 1-2 hafta içinde) artar [30]. Özellikle siyanobakterilerin aşırı çoğalması neticesinde suda toksik madde artışı, pek çok çevresel sorunu da beraberinde getirmektedir [18]. Şimdiye dek yapılan çalışmalarda toksin üretme yeteneğine sahip 40'ın üzerinde siyanobakteri türü tespit edilmiş olup, hepatotoksik mikrosistin üretebilen türlerin en önemlileri arasında *Microcystis, Planktothrix, Anabaena, Aphanozimenon, Anabaenopsis, Lyngbya* ve *Nostoc*'a ait türler sayılabilir [19].

Siyanobakteriyel toksinler ise, tüm dünyada içme suları için potansiyel tehlike olarak görülürler [20].

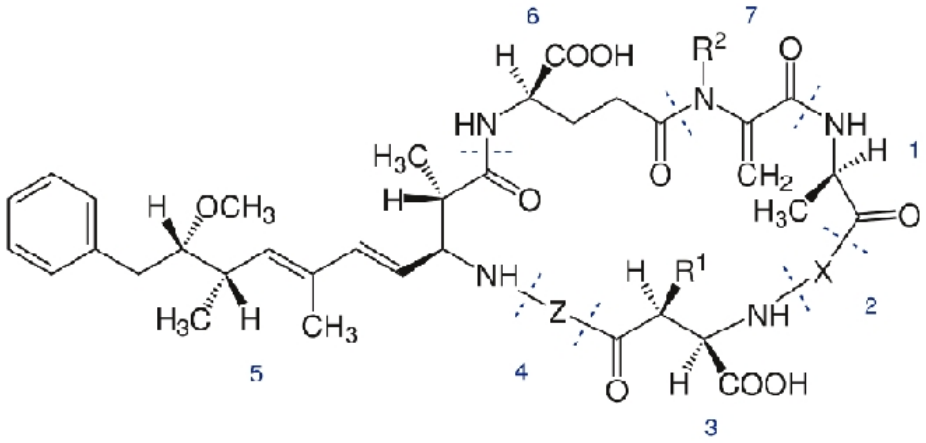
Suyla taşınabilen pek çok zararlı mikrobiyal ve zararlı toksik maddenin aksine, siyanobakterilerin varlığı bazen gözle ve hatta koku yoluyla bile farkedilebilir [32]. Çünkü siyanobakterilerin aşırı artışıyla birlikte oluşan kütleler, sularda renk oluşumuna ve buna bağlı olarak kokuya sebep olabilir [32]. Siyanobakteriyel populasyonların kütle halinde kolaylıkla gözlenebildiği durumlar ise şöyle özetlenebilir: i)Planktonik türlerin *(Microcystis, Anabaena, Anabaenopsis, Planktothrix, Aphanizomenon, Cylindrospermopsis, Raphidiopsis, Nodularia* gibi) aşırı çoğalması; ii)Planktonik türlerin (*Microcystis, Anabaena, Anabaenopsis, Planktothrix, Aphanizomenon* gibi*)* köpük oluşturması (topaklanma); iii)Bentik ve litoral türlerin *(Formidium, Oscillatoria, Lyngbya* gibi*)* biofilm ve tabaka oluşturması [32].

Son yıllarda siyanobakterilerin sekonder metaboliti olarak üretilen toksik maddelerin, suda yaşayan veya sudan yararlanan canlılar için ciddi sağlık problemlerine yol açtığı [33, 31] ve özellikle bazı siyanobakterilerin aşırı artışından sonra su kaynaklarında balık ölümlerinin meydana geldiği bildirilir [25, 34]. Aşırı çoğalma sonucu çevreye olumsuz etki yaratan ve "zararlı algler" olarak da adlandırılan bu organizmaların en büyük etkileri, diğer canlı ölümlerinin (balık, yengeç, midye, istiridye) yanısıra, su altında yaşayan bitkilerin kullandığı güneş ışığının derinlere nüfuz etmesini engellemek ve ekosistemin dengesini bozarak normal fitoplankton türlerinin besin ağındaki işlevini baskılamaktır [19]. Ayrıca, bu algler yüksek derecede aktif doğal bileşenler üreterek toksik ve alerjik reaksiyonlara yol açmaktadırlar [19]. Sonuç olarak, siyanotoksinler sinirsel, hepatik ve dermatolojik sistemlerde etkili olabildikleri geniş bir spektruma sahiptirler [15]. Özellikle insanlarda, kısa süreli veya kronik rahatsızlıklara sebep oldukları ve başta cilt hastalıkları olmak üzere suyun ve sudaki canlıların kullanımına bağlı olarak da pek çok hastalığa yol açtıkları bildirilir [19].

Mikrosistin toksini ise, ilk defa siyanobakterilerden *Microcystis*'e ait türlerde tespit edilmiş olması nedeniyle bu adı almıştır [35, 36]. Su ortamında üretilen mikrosistinlerin, sudaki canlılardan ziyade karasal memeliler için de büyük tehdit oluşturduğu kaydedilmiştir [19]. Mikrosistinler, ökaryotik hücrelerde hücre içi düzenleme ve gelişmeler üzerinde etkili olan protein fosfataza (PP1 ve PP2) engel olarak karaciğer yapı ve fonksiyonlarında bozukluklara yol açtıkları [38] ve

memelilerde hedef organ olarak özellikle karaciğer dokusunu tahrip ettikleri için "hepatotoksin" olarak da sınıflandırılırlar [19]. Safra asidi taşınım sistemi vasıtasıyla hepatositlere giren mikrosistinler, omurgalı canlıların karaciğer yapı ve fonksiyonlarında bozukluklara yol açarlar ve memelilerde güç kaybına, ishal ve kusmaya neden olurlar [37].

Mikrosistinin genel yapısı ise: Cyclo-(D-alanine^{1}-X^{2}-D-MeAsp^{3}-Z^{4}-Adda^{5}-D-glutamate^{6}-Mdha^{7}) şeklinde olup, bu formülde; X ve Z, çeşitli L aminoasitleri; D-MeAsp^{3}, D-erythro-B-methylaspartic asiti; Mdha ise N-methyldehydroalanine'i; Adda, siyanobakteri toksinlerine özgü bir aminoasiti (açılımı: (2S, 3S, 8S, 9S)-3amino-9 methoxy-2,6,8-trimethyl-10-phenyldeca-4,6-dienoic asit) ifade etmektedir. Mikrosistinin genel formülü Şekil 2.1'de verilmiştir [36, 39].



1- D-Alanine
2- Variable L-amino acid (X)
3- D-Methylaspartic acid
4- Variable L-amino acid (Z)
5- 3amino-9 methoxy-2,6,8-trimethyl-10-phenyldeca-4,6-dienoic acid
6- D-Glutamic acid
7- N-Methyldehydroalanine

Şekil 2.1. Mikrosistinin Genel Formülü (Sivonen ve Jones [36]'dan alınmıştır).

Yapılan çalışmalarda 70'in üzerinde farklı tip mikrosistine rastlandığı ve bu farklılıkların zincir üzerindeki farklı tipteki aminoasitlerin yer almasından ve zincirdeki 2 ve 4 konumlu L aminoasitlerinin değişmesi ile 3 ve 7 konumlu aminoasitlerin demetilasyonu sayesinde oluşan mikrosistin varyantları nedeniyle olduğu bildirilir [36]. En sık bilinen mikrosistin varyantları ise, Mikrosistin-LR, Mikrosistin- RR, Mikrosistin- YR ve Mikrosistin- LA'dır [39, 40]. Türkiye'de tatlı su ekosistemlerinde mikrosistin varlığı üzerine yapılan çalışmalara Albay ve ark. [24]'nın, İznik, Sapanca ve Taşkısı göllerinde mikrosistin tespiti üzerine yaptıkları çalışma öncülük etmiştir. Bu çalışmada, göllerden alınan örnekler HPLC-PDA (high–performance liquid chromatography with photodiode array detection), PPIA (protein phosphatase inhibition assay) ve ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay) yöntemleri ile incelenmiş olup Sapanca Gölü'nde 10. m'ye kadar olan su kolonunda mikrosistin tespit edilemezken, 20. m derinlikte mikrosistin konsantrasyonunun 3.65 µg/L olduğu saptanmıştır [24]. Ayrıca, Sapanca Gölü'ndeki tespit edilen mikrosistin dağılımının % 90'ının 15 ila 25 metre derinlik arasında olduğu tespit edilmiştir [24]. HPLC-PDA ile yapılan testler sonucunda ise Sapanca Gölü'nde baskın olan mikrosistin varyantının Microcystin-RR'ya ait olduğu belirlenmiştir [24]. Taşkısı Gölü'nde yaptıkları çalışmada ise yüzey sularındaki Microcystin-LR miktarının 2.43 µg/L olduğu, İznik Gölü'nde ise kayda değer bir mikrosistin varlığına rastlanmadığı bildirilmiştir [24].

Albay ve ark. [25]'nın yaptığı bir diğer çalışmada ise, İstanbul'un önemli içme suyu rezervlerinden olan Ömerli Barajı'nda 2.1 µg/L olarak ölçülen Mikrosistin-LR miktarının, örneklerin liyofilizasyonu sonucu kuru ağırlıkları ölçüldüğünde ise 5.84 µg/L olduğu bildirilmiştir.

Akçaalan [22]'ın yaptığı çalışmada ise, Sapanca Gölü'nde mikrosistin üreten siyanobakterileri türleri ve su kalitesi ile olan ilişkileri incelenmiştir. Sapanca Gölü'nde tespit edilen mikrosistin konsantrasyonunun 0.01 ile 6.5 µg/L arasında değişiklik gösterdiğinin tespit edildiği çalışmada, buna sebep olan siyanobakteri türünün *Planktothtix rubescens* olduğu bildirilmiştir. Sapanca Gölü'nde 2001 yılında ölçülen mikrosistin ortalaması 15. ve 20. m'lerde 1.4 µg/L iken, 2002 yılında ise *P. rubescens*'in filament sayısındaki azalmaya paralel olarak mikrosistin konsantrasyonunun 15. m'de 1 µg/L'ye ve 20. m'de 0.8 µg/L' ye kadar düştüğü bildirilmiştir [22].

Albay ve ark. [41]'nın Küçükçekmece Gölü'nde mikrosistinin dikey dağılımı ve çevresel parametreler ile olan ilişkilerinin incelenmesi üzerine yaptığı çalışmada, Küçükçekmece Gölü'nde siyanobakteri biyoması ve siyanotoksin (mikrosistin)'in dikey dağılımı yüzey, 0.5, 1, 2, 5 ve 10 m derinliklerden alınan su örneklerinde incelenmiştir. Örnekleme anında çözünmüş oksijen, pH, Secchi diski derinliği ve sıcaklık ölçümlerinin de yapıldığı çalışmada elde edilen sonuçlara göre, en yüksek siyanobakteri artışının ve mikrosistin üretiminin ilk 1. m derinlikte gerçekleştiği, üretimin büyük kısmını ise biyomasın %80'den fazlasını oluşturan *Microcystis aeruginosa'nın* sağladığı bildirilmiştir [41]. Çalışma sonucunda, Mayıs – Kasım ayları süresince ortalama üretiminin 3.58 µg/L Mikrosistin-LR olduğu, Küçükçekmece Gölü'nde mevcut olumsuz şartların devam etmesi halinde gelecek yıllarda insanlarda çok ciddi sağlık problemlerinin ortaya çıkmasının muhtemel olduğu da öngörülmüştür [41].

Albay ve ark. [42]'nın Küçükçekmece Lagünü'nde bulunan toksik siyanobakterileri araştırmak amacıyla yaptığı bir diğer çalışmada ise, alınan yüzey suyu örneklerinde HPLC-PDA yöntemi ile Mikrosistin-YR ve Mikrosistin-LR tespit edilmiştir. Söz konusu çalışmada, su örneklerinde 0.06 - 24.2 µg/L arasında Mikrosistin-LR tespit edilmiş olup, her yıl aşırı alg artışları sonucunda yoğun balık ölümlerinin de olduğu kaydedilmiştir [42]. Yapılan çalışmalarda çevresel koşulların aşırı alg artışlarına yol açtığı ve mikrosistin artışı ile ilişkili olduğu sonucuna varılmış ve mikrosistin artışının sıcaklık, yüksek besin tuzu konsantrasyonu ve yüksek ışık yoğunluğu ile ilgili olduğu tespit edilmiştir [42]. Ayrıca, mikrosistinin en yüksek olduğu sıcaklık aralığının 24 ^{o}C ile 28.5 ^{o}C arasında olduğu, toplam azot ve toplam fosfor oranının 7:1 olduğu zamanda en yüksek mikrosistin konsantrasyonunun ise 24.2 µg/L olarak tespit edildiği kaydedilmiştir [42].

Gürbüz [17]'ün göller bölgesindeki bazı su kaynaklarının (Karacaören Baraj Gölü, Eğirdir ve Kovada Gölleri) toksik siyanobakterilere ait türlerinin tanımlanarak, izole edilen türlerde toksin oluşturma düzeylerinin araştırılması amacıyla yaptığı çalışmada, özellikle Kovada Gölü'nden elde edilen siyanobakteriler arasında en yüksek mikrosistin içeriğinin *M. aeruginosa* tarafından üretildiği ve bunu *O. limnetica*'nın takip ettiği bildirilmiştir. Çalışmada ayrıca, siyanobakterilerin içerdikleri mikrosistin miktarının HPLC ile yapılan analizleri sonucunda ise, toksin üretim düzeylerinin *M. aeruginosa* için MC-RR: 79.48 µg/mL; MC-LR: 3200 µg/mL; MC-LA: 678 µg/mL

MC-LY: 670 µg/mL; MC-LW: 235,22 µg/mL) olduğu, *O. limnetica* içinse MC-LR: 0.46 µg/mL; MC-LA: 0.29 µg/mL; MC-LY: 11.27 µg/mL; MC-LF: 1.44 µg/mL; *Anabaena affinis* için MC-LA: 0.94 µg/mL; MC-LW: 0.70 µg/mL; *Pseudoanabaena catenata* için MC-LY: 1.70 µg/mL olduğu ancak, *Synechococcus* sp.'de mikrosistin tespit edilemediği rapor edilmiştir [17].

