

**İKLİM DEĞİLİKLİĞİNİN SUCUL EKOSİSTEMLERDE
BİRİNCİL ÜRETİM ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CLIMATE
CHANGE ON PRIMARY PRODUCERS IN AQUATIC
ECOSYSTEMS**

UMUT İPLİKCI

PROF. DR. SEDAT VAHDET YERLİ

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Biyoloji Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2025

ÖZET

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SUCUL EKOSİSTEMLERDE BİRİNCİL ÜRETİCİLER ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Umut İPLİKÇİ

Yüksek Lisans, Biyoloji Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sedat V. YERLİ

NİSAN 2025, 42 sayfa

İklim değişikliğinin etkilerinin; fitoplankton takımları çerçevesinde, biyokütle değişimi ile tür zenginliği üzerine olası etkilerinin araştırılması bu tez çalışmasının ana amacıdır. Amaç doğrultusunda Mogan Gölü'nden alınan fitoplankton örneklerinin, farklı sıcaklık ve pH seviyelerindeki ortamlar altında tür zenginliği ve biyokütle üzerindeki etkilerini incelenmesi hedeflenmiştir. Fitoplankton örnekleri, 22°C, 26°C ve 30°C sıcaklıklarda, asidik, nötr ve bazik pH koşullarında laboratuvar ortamında deneye alınmıştır. Belirtilen deneysel kurgu ile iklim değişikliğinin sucul ekosistemler üzerindeki potansiyel etkilerinin anlaşılması, sıcaklık ve pH değişimlerinin fitoplankton toplulukları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Yüksek sıcaklık ve pH değişimlerinin bazı fitoplankton türlerinin artan baskınlığına yol açması beklenirken, bazı türlerin ise bu koşullara uyum göstermekte zorlanacağı öngörülmüştür. Bu doğrultuda, iklim değişikliği nedeniyle su sıcaklıkları ve pH seviyelerindeki değişikliklerin, fitoplankton topluluklarını ve bu toplulukların ekosistem fonksiyonlarını önemli ölçüde şekillendirebileceğini düşündürmektedir. Deney sonuçları, bu etkilerin uzun vadeli yansımaları konusunda daha fazla araştırma yapılması gerektiği sonucunu doğurmaktadır.

Anahtar Kelimeler: iklim değişikliği, birincil üretim, fitoplankton

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON PRIMARY PRODUCERS IN AQUATIC ECOSYSTEMS

Umut İPLİKÇİ

Master Of Science, Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Sedat V. YERLİ

April 2025, 42 pages

The main aim of this thesis is to investigate the potential effects of climate change on phytoplankton communities, specifically focusing on changes in biomass and species richness. To this end, phytoplankton samples were collected from Lake Mogan in December 2024, and their responses to different temperature and pH conditions were examined in terms of species richness and biomass. The phytoplankton samples were exposed to temperatures of 22°C, 26°C, and 30°C under acidic, neutral, and basic pH conditions in a laboratory environment. This research aims to better understand the potential impacts of climate change on aquatic ecosystems, with a particular focus on how changes in temperature and pH may affect phytoplankton communities. It is expected that higher temperatures and pH changes will lead to an increased dominance of certain phytoplankton species, while others may struggle under these conditions. In this context, it is hypothesized that changes in water temperature and pH levels due to climate change may significantly shape phytoplankton communities and their associated ecosystem functions. However, further research is needed to understand the long-term implications of these effects.

Keywords: climate change, primer production, phytoplankton

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleşme sürecinde ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve sadece gelecekteki hayatımda bana kattığı değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm değerli hocam Prof. Dr. Sedat V. YERLİ'ye

Üç yıllık yüksek lisans eğitimim boyunca bana bütün süreçlerde her zaman destekleyen gerek akademik gerek manevi her koşulda yanımda olan değerli hocam Öğr. Üyesi Dr. Fatih MANGIT'a

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, akademik ve manevi anlamda her koşulda yanımda olan değerli hocam Doç. Dr. Özden FAKIOĞLU'na

Destekleriyle ve farklı bakış açılarıyla yanımda olan hocam Öğr. Üyesi Dr. Banu Şebnem ÖNDER'e

Sucul Yaşam Laboratuvarı sevgili ekip arkadaşlarım Ulca GÖKHUN, Sercan BÖYÜKALAN, Elif UYSAL ve Müge MISIRLIOĞLU'na

Lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca yardımlarını, dostluklarını hiç esirgemeyen Kıvanç SEVİM, Omar KHALID, Bura Uğur SORGUÇ'a

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyen Arif Muhammed DEMİR, İlayda DUMLUPINAR, Ayça PARLAYAN, Ece Nur ÖZALP'a

Her zaman yanımda olan dostum Nart YEŞİLYURT'a

Bugünlere gelmemi sağlayan, kayıtsız şartsız her daim maddi, manevi yanımda olan canım aileme

Bu çalışma, bursiyeri olduğum Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 123Y021 numaralı proje ve Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi tarafından FUK-2024-21109 numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a ve Hacettepe Üniversitesi'ne

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Fitoplankton Tanımı ve Genel Özellikleri.....	4
2.1.1 Bacillariophyceae (Diyatome)	5
2.1.2. Chlorophyceae (Yeşil alg)	6
2.1.3. Cyanobacteria (Siyanobakteri)	6
2.1.4 Euglenophyceae (Öğlena).....	7
2.1.5 Dinophyceae (Dinoflagellat)	7
2.1.6 Cryptophyceae (Kriptomonad).....	8
2.2 İklim Değişikliğinin Tatlı Su Sistemlere Etkisi	8
2.2.1. İklim Değişikliğinin Sığ Göllere Etkisi.....	9
2.2.2. İklim Değişikliğinin Göl Fitoplankton Üzerine Etkileri	10
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	15
3.1. Birincil Üretici Örneklerinin Toplanması ve Deneye Hazırlanması	15
3.2. Biyokütlenin Belirlenmesi	18
3.3. Deneyin Kurulumu ve Uygulanması	18
3.4. Taksonomik Analizler	19
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	21
5.Tartışma	33
6. YORUM	42

7. KAYNAKLAR.....	43
EKLER	55
EK 1 – Tez Çalışması Orjinallik Raporu	55
ÖZGEÇMİŞ	56



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Mogan Gölü (Google Earth, 2025)	15
Şekil 3.2. Mogan Gölü, örnekleme gerçekleştirilen istasyon	16
Şekil 3.3. Fitoplankton örnekleminin deney için hazırlaması.....	16
Şekil 3.4. 22°C'de gerçekleştirilen deney düzeneği	19
Şekil 3.5. 26°C'de gerçekleştirilen deney düzeneği	19
Şekil 3.6. 30°C'de gerçekleştirilen deney düzeneği	19
Şekil 4.1. Tek sıcaklık için deney düzeneği.....	21
Şekil 4.2. 22°C farklı pH seviyelerinde biyokütle değişimi (n=3).....	22
Şekil 4.3. 26°C'de farklı pH seviyelerinde biyokütle değişimi (n=3)	23
Şekil 4.4. 30°C'de farklı pH seviyelerinde biyokütle değişimi (n=3)	24
Şekil 4.5. 22°C pH seviyelerine göre deney başlangıcı ve sonu fitoplankton sınıflarına göre birey dağılımı (Deney başı cins / toplam birey sayısı; asidik=21/1387, nötr=20/971, bazik=19/2343; Deney sonu cins / toplam birey sayısı; n; asidik=24/1179, nötr=29/1909, bazik=31/1689) .	26
Şekil 4.6. 26°C pH seviyelerine göre deney başlangıcı ve deney sonu fitoplankton sınıflara göre birey dağılımı (Deney başı cins / toplam birey sayısı; asidik=32/4024, nötr=34/2372, bazik=28/2357; Deney sonu cins / toplam birey sayısı; n; asidik=27/3183, nötr=29/3070, bazik=33/2669)	27
Şekil 4.7. 30°C pH seviyelerine göre deney başlangıcı ve deney sonu fitoplankton sınıflara göre birey dağılımı (Deney başı cins / toplam birey sayısı; asidik=28/1502, nötr=24/1642, bazik=29/974; Deney sonu cins / toplam birey sayısı; asidik=28/2079, nötr=28/2261, bazik=34/2906)	28
Şekil 4.8. Fitoplankton sınıflarının büyüme oranları birey/mL (n=3).....	30
Şekil 4.9. Seçilen 10 cinsin büyüme oranları birey/mL (n=3).....	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Fitoplankton; ana taksonları ve özellikleri	5
Çizelge 3.1. WC kültür ortamı.....	17
Çizelge 4.1. Deneyde gözlenen fitoplankton cins listesi	24
Çizelge 4.2. Fitoplankton sınıflarının büyüme oranları birey/mL (n=3)	30
Çizelge 4.3. Seçilen 10 cinsin büyüme oranları birey/mL (n=3)	32



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ml	mililitre
µm	mikrometre
µg/L	mikrogram/litre
chl - a	Klorofil-a
CO ₂	Karbondiyoksit
O ₂	Oksijen
OD	Optik Yoğunluk
nm	Nanometre
°C	Santigrat Derece
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

1. GİRİŞ

Yerkürenin büyük bir kısmı su ile kaplı olmasına rağmen, sadece küçük bir kısmını tatlı sular oluşturmaktadır. Yeryüzündeki suyun yaklaşık %97'si tuzlu su, sadece %2,5'i tatlı sulardan oluşmaktadır; bu tatlı suyun %69,5'i kutuplarda buzul olarak, %30,1'i yer altında ve sadece %0,4'lük bir kısmı yüzeyde ve atmosferde bulunmaktadır. Kullanılabilir tatlı su, dünyadaki su kaynaklarının yalnızca %0,01'ini oluşturmaktadır ve 1,8 milyon türden en az 100 binini destekler (Dudgeon vd., 2006; USGS, 2019; Miller, 2021; Val vd., 2022). Tatlı su ekosistemleri, biyolojik çeşitlilik açısından son derece önemlidir ve canlıların doğrudan erişebildiği yüzeyde bulunan tatlı su miktarı toplam su miktarının binde biri kadardır (Gleick, 1993). Ayrıca insan için içme suyu temini, tarım, balıkçılık ve hijyen gibi hayati gereksinimleri karşılamaktadır. Dolayısıyla tatlı su sistemlerinin korunması biyolojik çeşitlilik ve insan içinde kritik bir konudur.

Türkiye'de çok sayıda göl bulunmasına rağmen, bu göller yüzey alanı bakımından ülke yüzölçümünün yalnızca %1-1,5'ini kaplamaktadır (Atayeter vd., 2022). Göl sistemleri; asidifikasyon (Psenner, 1994), ötrofikasyon (Vadeboncoeur vd., 2008; Williamson vd., 2009), kuraklık (Nielsen vd., 2020), hipersalinasyon (Jin vd., 2013; Hampton vd., 2017), sıcaklık dalgalanmaları başta olmak üzere iklim değişikliği ve antropojenik etmenlerin tehlikesi ile karşı karşıyadır.

Sığ göller; su seviyesindeki değişkenlik, sıcaklık artışı, besin döngüsündeki değişiklikler, düşük su hacmi nedeniyle sıcaklık dalgalanmaları ve buharlaşma kayıplarından ciddi etkilenmektedir (Schindler ve Smol, 2006; Riera vd., 2000). Sığ göllerin karakteristik özelliklerinden biri olan suyun sürekli karışması sonucunda, sabit bir su kolonu tabakalaşması oluşmayıp, bu durum gölün kararlı halinin bozulmasına sebebiyet verebilir. Dolayısıyla ekolojik dengesinin bozulmasına sebebiyet verebilir. Bu etkiler ayrıca sığ göllerde ötrofikleşme ihtimalini de arttırmaktadır. Ayrıca, değişen faktörlere uyum sağlayamayan türlerin azalmasına veya yok olmasına, istilacı türlerin avantajlı duruma gelmesini sağlayabilmektedir (Dorgham, 2014).

Fitoplankton, sucul ekosistemlerde birincil üretici olarak önemli rol üstlenmektedir. Fitoplanktonda meydana gelecek değişiklikler, karbon döngüsüne, su kalitesine, sucul ekosistemlerin fiziksel ve kimyasal parametrelerine, ayrıca ekosistemdeki trofik düzeylere etki edebilir (Schabhuötl vd., 2013). Ötrofikasyon, artan sıcaklıklar, artan

karbondioksit miktarı ve değişen pH seviyeleri birlikte fitoplankton komünitelerinde; büyüme artışına, bazı fitoplankton gruplarının baskınlaşmasına (Siyanobakteri gibi), alg patlamalarının artmasına, tür zenginliğinin azalmasına, besin ağının dolaylı yoldan etkilenmesine, su geçirgenliğinin düşmesine, oksijen seviyelerinin düşmesi gibi istenmeyen etkilere neden olmaktadır (Paerl ve Paul, 2012; Kosten vd., 2012; Visser vd., 2016).

İklim değişikliği; Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (İDÇS), karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ve dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkileri sonucunda iklimde oluşan değişiklik olarak tanımlanmıştır (Türkeş vd., 2000). Atmosferde biriken sera gazlarının etkisiyle iklim sisteminde on yıllar boyunca meydana gelen kalıcı değişimler, iklim değişikliği olarak tanımlanmaktadır (IPCC, 2021). Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change), sera gazlarını azaltmaya yönelik çabalarına rağmen okyanus yüzeyi sıcaklıklarının 2100 yılında 1-4°C artmasını öngörmektedir. Türkiye Cumhuriyeti Çevre Şehircilik Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Simgesel Derişim Rotaları (RCP; Representative Concentration Pathways) 8,5 senaryosuna göre, 2016-2099 dönemi için Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklıkların 2,5-3,5°C artması beklenmektedir (Akçakaya vd., 2013). Bu süreçte, yüzyılın ilk yarısında sıcaklık sapmaları -0,4 ile 3,8°C arasında değişirken, ikinci yarısında ise bu artışın 1,4 ile 6,6°C arasında olması öngörülmektedir (Akçakaya vd., 2013)

İklim değişikliği; tarım, kentleşme ve sanayileşme gibi antropojenik faktörlerle birleşerek hidrolojik döngüde bozulmalara, yağış rejimlerinde değişimlere, sıcaklık artışına ve kuraklık gibi etkilere yol açmaktadır. Bu değişiklikler, orman yangınları (Burrell vd., 2022), sel baskınları (Doric vd., 2023) ve diğer doğal afetleri tetikleyebilir, dolayısıyla biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyebilir (Weiskopf vd., 2020; Bellard vd., 2012). Tatlı su ekosistemleri de özellikle sıcaklık artışı (Dusenge vd., 2019; Rodgers, 2021), yağış rejimindeki değişimler (Gershunov vd., 2019) gibi faktörlerden büyük oranda etkilenmektedir. Ayrıca, insan kaynaklı kirlilik (kentler, tarım, balıkçılık, ötrofikasyon, sanayi, madencilik, kanalizasyon ve plastik kirliliği) sucul sistemlerde kirlenmelere yol açmaktadır (Beardall ve Raven, 2004; Beardall ve Stojkovic, 2006; Myers ve Worm, 2003). İklim değişikliğinin tetiklediği asitleşme, şiddetli hava olayları ve oksijen

seviyesindeki değişimler, zararlı alg patlamalarına neden olarak sucul ekosistemleri daha da çok tehdit etmektedir (Fritz vd., 2019).

Sözü edilen bilgiler ışığında; bu tez çalışmasında ötrofik bir sığ göl olan Mogan Gölü'nden alınan fitoplankton örnekleri kullanılarak, değişen sıcaklık ve pH koşulları altında; fitoplankton cins zenginliği ve fitoplankton biyokütlesi değişimlerinin incelenmesi hedeflenmiştir. İklim değişikliği öngörülerindeki sıcaklık artışı, pH seviyelerinde doğrudan ve dolaylı değişimler dolayısıyla iklim değişikliğinin fitoplankton üzerinde etkilerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Yeryüzündeki sınırlı yüzey suyu kaynakları; kentsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler gibi antropojenik kullanımlar nedeniyle ciddi bir tehdit altındadır. Bu baskılara ek olarak iklim değişikliği, artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri ve kuraklık gibi doğrudan ve dolaylı etkileriyle sucul sistemler üzerindeki stresi daha da artırmaktadır. Bu durum hem su kaynaklarının miktarını hem de fizyokimyasal özelliklerini değiştirerek, ekosistemlerin temel taşı olan fitoplankton toplulukları üzerinde belirleyici etkiler yaratmaktadır. Su kolonundaki besin dinamiklerinin tabanında yer alan fitoplanktonlar, birincil üretimin ana bileşeni olarak besin ağının yukarı düzeylerindeki organizmaların besin arzını ve ekolojik dengeyi doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, çevresel stres faktörlerinin fitoplankton kompozisyonu ve işlevi üzerindeki etkileri, günümüzde oldukça önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Sucul ekosistemlerde birincil üretim; başlıca fitoplankton, makro alg ve makrofit tarafından, inorganik karbonun ışık enerjisi kullanılarak organik maddeye dönüştürülmesi sürecidir (Culen, 2001). Bu süreç, sucul sistemlerde trofik yapıların temelini oluşturur ve karbon döngüsünde önemli rol oynamaktadır. Birincil üretim düzeyi; ışık, sıcaklık, besin konsantrasyonları ve suyun karışımı gibi çevresel parametrelerden etkilenmektedir ve fitoplankton bu birincil üretimin önemli parçalarındandır. Fitoplankton sucul sistemlerde besin ağı dinamikleri ve karbon döngüsü süreçlerinde önemli rol oynar. İklim değişikliği de mekânsal ve zamansal olarak bu birincil üreticileri değiştirme potansiyeline sahiptir (Strock ve Deuer, 2021).