Kaya [18]'nın toksin üretiminden sorumlu genlerin amplifiye edilmesi ve olası varyasyonların incelenmesi amacıyla yaptığı araştırma kapsamında ise sadece toksik türlerin varlığının tespit edilmesi değil, aynı zamanda moleküler belirteç olarak kullanılan *mcyB* geninde oluşabilecek varyasyonların da belirlenmesi hedeflenmiştir. Çünkü bu gende meydana gelebilecek varyasyonların mikrosistinde de varyasyonlara sebep olabileceği ve toksisiteyi etkileyebileceği bildirilmiştir [18]. Mevcut çalışmada, *mcyB* geni PCR temelli yöntemlerle amplifiye edildikten sonra enzim kesimi SSCP ve dizileme analizleriyle incelenmiş ve analizlerin sonucunda *mcyB* geninin birçok bölgesinde varyasyonlarla karşılaşılmıştır [18]. Bu varyasyonların genellikle tek nükleotid değişimleri olduğu ve sessiz mutasyonlara yol açtığı bildirilmiş ve aminoasit değişikliklerine de rastlanmıştır [18]. Çalışma sonucunda, amino asit değişiklikleri korunmuş dizi motiflerine denk gelmediğinden mikrosistin toksisitesinde herhangi bir değişime neden olmadıkları düşünülmüştür [18].

İspirli [27]'nin İzmir Tahtalı Baraj Gölü'nün toksik siyanobakteri türleri ve bazı mikrosistin varyantları yönünden araştırılması amacıyla yaptığı çalışmada, toksik siyanobakteri türlerinden *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena affinis*, *Oscillatoria* sp. ve *Microcystis aeruginosa* türleri tespit edilmiştir. Mikrosistin yönünden yapılan HPLC analiz sonuçlarına göre, Tahtalı Baraj Gölü'nde Mikrosistin-RR, YR, LR ve LF'a rastlanmış olup, tespit edilen bu mikrosistin varyantlarının miktarının, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) Mikrosistin-LR için içme sularında önerdiği limit olan 1.0 µg/L'nin altında bulunduğu bildirilmiştir [27].

Gürbüz ve ark. [28]'nın Kovada Gölü'nde yüzey suyunda çözünmüş mikrosistin analizi üzerine yaptığı çalışmada, 2006 yılında Ağustos ve Eylül aylarında baskın siyanobakteri türleri olarak *Microcystis aeruginosa, Synechococcus* sp., *Phormidium limosum, Phormidium formosa* ve *Planktothrix limnetica* bulunmuştur. Sudaki mikrosistin konsantrasyonlarının belirlenmesi için HPLC-PDA ve ELISA yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmada, HPLC analizi sonucu 5 farklı mikrosistin varyantına (MC-

LR, -RR, -LA, -LW, -LF) rastlandığı kaydedilmiştir [28]. Kovada Gölü'ndeki potansiyel toksik siyanobakterilerin ve mikrosistin durumunun ilk kez kaydedildiği bu çalışmada ise, maksimum çözünmüş mikrosistin miktarına Ağustos ayında ulaşıldığı bildirilmiştir [28].

Türkiye'deki baraj göllerinde fitoplankton üzerine yapılan çalışmaların pek çoğu bu organizmaların nitel ve nicel kompozisyonlarının belirlenmesi üzerine olmakla birlikte, son yıllarda içme suyu temininde de yararlanılan rezervuarların siyanobakterilerden kaynaklanan toksin içerikleri üzerine çalışmalar da giderek artmaktadır [29]. Ancak, şimdiye dek Süloğlu Baraj Gölü'nde siyanobakterilerin neden olduğu mikrosistinin tespitine yönelik herhangi bilimsel bir veriye rastlanmamıştır.

BÖLÜM 3

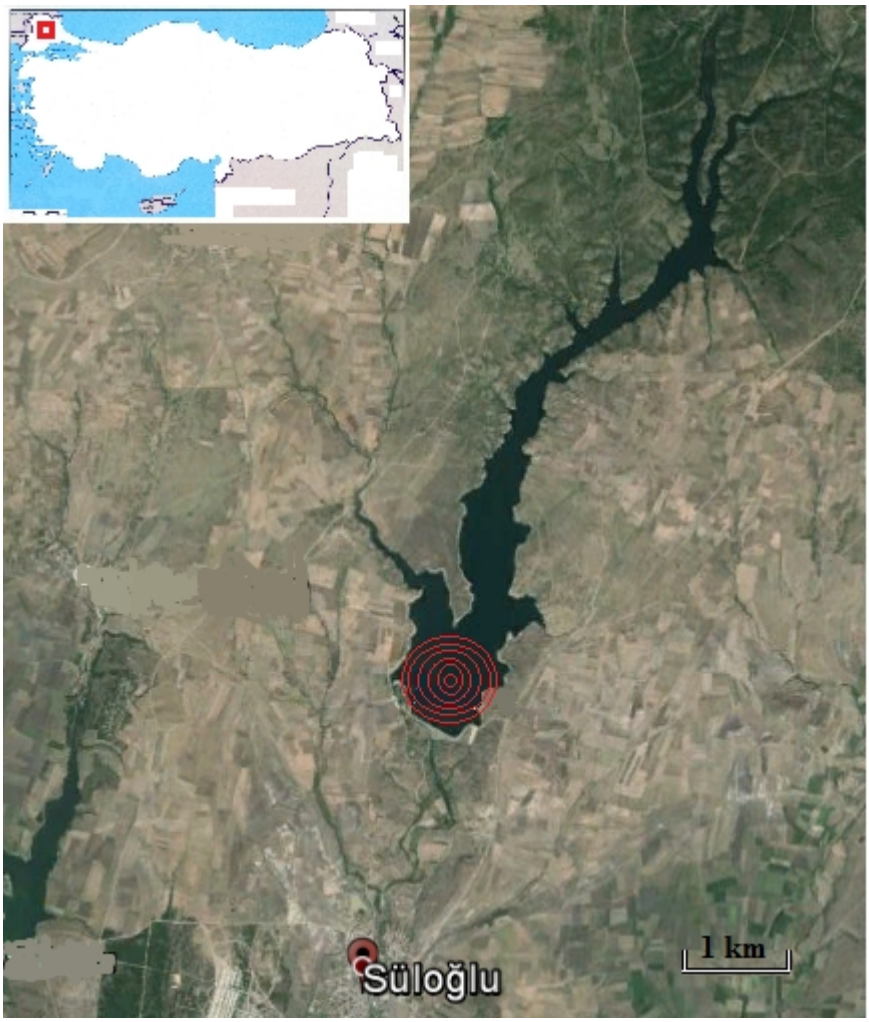
MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma Yerinin Tanımı

Edirne iline bağlı Süloğlu Baraj Gölü, 41°47'K - 41°51'K ve 26°54'D - 26°57'D koordinatları arasında yer almakta olup, Edirne şehir merkezine 26 km, Süloğlu ilçesine ise 2.5 km uzaklıktadır. Baraj, DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından 1975-1981 yılları arasında sulama ve taşkın koruma amaçlı kurulmuş olup daha sonraları merkez ilçenin içme/kullanma suyu temini için de yararlanılmaya başlanmıştır [43]. Süloğlu deresinin yanı sıra bazı küçük derelerin de yüzeysel akış sularıyla beslenen baraj gölü, toprak ve kaya dolgu tipinde olup, gövde hacmi 1.34 hm^3, yüksekliği (talvegden) 50.02 m, normal su kotunda göl hacmi 43 hm^3, normal su kotunda göl alanı 3.68 km^2 ve yıllık içme suyu miktarı 8.20 hm^3 olarak bildirilmekte ve kurulduğu tarihten bu yana 4.009 hektarlık bir alana da sulama hizmeti vermektedir [43].

3.2. Arazi Çalışmaları

Süloğlu Baraj Gölü'nün göl hacminin oldukça küçük bir alana sahip olması nedeniyle örneklemeler, ana göl çanağının bulunduğu alanda yapıldı (Şekil 3.2.1). Bu alan, aynı zamanda gölü besleyen derelerin birleşerek suyun toplandığı ve içme suyu temini için su çekiminin yapıldığı istasyona da en yakın bölge olup, vertikal örnekleme için gölün en uygun derinliğe sahip alanı olarak tespit edildi (Şekil 3.2.2).



Şekil 3.2.1. Süloğlu Baraj Gölü ve Örnekleme Alanı (https://www. google.com /maps'dan uyarlanmıştır)



Şekil 3.2.2. Süloğlu Baraj Gölü'nden Bir Görüntü

Süloğlu Baraj Gölü'nde mikrosistin varlığının araştırılması amacıyla, söz konusu alanda Aralık 2012 – Ekim 2013 tarihleri arasında periyodik olarak örneklemeler yapılarak yüzey, 1 m, 3 m, 5 m, 9 m ve 20 m derinliklerden Nansen tipi su alma kabıyla vertikal olarak su örnekleri alındı. Ancak, arazi koşullarının uygun olmaması nedeniyle Mart ve Nisan 2013 dönemlerinde vertikal örnekleme yapılamadı. Ayrıca, mikrosistin üretebilme kapasitesine sahip siyanobakterilerin içinde bulunduğu çevresel koşulların da gözlenmesi amacıyla, suyun bazı fizikokimyasal özellikleri de ölçüldü.

Nansen su alma kabıyla vertikal olarak alınan su örnekleri, ışık geçirmeyen 2 L hacmindeki plexiglass kaplara doldurularak hava almayacak şekilde kapatıldı. Numuneler uygun sıcaklık şartlarında ve seri şekilde taşınarak Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Hidrobiyoloji Araştırma Laboratuvarı'na getirildi. Ayrıca, arazi çalışması sırasında hava ve yüzey suyu sıcaklıkları basit bir termometre yardımıyla ^{o}C olarak kaydedilirken, farklı derinliklerdeki su sıcaklıkları ise Nansen şişesindeki termometre ile yine ^{o}C değerinden belirlendi. Her bir derinlikteki elektrik iletkenliği değeri arazi tipi Sensodirect Con200 model konduktivitimetre ile µS/cm olarak, pH değeri ise arazi tipi Sensodirect pH200 model pH metre ile çalışma sırasında arazide ölçülürken, çözünmüş oksijen miktarı hem arazi tipi Sensodirect Oxi200 model oksijen metre ile arazide hem de zaman zaman Winkler Metodu ile laboratuvarda ölçülerek mg/L olarak kaydedildi. Çalışmada ayrıca, ışık geçirgenliği de Secchi Disk yardımıyla arazi çalışması sırasında cm değerinden kaydedilirken, Askıda Katı Madde (AKM) ve klorofil-*a* miktarlarının tespiti için vertikal olarak alınan su örnekleri de laboratuvara taşındı. NO_3-N ve o-PO_4^{-3} değerleri içinse yüzeyden mevsimsel olarak alınan su örnekleri analiz işlemleri için laboratuvara getirildi.

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Mikrosistin miktarının tespiti için laboratuvara getirilen her bir su örneğinden 1 L su alınarak Whatmann GF/C filtre kağıtlarından süzüldü. Elde edilen filtre kağıtları aluminyum folyolarla sarılarak derin dondurucuda uygun şartlarda muhafaza edildi. Toksin analizleri için İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Temel Bilimler Bölümü İç Sular Biyolojisi Anabilim Dalı araştırma laboratuvarına uygun şartlar altında taşınan örnekler lyofilize edildikten sonra -20 ^{o}C'de derin dondurucuda muhafaza edildi. Daha sonra muhafaza edilmiş bu filtre kağıtları %70 lik (v/v) metanolle ekstrakte edildi ve süpernatantlama işlemi için santrifüje edildi. Elde edilen süpernatantttan 25 µL'lik numune alındı ve HPLC (High Performance Liquid Chromotography)'ye enjekte edildi. Mikrosistin miktarının tespiti için 238 dalga boyundan yararlanıldı ve standart toksin olarak Mikrosistin–LR kullanıldı. Tüm işlemler için Lawton ve ark. [44]' nın yöntemlerinden yararlanıldı.

Siyanobakterilere ait örneklerin tespiti için, her bir derinlikten örneklenen su numuneleri uygun kaplara alındı ve üzerlerine lugol ilave edilerek çöktürüldü [45].

Numuneler, 24 saat bekletildikten sonra Utermohl sayım kamarasına aktarıldı. Ancak, örneklerin yoğun olduğu dönemlerde ve derinliklerde ise bu işlem için Sedgewick-Rafter tipi sayım kamarasından yararlanıldı. Ardından, inverted mikroskopta koloni ve ipliksi formların her biri bir birey kabul edilmeleri suretiyle sayımları gerçekleştirildi. Tüm bu işlemler için Utermohl [45] ve Lund ve ark. [46]'dan yararlanıldı. Numunelerde, mikrosistin üretme potansiyeline sahip tüm siyanobakteri türleri incelenirken, sadece yüksek sayıda koloniye sahip olan siyanobakterilerin tür teşhisleri gerçekleştirildi. Bunun için, yine her bir derinlikten alınan su numuneleri Whatmann GF/A filtre kağıdından süzülerek petri kaplarına aktarıldı ve ışık mikroskobu altında incelendi. Siyanobakterilere ait örneklerin cins ve tür düzeyindeki teşhislerinde Desikachary [47], Prescott [48], Geitler [49], Komarek ve Anagnostidis [50], Anagnostidis ve Komarek [51], Komarkova-Legnerova ve Cronberg [52], Cronberg ve Komarek [53]'dan yararlanıldı.

Süloğlu Baraj Gölü'nde örneklenen derinliklerdeki klorofil-*a* miktarını tespit etmek için Nusch [54]'un yöntemlerinden yararlanıldı. Buna göre, alınan su numunesinin 500 mL'si Whatmann GF/C filtre kağıdından süzüldükten sonra, filtre kağıdı etanol ile muamele edilerek 24 saat karanlık ortamda ekstrakte edildi, daha sonra spektrofotometrik olarak ölçüldü.

$$Chl_a\,(\mu g/L) = 29.6 \times (AÖ_{665} - AÖ_{750}) - (AS_{665} - AS_{750}) \times v / V \times L$$

AÖ: Asitten önceki spektrofotometre değeri

AS: Asitten sonraki spektrofotometre değeri

v : Etanol hacmi (ml)

V: Örnek hacmi (L)

L: Küvet çapı (1cm)

Laboratuvarda ölçülen parametrelerden AKM, NO_3-N ve o-PO_4^{-3} miktarları ise klasik titrimetrik ve spektrofotomektrik yöntemler kullanılarak mg/L cinsinden belirlendi [55]. Ayrıca, arazide oksijenmetre ile ölçülen çözünmüş oksijen değerleri, laboratuvarda zaman zaman Winkler metoduyla da doğrulanmaya çalışıldı [55].

BÖLÜM 4

BULGULAR

Süloğlu Baraj Gölü, Süloğlu deresinin yanı sıra bazı küçük derelerin de yüzeysel akış sularıyla beslenmekte olan, 3.68 km^2'lik bir alana sahip, küçük bir tatlı su rezervidir. Süloğlu Baraj Gölü'nün sularından taşkın koruma ve sulamanın yanısıra içme ve kullanma suyunun temininde de kısmen yararlanılıyor olması, göl suyunun bu amaçlar doğrultusunda incelenmesini gerektirmektedir.

Aralık 2012 - Ekim 2013 tarihleri arasında gölde periyodik olarak yapılan bu araştırmanın neticesinde, göldeki mikrosistin varlığı ve miktarı, vertikal olarak tespit edilmeye çalışıldı. Ayrıca, mikrosistine neden olan siyanobakterilerin yaşadığı ortamdaki bazı çevresel faktörlerin de incelenmesi amacıyla, mikrosistin örneklemesiyle eş zamanlı olarak yapılan analizlerle suyun bazı fizikokimyasal özelliklerinin yanı sıra klorofil-*a* konsatrasyonu da belirlenmeye çalışıldı.

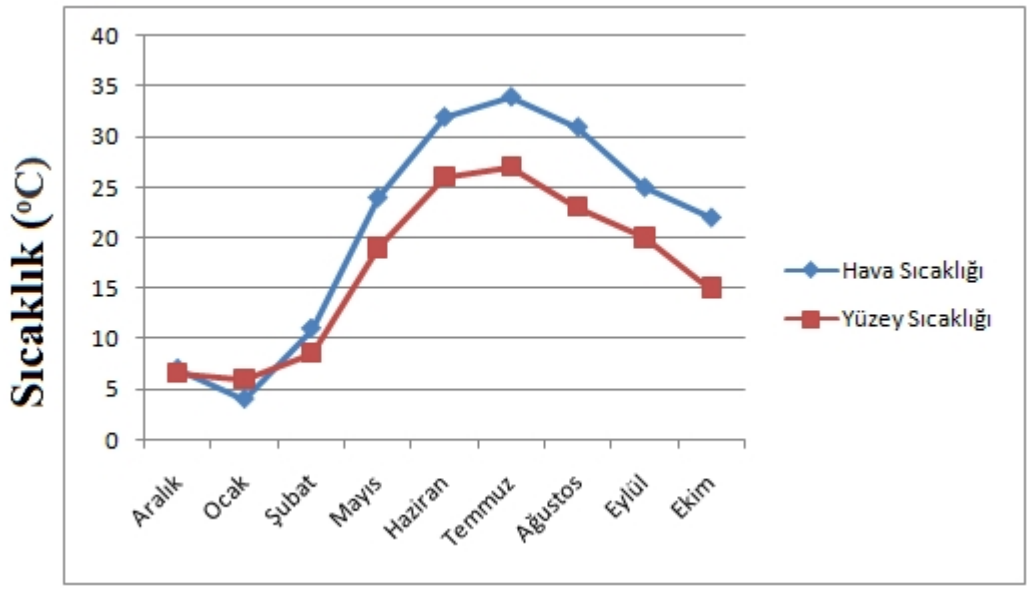
Buna göre, gölde ölçülen hava ve yüzey suyu sıcaklıklarının birbirleriyle paralel olarak seyrettiği gözlenirken, parametrelerin aylık ortalamalarına bakıldığında, su sıcaklığının 6 ila 22 ^oC arasında seyrettiği, çözünmüş oksijenin 5.4 ile 9.5 mg/L arasında ve ışık geçirgenliğinin 76 ile 232 cm arasında değiştiği kaydedildi. Diğer parametrelerden iletkenliğin ise, aylık ortalamada 221 ila 339 µS/cm arasında seyrettiği gözlenirken, AKM'nin 0.018 ile 0.023 mg/L arasında ve pH'ın 7.87 ile 8.48 arasında değiştiği belirlendi. Besin tuzları açısından en yüksek NO_3-N değeri 3.6 mg/L olarak saptanırken, o-PO_4^{-3} için en yüksek değer 0.18 mg/L olarak ölçüldü. Süloğlu Baraj Gölü'nün aylık ortalama Klorofil-*a* değerleri ise 18.1 ile 1.65 µg/L arasında kaydedildi. Klorofil-*a* 'nın vertikal ortalaması ise 1. m'de en yüksek (16.87 µg/L), 20. m'de ise en düşük (2.37 µg/L) bulundu.

Çalışmada elde edilen çevresel faktörlere, klorofil-*a* miktarlarına ve mikrosistine ait bulguların ayrıntılı analizleri aşağıdaki başlıklarda sunulmuştur.

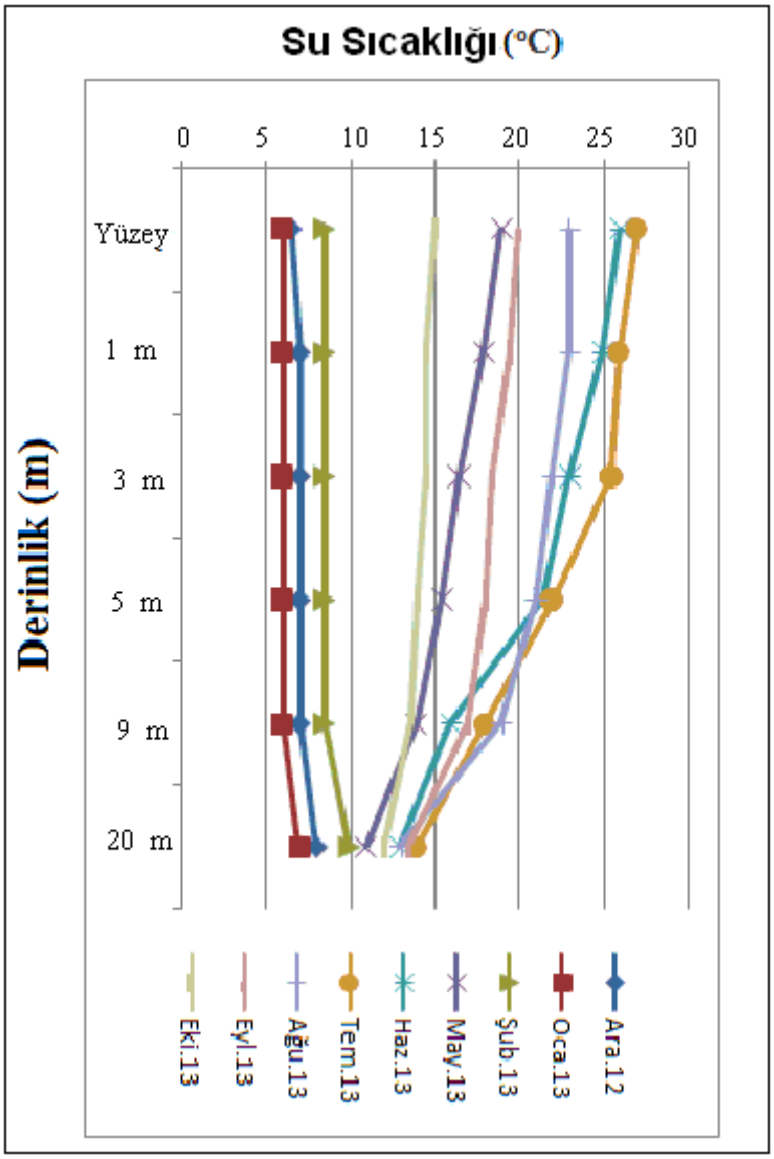
4.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Bazı Çevresel Faktörlere Ait Bulgular

Süloğlu Baraj Gölü'nde periyodik aralıklarla ölçülen bazı çevresel faktörlere (hava ve su sıcaklıkları, pH, iletkenlik, ışık geçirgenliği, AKM, çözünmüş oksijen, NO_3-N ve o-PO_4^{-3}) ait bulgular aşağıda verilmiştir.

Buna göre, hava sıcaklığı en düşük Ocak ayında (4 ^oC) ölçülürken, en yüksek hava sıcaklığı 34 ^oC ile Temmuz ayında ölçüldü (Şekil 4.1.1). En düşük su sıcaklığına Ocak ayında 6 ^oC ile 20 m hariç tüm derinliklerde rastlanırken, en yüksek su sıcaklığı ise Temmuz ayında 27 ^oC ile yüzey suyunda tespit edildi (Şekil 4.1.2). Çalışmada, su sıcaklığının aylık ortalama değerlerinin 6 ila 22 ^oC arasında seyrettiği kaydedilirken, vertikal dağılımda ortalama değerler için en düşük sıcaklık 20 m'de (11.2 ^oC), en yüksek ise yüzeyde (17 ^oC) saptandı.

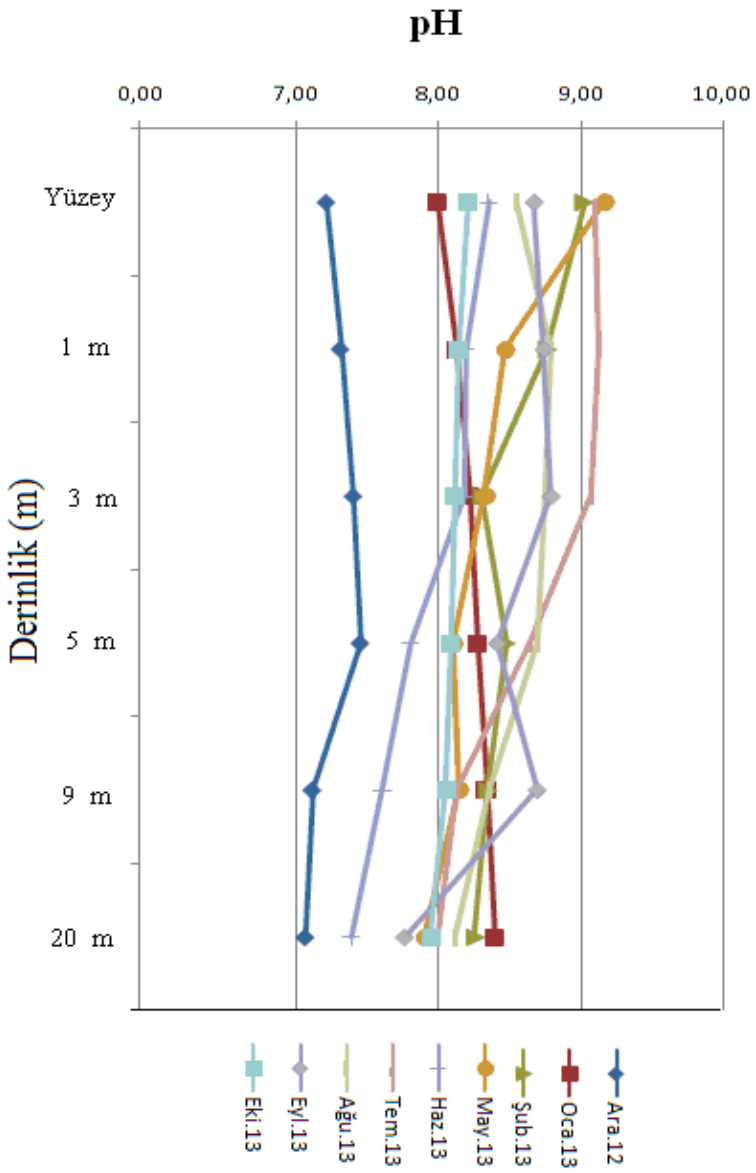


Şekil 4.1.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Hava ve Yüzey Suyu Sıcaklıkları



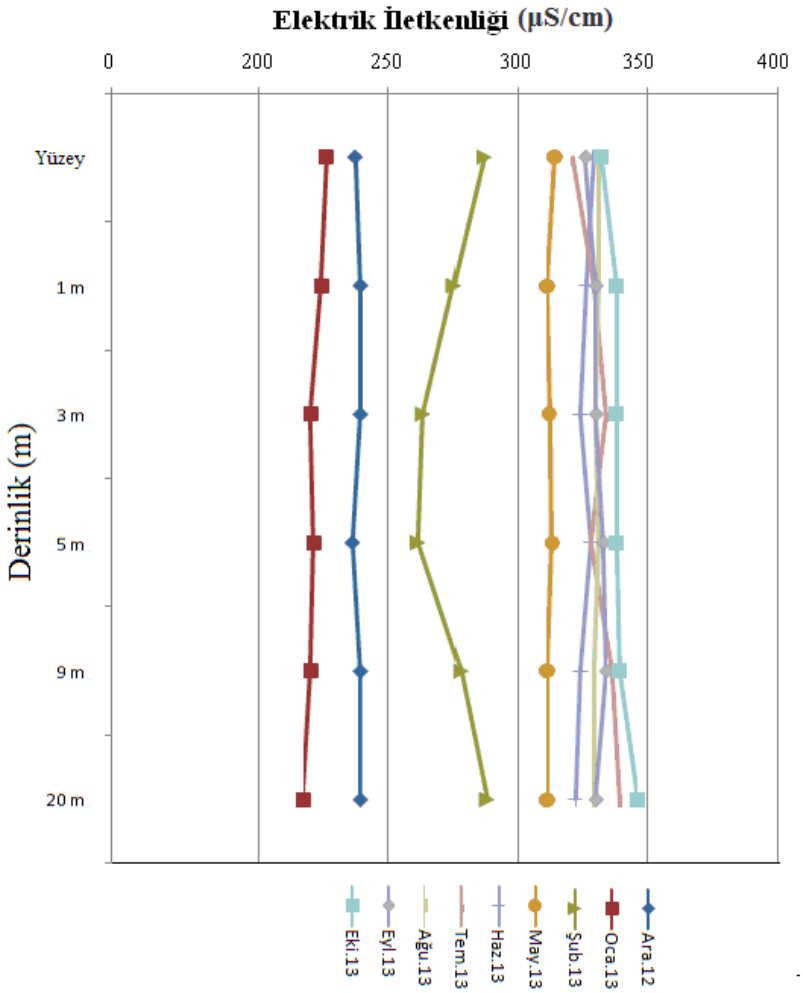
Şekil 4.1.2. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Su Sıcaklıklarının Vertikal Değişimi (^{o}C)

Süloğlu Baraj Gölü'nde ölçülen pH değerlerinin vertikal dağılımına bakıldığında ise, en düşük değerin Aralık 2012 tarihinde 7.07 ile 20 m derinlikte, en yüksek değerin ise Mayıs 2013 tarihinde 9.17 ile yüzeyde olduğu gözlendi (Şekil 4.1.3). Çalışmada pH'ın aylık ortalamalar açısından 7.87 ile 8.48 arasında değiştiği belirlenirken, vertikal ortalamalar açısından pH değerinin en düşük 20 m'de (7.87), en yüksek ise yüzeyde (8.48) olduğu tespit edildi.