2.1. Fitoplankton Tanımı ve Genel Özellikleri

Fitoplankton; sucul sistemlerde birincil üretimde önemli rol oynar. Kökeni Yunanca olan “phyton” ve “planktos” kelimelerinden türetilmiştir. Fitoplankton; yaşam döngüsünün belirli bir kısmını geçiren fotosentetik mikroorganizmalardır. Yaklaşık 4000 ile 5000 arası deniz fitoplanktonu olduğu tahmin edilmektedir (Landsberg, 2002). İç sular için tahmini bir sayı net olarak verilememiştir (Reynolds, 2006). Fitoplankton; olağan dışı habitatlar dahil olmak üzere (Guash vd., 2009; Thomas ve Dieckman, 2002) tüm sucul ekosistemlerde yaşamaktadır. Klorofil pigmentleri, kloroplast ve karetenoid ve fikobilin gibi pigmentlere sahiptir ve farklı ışık dalga boylarını soğurarak fotosentez yaparlar. Fitoplankton; karbon döngüsünün %60'ını sağlamakta ve besin ağının temelini oluşturmaktadır. Fitoplankton genellikle ototrof olmalarına rağmen miksotrof (hem fotosentez yapıp hem organik madde tüketenler) beslenme gösteren türler de vardır. Bu beslenme şekillerinin yanı sıra bazı Dinoflagellat türleri ise heterotroftur. Fitoplankton için azot, fosfor, karbon ve silikat fitoplanktonun büyümesini sınırlayan ana besin elementleridir (Browning ve Moore, 2023).

Dinophyceae, Bacillariophyceae, Cyanobacteria (Cyanophyceae) Chlorophyceae, Cryptophyceae ve Euglenophyceae sınıfları; taksonomik bir kategori olmayan fitoplanktonun önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Hücre duvarları fitoplankton takımlarına göre farklılık göstermektedir. Bacillariophyceae'lar silis temelli hücre duvarına sahiptir ve bu yapı kabuk (früstül) olarak isimlendirilir. Dinoflagellatlar hücre zarı altında zırh benzeri selüloz plaka içermektedir. Siyanobakterilerin hücre duvarı peptidoglikan içerir ve genellikle mukus tabakası ile çevrilidir. Yeşil alglerde ise selüloz

ve pektin hücre duvarları bulunur. Kamçı, gaz kofulları ve yağ depoları gibi yapılar sayesinde su kolonunda aktif hareket edebilmektedir. Fitoplankton sınıflarının genel özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Fitoplankton; ana taksonları ve özellikleri

Sınıf (Grup)	Hücre Yapısı & Özellikleri	Başlıca Pigmentler	Depo Maddesi	Örnek Türler
Bacillariophyceae(Diyatome)	Ökaryot; silikli früstül ile kutu-kapak şeklinde dış iskelet. Sentrik ve pennat formlar.	Klorofil a, c; fucoxanthin	Krizolaminarin, damlacıkları	yağ <i>Cyclotella</i> , <i>Asterionella</i> , <i>Navicula</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Stephanodiscus</i>
Chlorophyceae(Yeşil algler)	Ökaryot; tek hücreli, koloni veya ipliksi. Selüloz hücre duvarı, çift zarla çevrili kloroplast.	Klorofil a, b; karoten, lutein	Nişasta (kloroplast içinde)	<i>Volvox</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Chlorella</i> , <i>Spirogyra</i> ,
Cyanobacteria(Siyanobakteriler)	Prokaryot; tek hücreli, koloni veya ipliksi formlar. Heterokist, akinete, gaz vezikülü gibi yapılarla çevresel uyum sağlar.	Klorofil a, fikosiyanin, fikoeritrin (fikobiliproteinler)	Glikojen polisakkaritler	benzeri <i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Aphanizomenon</i>
Euglenophyceae(Öglena)	Ökaryot; kamçılı tek hücreli. Hücre duvarı yok, pelikula ile esnek yapı. Mixotrof türler yaygın.	Klorofil a, b ; karotenoidler	Paranylon (β-1,3 glukan)	<i>Euglena</i> , <i>Trachelomonas</i> , <i>Phacus</i> , <i>Colacium</i>
Dinophyceae(Dinoflagellat)	Ökaryot; iki kamçılı. Zırhlı veya çıplak formlar. Çoğunlukla mikсотrof.	Klorofil a, c; peridinin ve diğer karotenoidler	Nişasta, yağlar	<i>Ceratium</i> , <i>Peridinium</i> , <i>Gymnodinium</i> , <i>Glenodinium</i>
Cryptophyceae (Kriptomonatlar)	Tek hücreli; iki kamçılı, asimetrik vücut yapısı; genellikle mikсотrof.	Klorofil a+c, fikoeritrin	Şeker ve nişasta benzeri polisakkaritler	<i>Cryptomonas</i> , <i>Chilomonas</i>

2.1.1 Bacillariophyceae (Diyatome)

Bacillariophyceae; geniş yayılım gösteren, 100.000 civarında türü olan, ökaryotik, tek hücreli veya koloni halinde yaşayan foto-otorofik canlılardır (Round vd., 1990). Boyut olarak, 5 µm ile 1 mm arası çapa veya uzunluğa sahiptirler. Su kolonunda süspanse veya yüzeylere yapışık bir şekilde yaşarlar (Serodio ve Lavaud, 2022). Hücre yapısı, sitoplazmik içeriği kapsayan 2 valfi birleştiren früstülden oluşur. Früstül; silika iskeletten, kompleks yapıda ve çürümeye karşı dayanıklı bir oluşumdur (Ludes vd., 2025). Karotenoid fukosantin gibi renk pigmentleri içerirler. Tatlı ve tuzlu suyun bulunduğu habitatlarda; ayrıca nemli karasal habitatlarda hatta derin okyanuslarda ışığın ulaşmadığı sedimentte ve buzlarla kaplı denizler gibi uç koşullara sahip geniş habitatlarda yayılım göstermektedir (Serodio ve Lavaud, 2022).

Ekolojik toleransları ve iyi korunan taksonomik özellikleri ile su kalitesi, paleolimnoloji, iklim değişikliği modelleri ve biyojik izleme açısından çok önemlidirler (Round vd., 1990). Bacillariophyceae; fosfor, azot, silisyum ve karbon gibi nütriyent döngüsünde, dünya üzerindeki birincil üretimin %25’inde, sucul sistemlerin %40’ında ve besin ağında anahtar rol oynadıkları için en önemli tatlı su algleri arasında yer alırlar (Velanzuela vd., 2018). Silisyum varlığına bağlı olarak fitoplankton komünitelerinde baskın hale

gelebirlirler (Round vd., 1990). Fitoplanktonu oluşturan bir sınıf olan Bacillariophyceae, yer yer diğer fitoplankton gruplarına (mikro alg, siyanobakter vb) baskın gelebilmektedir (Mancusa vd., 2021).

2.1.2. Chlorophyceae (Yeşil alg)

Algal gruplar arasında en geniş dağılıma sahiptir. Yaklaşık 7000 türden oluşmaktadır. Tatlı su, deniz ve çamur gibi habitatlarda yayılım gösterirler (Huang vd., 2009). Chlorophyceae, evrimsel olarak kara bitkilerine en yakın alg grubudur (Falkowski ve Knoll, 2007). Tek hücreli, filamentli yapı ve koloni yapıları gözlenir. Yeşil alglerin hücre duvarı genellikle selülozdan yapılmış olup, bu durum onları diğer alg türlerinden ayırır. Ayrıca, kloroplastlarında klorofil a ve klorofil b pigmentleri bulunur, bu da farklı ışık dalga boylarını soğurarak fotosentez yapmalarına olanak sağlar (Lüning, 1993). Tek hücreli yeşil algler kamçı kullanarak hareket edebilirler ve ışığa yönelme yapabilirler. Mantar gibi canlılar ile de simbiyotik olarak yaşayabilmektedirler. Ekonomik ve biyolojik çeşitlilik için önemli türlerdir.

2.1.3. Cyanobacteria (Siyanobakteri)

Siyanobakteri ilk fotosentetik organizmalar olarak bilinir (Chaurisa, 2015). Genellikle tek hcrelidirler. Bazı türleri koloni yapmaktadır. Fotosentez yapabilen tek prokaryot olup mikroalg olma avantajlarına (Shin vd., 2017) ve azot fiksasyonu yapabilme özelliğine sahiptir. Çok geniş yayılım alanına sahip çok dayanıklı canlılardır. Sıcak su kaynaklarında, tuzlu göllerde ve asidik sucul ekosistemlerde bile yaşayabilen canlılardır. Hücre duvarları genellikle peptidoglikan içerir ve heterosist adı verilen azot bağlama işlevi gören özel yapılara sahiptirler (Fogg, 1976). Genellikle filamentli organizmalar olup birbirine bağlanarak uzun şerit oluşturur. Klorofil a, fikosiyanin ve fikoritirin gibi pigmentleri barındırırlar. Bu pigmentleri sayesinde farklı ışık dalga boylarını soğurarak, karakteristik olan mavi-yeşil tonlarında grlrlirler. Siyanobakteriler ötrofik gl ve göletlerde gözlenen alg patlamalarının ana unsurlarındandır. Azot bağlama yapıları, yem olarak kullanılabilmesi, birincil üretimde bulunmaları, toksin retimi (Paerl ve Otten, 2013) ve oksijen üretimi özellikleri nedeni ile sucul sistemler açısından ve ekonomik yönlerden önemli canlılardır.

2.1.4 Euglenophyceae (Öğlena)

Öğlenalar (Euglenophyta), 43 cins ve 600-800 arasında türe sahip bir protozoa grubudur (Taylor vd., 2008). Bazı türleri fotosentetik değildir. Boyutları 15-500 µm arasında değişen bu organizmalar, besinlerini genellikle karbonhidrat kompleksi şeklinde depoladıkları için düşük ışık koşullarında bile hayatta kalabilirler. Öğlenalar, çeşitli şekil ve boyutlarda, farklı miktarlarda kloroplast ve pigmentasyon taşırlar. Öğlenaların büyük bir kısmı renksiz ve fotosentez yapmayan kamçılu protozolar olup, heterotrof beslenme gösterirler. Bu türler, bakterileri veya diğer ökaryotik canlıları tüketme yeteneğine sahiptir. Bir veya iki kamçıya sahip olan bu organizmalar, hücre zarlarının elastik yapısı sayesinde çevresel koşullara kolayca uyum sağlarlar (Lüning, 1993). Öğlenalar tatlı sulardan, tuzlu suya yakın ekosistemlere (acısu) ve nemli çamurlara kadar her yerde bulunabilmektedir. Öğlenalar çoğunlukla eşeysiz üreme ile çoğalırlar (Buetow ve Schuit, 1968).

Bazı türler, uygun koşullarda kırmızı veya yeşil alg patlamalarına yol açabilir. Ayrıca, geniş çapta vitaminler, esansiyel amino asitler, çoklu doymamış yağ asitleri ve β -glukan gibi önemli bileşenler üretirler (O'Neill, 2020).

Öğlenalar genellikle tatlı su ekosistemlerinde bulunurlar. Ancak saha çalışmalarında genellikle fotosentetik, yeşil ototrof türlerle karşılaşmaktadır.

2.1.5 Dinophyceae (Dinoflagellat)

Dinoflagellatlar, ökaryotik ve genellikle tek hücreli organizmalardır. Genellikle ileri ve sarmal hareket edebilmesini sağlayan iki kamçı, göz noktası ve genellikle selüloz zırh benzeri yapıya sahiptir (Gomez, 2012). Kloroplast en az iki adet ve küçük halde bulunur. Eşeyli ve eşeysiz üreme görülmektedir. Boyutları 20-150 µm arasında değişiklik göstermektedir (Taylor vd., 2008).

Birincil üretim için önem teşkil etmektedirler ve klorofil-a ve c pigmentlerine sahiptirler (Dodge, 1971). Çok sayıda ksantofilleri vardır ve genellikle kahverengi renkte görünür. Tatlı su ve tuzlu sucul sistemler başta olmak üzere geniş bir yayılım göstermektedirler (Gomez, 2012). Düşük besin oranları gibi zorlu çevresel koşullara uyum sağlayabilirler. Yüksek besin ortamlarında fazla üreme yapabilmektedir (Anderson vd., 2002). Su kalite parametrelerinde değişim ve toksin üreten türlerine bağlı olarak alg patlamaları ile ekosistemi doğrudan etkileyebilmektedirler (Lansberg vd., 2002).

2.1.6 Cryptophyceae (Kriptomonad)

Cryptophyceae, tatlı su ve denizel ortamlarda yaygın olarak bulunan, kamçılı, genellikle tek hücreli ökaryotik mikroalg sınıfıdır. Kriptomonad olarak da bilinen bu organizmalar, özellikle soğuk ve karanlık su koşullarına uyum sağlayabilmiş fotosentetik fitoplankton üyeleri arasında yer alır (Kim vd., 2017). Hücreleri tipik olarak yassı ve asimetric olup, genellikle iki kamçıya sahiptir. Bu kamçılar hücre ön ucunda yer alan bir olukta bulunur ve hücreye hareket kabiliyeti kazandırır.

Klorofil-a ve c, fikobiliproteinleri içerirler. Bu pigmentler sayesinde farklı ışık dalga boylarını verimli şekilde kullanabilirler, düşük ışık veya bulanık sularda bile fotosentez yapabilirler. Bazı türleri mikсотroftur. Cryptophyceae sınıfı çoğunlukla eşeysiz olarak ürerler fakat nadir de olsa eşeyli üredikleri düşünülmektedir (Roberts ve Parry, 1999). Yüksek besin içeriğine sahiptir ve zooplankton tarafından tüketilirler. Diğer fitoplankton sınıflarına nazaran yoğun patlamalara yol açmazlar.

2.2 İklim Değişikliğinin Tatlı Su Sistemlere Etkisi

İklim değişikliği, karasal ekosistemlerde olduğu kadar sucul sistemlerde derin etkiler yaratmaktadır. Sıcaklık artışı, buharlaşmada artış, buzul ve kar örtüsü dinamikleri, yağış rejimleri ve hava olayları gibi iklimsel boyutlardaki değişimler sucul sistemleri ve dolaylı olarak sucul canlılara da etkilemektedir.

Göl ve akarsular, bulundukları bölge sıcaklıklarındaki artışa hızla tepki verirler ve dünya genelinde son yıllarda bu sistemlerde sıcaklık artışı gözlenmiştir (IPCC, 2022). Su sıcaklığındaki artış, oksijen seviyelerinde düşüşe sebebiyet verebilir. Bu değişimler canlılar için stres yaratabilir. Ayrıca metabolik hızlarda artışa sebebiyet vererek, pek çok sucul canlının büyüme, üreme ve davranışlarında değişikliğe yol açar (IPCC 2022). Sıcaklık artışı plankton kompozisyonlarında da değişime yol açar.

Artan sıcaklıkla birlikte buharlaşma artışı, yağış rejiminde değişiklik kuraklık riskini arttırmaktadır. Yağış değişimlerine bağlı olarak, Dünya genelinde kesintili akış rejimleri, göl seviyelerinde düşüş, nehir havzalarında suların çekilmesi gibi etkiler gözlenmiştir (IPCC, 2022). Kuraklık ve su azalması sonucu suyun kimyasal özellikleri de değişmektedir. Suyun miktarında düşüş ile aynı miktarda olan kirleticilerin konsantrasyonları, tuz oranı, besin oranı gibi parametrelerde artış gözlenebilir, bu sebepler sonucunda ötrifikasyon riski artar. Sıcaklık artışı mevsimsel döngülerdeki zaman kaymalarına sebebiyet verebilmektedir. Yapılan çalışmalarda bu durumun sıcak ve

durgun suları seven siyanobakterinin avantajına ve zararlı alg patlamalarına yol açtığından bahsedilmiştir (Winder ve Sommer, 2012). Bu olaylar zinciri sonucunda, besin zincirinde uyumsuzluklar ve dengesizlikler oluşabilmektedir (Woodward vd., 2010).