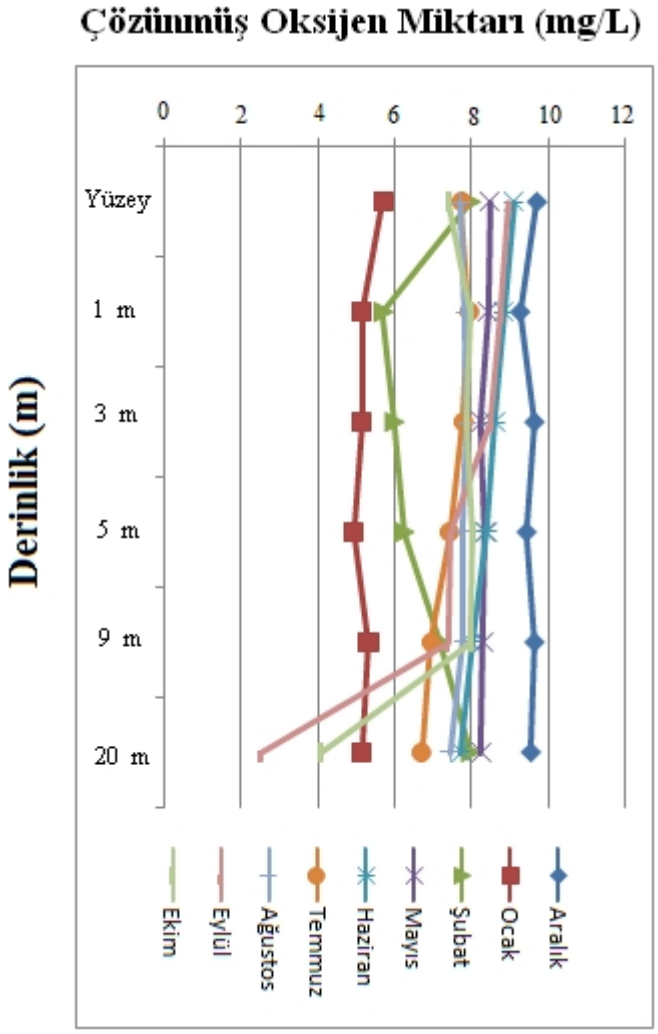
Şekil 4.1.3. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen pH Değerlerinin Vertikal Değişimi

Süloğlu Baraj Gölü elektrik iletkenliği değerlerinin vertikal dağılımına bakıldığında ise, en düşük iletkenlik değerinin Ocak 2013 tarihinde 220 µS/cm ile 3 m'de, en yüksek iletkenlik değerinin ise Ekim 2013 tarihinde 346 µS/cm ile 20 m derinlikte olduğu kaydedildi (Şekil 4.1.4). Çalışmada, aylık ortalamalar açısından iletkenlik değerlerinin 221 ila 339 µS/cm arasında seyrettiği gözlenirken, ortalama vertikal dağılımlara bakıldığında en düşük 3 m'de (298 µS/cm) ve en yüksek 20 m'de olduğu (302 µS/cm) tespit edildi.



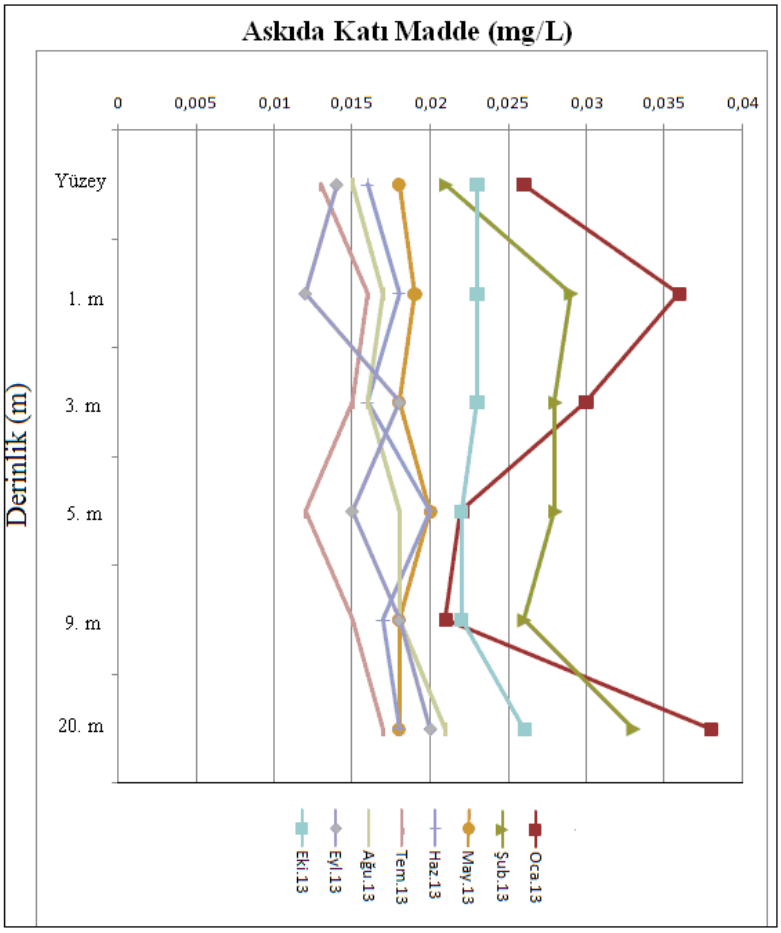
Şekil 4.1.4. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Elektrik İletkenliği Değerlerinin (µS/cm) Vertikal Değişimi

Süloğlu Baraj Gölü'nde ölçülen çözünmüş oksijen değerlerinin vertikal dağılımına bakıldığında ise, en düşük değerin Eylül ayında 2.4 mg/L ile 20 m derinlikte olduğu, en yüksek değerin ise Aralık ayında 9.73 mg/L ile yüzey suyunda olduğu ölçüldü (Şekil 4.1.5). Çalışmada aylık ortalama Ç.O. değerlerinin 5.4 ile 9.5 mg/L arasında değiştiği kaydedilirken, vertikal dağılımında ise, ortalama değerlerin çözünmüş oksijen için 20 m'de en düşük (5.91 mg/L), yüzeyde ise en yüksek (7.38mg/L) olarak seyrettiği saptandı.



Şekil 4.1.5. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Çözünmüş Oksijen Miktarlarının (mg/L) Vertikal Değişimi

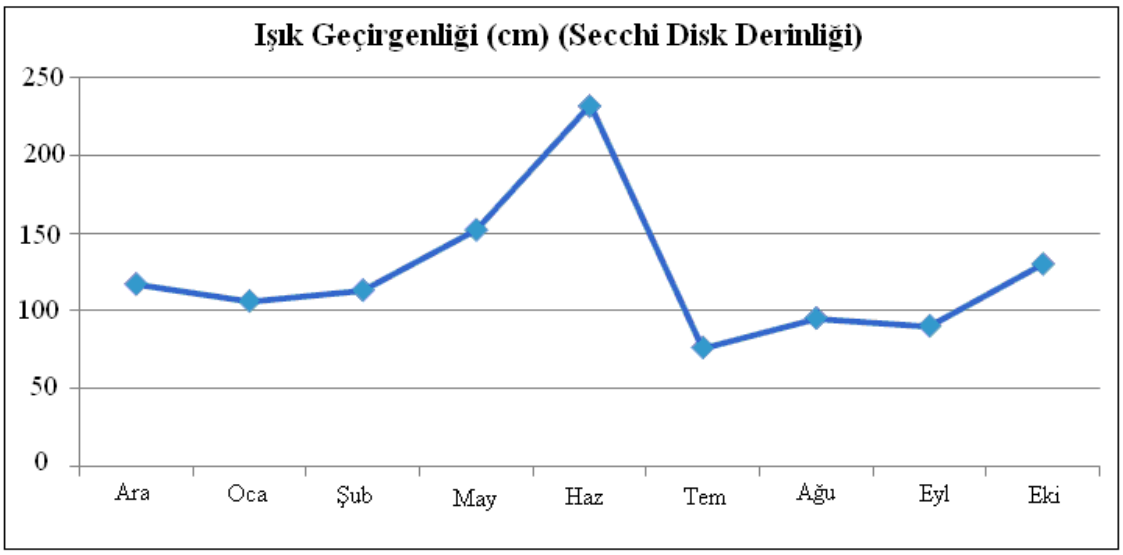
Süloğlu Baraj Gölü'nde Askıda Katı Madde miktarının vertikal dağılımına bakıldığında ise, en düşük miktarın Temmuz ayında 0.012 mg/lt ile 5 m derinlikte, en yüksek miktarın ise Ocak ayında 0.038 mg/lt ile yüzey suyunda olduğu tespit edildi (Şekil 4.1.6). Çalışmada aylık ortalama değerlerinin AKM için 0.018 ile 0.023 mg/L arasında seyrettiği saptanırken, ortalama vertikal dağılımlar açısından AKM'nin en düşük orana yüzeyde (0.018 mg/L), en yüksek orana ise 20 m'de (0.023 mg/L) ulaştığı saptandı.



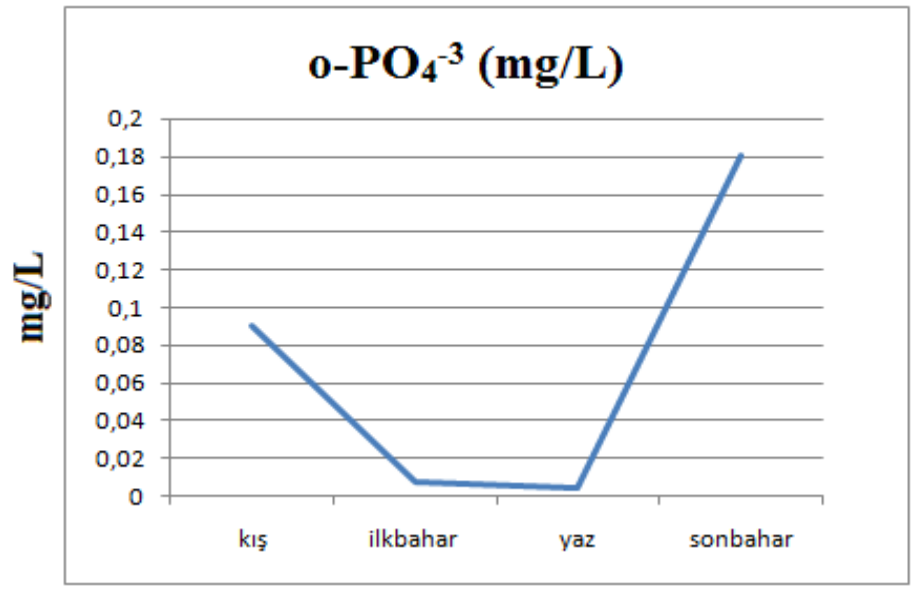
Şekil 4.1.6. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Askıda Katı Madde Miktarlarının (mg/L) Vertikal Değişimi

Süloğlu Baraj Gölü'nde Secchi Disk ile ölçülen ışık geçirgenliğinin en düşük derinliğe 90 cm ile Eylül ayında, en yüksek derinliğe ise 232 cm ile Haziran ayında sahip olduğu gözlendi (Şekil 4.1.7). Çalışmada, ışık geçirgenliği için aylık ortalama değerlerin 76 ile 232 cm arasında değiştiği kaydedildi.

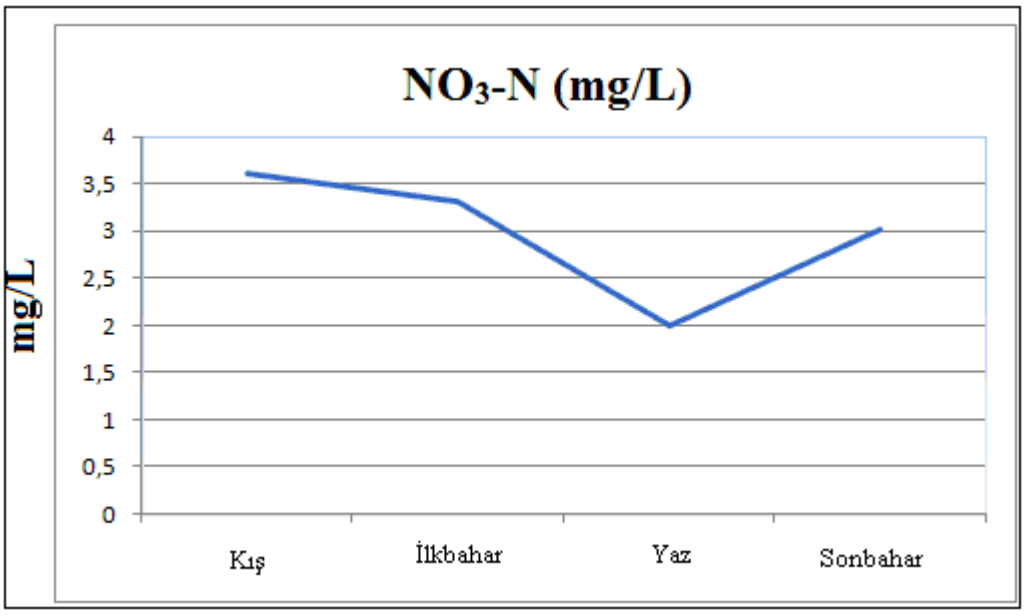
Süloğlu Baraj Gölü'nde mevsimsel olarak ölçülen besin tuzlarından NO_3-N ve o-PO_4^{-3} değerlerinin ise sırasıyla 2 – 3.6 mg/L ve 0.09 – 0.18 mg/L arasında değiştiği tespit edildi (Şekil.4.1.8 ve Şekil.4.1.9). Ayrıca, mikrosistin miktarının tespit edildiği Ağustos ve Eylül aylarında yüzey suyunda o-PO_4^{-3} ve NO_3-N'a düşük oranlarda rastlandı.



Şekil.4.3.7. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Işık Geçirgenliği (Secchi Disk Derinliği) Değerleri (cm)



Şekil 4.1.8. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen o-PO_4^{-3} Miktarlarının (mg/L) Mevsimsel Değişimi



Şekil 4.1.9. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen NO_3-N Miktarlarının (mg/L) Mevsimsel Değişimi

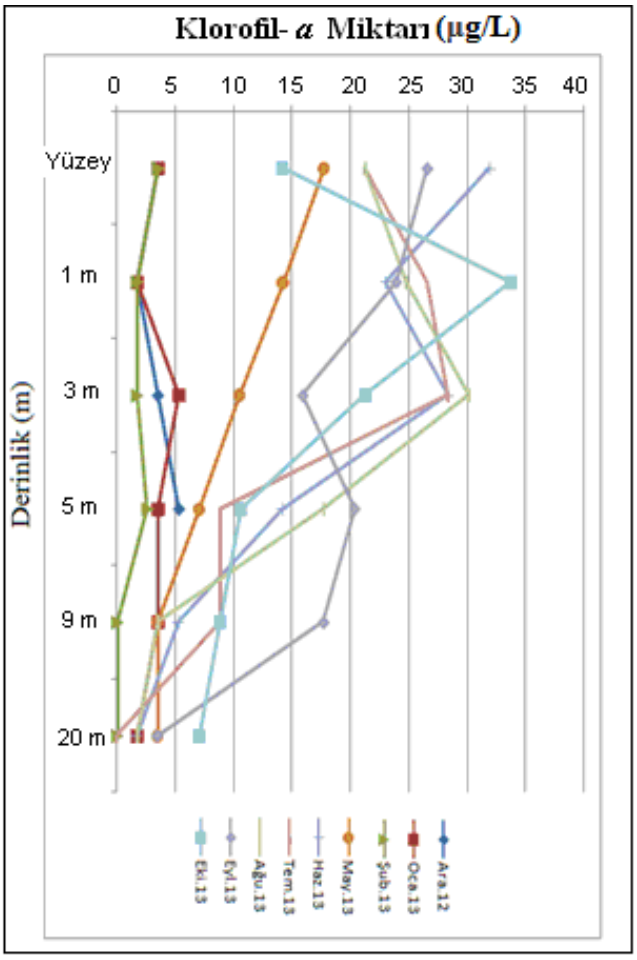
4.2. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Klorofil-*a* Miktarlarına Ait Bulgular

Süloğlu Baraj Gölü'nde Aralık 2012 – Ekim 2013 tarihleri arasında vertikal olarak klorofil-*a* miktarına, en yüksek Ekim 2013 döneminde 33.74 µg/L ile 1 m derinlikte rastlandı (Tablo 4.2.1). En düşük klorofil-*a* miktarının ise Şubat ayında 9 ve 20 metre derinliklerde rastlanırken (0.09 µg/L), Aralık ayında 9 metre derinlikte ve Temmuz ayında 20 metre derinlikte klorofil-*a* miktarının analiz limitlerinin altında (ALA) olduğu gözlendi. Ayrıca, klorofil-*a* miktarlarına ait bulgular Şekil 4.2.1'de grafik halinde de verildi.

Tablo 4.2.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Klorofil-*a* Miktarlarının Aylık ve Vertikal Değerleri (µg/L)

Klorofil-*a* (µg/L)	Yüzey	1 m	3 m	5 m	9 m	20 m
Aralık	3.55	1.77	3.55	5.32	ALA*	1.77
Ocak	3.55	1.77	5.32	3.55	3.55	1.77
Şubat	3.55	1.77	1.77	2.65	0.09	0.09
Mayıs	17.76	14.28	10.56	7.10	3.55	3.55
Haziran	31.96	23.08	28.41	14.20	5.32	1.77
Temmuz	21.32	26.64	28.41	8.88	8.88	ALA*
Ağustos	21.32	24.86	30.19	17.76	3.55	1.77
Eylül	26.64	23.97	15.98	20.42	17.76	3.55
Ekim	14.2	33.74	21.31	10.65	8.88	7.1

*ALA: Analiz Limitinin Altında



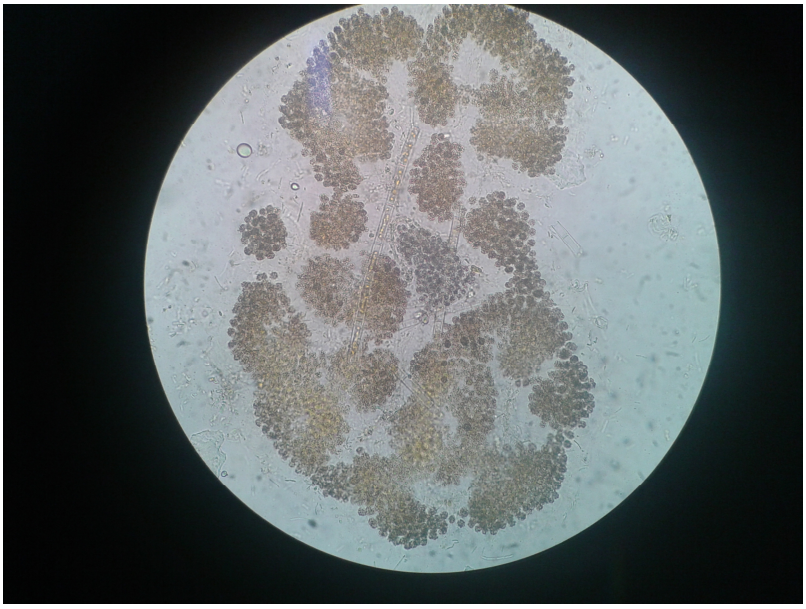
Şekil 4.2.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Ölçülen Klorofil-*a* Miktarlarının (µg/L) Vertikal Değişimi

4.3. Süloğlu Baraj Gölü'nde Mikrosistin Varlığına ve Siyanobakterilere Ait Bulgular

Süloğlu Baraj Gölü'nden Aralık 2012 – Ekim 2013 tarihleri arasında aylık periyotlarla alınan su numunelerinde yapılan toksin analizleri neticesinde, sadece Ağustos 2013 ve Eylül 2013 tarihlerinde ve yalnızca yüzeyden alınan su örneklerinde mikrosistin varlığına rastlandı. HPLC ile yapılan ölçümler neticesinde, Süloğlu Baraj Gölü'nde tespit edilen mikrosistin varyantının Mikrosistin-LR olduğu tespit edildi. Analiz sonuçlarına göre, baraj gölünde Ağustos 2013 tarihinde saptanan Mikrosistin-LR miktarı 0.2 µg/L olarak kaydedilirken, Eylül 2013 tarihinde tespit edilen Mikrosistin-LR miktarı ise 0.3 µg/L olarak belirlendi. Çalışmada ayrıca, Süloğlu Baraj Gölü'nde, literatürde mikrosistin üretebilme potansiyeline sahip oldukları belirtilen siyanobakterilere ait 3 cinse rastlandı. Bunlardan *Microcystis*'e ait koloniler en fazla miktarda bulunurken, *Anabaena* ve *Planktothrix*'e ait bireyler oldukça nadir gözlendi.

Süloğlu Baraj Gölü'nde Mikrosistin-LR'a rastlanan örnekleme dönemlerinde ise gölde en fazla rastlanan siyanobakterilerin *Microcystis aeruginosa* ve *Microcystis* sp.'ye ait koloniler tarafından temsil edildiği gözlendi (Şekil 4.3.1). Bu nedenle, çalışmada sadece *Microcystis*'e ait kolonilerin tür bazında teşhisleri ile, vertikal olarak koloni ve hücre sayımları gerçekleştirildi. Çalışmada ayrıca *Microcystis* spp.'in, Süloğlu Baraj Gölü'nün özellikle yüzeye yakın üst tabakalarında yaz sonu ve sonbahar başı örnekleme döneminde kitlesel yığınlar oluşturduğu da gözlemlendi (Şekil 4.3.2).

Chroococcales ordosuna ait *Microcystis* türleri koloniyel algler olup, çalışmamızda örnekleme yapılan aylarda Mayıs 2012- Ekim 2013 dönemleri boyunca her ay tespit edildi. Büyük boyutlarda renksiz müsilajlı koloniler oluşturan *Microcystis aeruginosa* üyelerinin düzensiz haldeki hücreleri müsilaj içinde gömülü durumda olup, mat görünümde ve yaklaşık olarak 5µm çapında olan bu hücreler mavi-yeşil renklidirler [47, 48, 49]. Genellikle düzensiz koloniler halinde bulunurlar ve koloniler arası boşluklar karakteristik özelliklerindendir [47, 48, 49].



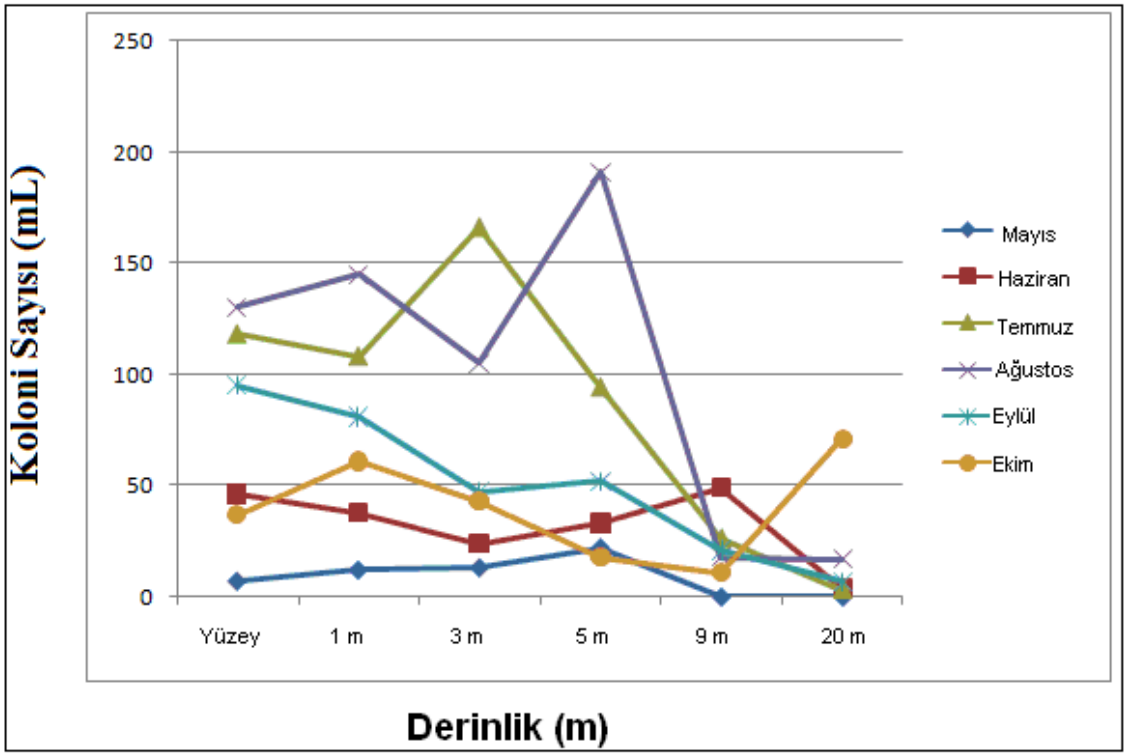
Şekil 4.3.1. *Microcystis aeruginosa* Kolonilerinin Mikroskop Görüntüsü



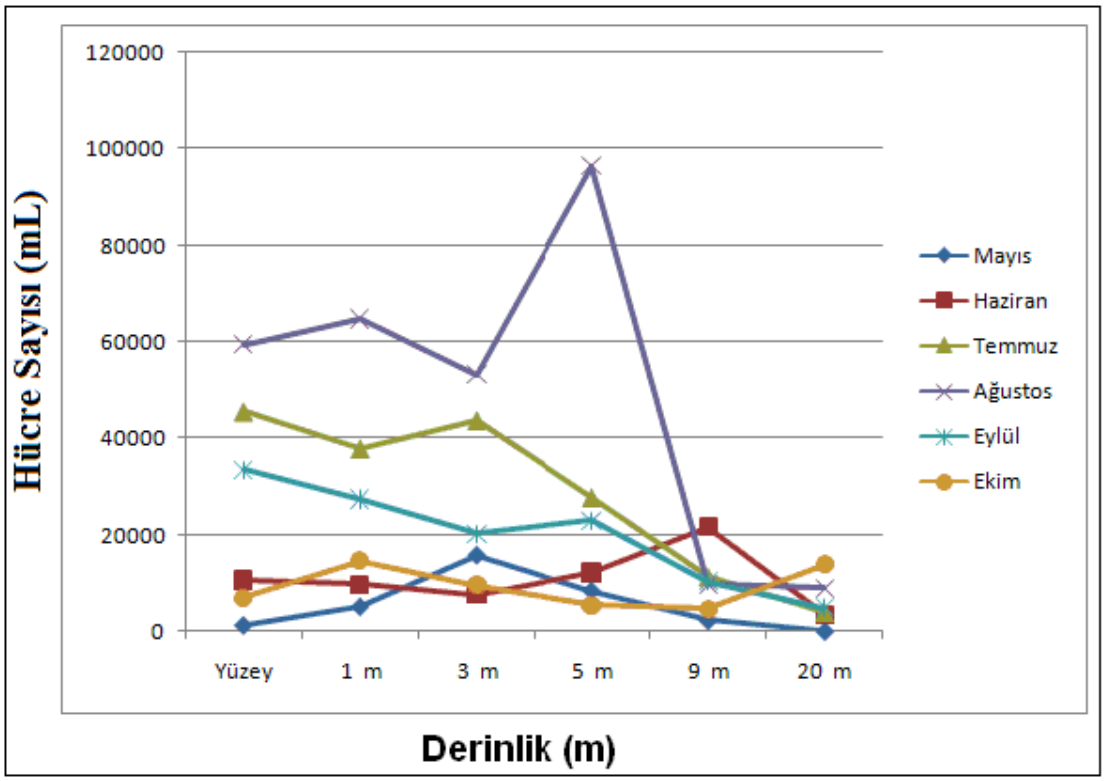
Şekil 4.3.2. Süloğlu Baraj Gölü'nde *Microcystis* spp. Kolonilerine Ait Kitlesel Görüntü

Oscillatoriales ordosuna ait filamentli alglerden *Planktothrix*'e ise Süloğlu Baraj Gölü'nde Mayıs 2012 – Eylül 2013 tarihleri arasında yapılan örneklemelerde nadiren rastlanırken, Nostocales ordosuna ait filamentli alglerden *Anabeana*'ya ait örneklere ise Haziran 2012 ve Ağustos 2013 aylarında ve yine oldukça nadir rastlandı.