Kritzberg vd., (2020); iklim değişikliğinin dolaylı yollardan suyun ışık geçirgenliğini etkilemesi, arazi kullanımı, artan yağış oranları gibi etkiler sonucunda, nehir ve göllerde çözünmüş organik madde birikiminin arttığını gözlemlemiştir. Bu doğa olayını göllerde kahverengileşme olarak isimlendirmiştir. Kuzey yarımkürede ve yüksek enlemdeki göllerde görülen bu doğa olayı sonucu; göllerde artan kahverengileşme, çözünmüş organik madde yüklü su nedeniyle güneş ışığının soğurulması ve dağılması ortaya çıkar. Sonuçta, su kolonun alt kısımlarına gelen ışık seviyesinde düşme gözlemlenir.

2.2.1. İklim Değişikliğinin Sığ Göllere Etkisi

Derinliği ortalama 3-5 metreyi geçmeyen ve su sütunun sürekli veya sık sık karıştığı göller sığ göl olarak tanımlanmaktadır (Moore ve Olden, 2017). Sığ göllerde güneş ışığı göl tabanına kadar ulaşabildiğinden dolayı dipte ve sığ kesimlerde su altı bitki örtüsü gelişebilmektedir. Sığ göller ekolojik olarak son derece değerli ve üretken sistemlerdir. Biyolojik çeşitlilik, insan ve doğa için sağladığı faydalar açısından önemli sucul sistemlerdir. Yapıları gereği sığ göl sistemleri iklim değişikliğinden ilk ve en çok etkilenen ekosistemlerdendir (Scheffer vd., 2007; Moss, 2010). Ayrıca su tabakası rüzgârla karışarak tabakalaşmayı engelleyebilmektedir. Makrofitlerin gelişmesine uygundur. Derin göllerde görülen tabakalaşma, sığ göllerde nadir görülür veya neredeyse hiç görülmez. Bu durum oksijen ve besinin su kolonunda serbestçe dolaşabilmesini sağlamaktadır. Bu sebepten ötürü sığ göller çoğunlukla yüksek biyolojik üretkenliğe sahiptir. Zingel vd., (2025); sığ göl sistemlerinde sıcak yaz günlerinde, su sıcaklığının birkaç gün içinde belirgin bir şekilde artış gösterebileceğini, fakat derin göllerde bu artışın aynı şartlarda görülmediğinden bahsetmektedir. Su seviyesi, buzlanma gibi çevresel parametreler hızlıca yansıdığı için sığ göller iklim değişikliği etkilerinin erken uyarıcısı olarak da anılabilirler. Sığ göllerin iklim eğilimlerini takip etmek için yakından izlendiği vurgulanmaktadır. Işık ve besin bol olduğu için, sığ göller fitoplankton üremesi için uygun bir ortam haline gelir. Bu etkiler, sığ gölleri birçok canlı türü için besin ve habitat açısından zengin bir hale gelmesini sağlayabilir.

Sığ göller küçük alanlarına rağmen yüksek biyolojik çeşitlilik barındırmaları nedeniyle son derece önemli ekosistemlerdir. Örneğin, içerisinde birden fazla sığ göl bulunduran

bir sulak alan, farklı özelliklere sahip bu sığ gölleri birbiri ile ilişkilendirip aralarında bir meta komünite ağı oluşturabilir. Çeşitli türler bu göller arasında hareket ederek genetik çeşitliliği korur ve yok olma risklerini azaltır (Attayde vd., 2022). Ayrıca sığ göller, sucul kuşlar, amfibiler, sürüngenler ve memeliler için önemli konaklama alanı sağlayabilmektedir. Sığ göller başlıca iki durumda bulunabilirler: ilkin berrak su halinde, sualtı bitkilerin daha yoğun olduğu ve fitoplankton bolluğunun düşük olması; ikinci olarak bulanık (ötrofik) su halinde, fitoplankton bolluğunun çok yüksek olduğu, sualtı bitkilerinin azaldığı ve suyun yeşil veya bulanık görünmesidir. Göl ekosistemi tuzluluk, balık popülasyonu, iklim koşulları gibi etmenler sonucu bulanık veya berrak durumlar arasında geçiş yapabilirler.

2.2.2. İklim Değişikliğinin Göl Fitoplankton Üzerine Etkileri

İklim değişikliğinin tatlı su ekosistemleri üzerinde neden olduğu fiziksel ve kimyasal değişimler fitoplankton topluluklarının yapısını ve dinamiklerini doğrudan etkilemektedir. Bu etkiler; su sıcaklığında artışın doğrudan ve dolaylı etkileri, ışık geçirgenliğinde değişimler, besin döngülerinde değişimler, mevsimler kaymalar, tür kompozisyonu ve dağılımlarına etkileri olarak sıralanabilir.

Zepernick vd. (2021); sıcaklık artışının, uygun koşullar altında fitoplanktonun büyüme hızı artışına neden olarak daha yoğun popülasyonlara ulaşmalarına yol açtığından bahsetmiştir. Pek çok gölde tür kompozisyonundaki değişimlerle, fitoplankton biyokütlesinin geçmişe kıyasla daha çok arttığını ve yıl boyunca uzun süre yüksek kaldığını belirtmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıklara daha iyi uyum sağlayan türlerin daha avantajlı olduğunu, özellikle siyanobakterilerin sıcak ve durgun sularda üstünlüğe sahip olabileceğini ve birçok gölde siyanobakteri bolluğunda artışı olduğunu bildirmiştir.

Tatlı su ekosistemlerinde pH, ortamın asidik ya da bazik olmasından dolayı metabolizma ve besin alımı gibi fizyolojik süreçleri doğrudan etkilemesi nedeni ile fitoplankton topluluklarının kompozisyonu, biyokütlesi ve ekolojik işlevleri üzerinde belirleyici çevresel faktör olarak öne çıkar (Hansen, 2002; Jia vd., 2022; Chakraborty vd., 2021).

Sıcaklık kadar yüksek olmasa da, pH düzeylerindeki değişimler fitoplankton sınıfı kompozisyonunu önemli derecede etkilemektedir (Hubert vd., 2025; Liang vd., 2024). Yüksek pH koşullarının genellikle siyanobakterileri, diğer fitoplankton sınıflarına karşı avantajlı duruma geçirebilmektedir (Zepernick vd., 2021). Siyanobakterilerin yoğunluklarının arttığı sucul sistemlerde yüksek fotosentez hızı sonucu sudaki CO₂'nin

kritik seviyede azalması ve bikarbonat artışı ile pH'nın 9-10, hatta daha yüksek pH'lara ulaşmasını sağlayabilmektedir (Zepernick vd., 2021). Gerçekleşen bu olguya “göl bazifikasyonu” olarak isimlendirilir ve Siyanobakteri patlamasının hem sonucu hem de sebeplerinden biri olarak görülmektedir (Kramer vd., 2023; Erratt vd., 2024). Siyanobakterilerin; yüksek pH'da karbon konsantrasyon mekanizmaları sayesinde bikarbonatı etkin şekilde kullanması, düşük CO₂ koşullarında fotosentez yapabilmeleri gibi başlıca avantajlarından dolayı diğer fitoplankton sınıflarına karşı baskın hale geçmeleri mümkün olmaktadır (Zepernick vd., 2021). Yüksek alkaliniteli sucul sistemlerde siyanobakterilerin avantajını açıklayan olgulardan birisi ise karbon alımı konusunda diğer fitoplanktonlardan daha esnek ve verimli olmalarıdır (Fukuzawa vd., 2012; Raven, 2010). Zepernick vd. (2021)'de yaptığı çalışmada *Fragilaria crotonensis*'in pH 9.2'deki büyümesinin nötr ortama göre düştüğünü gözlemlemiştir. Bu durumun Bacillariophyceae'nin silis temelli hücre duvarını alkali ortamda sentezlemesini zorlaştırmasına, yani hücre duvarı oluşumunun yavaşladığına dolayısıyla büyüme hızlarının yavaşlamasına neden olduğunu vurgulamıştır. Yapılan çalışmada, *Microcystis* ile *Fragilaria* birlikte yetiştirdiklerinde yüksek pH'da, Bacillariophyceae üremelerinde yavaşlama gözlemlemiştir. Bu bulgular ışığında doğal ortamlarda siyanobakterilerin artışı ile yükselen pH'nın sonbahar aylarında Bacillariophyceae'nin üremesini baskılayabileceğinden, dolayısıyla siyanobakterilerin normalden daha uzun süre baskın sınıf hale gelebileceğini vurgulamışlardır.

Birçok siyanobakteri pH 6'nın altında iyi gelişmez (Brock, 1973; Whitton, 2007). Bu durumda asidik sucul sistemlerde fitoplankton dağılımı Bacillariophyceae ve yeşil algler sınıflarına kayabilir. Yapılan çalışmalarda yeşil alg türlerinin asidik sucul sistemde baskın tür haline geldiği gözlenmiştir (Nyogi vd., 1999; Stevens vd., 2014).

Hinga (2002) çalışmasında; tuzlu su fitoplanktonlarının büyüme hızları üzerindeki pH etkilerini inceleyen 21 araştırmayı incelemiştir. Tuzlu su fitoplanktonların optimal büyüme aralıklarının 6,3 ile 10 pH arasında olduğunu tespit etmiştir. pH'da gözlenen 0,5-1 birim seviyelerinde değişimin bile bazı fitoplanktonları büyük ölçüde etkileyebileceğini vurgulamaktadır.

Tatlı su ekosistemlerinde ışık, pigmentlerin aktivitesini ve enerji üretimini doğrudan etkileyerek fitoplankton kompozisyonu, üretim kapasitesi su kolonunda dağılımı üzerinde belirleyici çevresel faktör olarak rol oynar (Marzetz vd., 2020; Charalampous vd., 2018).

Reynolds 1986’da yaptığı çalışmada; fitoplankton biyokütlesine, sınırlayıcı etki gösteren besinlerin, ışık ve benzeri parametrelerin etkilerini incelemiştir. Bu ortamlarda farklı alg dağılımları görülmesinin sebebi; boyut, şekil, morfolojik ve fiziksel yapılarının hayatta kalabilmek için birbirine benzer şekilde adaptasyon geçirmeleri ile açıklanmaktadır.

Winder ve Sommer (2012) yayınladığı çalışmada siyanobakterilerin diğer alg gruplarına göre daha avantajlı olduğunun üstünde durmuşlardır. Birçok siyanobakteri türünün su kolonunda dikey yönde hareket kabiliyetine sahip olmaları (gaz vezikülleri ile) sayesinde, durgun ve tabakalaşmış sularda yüzeyde artış göstererek ışıktan daha fazla faydalanmalarını ve avantajlı duruma geçmelerini sağlamaktadır. Ayrıca, sıcaklık artışının göl sistemlerinde tabakalaşmayı arttırması nedeni ile su sirkülasyonunun azalmasına ve fitoplankton kompozisyonunda değişimlere yol açacağına dikkat çekmişlerdir. Ilıman bölgelerde bulunan göl sistemlerini incelediklerinde, nisan ayında zirve yapan fitoplankton patlamalarının öne kaymadığını fakat büyüklüğünde değişimler olduğunu gözlemlemişlerdir.

Solheim vd., (2024) Avrupa’da bulunan 588 gölde yaptığı çalışmada; ışığın azalması sonucu birincil üretimin daha üst tabakalarda sıkıştığını belirlemiştir. Yeterince ışık alamayan büyük fitoplankton veya daha yüksek ışık gereksinimi olan fitoplankton türleri dezavantajlı duruma gelirken, düşük ışığa toleranslı, mikсотrof veya hetetrof beslenebilen türler görece avantaj sağlayabilmektedir. Organik madde birikimi ile daha küçük fitoplankton türlerine doğru bir kayma olabileceği ve bunun da karbon döngüsü üzerinde etkisi olabileceği belirtilmiştir.

Tatlı su ekosistemlerinde azot ve fosfor gibi temel elementlerin aşırı birikimi fitoplankton biyokütlesinin artışına ve alg patlamasına yol açmaktadır. Bu süreç sonucu birincil üretimin artışı dışında tür kompozisyonunda ciddi değişimlere yol açabilmektedir (Smith vd., 1999; Elser vd., 2007).

Lau ve Lane (2002), çoklu varyans istatistiksel yöntemleri ile düşük makrofit bolluğuna sahip ötrofik sığ gölde fitoplankton-besin-zooplankton ilişkisini incelemiştir. Çalışmasında sınırlı makrofit bitki örtüsü bulunduğu zaman fitoplanktonu sınırlayan etkenin sadece besin olduğunu bulmuştur. Sınırlı makrofit örtüsü mevcut iken *Daphnia*’nın fitoplankton biyokütlesinde azalmaya sebep verdiği gösterilmiştir. *Daphnia*, kısıtlı makrofit örtüsü nedeni ile sürekli predasyon yapabilmekte ve klorofil-a dalgalanmalarını azaltmaktadır. Bulduğu sonuçlar ışığında sınırlı makrofit örtüsü,

fitoplankton ve zooplankton arasındaki etkileşimlerin nedensel olarak yorumlanmasını sağlamıştır.

Peng vd., (2021), 2017-2018 tarihleri arasında Wuhan şehrinde bulunan 29 adet sığ göldeki mevsimsel fitoplankton komünikelerindeki değişimleri incelemiştir. Çalışmada; su kalitesi (pH, fosfor, toplam azot, bulanıklık, su sıcaklığı, toplam fosfor, çözülmüş oksijen), arazi kullanımı (yerleşim alanı, tarım, orman, çayır) ve göl morfolojisi olarak üç temel faktörün fitoplankton komünitelerini üzerindeki etkilerini incelemiştir. Tüm çalışma sahalarında; Cyanobacteria, Chlorophyceae ve Bacillariophyta 'nın mevsimden bağımsız olarak en baskın canlılar olduğunu gözlemlemiştir. Fitoplanktonu etkileyen faktörleri ise su kalitesi başta olmak üzere, arazi kullanımı ve göl morfolojisi olarak tespit edilmiştir.

Yang vd., 2021; tatlı sularda gerçekleşen ötrofikasyonun sera gazı emisyonları üzerindeki etkilerini çalıştığı makalede; ötrofikasyon kaynaklı olarak fitoplankton kompozisyonunda değişimler gerçekleştiğini ve bunun da dolaylı olarak sera gazlarını etkilediğini belirtmişlerdir. Çalışma, özellikle ötrofikasyona bağlı olarak gelişen tür değişimlerinin, ekosistem işleyişi ve atmosfer ile olan gaz alışverişi üzerinde önemli sonuçlar doğurabileceğine dikkat çekmektedir.

Henson vd., (2017); iklim değişikliği kaynaklı alg patlamalarının zamanlamasını incelediği çalışmada; genel iklim modellerinin aylık değişimleri kapsadığı için alg patlamalarını hassasiyetle ölçemeyeceği için 5 günlük model kullanmışlardır. Elde ettikleri veriler doğrultusunda alg patlamalarının enleme göre daha erken veya daha geç gerçekleştiğini ve 2100 yılına kadar alg patlaması zamanlarının yaklaşık 5 gün kadar değişeceğini tahmin etmişlerdir.

Bu kısımda özetlenmeye çalışıldığı üzere, iklim değişikliğinin doğrudan ve dolaylı olarak sıcaklık, pH, tuzluluk ve ışık şiddeti gibi çevresel parametreleri etkileyerek fitoplankton komünite yapısında önemli değişimlere yol açabilmektedir. Bu değişiklikler, özellikle sığ göllerdeki birincil üretim üzerinde belirgin etkiler yaratmakta; fitoplanktonun ekosistemlerdeki işlevsel rolünü ve besin ağını doğrudan etkilemektedir. Fitoplankton komünitesinin çevresel faktörlere karşı verdiği yanıtların daha iyi anlaşılması, sınıflar arası etkileşim dinamiklerinin biyokütleyle yansımaları gibi kritik ilişkilerin aydınlatılması açısından önem taşımaktadır.

Bu tez ile iklim değişikliğine bağlı çevresel streslerin fitoplankton topluluk yapısını, biyoktle dinamiklerini ve sınıflar arası etkileşimleri nasıl şekillendirdiğini anlamak amacı ile deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.