Süloğlu Baraj Gölü'nde tespit edilen *Microcystis*'e ait *Microcystis aeruginosa* ve *Microcystis* sp.'a ait olduğu belirlenen kolonilerin mL'deki koloni ve hücre sayıları ise Şekil 4.3.3 ve Şekil 4.3.4'de verildi.



Şekil 4.3.3. Süloğlu Baraj Gölü'nde *Microcystis* spp.'e Ait Koloni Sayılarının Vertikal Dağılımı



Şekil 4.3.4. Süloğlu Baraj Gölü'nde *Microcystis* spp.'e Ait Hücre Sayılarının Vertikal Dağılımı

Çalışmada elde edilen siyanobakteriyel bulgular incelendiğinde; en fazla *Microcytis* kolonisine Ağustos ayında yapılan örneklemelerde 5. m'de rastlandı. Ayrıca, yüzey suyunda yapılan örneklemeler sonucunda ise *Microcystis* spp. için en yüksek sayıya yine Ağustos ayında (130 koloni/mL) ulaşılırken, en düşük sayının ise Mayıs ayında (7 koloni/mL) olduğu gözlendi. Mayıs – Ekim ayları arasında ortalama koloni sayısının 72 koloni/mL olduğu tespit edildi.

1. m derinlikte, *Microcystis* spp. için en yüksek sayıya ise yine Ağustos ayında (145 koloni/mL) ulaşılırken, en düşük sayı ise Mayıs ayında (12 koloni/mL) gözlemlendi. Mayıs – Ekim ayları arasında ortalama koloni sayısının 74 koloni/mL olduğu tespit edildi.

3. m derinlikte, *Microcystis* spp. için en yüksek sayıya Temmuz ayında (166 koloni/mL) ulaşılırken, en düşük sayının ise Mayıs ayında (13 koloni/mL) olduğu

gözlemlendi. Mayıs – Ekim ayları arasında ortalama koloni sayısının 66 koloni/mL olduğu tespit edildi.

5. m derinlikte, *Microcystis* spp. için en yüksek sayıya yine Ağustos ayında (191 koloni/mL) ulaşılırken, en düşük sayının ise Ekim ayında (18 koloni/mL) olduğu gözlemlendi. Mayıs – Ekim ayları arasında ortalama koloni sayısının 68 koloni/mL olduğu tespit edildi.

9. m derinlikte, *Microcystis* spp. için en yüksek sayıya Haziran ayında (49 koloni/mL) ulaşılırken, en düşük sayının ise Mayıs ayında (0 koloni/mL) olduğu gözlemlendi. Mayıs – Ekim ayları arasında ortalama koloni sayısının 20 koloni/L olduğu tespit edildi.

20. m derinlikte, *Microcystis* spp. için en yüksek sayıya Ekim ayında (71 koloni/mL) ulaşılırken, en düşük sayının ise Mayıs ayında (0 koloni/mL) olduğu gözlemlendi. Mayıs – Ekim ayları arasında ortalama koloni sayısının 17 koloni/mL olduğu tespit edildi.

Ayrıca, *Microcystis* spp.'ye ait ortalama koloni çaplarının ise Mayıs ayında yapılan örneklemelerde 32 µm olduğu tespit edilirken, Haziran ayındaki örneklemelerde ortalama koloni çapının 34 µm, Temmuz ayında yapılan örneklemelerde ortalama koloni çapının 75 µm, Ağustos ayındaki örneklemelerde ortalama koloni çapının 90 µm, Eylül ayındaki örneklemelerde ortalama koloni çapının 98 µm, Ekim ayında yapılan örneklemelerde ise ortalama koloni çapının 112 µm olduğu ölçüldü.

BÖLÜM 5

TARTIŞMA VE SONUÇ

Edirne ilinde yer alan ve taşkın koruma/sulama amaçlı kullanımının yanı sıra içme/kullanma suyu temininde de kısmen yararlanılmakta olan Süloğlu Baraj Gölü'nde mikrosistin varlığının araştırılması üzerine yapılan bu çalışmada, mikrosistin üretme potansiyeline sahip siyanobakteri türlerinin Süloğlu Baraj Gölü'nde ürettikleri mikrosistin varlığı ve konsantrasyonları tespit edilmeye çalışıldı. Ayrıca, gölde yapılan örneklemelerle mikrosistin ürettiği bilinen siyanobakteri türlerinin su sütunundaki dikey dağılımları ve yaşadıkları ortamın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri de belirlenmeye çalışıldı.

Siyanobakterilerin sucul ortamlarda uygun koşullarda aşırı derecede artış gösterdiklerine dair pek çok çalışma bulunmakta olup, Türkiye'deki sucul ekosistemlerde yapılan çalışmalardan bazılarında bu çoğalmalarda özellikle *Microcystis* türlerine en sık rastlandığı bildirilir [22].

Özellikle *M. aeruginosa*'nın koloniyel bir form olma özelliğinin yanı sıra, içermiş olduğu gaz vakuolleri sebebiyle suyun üst yüzeyinde bir örtü oluşturduğu ve bu durumun daha alt katmanlarda kalan diğer alglerin üremesini engelleyebileceği de literatürde bildirilir [41]. *Microcystis aeruginosa*'nın aşırı artışına ötrofik göllerde ve içme su kaynaklarında oldukça sık rastlanır [19]. Mikrosistinler, *Microcystis* ve diğer siyanobakteriyel toksin üretebilen cinsler, sucul organizmalar ve insanlar için zararlı olabilmektedirler [19].

Süloğlu Baraj Gölü, önceleri her ne kadar taşkın koruma ve sulama amaçlı inşa edilmişse de, merkez ilçede su ihtiyacına olan talebin artmasıyla birlikte içme ve kullanma suyu temininde de kullanılmaya başlanmış bir tatlı su rezervi olması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle, göldeki mikrosistin varlığının sınır değerleri aşması

durumunda canlılar üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir. Daha önceleri Güher ve Kırgız [56] tarafından Süloğlu Baraj Gölü'nün zooplanktonik organizmaları taksonomik açıdan incelenmiş olup, şimdiye dek gölün mikrosistin varlığının araştırılması üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışma, Süloğlu Baraj Gölü'nde yapılacak benzer çalışmalar için de önemli bir veri sağlamış olacaktır.

Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmamızda, Mayıs 2013 – Ekim 2013 tarihleri arasında yapılan su örneklemelerinde, gölde mikrosistin üretme potansiyeline sahip siyanobakteri türlerinden *Planktothrix*, *Anabaena*, *Microcystis*'e ait bireylere rastlanmıştır. Bu gruplara ait türlerin bazılarının mikrosistin üretme yeteneğinde oldukları ve *Microcystis*'e ait türlerin özellikle yaz sonu ve sonbahar başında aşırı derecede çoğaldıkları [28] ve sıcak periyotta gelişen siyanobakteriyel artışın mikrosistin konsantrasyonuna sebep olduğu bildirilir [57]. Benzer durum, bizim çalışmamızda da tespit edilmiştir. Özellikle Süloğlu Baraj Gölü'nde Ağustos ayında (yaz sonu) ve Eylül ayında (sonbahar başı) mikrosistine rastlanmış olması literatürü destekler niteliktedir.

Çevresel faktörlerin siyanobakteriyel artışta etkili olabildiği, yüksek sıcaklık ve fosfor konsantrasyonlarının bu artışta rol oynayabileceği kaydedilmiştir [30]. Yüksek sıcaklık ve pH değerleri, düşük türbülans ve yüksek besin girdisi gibi çevresel koşullar, göllerde ve barajlarda Siyanobakterilerin aşırı çoğalmasına yol açarabilir [39]. *Microcystis*'in mikrosistin üretiminde ise ışık, iletkenlik, pH, azot, fosfor ve demir miktarının etki ettiği bildirilir [18]. Çalışmamızda da *Microcystis* kolonilerine yüzeyde ve yüzeyin altındaki ilk 5 metre derinlikte daha fazla rastlanmıştır. Albay ve ark. [24]'nın yapmış oldukları çalışmada ise Taşkısı Gölü'nde Mikrosistin-LR konsantrasyonu yüzey sularında en yoğun bulunurken, Sapanca Gölü'nde tespit edilen mikrosistinin % 90'ının 15 ila 25 metre derinlikler arasında en fazla olduğu kaydedilmiştir. Yine Albay ve ark. [41] tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, Küçükçekmece Gölü'nde en yüksek siyanobakteri artışı ve mikrosistin üretimine ilk 1. metrede rastlanmıştır. Çalışmada, bu artışa *M. aeruginosa*'nın neden olduğu belirtilmiştir [41]. Küçükçekmece Gölü'nde yapılan bir diğer araştırmada ise, yüzeydeki mikrosistin artışının sıcaklık, yüksek besin tuzu ve yüksek ışık yoğunluğu nedeniyle olduğu kaydedilmiştir [42].

Türkiye'de mikrosistinle ilgili çalışmaların yapıldığı göllerle kıyaslandığında, Süloğlu Baraj Gölü 3.6 km^2'lik alanıyla oldukça küçük bir sucul

ekosistemdir. Derinliğin çok fazla olmaması, litoral zonda yoğun bitkisel materyal içermemesi, etrafında yoğun olarak tarım yapılmaması ve dolgu kaya tipinde zemin yapısına sahip olması nedeniyle, Süloğlu Baraj Gölü'nün alg artışına çok elverişli koşullara sahip olmadığı söylenebilir.

Süloğlu Baraj Gölü'nde tespit edilen *Microcystis* kolonilerine özellikle yüzeyden itibaren ilk 5 metrelik derinlikte rastlanmış olması, ışığın etkisi ve su sıcaklığı nedeniyle olabilir. Albay ve ark. [41]'nın Küçükçekmece Gölü'nde yaptığı çalışmada, mikrosistin üretiminin büyük bir kısmının *M. aeruginosa* tarafından gerçekleştirildiği ve mikrosistin üretiminin de ilk 1 m derinlikte en yüksek değere ulaştığı kaydedilmiştir [41].

Çalışmamızda, Süloğlu Baraj Gölü'nde tespit edilen *Microcystis* spp. kolonilerinin yüzey suyunda ortalama 72 koloni/mL, 1. metrede 74 koloni/mL, 3. Metrede 66 koloni/mL, 5. metrede 68 koloni/mL olduğu ve koloni sayılarının 9. ve 20. metrelerde mL'de sırasıyla 20 koloni ve 17 koloniye düştüğü tespit edilmiştir. *Microcystis* spp.' nin güneş ışığına olan ihtiyacı, gaz vakuolü oluşturarak suyun birkaç metre altında tabaka oluşturması ve su sıcaklığı dikkate alındığında, çalışmamızdaki koloni yoğunluğunun ilk 5 metrede dağılım göstermesi Albay ve ark. [25]'nın Ömerli Baraj Gölü'nde yaptığı çalışmayla paralellik göstermektedir. Bu çalışmada, özellikle *M. aeruginosa'*nın ötrofik karakterdeki sucul iç su ekosistemlerinin daha çok üst kesiminde artış göstererek "scum" denen kütleler oluşturduğunu bildiren çalışmaların varlığına da değinilmiştir [25].

Işık, planktonik organizmaların gelişmesi açısından en önemli faktör olmakla birlikte, ışığın azlığı sularda aynı zamanda sınırlayıcı bir faktördür [8]. Bu nedenle sucul ortama giren ışığın şiddeti olduğu kadar dalga boyu ve süresi de çok önemlidir [8]. Süloğlu Baraj Gölü'nde Secchi Disk ölçümünden elde edilen veriler ışık geçirgenliği açısından değerlendirildiğinde, yaz ve sonbaharda artan fitoplankton oranının, ışığın derinlere inmesini engelleyecek değerlerde olduğu ve siyanobakterilerin vertikal dağılımlarına etki etmiş olabileceği düşünülür. Burada en yüksek Secchi Disk ölçümü 232 cm ile Haziran ayında ve en düşük ise 76 cm ile Temmuz ayında ölçülmüştür. Kış aylarında ışık geçirgenliği tek düze bir değişim gösterirken, yaz başında ani bir azalma göstermiştir. Bu duruma yaz mevsimi başında görülen fitoplanktonik populasyonların ani artışı sebep olmuş olabilir. Çalışmamızda ışık geçirgenliğinin azalmasında en etkili

türün *M. aeruginosa* olduğu düşünülmektedir. Çünkü bu türün yüzeydeki artışı ışık geçirgenliğini azaltarak suyun alt katmanlarına ışığın geçişini engellemiş olabilir. Mikrosistin üreticisi olan siyanobakteri türlerinin, özellikle suyun üst katmanlarında örtü oluşturabildikleri ve böylelikle fotik zonun özellikle üst kısımlarında aşırı çoğalarak alt katmanda kalan diğer canlıların ışıktan yararlanmasını engelleyerek gelişimlerini baskılayabilecekleri bildirilir [24, 41].