3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma; iklim değişikliğinin Ankara'nın önemli sığ göllerinden biri olan Mogan Gölü fitoplanktonu üzerine olası etkileri hakkında öngörüler elde edilmesi amacı ile gerçekleştirilmiştir.

3.1. Birincil Üretici Örneklerinin Toplanması ve Deneye Hazırlanması

Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırında olan Mogan Gölü, Ankara İli'nin 20 km güneyinde yer alan ötrofik bir göldür (Yerli vd., 2012; Mangıt ve Yerli, 2010) (Şekil 3.1). En derin noktası 4 metre iken, ortalama derinliği 2-2,5 metre arasındadır (Şanal vd., 2015). Ortalama 408 mm yağış almaktadır (Kapan, 2011). Mogan Gölü'nün yer altı suyu ile beslemesi düşüktür ve Sukesen, Başpınar, Gölova, Yavrucak ve Gölcük gibi dereler tarafından beslenmektedir. Bu dereler düzensiz rejime sahiptir ve genelde yazın kurumaktadır. Mogan Gölü'ne Kesikköprü Baraj Gölü'nden yıllık su aktarımı sağlanmaktadır.

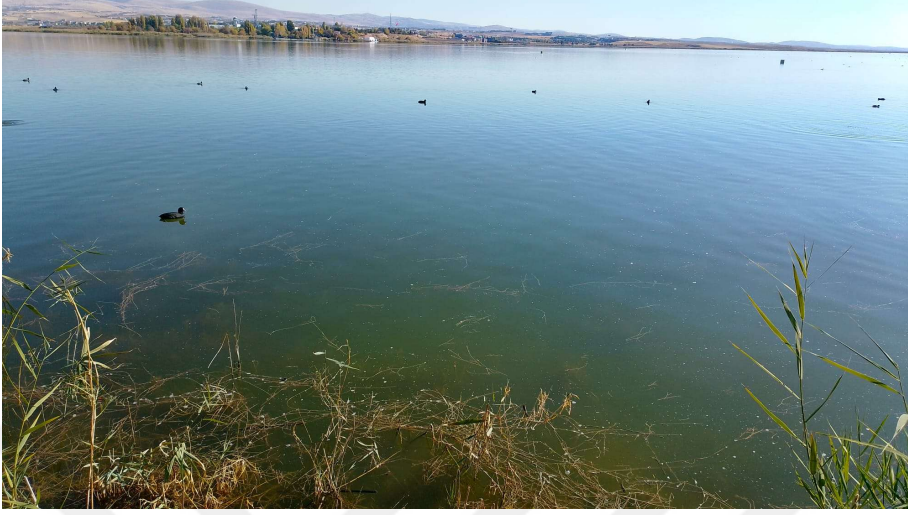


Şekil 3.1. Mogan Gölü (Google Earth, 2025)

Fitoplankton örnekleme Aralık 2024 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Örnekleme işleminde algal biyokütle ve deneysel çalışma için iki ayrı örnekleme gerçekleştirilmiştir. İlk örnekleme noktasının alg biyokütlesini belirlemek için Ruttner örnekleme ekipmanı ile kıyısal alandan 1 litre su örneği alınarak gerçekleştirilmiştir (Rice vd., 2012).

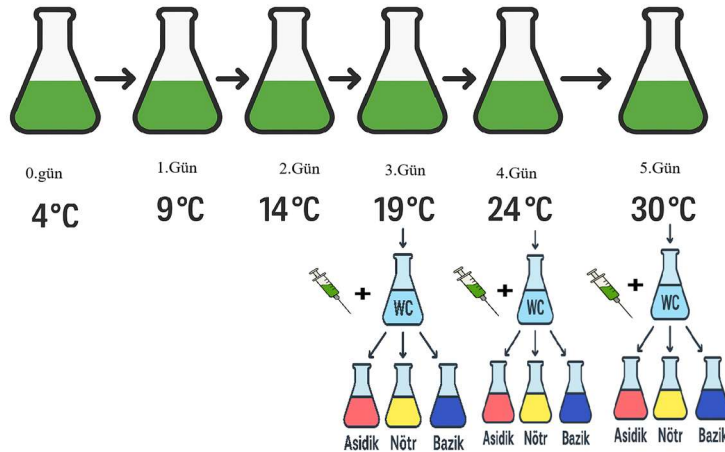
Deneyde kullanmak için ise aynı noktadan, 0.25µm göz açıklığına sahip plankton kepçesi ile örnekleme yapılmıştır. Elde edilecek süzüntünün toplam 6 litre olacak şekilde birden

fazla çekim yaparak gerçekleştirilmiştir. Tür teşhisleri için, alınan 6 litrelik örneğin 100 ml'si fitoplankton teşhisi için lügol solüsyonu ile sabitlenmiştir (Downing ve Rigler, 1984).



Şekil 3.2. Mogan Gölü, örnekleme gerçekleştirilen istasyon

Örnekler, gün içerisinde Hacettepe Üniversitesi Sucul Yaşam Laboratuvarı'na getirilmiştir. Isı şokunu engellemek amacıyla, örnekleme sırasında 4°C ölçülen su sıcaklığı, 5 günde kademeli olarak deney sıcaklığına getirilmiştir. Örnekleme takiben, ilk gün örnekler önceden hazırlanmış 10 °C'lık su banyosunda muhafaza edilmiştir. Sıcaklık, ikinci günde 16 °C, üçüncü gün 20 °C, dördüncü gün 26 °C, beşinci gün ise 30 °C'ye kadar yükseltilmiştir ve daha sonrası besiyerlerine aşılamları gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Aklimizasyon sürecini tamamlayan örneklerden 100'er mL alınarak, 150 mL besiyerine aşılamları gerçekleştirilip deney süreci başlatılmıştır.



Şekil 3.3. Fitoplankton örnekleminin deney için hazırlaması

Denemede, fitoplankton için WC (Guillard ve Lorenzen, 1972) kültür ortamı kullanılmıştır. Kültür içeriği Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. WC kültür ortamı

Ana Besinler	Formülü	CAS Numarası	Konsantrasyon
Kalsiyum Klorür Dihidrat	CaCl ₂ .2H ₂ O	(10035-04-8)	36,76 mg/L
Magnezyum Sülfat Heptahidrat	MgSO ₄ .7H ₂ O	(10034-99-8)	36,97 mg/L
Sodyum Bikarbonat	NaHCO ₃	(205-633-8)	12,60 mg/L
Dipotasyum Fosfat	K ₂ HPO ₄	(7758-11-4)	8,71 mg/L
Sodyum Nitrat	NaNO ₃	(7631-99-4)	85,01 mg/L
Sodyum Metasilikat Nanohidrat	Na ₂ SiO ₃ .9H ₂ O	(10102-17-7)	28,42 mg/L
İz elementler			
Edetate Disodyum	Na ₂ .EDTA	(139-33-3)	4,36 mg/L
Demir Klorid Hekzahidrat	FeCl ₃ .6H ₂ O	(10025-77-1)	3,15 mg/L
Bakır Sülfat Pentahidrat	CuSO ₄ .5H ₂ O	(7758-99-8)	0,01 mg/L
Çinko Sülfat Heptahidrat	ZnSO ₄ .7H ₂ O	(7446-20-0)	0,022 mg/L
Kobalt Klorür	CoCl ₂ .6H ₂ O	(7791-13-1)	0,01 mg/L
Manganaz Klorid Tetrahidrat	MnCl ₂ .4H ₂ O	(13446-34-9)	0,18 mg/L
Sodyum Molibdat Dihidrat	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	(10102-40-6)	0,006 mg/L
	H ₃ BO ₃	(10043-35-3)	1 mg/L
Vitaminler			
Thiamin HCl	B ₆	(67-03-8)	0,1 mg/L
Biotin	B ₁	(58-85-5)	0,5 µg/L
	B ₁₂	(68-19-9)	0,5 µg/L

Kültür ortamı, ana besin maddeleri, iz element solüsyonu ve vitamin solüsyonu olarak hazırlanmıştır. Tüm besi yeri içerikleri, farklı haznelerde belirtilen miktarlarla bir litre distile suda çözülmüştür. Seyreltilmiş iz element solüsyonları, 1 litre için 1 mL olacak şekilde hazırlanmış ve ayrı bir şekilde karıştırılmıştır. Ana besin maddelerinden ve iz element solüsyonundan 1'er mL, 960 mL distile suya eklenmiştir. Bu karışımdan sonra, ortam otoklavlanmış ve vitamin solüsyonları eklenmiştir. pH değeri 7,6 – 8 aralığına getirilmiş ve ardından bir litreye tamamlanmıştır. Besi yeri, kullanım için 4 °C'de korunmuştur.

3.2. Biyokütlenin Belirlenmesi

Birincil üreticilerin biyokütlesinin belirlenmesi klorofil-a miktarının tayin edilmesi ile gerçekleştirilmiştir (chl-a µg/L).

İstenilen derinlikten alınan süzülmemiş 1 L'lik göl suyu örneği, deney sonunda 50 mL örnek kültür örneği alınmış sonra düşük vakum altında göz açıklığına sahip GF/C filtre (1,2µm göz açıklığı) ile süzülmüş ve oda sıcaklığında 3-4 saat kuruması beklenmiştir. Ardından, GF/C kağıtları parçalanmış ve %90'lık aseton içinde gün aşırı ışısız ortamda bekletilmiştir. 2500 rpm santrifüjlemeden sonra, ekstraktın optik yoğunluğu 630 nm, 645 nm ve 665 nm'de HACH PR2500 cihazında spektrometrik olarak ölçülmüş, aşağıda verilen formüle göre klorofil-a miktarı tespit edilmiştir. Klorofil-a analizleri, Strickland ve Parsons (1972) tarafından önerilen yöntemle göre yapılmıştır.

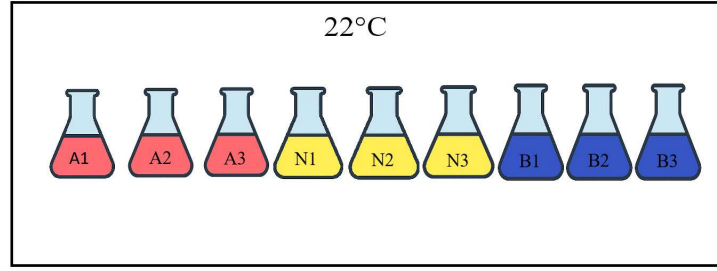
$$Chl - a [\mu g / L^{-1}] = 11,6 OD_{665} - 1,31 OD_{645} - 0,14 OD_{630} * \left[\frac{V}{(1 * v)} \right]$$

Denklemden; V: Litre süzülen su miktarı,

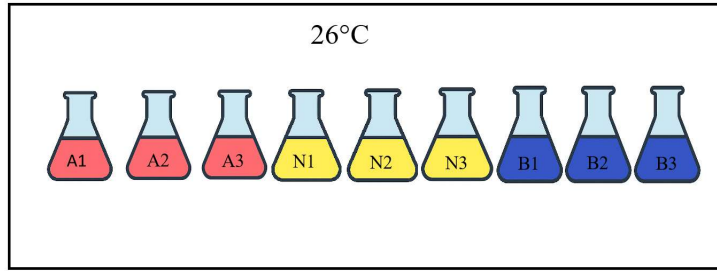
v= Kullanılan aseton miktarı (mL), OD665, OD645, OD630: belirtilen dalga boylarında ölçülen optik yoğunlukları, 1: Spektrometre küvetinin genişliğini temsil etmektedir.

3.3. Deneyin Kurulumu ve Uygulanması

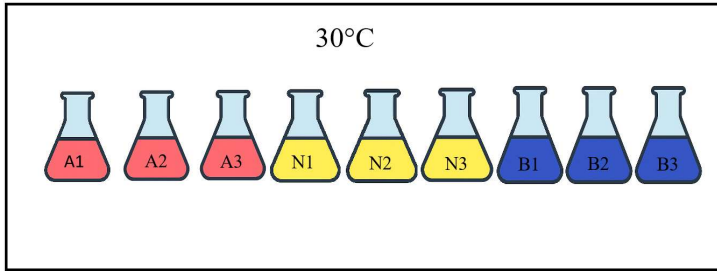
Deneme düzeneğinde, üç akvaryum (70 cm x 20 cm x 15 cm) yerleştirilen 9 adet 250 mL'lik erlen şişesi kullanılmıştır. Deneme ortamı, 3600 lux beyaz floresan lambalarla, 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık olacak şekilde aydınlatılmıştır. Denemede üç farklı sıcaklık ve üç farklı pH değeri kullanılacağı için, sıcaklık deneme başlamadan 3 gün önce sabitlenmiş ve kültür ortamları hazırlanmıştır. pH değerlerinin düzenlenmesi için hidroklorik asit ve sodyum hidroksit kullanılmıştır. Saha çalışmalarından alınan örnekler 1,5 L'lik şişelere ayrıştırılmıştır. Isı şoku yaşamamaları için, canlılar her gün 5-6 °C artırılarak, 3., 4. ve 5. günlerde üç farklı sıcaklıkta deneye başlanmıştır. Ayrıştırılan 1,5 L'lik örneklerden rastgele bir tanesi seçilip, 500 mL'si 0. gün biyokütle tayini için kullanılmıştır. Akvaryum içerisine yerleştirilmiş 9 adet erlenin yerleştirilmiştir. A ile isimlendirilen asidik ortamı (4 pH) ve tekrarları; N ile isimlendirilen 8 pH ve tekrarları; B ile isimlendirilen bazik ortamı (11 pH) ve tekrarları olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6).



Şekil 3.4. 22°C’de gerçekleştirilen deney düzeneği



Şekil 3.5. 26°C’de gerçekleştirilen deney düzeneği



Şekil 3.6. 30°C’de gerçekleştirilen deney düzeneği

Adaptasyon sürecini tamamlayan örneklerden, önceden hazırlanmış 150 mL’lik 4, 8 ve 11 pH değerlerinde kültür ortamlarına 100’er mL aşılama yapılmıştır. Deney, Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) 201 (OECD, 2011) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneme toplam 72 saat, üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme sonunda biyokütle ve takım değişimlerini belirlemek amacıyla her tekrardan 50 mL biyokütle için, 5 mL takım teşhisi için örnek alınmıştır.

3.4. Taksonomik Analizler

Hücre sayımı, Sedgewick-Rafter sayım çemberinde yapılmıştır. Fikse edilmiş örneklerden 1 mL, sayım çemberine aktarılmış ve Leica DMI 5000B ışık mikroskobu ile Leica Flexacam C5 kullanılarak video ve fotoğraflar çekilmiştir.

Takım ve cins teşhislerinde Bellinger ve Sigee, 2010 eserinden faydalanılmıştır. Cins teşhisleri tamamlandıktan sonra değişkenlere göre sınıflandırılıp veri seti oluşturup istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir.

Büyüme oranlarının hesaplanması için

$$\mu = \frac{\ln(N_t) - \ln(N_0)}{\Delta t}$$

μ = Özgül büyüme hızı

N_0 = Başlangıç hücre sayısı (Birey/mL)

N_t = Zaman sonunda ölçülen hücre sayısı (Birey/mL)

Δt = Zaman farkı

Verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, veriler normal dağılım göstermediğinden istatistiksel analizler parametrik olmayan testler ile gerçekleştirilmiştir. Her bir değişken için uygulamalar arasındaki istatistiksel fark, $p=0.01$ anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiş.

Aynı sıcaklık düzeyi içerisinde pH, sıcaklık, biyokütle ve birey sayısı farklarını karşılaştırmak amacıyla Kruskal-Wallis testleri uygulanmıştır. Anlamlılık bulunan gruplar arasında farkın yönünü ve detayını belirlemek için ikili karşılaştırmalarda Wilcoxon testi kullanılmıştır.

Üç farklı sıcaklık ve üç farklı pH seviyesi arasındaki ilişkileri değerlendirmek amacıyla bağımlı örneklemeler için Wilcoxon testi uygulanmıştır. Bu bağlamda aşağıdaki karşılaştırmalar yapılmıştır (`wilcox.test (Birey_sayısı_fark ~ factor (Sıcaklık))`); `wilcox.test (Birey_sayısı_fark ~ factor (pH))`).