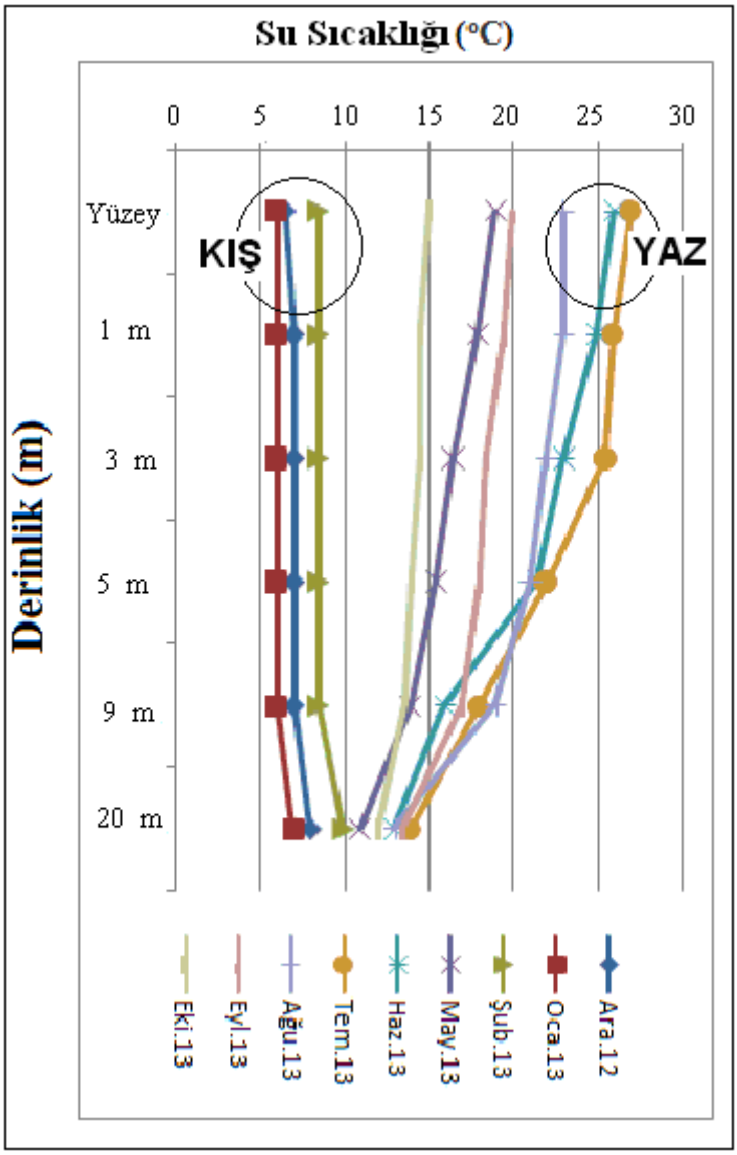
Sıcaklık, sucul ekosistemlerde doğal olarak ışığın bir etkisi olarak gelişir [1]. Ayrıca planktonik canlıların gelişiminde de önemli bir çevresel faktör olup bu canlıların gelişmeleri için belirli optimum sıcaklık aralıkları söz konusudur [8]. Süloğlu Baraj Gölü'nde sıcaklık değerleri ortalama olarak 6 ila 22 ^{o}C olarak kaydedilirken, sıcaklığın vertikal dağılımlarına bakıldığında, yazın üst tabakada artarken, 5. metreden sonra ani bir düşüş gösterdiği saptanmıştır. Bu da, özellikle yaz aylarında *Microcystis'*in vertikal dağılımının sıcaklıkla ilgili olabileceğine işaret eder. Işığın aşırı absorblanmasıyla oluşan su ısınması nedeniyle, siyanobakteriyel artış gerçekleşebilmektedir [11]. Ayrıca, iklim değişikliğinin de alg artışlarında katalizör görevinde olduğu da öngörülmektedir [11]. Chorus ve Bartram [19]'a göre siyanobakterilerin en yüksek toksin üretme kabiliyeti 18-25 ^{o}C aralığı olduğu bildirilir. Albay ve ark. [42]'nın Küçükçekmece Gölü'nde yaptığı çalışmada ise yüzey suyunda mikrosistin üretiminin 16-25 ^{o}C arasında meydana geldiği kaydedilmiştir. Çalışmamızda, mikrosistine rastlanılan Ağustos ve Eylül aylarındaki su sıcaklıkları sırasıyla 23 ^{o}C ve 20 ^{o}C'dir. Bu durum, literatürle paralellik göstermektedir.

Süloğlu Baraj Gölü'nde ölçülen su sıcaklıklarının vertikal dağılımları mevsimsel açıdan değerlendirildiğinde ise, yaz aylarında hipolimniona doğru bir düşüşle birlikte termal stagnasyonun olduğu, sonbaharda ise sirkülasyon nedeniyle nispeten tek düze bir dağılımın olduğu gözlendi (Şekil 5.1).

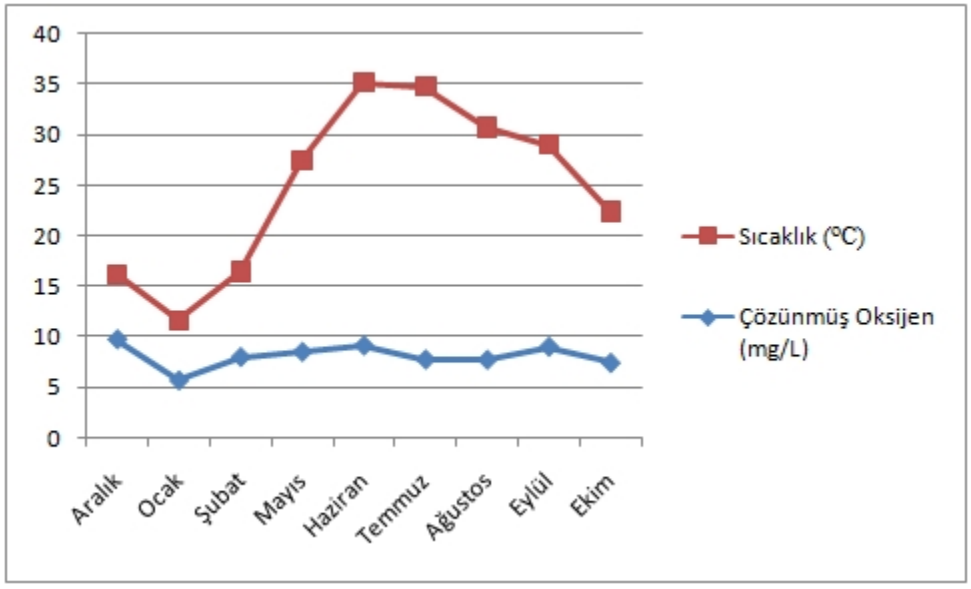
Sucul ekosistemlerde oksijen, gerek canlı yaşamı için gerekse biyokimyasal olaylar için en önemli faktördür. Çalışmamızda, Süloğlu Baraj Gölü'nde ölçülen çözünmüş oksijen değerleri ortalama olarak 5.4 ila 9.57 mg/L olarak kaydedilirken, bu değerler vertikal olarak incelendiğinde, yüzey suyunda sonbahardan kış mevsimine doğru ani düşüş görülmesine rağmen, kış mevsiminden ilkbahar mevsimine girilirken çözünmüş oksijen miktarının yükselişe geçtiği ve kış mevsimine kadar stabil kaldığı görülmüştür. Çalışmada ölçülen oksijen değerleriyle yüzey sıcaklıkları Şekil 5.2'de

karşılaştırılmıştır. Sıcaklığın sudaki oksijen çözünürlüğünü azalttığı literatürde bildirilmektedir [1].

Doğal sularda kimyasal ve biyolojik açıdan en önemli faktörlerden biri olan pH, birçok bileşiğin toksisitesini bile etkileyebilecek bir güce sahiptir [55]. Çalışmamızda, Süloğlu Baraj Gölü pH değerleri aylık olarak en düşük Aralık ayında 7.07 ile 20 m derinlikte, en yüksek ise Mayıs 2013 tarihinde 9.17 ile yüzeyde kaydedilirken, vertikal ortalamaları açısından en düşük pH değerine 20 m'de (7.87), en yüksek değere ise yüzeyde (8.48) rastlanmıştır. Mikrosistin tespit edilen Ağustos ve Eylül 2013 tarihlerindeki yüzey suyu pH değerleri incelendiğinde, pH aralığının 8.56 – 8.68 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. İspirli [27]'ye göre, pH'ın toksin üretimine etkisi, düşük ve yüksek pH'larda toksin içeriğinin daha da artması şeklinde olmaktadır. Aynı zamanda aşırı fitoplankton artışı da suyun pH değişimine yol açabilir [55].



Şekil 5.1. Süloğlu Baraj Gölü'nde Su Sıcaklıklarının Mevsimsel ve Vertikal Değişimi



Şekil 5.2. Süloğlu Baraj Gölü'nde Yüzey Suyunda Ölçülen Çözünmüş Oksijen ve Su Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

Yüksek bitkilerde olduğu gibi, algler de azot ve fosfor gibi besleyici elementlere ihtiyaç duyarlar ve planktonik algler nitrat ve amonyak tuzlarını kullanabilirken, pek çok planktonik alg fosfordan ortofosfat ($o\text{-}PO_4^{-3}$) şeklinde yararlanabilir [8]. Her ne kadar siyanobakterilerin aşırı derecede artışının yüksek oranda besin tuzu içeren ötrof karakterdeki göllerde gerçekleştiği düşünülse de, siyanobakterilerin dominant olduğu göllerin farklı trofi düzeylerine sahip oldukları da gözlenmektedir [22]. Sucul ekosistemlerde, özellikle fosfor ve azottan kaynaklanan kirlilik ötrofikasyona yol açarak suda bulunan organizmaların dengesini bozar [30]. Süloğlu Baraj Gölü'nde fosfat oranlarına kış ve sonbahar mevsimlerinde rastlanırken, ilkbahar ve yaz aylarında fosfat değerleri çok düşük oranlarda bulunmuştur. Algler, ortamdaki fosfatı kullanma eğilimindedirler [1]. Bu sebepten dolayı, Süloğlu Baraj Gölü'nde tespit edilen *Microcystis* biyomasının ilkbahardan itibaren artmasıyla ortamdaki fosfatlı bileşiklerin konsantrasyonunda kayda değer bir azalma görülmüştür. Süloğlu Baraj Gölü'nde mikrosistin tespit edilen ve *Microcystis*'in en yüksek olduğu Ağustos – Eylül aylarında ise $o\text{-}PO_4^{-3}$ değerleri oldukça düşük oranlarda bulunmuştur.

Çalışmamızda, Süloğlu Baraj Gölü'nde NO_3-N miktarının yine yaz sonu ve sonbahar başında diğer mevsimlere nazaran düşük oranlarda çıkması, bu besin tuzundan alglerin yararlandığını akla getirmektedir. Çalışmamızda, Süloğlu Baraj Gölü'nde NO_3-N miktarı ortalama olarak 2.9 mg/L olarak kaydedilmiştir. Mikrosistin üretimine azot ve fosforun etkisi ise, siyanobakteri türüne bağlı olarak son derece değişkenlik göstermektedir [58].

Süloğlu Baraj Gölü'nde klorofil-*a* oranlarının en yüksek çıktığı Ağustos ayında 5 m derinlikte mikrosistine rastlanmamıştır. Bu durum, klorofil-*a* oranına *Microcystis* türlerinin neden olmadığını işaret edebilir. Bu duruma, siyanobakteri dışındaki diğer alg türleri sebep olmuş olabilir. Çalışmamızda klorofil-*a* değerleri ortalama 15.2 µg/L olarak kaydedilmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından içme sularında tolere edilebilir mikrosistin miktarı 1 µg/L olarak belirlenmiştir [31, 28]. Bu durum, günde 2 litre su içen ve yaklaşık 60 kg ağırlığa sahip bir erişkinin yaşamı boyunca hergün Mikrosistin–LR alması durumunda içme suyunda kabul edilebilir miktar olarak belirlenmiştir [31], [22]. Mikrosistin alımına bağlı olarak canlıların olumsuz etkilendiklerine dair pek çok çalışma vardır [31]. Gerekli önlemlerin alınmaması durumunda tüm bu olumsuzluklar besin zincirinin en üst halkasında bulunan insana dek ulaşarak ciddi sağlık problemlerine yol açabilir. Ancak bu çalışmada, Süloğlu Baraj Gölü'nde tespit edilen mikrosistin miktarının kabul edilebilir sınır değerleri aşmadığı için tolere edilebilir olduğu ve şimdilik herhangi önemli bir tehlike arz etmediği kaydedilmiştir.

Sonuç olarak, çalışmamızda elde edilen bulgular değerlendirildiğinde; siyanobakteriler tarafından üretilen mikrosistin miktarının ve vertikal dağılımının incelenmesi neticesinde, Ağustos ve Eylül aylarında yüzey suyunda sırasıyla 0.2 µg/L – 0.3 µg/L Mikrosistin-LR tespit edilmiş olup, buna sebep olan siyanobakterilerin bu aylarda ve derinliklerde baskın tür olan *Microcystis* spp.'den kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Süloğlu Baraj Gölü'nün mikrosistin içeriği değerlendirildiğinde, kullanım açısından şimdilik herhangi bir risk taşımadığı ve ölçülen Mikrosistin-LR'ın ortalama toksin konsantrasyonunun (0.25 µg/L) Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği 1 µg/L'nin altında olduğu bulunmuştur. İçme sularında mikrosistin üretme potansiyeline sahip siyanobakteri türlerinin varlığı, gelecek nesiller için risk oluşturabileceği için, özellikle

içme suyu rezervlerinin su kalitesinin sürekli olarak takip edilmesi ve siyanotoksin üretiminin kontrol altında tutulması için benzer çalışmaların periyodik olarak tekrarlanması gerektiği, ve bu durumun suyun sürdürülebilir kullanımı açısından önemli olduğu kanaatindeyiz.