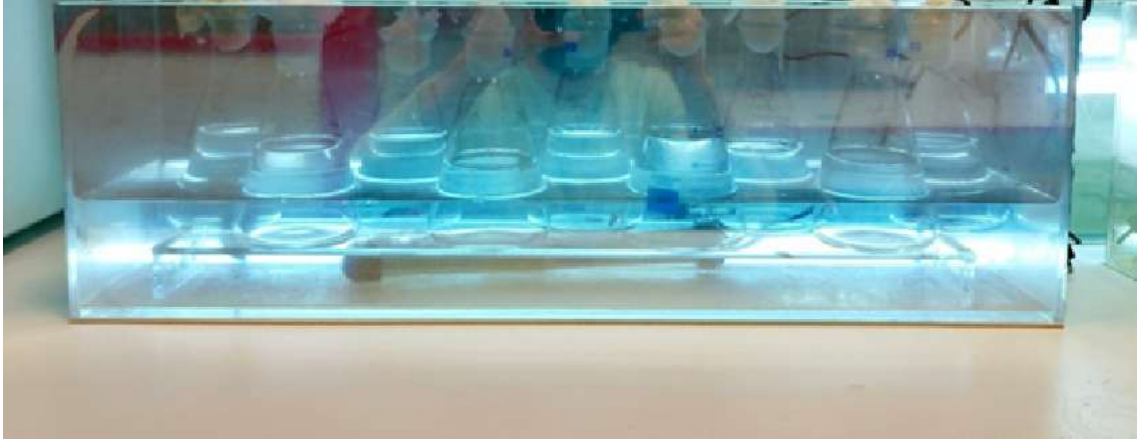
Deney sonunda ölçülen biyokütle değerleri arasındaki ilişkiyi modellemek için Doğrusal Karışık Etki Modeli (Linear Mixed-Effects Model; LME) kullanılmıştır (Deney sonu $\text{Klorofil-a} \sim \text{sıcaklık/pH} + (1 \mid \text{Birey sayısı})$).

Ayrıca, fitoplankton sınıfları ve cinsleri arasındaki farklılıklar, sıcaklık, birey sayısı, pH ve biyokütle parametreleri açısından Mann-Whitney U testi ile ikili karşılaştırmalar şeklinde ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bu analizler, R programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir (Bates vd., 2015; Pinheiro vd., 2007; R Core Team, 2024)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

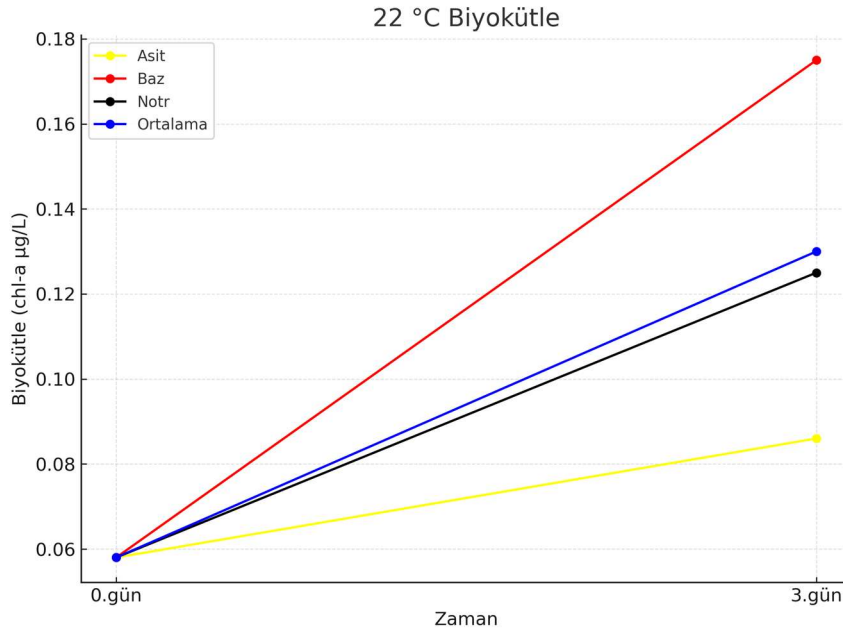
Bu çalışmada, Ankara ili sınırlarında bulunan Mogan Gölü'nden fitoplankton örnekleri alınarak laboratuvar koşullarında in vitro ortamda üç farklı sıcaklık düzeyi (22, 26 ve 30 °C) ile üç farklı pH koşulunda (asidik, nötr ve bazik) deneye tabi tutulmuştur. Denemede fitoplankton örnekleri WC besiyeri'ne aşılanmıştır. Deneyin başlangıcında ve 72 saatlik sürenin sonunda, her deneysel grupta cins düzeyinde taksonomik teşhisler ile biyokütle ölçümleri (chl-a $\mu\text{g/L}$) yapılmıştır.

Aralık, 2024'te Mogan Gölü'nden alınan (4°C'de) su örneğinin fitoplankton biyokütlesi 0,028 $\mu\text{g/L}$ (chl-a) olarak tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında deneylerin gerçekleştirilebilmesi için günlük 5°C arttırılarak istenilen derecelere kadar aklimatizasyonu yapılarak pH ve sıcaklık deneylerine geçilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Tek sıcaklık için deney düzeneği

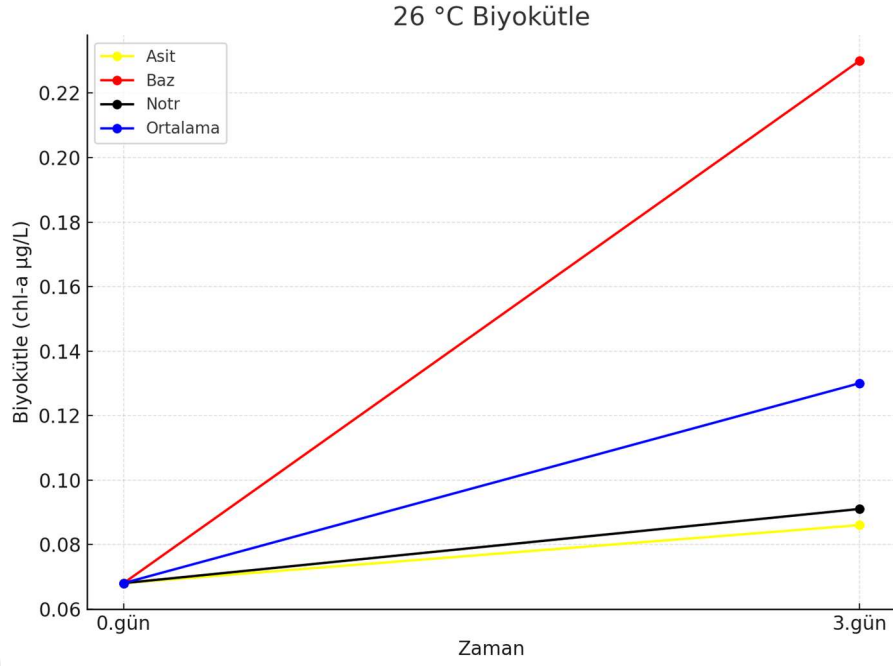
22 °C'de su sıcaklığında gerçekleştirilen deneyin başlangıcında ölçülen biyokütle değeri 0,056 $\mu\text{g/L}$ olarak tespit edilmiştir. Deney sonunda (72 saat) ise; nötr ortamda 0,124 $\mu\text{g/L}$, bazik ortamda 0,176 $\mu\text{g/L}$ ve asidik ortamda 0,085 $\mu\text{g/L}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. 22°C farklı pH seviyelerinde biyokütle değişimi (n=3)

22°C’de gerçekleştirilen deneyde tüm pH değerlerinde biyokütle anlamlı olarak artmıştır (*Kruskal Wallis*; $p<0,01$). Artış en fazla bazik ortamda gerçekleşirken, en az artış asidik ortamda gözlenmiştir.

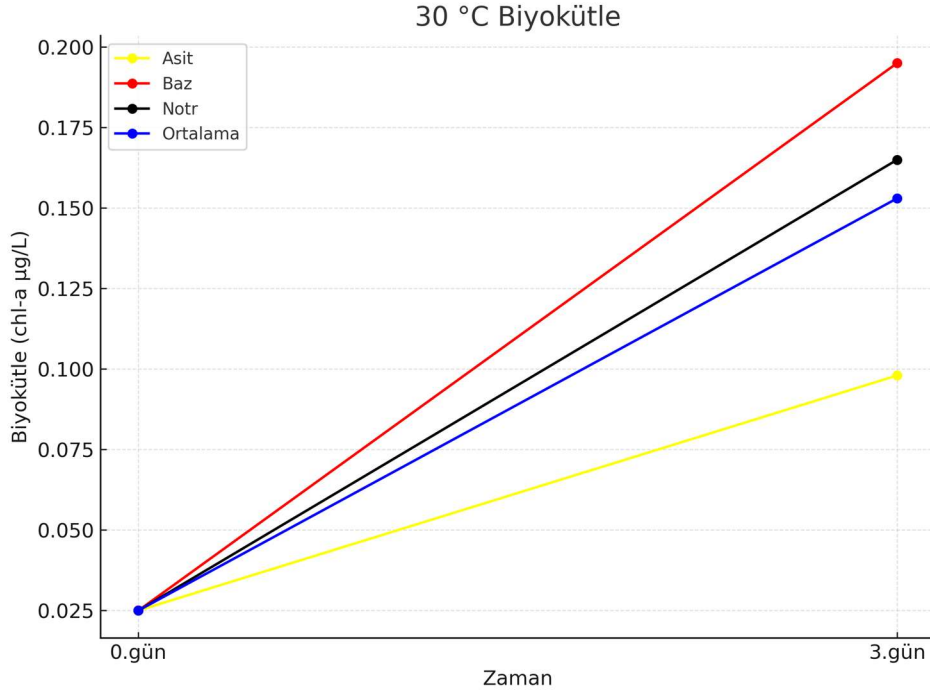
26 °C’de gerçekleştirilen deneyin başlangıcında (0. gün) ölçülen biyokütle değeri 0,065 µg/L olarak kaydedilmiştir. Üçüncü gün itibarıyla farklı pH koşullarına göre ölçülen biyokütle değerleri; nötr ortamda 0,092 µg/L, bazik ortamda 0,236 µg/L ve asidik ortamda 0,087 µg/L olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. 26°C’de farklı pH seviyelerinde biyokütle değişimi (n=3)

26 derece için hepsinde anlamlı artış gözlenmiştir ($p<0,01$). Tüm pH seviyelerinde anlamlı artış gözlenmiştir ($p<0,01$). Artış en fazla bazik ortamda gerçekleşirken, en az artış asidik ortamda gözlenmiştir.

30 °C’de gerçekleştirilen deneyin başlangıcında (0. gün) ölçülen biyokütle değeri 0,025 µg/L olarak kaydedilmiştir. Deney sonu (72 saat) itibarıyla farklı pH koşullarında ölçülen biyokütle değerleri; nötr ortamda 0,165 µg/L, bazik ortamda 0,193 µg/L ve asidik ortamda 0,097 µg/L olarak belirlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. 30°C’de farklı pH seviyelerinde biyokütle değişimi (n=3)

Tez çalışması kapsamında yapılan sıcaklık değişimlerinin ve pH’nın fitoplankton biyokütlesi üzerinde etkili olduğu görülmüştür (*Mann-Whitney U*; $p < 0,01$). Daha sonrasında yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda, her sıcaklık grubunda gözlenen biyokütle ortalamalarının birbirinden anlamlı oranda farklı olduğu tespit edilmiştir (22-26, $p < 0,01$; 22-30, $p < 0,01$; 26-30, $p < 0,01$),(asit-baz $p < 0,05$, nötr-baz $p > 0,05$, nötr-asit $p > 0,05$).

Bu çalışmada Bacillariophyceae sınıfına ait 17, Chlorophyceae sınıfına ait 7, Dinophyceae sınıfına ait 3, Euglenophyceae sınıfına ait 4, Cyanobacteria sınıfına ait 4 ve Cryptophyceae sınıfına ait 2 olmak üzere toplamda 38 farklı cins tanımlanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Deneyde gözlenen fitoplankton cins listesi

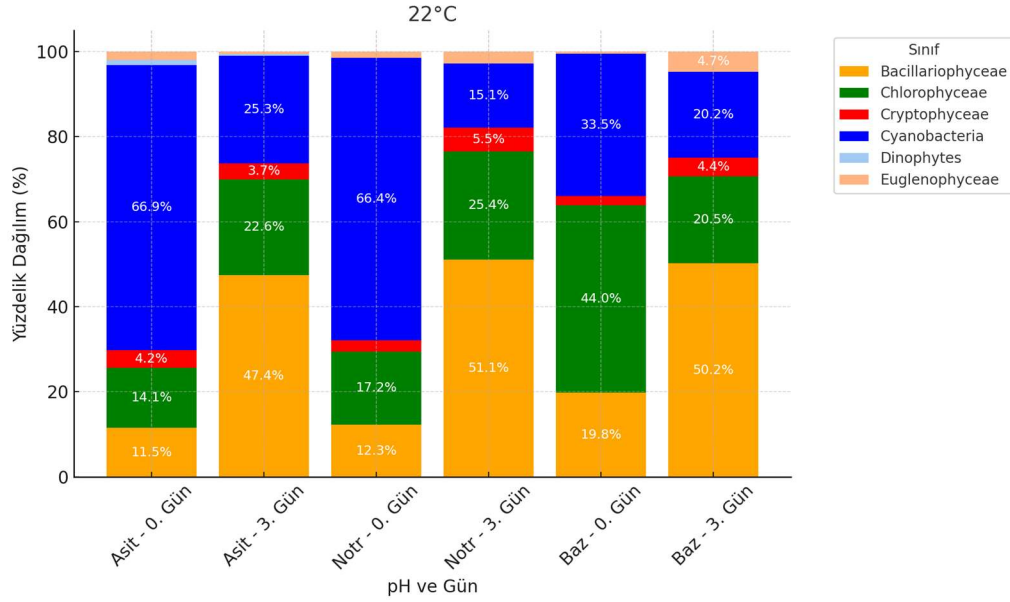
Cins Listesi			
Bacillariophyceae		Chlorophyceae	
1.	<i>Nitzschia</i> sp.	1.	<i>Chlorella</i> sp.
2.	<i>Cyclotella</i> sp.	2.	<i>Tetraedron</i> sp.
3.	<i>Navicula</i> sp.	3.	<i>Scenedesmus</i> sp.
4.	<i>Melosira</i> sp.	4.	<i>Oocystis</i> sp.
5.	<i>Stephanodiscus</i> sp.	5.	<i>Monoraphidium</i> sp.
6.	<i>Suriella</i> sp.	6.	<i>Cloastrum</i> sp.
7.	<i>Rhopalodia</i> sp.	7.	<i>Ankistrodesmus</i> sp.
8.	<i>Fragilaria</i> sp.	Dinophyceae	
9.	<i>Ulnaria</i> sp.	1.	<i>Gymnodinium</i> sp.
10.	<i>Cymbella</i> sp.	2.	<i>Trachelomonas</i> sp.
11.	<i>Tabellaria</i> sp.	3.	<i>Peridium</i> sp.
12.	<i>Gyrosigma</i> sp.	Euglenophyceae	
13.	<i>Caloneis</i> sp.	1.	<i>Trachelomonas</i> sp.
14.	<i>Epithemia</i> sp.	2.	<i>Phacus</i> sp.
15.	<i>Amphora</i> sp.	3.	<i>Euglena</i> sp.
16.	<i>Melosira</i> sp.	4.	<i>Lepocinclis</i> sp.
17.	<i>Hantzchia</i> sp.	Cyanobacteria	
Cryptophyceae		1.	<i>Microsystis</i> sp.
1	<i>Cryptomonas</i> sp.	2.	<i>Pseudanabaena</i> sp.
2	<i>Rhodomonas</i> sp.	3.	<i>Merismopedia</i> sp.
		4.	<i>Spirulina</i> sp.

22 °C’de farklı pH koşullarına göre elde edilen sınıf dağılımı günlere göre şekil 4.6’da sunulmaktadır. Bu sıcaklıkta pH düzeylerine göre sınıflar arasında anlamlı değişimler gözlemlenmiştir; nötr ortamda ($p<0,01$) ve bazik ortamda ($p<0,01$) anlamlı farklılıklar saptanmış, ancak asidik ortamda anlamlı bir değişiklik tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

Deney başlangıcında asidik ortam düşük birey sayısı ve dar cins dağılımı gösterirken, 3.gün bu değerlerde sınırlı bir artış gözlenmiştir. Bu durum fitoplankton üretiminin sınırlanmış olabileceğine işaret etmektedir. Nötr ortamda ortalama birey sayıları yükselmiş ve daha net bir artış görülmektedir. Bazik ortamda ise fitoplankton birey sayısı deney başlangıcında yüksek tespit edilmiş ve nötr ortama göre daha az bir artış gözlenmiştir.