KAYNAKLAR

[1] J. Tanyolaç, ***Limnoloji***, Hatiboğlu Yayınevi, Ankara, (2000).

[2] C. Akköz, S. Güler, ***Topçu Göleti (Yozgat) Alg Florası I***: ***Epilitik ve Epifitik Algler,*** S.Ü. Fen Ed. Fak. Fen Derg., 23, 7-14, (2004).

[3] M. Küçükyılmaz, G. Uslu, N. Birinci, N.G. Örnekçi, N. Yıldız, T. Şeker, ***Karakaya Baraj Gölü Su Kalitesinin İncelenmesi***, International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium, 26-28 October, Konya (2010).

[4] N. Çepel, ***Ekolojik Sorunlar ve Çözümleri***, Tübitak Yayınları, Ankara, (2003).

[5] E.P. Odum, G.W. Barett, ***Ekoloji'nin Temel İlkeleri***, ISBN: 978-9944-341- 74-5, (2007).

[6] J. Kamil, ***The World's Oldest Dam,*** Al-Ahram Weekly, 16 - 22 September, Issue No. 708, (2004).

[7] D. Boztuğ, T. Dere, N. Tayhan, N. Yıldırım, D. Danabaş, N.C. Yıldırım, A.Ö. Önal, S. Danabaş, C. Ergin, G. Uslu, E. Ünlü, ***Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli) Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Su Kalitesinin Değerlendirmesi***, Adıyaman Üniversitesi Fen bilimleri Dergisi, 2 (2), 93-106 , (2012).

[8] A.Y. Sönmez, O. Hisar, M. Karataş, G. Arslan, M.S. Aras, **Sular Bilgisi**, Nobel Yayın Evi, İstanbul (2008).

[9] S. Köksal, ***Çevre Sağlığı İçme ve Kullanma Suları***, http://www.ctf.edu.tr /halk/%C3%87evre%20Sa%C4%9Fl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20%C4%B0 %C3%A7me%20ve%20Kullanma%20Sular%C4%B1.pdf, (Erişim 05.05.2014).

[10] C.N. Solak, C.N., Barlas, M., Pabuçcu, K., ***Akçay'ın (Büyük Menderes-Muğla) Bacillariophyta Dışındaki Epilitik Algleri,*** Ekoloji Çevre Dergisi, 16 (62), 16-22, (2007).

[11] H.W. Paerl, J. Huisman, ***Climate. Blooms Like It Hot***, Science, 4, 320(5872):57-8, (2008).

[12] Y. Nuhoğlu, T. Oymen, ***Doğu Karadeniz Bölgesi (Bölümü) Su Kaynakları Kirliliği ile Balık Populasyonları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi***, *Çevre Dergisi*, 6, 28-33, (1993).

[13] S. Polat, M.P. Olgunoğlu, A. Aka, T. Koray, ***Kuzeydoğu Akdeniz Kıyısal Sularında (İskenderun Körfezi) Dağılım Gösteren Potansiyel Zararlı Fitoplankton Türleri***, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 23(1-2), 169-172, (2006).

[14] B. Hitzfeld, C. Lampert, N. Späth, D. Mountfort, H. Kaspar, D. Dietrich, ***Toxin Production in Cyanobacterial Mats from Ponds on The McMurdo Ice Shelf, Antarctica***, Toxicon, (38), 1731-1748, (2000).

[15] L.E. Fleming, J.B. Rivero, C. Williams, J.A. Bean, K.A. Shea K.A., J. Stinn, ***Blue Green Algal (Cyanobacterial) Toxins, Surface Drinking Water, and Liver Cancer in Florida***, Harmful Algae 1(2); 157-168, (2002).

[16] S. Gkelis, T. Lanaras, K.Sivonen, ***The Presence of Microcystins and Other Cyanobacterial Bioactive Peptides in Aquatic Fauna Collected from Greek Freshwaters,*** Aquatic Toxicology, 78 (2006) 32-41, (2006).

[17] F. Gürbüz, ***Göller Bölgesindeki Bazı Su Kaynaklarında Bulunan Toksik Siyanobakteri Türlerinin Tanımlanması ve Toksin Seviyelerinin Belirlenmesi,*** Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).

[18] D.S. Kaya, ***Microcystis* spp. *de Microcystin Üretiminden Sorumlu Genlerinin Tespiti,*** Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).

[19] I. Chorus, J. Bartram, ***Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring And Management***, E & FN Spon, London, on behalf of the World Health Organization, Geneva, (1999).

[20] I.R. Falconer, A.R. Humpage, ***Cyanobacterial (Blue-Green Algal) Toxins in Water Supplies: Cylindrospermopsins,*** Enviromental Technology, 21(4):299-304, (2006).

[21] C.S. Reynolds, V.L. Huszar, L. Naselli-Flores, S. Melo, ***Towards a Functional Classification of The Freshwater Phytoplankton***, Journal of Plankton Research, 24 (5) 417- 428, (2002).

[22] R. Akçaalan, ***Sapanca Gölünde Microcystin (Hepatotoksin) Üreten Mavi-Yeşil Alglerin (Cyanophyta) Bulunuşu ve Su Kalitesi ile Olan İlişkilerinin İncelenmesi,*** Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2004).

[23] Anonymous, ***Cyanobacteria in California Recreational Water Badies: Provading Voluntory Guidance about Harmful Algal Blooms, Their Monitorning and Public Notification***, http://www.cdph.ca.gov/HealthInfo/environhealth/water/Documents/BGA/BGAdraftvoluntarystatewideguidance-07-09-2010.pdf (Erişim: 05.05.2014).

[24] M. Albay, R. Akçaalan, H. Tüfekçi, J.S. Metcalf, K.A. Beattie, G.A. Codd, ***Depth Profiles of Cyanobacterial Hepatotoxins (Microcystins) in Three Turkish Freshwater Lakes,*** Hydrobiologia, 505 (1-3), 89-95, (2003).

[25] M. Albay, R. Akçaalan, G. Aykulu, H. Tüfekçi, K.A. Beattie, G.A. Codd, ***Occurrence of Toxic Cyanobacteria Before and After Copper Sulphate Treatment in a Water Reservoir, Istanbul, Turkey,*** Algological Studies, 109, 1, 67-78, (2003).

[26] R. Akçaalan, F.M. Young, J.S. Metcalf, L.F. Morrison, M. Albay, G.A. Codd, ***Microcystin Analysis in Single Filaments of Planktothrix Spp. in Laboratory Cultures and Environmental Blooms***, Water Research, 40(8): 1583-1590, (2006).

[27] S. İspirli, ***İzmir Tahtalı Baraj Gölü'nün Toksik Siyanobakteri Türleri ve Bazı Mikrosistin Varyantları Yönünden Araştırılması,*** Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).

[28] F. Gürbüz, J.S. Metcalf, A.G. Karahan, G.A. Codd, ***Analysis of Dissolved Microcystins in Surface Water Samples from Kovada Lake, Turkey,*** Science of The Total Environment 407: 4038-4046, (2009).

[29] Ö. Fakıoğlu, M. Atamanalp, N. Demir, ***Baraj Göllerinde Mavi-Yeşil Algler,*** Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi 3(2) 65-71, (2011).

[30] J.F. Briand, S. Jacquet, C. Bernard, J.F. Humbert, ***Health Hazards for Terrestrial Vertebrates from Toxic Cyanobacteria in Surface Water Ecosystems,*** Vet. Res. 34: 361-377, (2003).

[31] WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), ***World Health Report 2003 : Shaping The Future***, Geneva: WHO, (2003).

[32] G.A. Codd, L.F. Morrison, J.S. Metcalf, ***Cyanobacterial Toxins: Risk Management for Health Protection,*** Toxicol Appl Pharmacol. 2005 Mar 15;203(3):264-72, (2005).

[33] W.W. Carmichael, ***Health Effects of Toxin-Producing Cyanobacteria: "The Cyanohabs",*** Human and Ecological Risk Assessment 7(5): 1393-1407, (2001).

[34] S. Ulcay, O. Kurt, E. Taşkın, M. Öztürk, ***Uluabat (Apolyont) Gölü'nde (Bursa) Gözlenen Mevsimsel Toksik Mavi-Yeşil Alg (Cyanobacteria, Cyanophyceae) Çoğalması***, Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi 3(1): 117-120, (2010).

[35] L.R. Falconer, ***An Overview of Problems Caused by Toxic Blue-Green Algae (Cyanobacteria) in Drinking and Recreational Water***, Enviromental Toxicology, 14, 5-12, (1997).

[36] K. Sivonen, G.J. Jones, ***Cyanobacterial Toxin, in Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management***, Edt. Chorus, I., Bartram, J., 41-111. E & FN Spon., London, (1999).

[37] G.A. Codd, S.G. Bell, K. Kaya, C.J. Ward, K.A. Beattie, J.S. Metcalf, ***Cyanobacterial Toxins, Exposure Routes and Human Health***, Eur. J. Phycol., 34, 405-415, (1999).

[38] R.E. Honkanen, J. Zwiller, R.E. Moore, S.L. Daily, B.S. Khatra, M. Dukelow, A.L. Boynton, ***Characterization of Microcystin-LR, a Potent Inhibitor of Type 1 and Type 2A Protein Phosphatases***, J. Biol Chem., 15;265(32):19401-4, (1990).

[39] D.R. Figueiredo, U.M. Azeiteiro, S.M. Esteves., F.J. Gonçalves, M.J. Pereira, ***Microcystin-Producing Blooms-A Serious Global Public Health Issue,*** Ecotoxicology and Environmental Safety, 59(2):151-63, (2004).

[40] G.A. Codd, ***Cyanobacterial Toxins, The Perception of Water Quality, and The Prioritisation of Eutrophication Control***, Ecological Engineering 16: 51–60, (2000).

[41] M. Albay, R. Akçaalan, C. Gürevin, G. Aykulu, ***Küçükçekmece Gölü'nde Microcystin'in Dikey Dağılımı ve Çevresel Parametreler ile Olan İlişkilerinin İncelenmesi,*** Küçükçekmece Gölü ve Havzası için Çevre Yönetim Biriminin Oluşturulma Süreci ve Bölgeye Katkıları Çalıştayı, 20-22 Ekim, İSTANBUL, (2004).

[42] M. Albay, A. Matthiensen, G.A. Codd, ***Occurrence of Toxic Blue-Green Algae in The Kucukcekmece Lagoon (Istanbul, Turkey),*** Environmental Toxicology 20(3):227–284, (2005).

[43] Anonim, http://www2.dsi.gov.tr/bolge/dsi11/edirne.htm#suloglubaraji (Erişim: 01.02.2014)

[44] L.A. Lawton, C. Edwards, G.A. Codd, ***Extraction and High-Performance Liquid Chromatographic Method for The Determination of Microcystins in Raw and Treated Waters,*** Analyst, 119(7), 1525-1530, (1994).

[45] H. Utermohl, ***Zur Vervollkommung Der Quantitativen Phytoplanktonmethodik,*** Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol., 9. 1-39, (1958).

[46] J.W.G. Lund, C.D. Kipling, E. Le Cren, ***The Inverted Microscope Method of Estimating Algal Numbers and Statistical Basis of Estimations by Vounting***, *Hydrobiologia* 11, 143-170, (1958).

[47] T.V. Desikachary, ***Cyanophyta***, 686 pp. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, (1959).

[48] G.W. Prescott, ***Algae of The Western Great Lakes Area***, Otto Koeltz Science Publishers P.O.Box 1380, D-6240 Koenigstein/W-Germany, 455, (1982).

[49] L. Geitler, ***Cyanophyceae,*** Koeltz Scientific Books, Koenigstein, 3-87429-252-5, (1985).

[50] J. Komarek, K. Anagnostidis, ***Modern Approach to The Classification System of Cyanophytes***, 2. Chroococcales, Arch. Hydrobiol. Suppl., (1986).

[51] K. Anagnostidis, J. Komárek, ***Modern Approach to The Classification System of Cyanophytes. 3. Oscillatoriales. Archiv für Hydrobiologie,*** (1988).

[52] J. Komarkova-legnorova, G. Cronberg, ***New and Recombined Filamentous Cyanophytes from Lakes in South Scania, Sweden***, Algological Studies, 67, 21-31, (1992).

[53] G. Cronberg, J. Komarek, ***Planktic Cyanoprokaryotes Found in South Swedish Lakes during The XII th International Symposium on Cyanophyte Research***, 1, *Algological Studies*, 75, 323-352, (1994).

[54] E.A. Nusch, ***Comparison of Different Methods for Chlorophyll and Phaeopigment Determination***, Archiv für Hydrobiol./Ergebnisse der Limnol. 14: 14-36, (1980).

[55] Ö. Egemen, U. Sunlu, ***Su Kalitesi***, E.Ü. Su Ürünleri Fak.Yayın No:14, İzmir, (1999).

[56] H. Güher, T. Kırgız, ***Süleoğlu Baraj Gölü ve Korucuköy, Budakdoğanca, Eskikadın Göletlerinin Cladocera ve Copepoda (Crustacea) Türleri***, Anadolu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Dergisi. - Eskişehir, 2, 1, 25-43, (1988).

[57] I. Kagalou, T. Papadimitriou, V. Bacopoulos, I. Leonardos, ***Assessment of Microcystins in Lake Water and The Omnivorous Fish (Carassius Gibelio, Bloch) in Lake Pamvotis (Greece) Containing Dense Cyanobacterial Bloom***, Environmental Monitoring and Assessment, 137(1-3):185-95, (2007).

[58] C. Vézie, J. Rapala, J. Vaitomaa, J. Seitsonen, K. Sivonen, ***Effect of Nitrogen and Phosphorus on Growth of Toxic and Nontoxic Microcystis Strains and on Intracellular Microcystin Concentrations***, Microbial Ecology, May;43(4):443-454, (2002).

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İstanbul/Bakırköy doğumlu Salih Murat ARAT, ortaöğrenimini Ataköy Cumhuriyet Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2006 yılında Trakya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2010 yılında mezun olduktan sonra 2011 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Hidrobiyoloji alanında lisansüstü eğitimine başladı.