22 derecede gerçekleştirilen deney sonunda Bacillariophyceae sınıfı birey sayısında pozitif artış göstermiş ($p<0,01$) ve en yoğun sınıf haline gelmiştir (Şekil 4.5). Aynı zamanda bu sınıf için bazik ortamda ($p<0,01$) ve nötr ortamda ($p<0,01$) da pozitif artış görülmüştür. Cyanobacteria sınıfı düşüş gösterirken en çok değişim Bacillariophyceae sınıfında gözlenmiştir (Şekil 4.7). Chlorophyceae sınıfında her pH’da artış gözükmesine rağmen istatistiksel olarak anlamlı bir artış saptanmamıştır. Bu bulgu ışığında 22°C nötr

ortam fitoplankton için en uygun ortam olarak görülmektedir. 22°C’de yapılan deney başlangıcı ve sonu; sınıfların dağılımı ve yüzdelik değişim grafikleri biyokütle dikkate alınmadan Şekil 4.5’te verilmiştir.



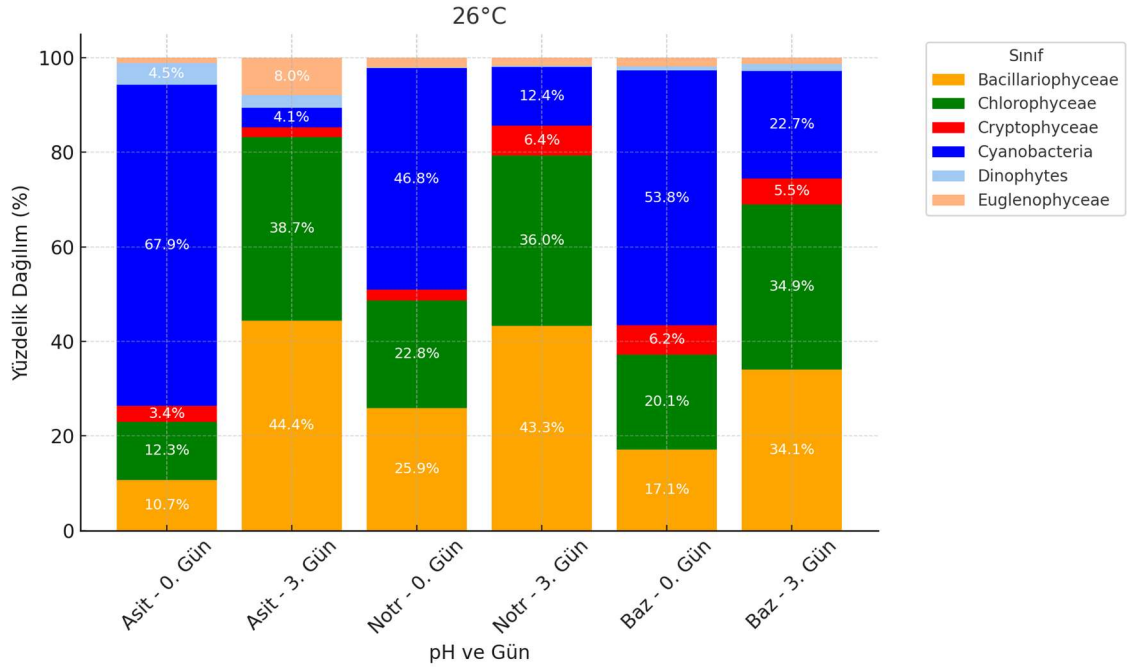
Şekil 4.5. 22°C pH seviyelerine göre deney başlangıcı ve sonu fitoplankton sınıflarına göre birey dağılımı (Deney başı cins / toplam birey sayısı; asidik=21/1387, nötr=20/971, bazik=19/2343; Deney sonu cins / toplam birey sayısı; n; asidik=24/1179, nötr=29/1909, bazik=31/1689)

26°C düzeyinde, sınıf ve sıcaklık etkileşimi değerlendirildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış tespit edilmiştir ($p<0,01$). 0. gün ile 3. gün arasında nötr ortamda ($p<0,01$) ve asidik ortamda ($p<0,01$) anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir. 26 derecede gerçekleştirilen deney sonunda Chlorophyceae ve Bacillariophyceae sınıfları tüm pH değerlerinde anlamlı bir artış göstererek ($p<0,01$; $p<0,05$), en yüksek yüzdelerde temsil edilmiştir (Şekil 4.6).

26°C’de farklı pH seviyeleri bazında yapılan analizlerde Bacillariophyceae ($p<0,05$) ve Chlorophyceae ($p<0,05$) sınıflarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır. En çok artış gösteren sınıflar Bacillariophyceae ve Chlorophyceae olduğu görülmüştür. En çok düşüş ise Cyanobacteria sınıfında gözlenmiştir.

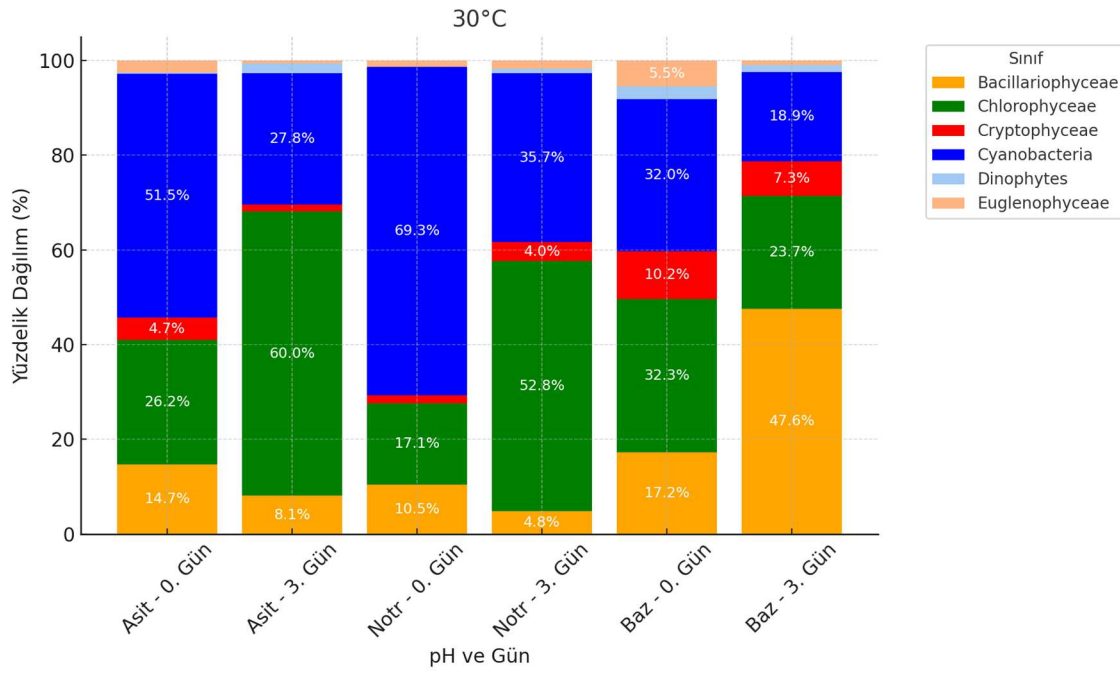
Bacillariophyceae asidik ortamda deney başlangıcı ve 3.gün birey sayıları genel olarak düşük ve birbirine yakın gözlenmiştir. Geniş dağılım gözükmesine rağmen ortalamada dikkate değer bir artış gözlenmemiştir. Diğer pH seviyeleri arasında da anlamlı bir artış

gözlenmemiştir. 26 °C yapılan deney başlangıcı ve sonu; sınıfların dağılımı ve yüzdelik değişim grafikleri biyokütle dikkate alınmadan Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. 26°C pH seviyelerine göre deney başlangıcı ve deney sonu fitoplankton sınıflara göre birey dağılımı (Deney başı cins / toplam birey sayısı; asidik=32/4024, nötr=34/2372, bazik=28/2357; Deney sonu cins / toplam birey sayısı; n; asidik=27/3183, nötr=29/3070, bazik=33/2669)

30°C’de düzeyinde sınıflar arasında genel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ($p<0,01$). 30°C’de gerçekleştirilen deney süresince sadece Chlorophyceae sınıfında anlamlı değişim gözlenmiştir ($p<0,05$). Ayrıca Cyanobacteria sınıfında düşüş gözlenmiştir. 30 °C yapılan deney başlangıcı ve sonu; sınıfların dağılımı ve yüzdelik değişim grafikleri biyokütle dikkate alınmadan Şekil 4.7’de verilmiştir. Deney başı ve sonu karşılaştırıldığında, istatistiksel olarak anlamlı bir değişim yalnızca Chlorophyceae sınıfında gözlemlenmiştir ($p<0,01$) (Şekil 4.7)



Şekil 4.7. 30°C pH seviyelerine göre deney başlangıcı ve deney sonu fitoplankton sınıflara göre birey dağılımı (Deney başı cins / toplam birey sayısı; asidik=28/1502, nötr=24/1642, bazik=29/974; Deney sonu cins / toplam birey sayısı; asidik=28/2079, nötr=28/2261, bazik=34/2906)

Deney başlangıcında Cyanobacteria sınıfı genel olarak baskın sınıf olurken deney sonunda her sıcaklıkta düşüş gösterdiği görülmüştür. Cyanobacteria sınıfının boşluğunu ise genellikle Bacillariophyceae ve Chlorophyceae sınıflarının aldığı görülmüştür. 22°C’de Bacillariophyceae deney sonunda baskın hale gelmiş (Şekil 4.5), 26°C’de Chlorophyceae ile benzer bolluğa ulaşmış (Şekil 4.6), 30°C’de ise Chlorophyceae sınıfının baskın hale geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.7).

Nötr ortamda ise 22 °C’de ortalamada artış, yüksek varyans gözlenmektedir. 26°C’de deney başlangıcı ve 3.gün neredeyse örtüştüğü görülmektedir. 30°C’de ise artış görülmüş fakat istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Bazik ortamda ise 22°C’de anlamlı büyüme gözlenmiş, ortalama artıp, geniş bir grafik gözlenmiştir. 26°C ve 30°C karşılaştırıldığında deney başlangıcı ile 3.gün neredeyse örtüştüğü ve anlamlı bir büyüme gözlenmemiştir.

Tüm deney koşulları genelinde değerlendirildiğinde, deney başlangıcı ve sonu arasındaki biyokütle değişimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,01$). Sıcaklık grupları ayrı ayrı incelendiğinde, 26 °C ($p < 0,01$) ve 30 °C ($p < 0,05$) sıcaklıklarında deney süresince anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Farklı pH seviyeleri dikkate alındığında ise nötr ortamda ($p<0,01$) ve asidik ortamda ($p<0,01$) deney başlangıcı ve sonu arasında anlamlı biyokütle değişimleri gözlemlenmiştir.

Karşılaştırmalı analiz sonucunda 22-30°C, 26-30°C arasında Bacillariophyceae sınıfı artış göstermiştir ($p<0,01$). Asidik ortam sıcaklıktan bağımsız olarak fitoplanktonun büyümesini belirgin şekilde baskılamıştır.

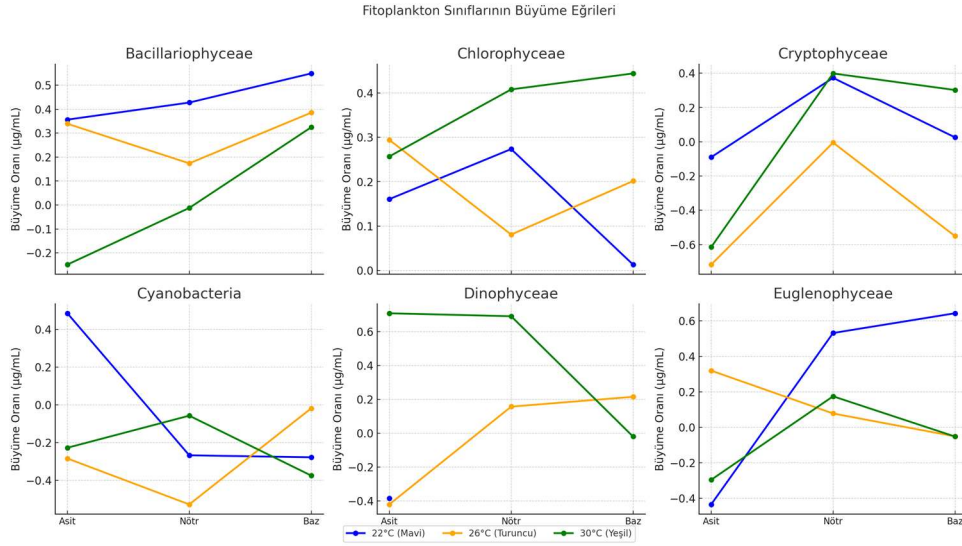
Özet olarak sınıf bazında yapılan analizlerde, Bacillariophyceae sınıfında; 22 °C’de ($p<0,01$) ve 26 °C’de ($p<0,01$). 0. gün ile 3. gün arasında anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Ayrıca pH düzeylerine göre incelendiğinde, Bacillariophyceae ($p<0,05$) ve Chlorophyceae ($p<0,01$) sınıflarında da anlamlı değişimler belirlenmiştir. 22 °C sıcaklıkta, nötr ortamda ($p<0,01$) ve bazik ortamda ($p<0,01$) Bacillariophyceae sınıfında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. 26 °C’de ise asidik ortamda ($p<0,01$) ve bazik ortamda ($p<0,01$) yine Bacillariophyceae ($p<0,01$) sınıfı anlamlı değişim göstermiştir.

İkili sıcaklık karşılaştırmaları yapıldığında; 22 °C ile 30 °C ($p<0,01$) ve 26 °C ile 30 °C ($p<0,01$) karşılaştırmalarında Bacillariophyceae sınıfı açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ortaya çıkmıştır ($p<0,01$) ve asit-nötr($p<0,05$) ortamlar arasında da anlamlı fark görülmüştür. Ayrıca Cryptophyceae sınıfında asit-nötr arasında anlamlı fark görülmüştür ($p<0,01$).

Tüm pH karşılaştırmaları dikkate alındığında ise yalnızca Bacillariophyceae ($p<0,01$) ve Cryptophyceae ($p<0,05$) sınıflarında anlamlı artış gözlemlenmiştir.

Tüm sıcaklıklar dikkate alındığında ise Bacillariophyceae ve Chlorophyceae sınıfı anlamlı artış göstermiştir. Cyanobacteria ise birey sayısı olarak çok gözükseler de deney başlangıcına göre deney sonunda düşüş eğilimi göstermiştir.

Bazı fitoplankton sınıfları büyümesi pH ile kısıtlandığı, bazılarının arttığı gözlenmiştir (Çizelge 4.2, Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Fitoplankton sınıflarının toplam sayısı büyüme oranları birey/mL (n=6)

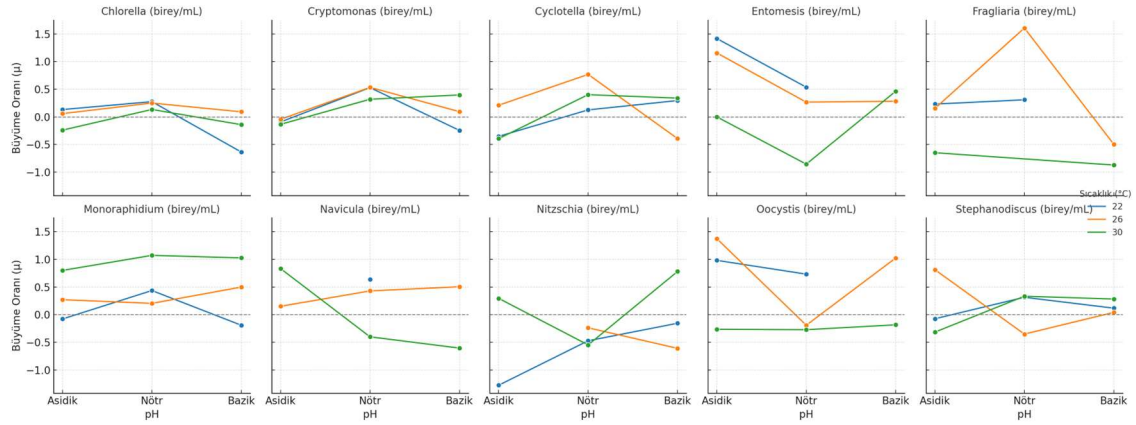
Çizelge 4.2. Fitoplankton sınıflarının toplam sayısı büyüme oranları birey/mL (n=6)

Sınıf	pH	22°C	26°C	30°C
Bacillario	Asit	0.356	0.339	-0.249
Bacillario	Notr	0.427	0.174	-0.012
Bacillario	Baz	0.549	0.385	0.324
Chlorophy	Asit	0.161	0.294	0.257
Chlorophy	Notr	0.273	0.081	0.408
Chlorophy	Baz	0.013	0.201	0.444
Cryptophy	Asit	-0.090	-0.717	-0.615
Cryptophy	Notr	0.373	-0.005	0.399
Cryptophy	Baz	0.026	-0.550	0.302
Cyanobac	Asit	0.485	-0.284	-0.227
Cyanobac	Notr	-0.267	-0.527	-0.057
Cyanobac	Baz	-0.277	-0.019	-0.374
Dinophyce	Asit	-0.384	-0.421	0.708
Dinophyce	Notr	-	0.157	0.691
Dinophyce	Baz	-	0.215	-0.020
Euglenopl	Asit	-0.435	0.319	-0.296
Euglenopl	Notr	0.531	0.078	0.175
Euglenopl	Baz	0.642	-0.051	-0.052

Genel koşullarda en çok artan cinslerin 22°C, 26°C ve 30°C Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Bu çalışmada seçilen 10 fitoplankton cinsi için sıcaklık gruplarına göre birey sayısı farkları incelenmiştir. Grafiksel olarak özellikle *Chlorella* ve *Monoraphidium* cinslerinde 22 °C'de daha yüksek birey artışları gözlenmiştir. Bununla birlikte, Kruskal-Wallis testi

sonuçları bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermiştir. Bu durum, sınıf içi varyasyonun yüksek olması ve kısa deney süresinin etkili olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, bazı cinslerde 30 °C koşullarında medyan değerlerin düşmesi sıcaklık stresine karşı olası bir duyarlılığı işaret etmektedir. Öne çıkan cinslerin büyüme oranlarına bakıldığında ise *Fragilaria*, *Monoraphidium* cinslerinin sıcaklığa bağlı olarak pH değişiminden yüksek oranda etkilendiği gözlenmiştir (Şekil 4.9, Çizelge 4.3). Diğer cinslerin ise daha dengeli bir artış gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 4.9. Seçilen on cinsin toplam sayısı büyüme oranları birey/mL (n=6)

Çizelge 4.3. Seçilen on cinsin toplam sayısı büyüme oranları birey/mL (n=6)

Cins	Sıcaklık	Asidik	Nötr	Bazık
<i>Chlorella</i> (birey/mL)	22	0.131	0.273	-0.633
	26	0.059	0.250	0.091
	30	-0.238	0.133	-0.140
<i>Cryptomonas</i> (birey/mL)	22	-0.090	0.515	-0.231
	26	-0.043	0.526	0.094
	30	-0.132	0.309	0.381
<i>Cyclotella</i> (birey/mL)	22	-0.341	0.122	0.288
	26	0.207	0.750	-0.343
	30	-0.343	0.383	0.327
<i>Entomesis</i> (birey/mL)	22	1.283	0.366	0.999
	26	1.025	0.231	0.231
	30	0.000	-0.649	0.305
<i>Fragliaria</i> (birey/mL)	22	0.217	0.299	0.963
	26	0.153	1.378	-0.462
	30	-0.462	1.766	-0.784
<i>Monoraphidium</i> (birey/mL)	22	-0.077	0.432	-0.191
	26	0.266	0.200	0.496
	30	0.796	1.063	1.006
<i>Navicula</i> (birey/mL)	22	1.276	0.597	0.924
	26	0.149	0.424	0.494
	30	0.820	-0.377	-0.568
<i>Nitzschia</i> (birey/mL)	22	-1.052	-0.462	-0.156
	26	0.352	-0.237	-0.607
	30	0.289	-0.526	0.776
<i>Oocystis</i> (birey/mL)	22	0.768	0.536	1.073
	26	1.280	-0.177	1.006
	30	-0.255	-0.267	-0.178
<i>Stephanodiscus</i> (birey/mL)	22	-0.069	0.301	0.112
	26	0.787	-0.327	0.040
	30	-0.305	0.305	0.263

5.TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında, Mogan Gölü'nden elde edilen fitoplankton örnekleri ile yürütülen deneysel analizler sonucunda, sıcaklık ve pH gibi çevresel parametrelerin kısa süreli değişimlerinin fitoplankton biyokütlesi ve topluluk yapısı üzerinde belirgin etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Reynolds (2006), kısa süreli çevresel değişimler; çevresel faktörün (sıcaklık, ışık, pH vs.) değişim hızının ve büyüme stratejilerinin topluluk yapısını belirlediğinden bahsetmiştir. Üç günlük bir değişim periyodu, bu araştırmada izlendiği üzere, hızlı yanıt verebilen fitoplankton gruplarını (Chlorophyceae, Bacillariophyceae) öne çıkarırken, yavaş tepki verenlerin (Cyanobacteria) gerilemesine neden olmuştur.

Üç günlük deney süresince, tüm koşullarda 0. gün ile 3. gün arasındaki biyokütle değerleri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir artış saptanmıştır ($p < 0,01$). Bu durum fitoplanktonun çevresel koşullardaki değişimlere hızlı tepki verdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle Bacillariophyceae sınıfı, 22 °C ve 26 °C sıcaklıklarda bazik ve nötr pH koşullarında anlamlı düzeyde artış göstermiş; buna karşın 30 °C'de büyümesinin sınırlandığı görülmüştür. Çalışmada gözlenen bu büyüme sınırlanması Litchman (2022), Li vd., (2021), Hattich vd. (2024), Javaheri vd., (2015) çalışmalarında da gözlenmiştir. Chlorophyceae sınıfı ise en fazla artışı nötr pH koşullarında ve 30 °C sıcaklıkta göstermiştir. Ayrıca sınıf düzeyinde pH'ya duyarlılık farklılıkları ortaya çıkmış; Bacillariophyceae daha geniş pH toleransına sahipken Chlorophyceae'nin nötr ortama karşı daha seçici bir yanıt verdiği belirlenmiştir. Elde edilen bu bulgular, fitoplanktonun kısa sürede çevresel değişkenlere tepki verebildiğini ve sınıf bazlı farklılıkların topluluk yapısını şekillendirdiğini göstermektedir.

Sığ göllerde sıcaklık değişimleri, fitoplankton topluluk yapısını ve biyokütlesini derinden etkileyebilmektedir (Florescu vd., 2022). Genellikle artan sıcaklık ile uygun besin varlığında fitoplankton üretkenliği hızlanarak her 10 °C'lik artışta büyüme hızını kabaca ikiye katlayabilmektedir (Florescu vd., 2022). Sonuç olarak bu çalışmada da deney süresince başlangıça kıyasla belirgin bir biyokütle artışı gözlenmiştir ($p < 0,01$). Bu sonuç, 22–30 °C aralığında fitoplanktonun birkaç gün içinde bile hızlı büyüyebileceğini ve çevresel koşullardaki değişime hızla tepki verebileceğini göstermektedir. Sıcaklık düzeylerinin ana etkisine bakıldığında, tüm sıcaklık grupları genelinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p < 0,01$). Özellikle 26 °C ve altında hem toplam

fitoplankton biyokütlesi hem de belirli sınıfların biyokütlesi anlamlı artışlar göstermiştir. 26 °C’de deney süresince fitoplankton biyokütlesindeki artış hem nötr ($p < 0,01$) hem de asidik ($p < 0,01$) pH koşullarında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş; bu sıcaklıkta Bacillariophyceae ve Chlorophyceae (yeşil alg) sınıflarının her ikisi de 3. günde başlangıca göre anlamlı düzeyde artmıştır (sırasıyla $p < 0,01$ ve $p < 0,01$). Bu bulgular ılımlı bir ısınmanın (ör. 22–26 °C) her iki fitoplankton grubunu da büyüme yönünde olumlu etkilediğini göstermektedir. Huisman vd., (2018), Paerl ve Huisman (2008) bazı fitoplankton gruplarında büyümenin 25°C üzerinde düşüş göstermeye başladığını çalışmalarında göstermiştir. Yapılan deneyler bu bulgularla örtüşmekte ise de bazı fitoplankton sınıflarının daha yüksek sıcaklıklarda anlamlı artış göstermiştir.

Bu deneyde 22 °C’de Bacillariophyceae’nin öne çıkması, Reynolds’un sıcaklık-optimum ilişkisine dair görüşleriyle tutarlıdır. Chlorophyceae’nin, optimum sıcaklığının daha yüksek olması nedeniyle 22 °C’de büyüme hızı nispeten düşüktür. Bu durum Bacillariophyceae enin bu koşulda üstünlük kurmasına olanak tanımıştır. 26 °C gibi orta düzey sıcaklıkta ise her iki grup da (Bacillariophyceae ve Chlorophyceae) makul büyüme hızına ulaşabildiğinden, deneyde eş-baskınlık gözlenmiştir. Reynolds’un modellemeleri de çevresel koşullar orta düzeydeyken birden fazla fonksiyonel grubun birlikte bulunabileceğini, belirgin bir seçilimin oluşmadığını öngörür (Kruk vd., 2021).

Chlorophyceae sınıfı ise daha karmaşık bir tepki profili sergilemiştir. Deneyde 26 °C’de Chlorophyceae biyokütlesi 3. günde anlamlı biçimde artmıştır ($p < 0,01$). Bu ılımlı sıcaklık artışının Chlorophyceae’nin de yararına olabildiğini ortaya koymuştur ancak Chlorophyceae’nin en büyük artışı, pH’ın uygun aralıkta olduğu durumlarla sınırlı kalmıştır. Deneyde 30 °C’de en yüksek artışı gösteren grup Chlorophyceae olmuştur. Bu bulgu, uygun pH şartlarında Chlorophyceae’nin yüksek sıcaklıkta bile büyümeye devam edebildiğini göstermektedir (Adar vd., 2016).

Deneyde 30 °C’de genel olarak fitoplankton sınıfları arasında anlamlı bir kompozisyon farkı olduğu görülmüştür ($p < 0,01$) fakat deney sonu ile deney başı karşılaştırmasında anlamlı biyokütle artışı yalnızca Chlorophyceae sınıfında tespit edilmiştir ($p < 0,01$). Bu durum en yüksek sıcaklıkta Chlorophyceae’nin biyokütle artışını sürdürürken, Bacillariophyceae’nin artışının sınırlı kaldığını ya da durağanlaştığını göstermektedir. Sonuç olarak literatürde de 25 °C üzerindeki sıcaklıklarda birçok tatlı su ekosisteminde Chlorophyceae ve özellikle Cyanobacteria gibi sınıfların daha avantajlı hale geldiği rapor edilmiştir (Florescu vd., 2022). Bu bağlamda Jeppesen ve vd. (2009) yapmış oldukları

araştırmada sıcaklığın ılıman bölge göllerinde artmasıyla fitoplankton biyokütlesinin yükseldiğini, 30 °C civarında ise siyanobakterilerin baskın hale gelebildiğini belirtmişlerdir (Florescu vd., 2022). Tez çalışması kapsamındaki kısa süreli çalışmada 3 gün sonunda siyanobakteri patlaması gözlenmemiş olsa da 30 °C’de yalnızca Chlorophyceae sınıfının anlamlı artış göstermesi, 30°C sıcaklıkta Bacillariophyceae’nin göreceli rekabet gücünün azaldığına işaret etmektedir. Bu durum, Bacillariophyceae’nin genellikle nistepen daha serin ve ılımlı koşullarda avantaj sağladığını, daha yüksek sıcaklarda ise Chlorophyceae veya diğer gruplarca gölgelenebileceği yönündeki beklentiyle uyumludur (Florescu vd., 2022). Sonuç olarak Türkiye’de sığ göllerde yapılan uzun süreli çalışmalarda, ılıman sıcaklıklarda (örn. ilkbahar ve sonbahar) Bacillariophyceae ve Chlorophyceae sınıflarının baskın olduğu, yazın yüksek sıcaklıklarda ise fitoplankton kompozisyonunun daha küçük form ve türlere (ör. küçük Chlorophyceae, Cyanobacteria) kaydığı rapor edilmiştir (Beklioglu vd., 2007). Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneyde Bacillariophyceae’nin 22 ve 26 °C’de güçlü büyüme sergilerken 30 °C’de artış gösterememesi, bu sınıfın aşırı ısınmaya karşı duyarlılığını ve Chlorophyceae’nin daha yüksek sıcaklıklarda avantaj kazandığını ortaya koymaktadır.

Kısa vadede pH değişimi de potansiyel bir stres faktörüdür, ancak etkisi sıcaklık veya ışık kadar doğrudan olmayabilir. Reynolds (2006), pH’ın fitoplankton üzerine esasen karbon kaynağı erişimi üzerinden etki ettiğini belirtmiştir. Yüksek pH, çözülmüş CO₂ seviyesini azaltarak karbon sınırlamasına yol açabilir; birçok planktonik alg bu durumda bikarbonat kullanma yeteneği (karbon konsantrasyon mekanizması, CCM) geliştirerek CO₂ kıtlığını tolere edebilir (Reynolds, 2006). Aynı eserde Chlorophyceae ve Cyanobacteria üzerinde yapılan çalışmada bikarbonattan aktif olarak faylanabildiklerini raporlamıştır.

Deneyde incelenen pH düzeyleri (asidik, nötr, bazik) fitoplankton kompozisyonunda önemli farklılıklara yol açmıştır. Genel olarak Bacillariophyceae sınıfı, farklı pH koşullarına geniş tolerans göstererek çoğu pH ortamında biyokütlesini artırabilmiştir. Özellikle 22 °C sıcaklıkta Bacillariophyceae, nötr pH ortamında belirgin bir artış sergilemiş ($p < 0,01$) ve bazik ortamda da anlamlı şekilde çoğalmıştır ($p < 0,01$). Asidik pH ve 22 °C’de Bacillariophyceae artışı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu bulgu daha düşük pH’ın Bacillariophyceae’nin kısa vadeli büyümesini bir miktar kısıtlamış olabileceğini düşündürmektedir. Bacillariophyceae için 26 °C’de asidik ve bazik ortamlarda anlamlı artışlar kaydedilmiştir (her iki pH’da $p < 0,05$), bu da

Bacillariophyceae'nin hem daha düşük hem de daha yüksek pH koşullarına uyum sağlayabildiğini göstermektedir. Sonuç olarak literatürde Bacillariophyceae'nin geniş bir pH aralığında yaşayabildiği, hatta birçok türün pH dalgalanmalarına yüksek tolerans gösterdiği belirtilmektedir. Hansen (2002), 35 fitoplankton türü üzerinde yaptığı karşılaştırmada Bacillariophyceae'nin pH değişimlerine karşı diğer gruplara kıyasla daha toleranslı olduğunu rapor etmiştir (Hao vd., 2021). Tatlı su Bacillariophyceae, hafif asidik ortamlardan alkali koşullara kadar büyüebilir ve bu esneklik onlara avantaj sağlayabilir.

Chlorophyceae sınıfı ise bu deneyde pH konusunda daha belirgin bir duyarlılık göstermiştir. Deneyde 22 °C sıcaklıkta Chlorophyceae'nin biyokütlesinde anlamlı artış sadece nötr pH'da gözlenmiştir ($p < 0,01$), oysa asidik ve bazik ortamlarda belirgin bir değişim saptanmamıştır. Bu durum Chlorophyceae türlerinin pH 7-8 civarındaki nötr koşullara yakın ortamlarda optimum büyüme sergilediğini ancak uç pH değerlere (daha düşük veya daha yüksek) maruz kaldıklarında büyümelerinin kısıtlandığını göstermektedir. Sonuç olarak literatürde pek çok tatlı su Chlorophyceae türü, nötr ile hafif alkali aralıktaki pH'da en iyi gelişimi gösterir. Tez kapsamında gerçekleştirilen deney koşullarında asidik ve bazik ortamlarda Chlorophyceae'nin biyokütle artışı sınırlı kalmıştır. Goldman vd. (1982), *Scenedesmus* ve *Chlorella* gibi tatlı su Chlorophyceae türlerinin pH 10'a kadar büyüebilse de optimalin dışındaki yüksek pH'da büyüme hızlarının belirgin şekilde düştüğünü belirtmiştir. Bu bilgiler, Chlorophyceae sınıfının aslında nötr pH civarında en etkili büyümeyi gösterme, sapmalara karşı daha duyarlı olma eğilimini yansıtmaktadır. Dolayısıyla bu deneyde Chlorophyceae'nin yalnızca nötr pH'da anlamlı artış göstermesi, bu grubun pH tolerans aralığının Bacillariophyceae'ye kıyasla daha dar olabileceğini ve çevresel pH değişimlerinden daha fazla etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Tez çalışması kapsamında ise sadece 26°C nötr ve bazik ortamda istatistiksel artışın sebebi Bacillariophyceae sınıfının 22°C'de Chlorophyceae sınıfına göre daha avantajlı olması, 26°C'de ise bazik ortam hariç anlamlı artış göstermesi de Bacillariophyceae sınıfının bu koşullarda rekabet açısından daha avantajlı olması ve Cyanobacteria sınıfının bıraktığı nişi alması olarak yorumlanabilir.

Diğer fitoplankton sınıfları; deneyde ve literatürde görüldüğü gibi Bacillariophyceae yüksek sıcaklık hariç nötr ve bazik ortamlara daha toleranslı, Chlorophyceae ise sıcaklık, sürekli ışık kaynağı, besin daha çok etkilemektedir dolayısıyla ışık kaynağına ve besine erişimi kısıtlandığı takdirde bolluklarında azalma görülmesi beklenmektedir. Bütün bu

bulgulara rağmen tez çalışması kapsamında siyanobakterilerin azalıp Chlorophyceae (26-30°C), Bacillariophyceae ise (22-26°C) sıcaklıklarda artışlarının gerçekleştiği görülmüştür. Bunun sebebi zengin besin kaynağının olması, ışık kaynağının düzenli olması, ışık geçirgenliğinin yüksek olması (doğal ortama göre) ve deneyin daha yüksek sıcaklıklarda yapılmaması gibi başlıca etkenlerdendir.

Bulgular ışığında Bacillariophyceae ve Chlorophyceae'nin sıcaklık ve pH değişimlerine verdikleri tepkilerin belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. Bacillariophyceae, 22, 26 ve 30 °C'lik sıcaklık düzeylerinin her birinde uygun pH koşulları altında biyokütlesini artırarak esnek bir yanıt vermiştir. Özellikle 22 ve 26 °C'de Bacillariophyceae'lerin artışı çok güçlüdür. Bu durum, Bacillariophyceae'lerin ılımlı sıcaklıklarda hızlı üreyebilen ve ortama çabuk uyum sağlayabilen bir sınıf olduğunu desteklemektedir. Bu grubun sahip olduğu silis bazlı hücre duvarları ve hızlı çoğalma potansiyeli, onlara kısa sürede biyokütlelerini artırma olanağı tanımıştır. 30 °C'de ise Bacillariophyceae'nin artış hızının yavaşladığı veya durduğu görülmektedir; 3. gün itibarıyla Bacillariophyceae biyokütlesi başlangıca göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemiştir. Bu sıcaklıkta muhtemelen Bacillariophyceae'ler artan metabolik talepler veya rekabet koşulları nedeniyle geride kalmışlardır. Özen vd. (2013) tarafından yürütülen mezokozm çalışmasında, küresel ısınma simülasyonu etkisinin doğrudan fitoplankton biyokütlesini artırmadığı, besin seviyesinin (ötrofikasyonun) etkisinin çok daha baskın olduğu bulunmuştur (Özen vd., 2013). Sıcaklık tek başına fitoplankton topluluk biyokütlesinde belirgin bir artış yaratmazken yüksek sıcaklıklar altında besin arzının bol olması durumunda fitoplankton kompozisyonunun küçük ve hızlı üreyen türlere kaydığı gözlemlenmiştir (Özen vd., 2013). Bu deneyde de sıcaklığın ana etkisi sınırlı kalmış ancak Bacillariophyceae gibi sınıflar uygun pH ve yeterli besin varlığında ılımlı sıcaklıklarda büyümeyi başaramamıştır.

Zepernick vd. (2021), Wagner ve Adrian (2009), Scheffer vd. (2007), yaptıkları çalışmalarda Cyanobacteria sınıfının diğer sınıflara göre özellikle alkali sucul sistemlerde daha baskın hale geldiğini gözlemlemiştir. Tez kapsamında yapılan deney çalışmalarında Cyanobacteria sınıfında her koşulda yüksek düşüş gözlenmiştir. Göl sistemlerinde kahverengileşme, bulanıklaşma, ötrofikasyon, tabakalaşma gibi başlıca sebepler sonucu ışık geçirgenliğinin düşmesi ile siyanobakterilere avantaj sağladığı düşünülmektedir (Solheim vd, 2023; Walsby, 2005). Siyanobakteriler, diğer fitoplanktonların aksine su kolonunda dikey olarak hareket edebilmektedir. Dolayısıyla ışık geçirgenliğinin düşük

olduğu sucul sistemlerde su yüzeyine doğru hareket yapabilmekte ve ışıktan faydalanarak büyümelerini arttırarak baskın hale gelebilmektedir. Siyanobakteriler, nispeten düşük besin ve ışık koşullarına olan toleransları sayesinde rekabette avantaj sağlarken, özellikle tabakalaşmanın görüldüğü göllerde su kolonunun karışmaması nedeniyle besin ve ışığın yüzey sularında yoğunlaşması, bu avantajlarını daha da arttırmaktadır. Karbon konsantrasyon mekanizması aracılığı ile bikarbonatı karbondioksite çevirirler ve bu dönüşüm sırasında serbest hidrojen tüketilir ve dolayısıyla su alkali olur (Zepernick vd., 2021). Yoğunluklarının artması ve CCM mekanizmaları ile suyun pH'sını kendi avantajına olacak şekilde değiştirmektedir.

Genellikle düşük pH birçok siyanobakteri için sınırlayıcıdır. Bazik pH ise CO₂'nin sınırlayıcı hale gelmesine yol açarak, CCM mekanizması zayıf olan türlerin büyümesini yavaşlatabilir. Reynolds (2006) her ne kadar pH özelinde kısa dönem kompozisyon değişimi üzerine doğrudan örnekler vermese bile, karbon sınırlaması ve pH etkileşimine dair anlattıkları bu çalışmanın sonuçlarını yorumlarken yol gösterici olmuştur. pH'nın yüksek olduğu ortamlarda siyanobakterilerin diğer fitoplanktonlara kıyasla daha avantajlı büyüebildiği, büyük siyanobakteri patlamalarının ortam pH'sını yükselterek kendi avantajlarına çevirebildikleri bilinmektedir.

Başlangıçtaki hakimiyetlerine rağmen, siyanobakteriler 3 gün boyunca yeterince çoğalarak pH üzerinde bir kontrol kuramamışlar ve pH faktörü olumlu etki yapmamıştır. Hatta bazik ortamda dahi, Chlorophyceae'lerin hızlı büyümesi pH'yı daha da yükseltip (CO₂'yi hızlı tüketerek) siyanobakterilerin karbon kullanımını zorlaştırmış olabilir. Reynolds, birçok planktonik canlının yüksek pH'da karbon sınırlamasını aşmak için enerji harcayarak CCM sistemini devreye sokması gerektiğini ancak bunun da büyüme hızını yavaşlattığını ifade etmiştir (Reynolds, 2006). Genel olarak siyanobakterilerin yerini fırsatçı olarak isimlendirebileceğimiz diğer fitoplankton sınıfları almış olması literatür ile örtüşen bir bulgudur.

Sonuç olarak fitoplanktonun çevresel değişimlere verdiği cevap türlerin büyüme hızı ve adaptasyon kapasitesine bağlı olarak değişebilmektedir. Bazı küçük fitoplankton bir günde biyokütlesini ikiye katlayabilmektedir. *Microcystis* ve *Anabaena* gibi cinslerin büyüme hızı 0,3/gün olduğu için 3 günde ancak ikiye katlayabilmektedir (Reynolds, 2006). Bu bilgi ile çevresel şartlar ani olarak değiştiğinde hızlı üreyen türler yavaşlara karşı kısa süre içerisinde rekabette fark yaratabilirler.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar, tatlı su fitoplankton ekolojisine dair literatürdeki genel eğilimlerle büyük ölçüde uyumludur. Sığ göl sistemlerinde, sıcaklık ve pH gibi çevresel sürükleyiciler fitoplankton topluluk yapısını şekillendiren kritik faktörlerdir (Florescu vd., 2021). Beklioğlu vd.; Orta Anadolu’da gerçekleştirdiği çalışmalarda, sıcaklık artışı ve ötrofikasyonun birleşik etkilerinin fitoplanktonda tür kompozisyonunu değiştirdiği ve toplam biyokütleyi etkilediği gösterilmiştir (Beklioğlu vd., 2007; Özen vd., 2013). Özellikle ılıman iklimli sığ göllerde, kış ve ilkbahar gibi serin dönemlerde Bacillariophyceae ve Chlorophyceae’lerin baskın olduğu, yaz aylarında ise yüksek sıcaklık ve yükselen pH ile siyanobakteri dahil diğer grupların öne çıktığı bildirilmiştir (Florescu vd., 2021). Deney sonuçları da Bacillariophyceae’lerin nispeten serin ve orta sıcaklık koşullarında başarısını, Chlorophyceae’lerin ise sıcaklık yükseldikçe önem kazandığını göstermektedir. Deneyde pH’nın etkisi literatürde sıkça vurgulanmasa da Bacillariophyceae ve Chlorophyceae arasındaki farklı tolerans seviyeleri literatürde dolaylı olarak yer bulmuştur. Bu bağlamda asidik göllerde Bacillariophyceae’nin birçok türü yaşayabilirken, Chlorophyceae tür çeşitliliğinin kısıtlı olması bu duruma bir örnek olarak verilebilir (Brock, 1973). Hansen (2002) de fitoplankton komünitesinde pH’nın önemli bir belirleyici olabileceğini, yüksek pH koşullarına Bacillariophyceae’lerin uyum sağlayarak baskın kalabildiğini vurgulamıştır (Hao vd., 2021). Yüksek pH’ya bağlı karbon sınırlaması gibi etkenlerin Chlorophyceae türlerinin büyümesini engelleyebileceği ve bu durumda Bacillariophyceae’lerin rekabet avantajı kazanabileceği bilinmektedir (ör. yüksek pH’da CO₂ azalırken bazı Bacillariophyceae bikarbonat kullanabilir). Tez deneyi sonuçları bu açıklamalarla uyumlu bir desen sergilemiştir. Bacillariophyceae’ler geniş pH aralığında ve orta sıcaklıklarda başarı gösterirken, Chlorophyceae’ler ancak çevresel parametreler optimum aralığa yakın olduğunda (nötr pH, orta sıcaklık) maksimum biyokütle artışı sağlayabilmiştir.

Bulgular, sıcaklık artışının cinslerin büyüme oranları üzerinde anlamlı etkiler yarattığını ve çoğu tür için optimum sıcaklığın 26°C civarında olduğunu göstermektedir (Reynolds, 2006; Litchman & Klausmeier, 2008). Özellikle *Chlorella* ve *Monoraphidium* gibi cinsler 26°C’de maksimum büyüme gösterirken, *Cyclotella* ve *Entomesis* gibi Bacillariophyceae’lerin ise yüksek sıcaklıklarda büyümeleri sınırlı olmuştur (Tilman vd., 1982). pH değişkenliği açısından, *Monoraphidium* gibi geniş toleranslı türlerin hem asidik hem de nötr ortamlarda yüksek verimlilik sergilediği, bazı türlerin ise yalnızca belirli pH seviyelerinde avantaj sağladığı görülmüştür (Wetzel, 2001; Bradbury vd.,

1999). Özellikle *Nitzschia*'nın bazik ortamda yüksek sayılara ulaşması bu türe ait literatürle uyumlu bir bulgudur. Zamanla artan biyokütle, bazı türlerin çevresel değişkenlere hızlı adaptasyon gösterdiğini ortaya koymaktadır; örneğin *Monoraphidium*'un 3. gün sonunda tüm sıcaklık ve pH kombinasyonlarında yüksek başarı göstermesi, bu türün hızlı çoğalma yeteneği ve çevresel toleransının güçlü olduğunu göstermektedir. Genel olarak, fitoplankton türlerinin çevresel stres faktörlerine tepkileri, topluluk yapısını ve ekolojik işleyişi doğrudan etkilemekte, bu da iklim değişikliği bağlamında tür seçilimi ve ekosistem fonksiyonları üzerine önemli bilgiler sunmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada fitoplankton büyüme ve kompozisyon analizlerinde kullanılan WC besi ortamı, tatlı su algleri için yaygın biçimde tercih edilen bir kültür ortamı olsada, türler arası büyüme farklılıklarını etkileyerek deneysel sonuçlarda sistematik yanlılığa neden olabilecek potansiyel bir faktördür. Literatürde WC ortamının özellikle Chlorophyceae gibi hızlı çoğalan yeşil alg türleri için oldukça uygun olduğu; buna karşılık Bacillariophyceae gibi silikat gereksinimi yüksek diyatom türlerinin bu ortamda sınırlı büyüme sergileyebildiği bildirilmiştir (Andersen, 2005; Guillard & Lorenzen, 1972). Örneğin, bazı çalışmalarda diyatomelerin başarılı kültürü için WC ortamına ek silikat takviyesi gerekmiştir (Htamatrkoln ve Hildebrand, 2008). Chlorophyceae'nin 30 °C'de baskın hale gelmesi ya da Bacillariophyceae'nin sadece belirli sıcaklık-pH kombinasyonlarında artış göstermesi gibi durumlar, yalnızca çevresel değişkenlerle değil, kullanılan besi ortamının belirli sınıflar lehine seçim yaratmasıyla da ilişkili olabilir. Bu da deney ortamının doğal rekabet koşullarını birebir yansıtmakta sınırlı kalabileceğini ve WC ortamının belirli gruplara avantaj sağlayarak topluluk yapısını yapay biçimde yönlendirebileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, WC besiyerinin sınıf bazlı büyüme avantajları sağlaması, çalışmanın yorumlanmasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Sonuç olarak, Bacillariophyceae ve Chlorophyceae sınıflarının sığ göllerde sıcaklık ve pH değişimlerine tepkileri farklılık göstermektedir. Bacillariophyceae, 22 ve 26 °C aralığında ve nötr-bazik pH koşullarında belirgin bir biyokütle artışıyla çevresel değişkenlere karşı dayanıklı bir profil çizerken, Chlorophyceae'ler nötr pH'ya daha duyarlı olup en iyi büyümelerini bu koşullarda göstermiş ve en yüksek sıcaklıkta dahi rekabetçi kalarak Bacillariophyceae'lerin azaldığı boşluğu doldurmuştur. Bu bulgular, gelecekteki iklim değişikliği senaryolarında sığ göl sistemlerinde hangi fitoplankton

gruplarının baskın hale gelebileceğine dair ipuçları sunmaktadır. Ayrıca bu çalışma, deneyin başlangıcı ile 3. günü arasındaki biyokütle farkının istatistiksel olarak önemli olduğunu vurgulayarak ($p < 0,05$) kısa zaman ölçeklerinde bile fitoplanktondaki değişimlerin kayda değer olabileceğini göstermiştir. Literatürden destekle birkaç günlük sürede gözlenen bu artış fitoplanktonun uygun koşullarda hızlı büyüme kapasitesine işaret etmektedir dolayısıyla sığ göllerde sıcaklık dalgalanmalarının fitoplankton üzerinde güçlü ve hızlı etkileri olabileceği; özellikle Bacillariophyceae ve Chlorophyceae'ler gibi ana grupların bu değişkenlere farklı tepki vererek ekosistem dinamiklerini belirleyeceği söylenebilir.

Gerçekleştirilen tez kapsamında iklim değişikliğinin fitoplankton üzerine olası etkileri gözlemlenmiştir. İklim projeksiyonlarına göre su sıcaklıklarının 21. yüzyıl sonunda 1-4 °C artacağı ön görülmektedir. Deney kapsamında gerçekleşebilecek pH ve sıcaklık değişimlerinin sığ göllerde daha çabuk etki yaptığı için sığ gölden alınan fitoplankton üzerine kısa süreli etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçlarında sıcaklık, pH ve kümülatif etkilerini genel fitoplankton üzerinde güçlü etki oluşturduğu gözlenmiştir. Sınıf düzeyinde ise Bacillariophyceae, Chlorophyceae ve Cyanobacteria en yüksek değişkenlik gösteren sınıflar olmuştur. Bacillariophyceae sınıfı; seçilen en yüksek sıcaklık hariç asidik ve nötr etkiler altında biyokütlelerini arttırdıkları görülmüştür. Chlorophyceae sınıfı; en yüksek sıcaklık seviyesinde güçlü artış göstermiştir. Cyanobacteria sınıfı; deney başlangıcında baskın sınıf olmalarına rağmen en çok düşüş gösteren sınıf olmuşlardır. Bu bilgiler ışığında Cyanobacteria sınıfının beklentilerin aksine düşüş göstermesi ve diğer sınıfların artış göstermeleri daha fazla incelenmelidir.

Gerçekleştirilen tez çalışmasından elde edilen bulgular doğrultusunda, fitoplankton sınıflarının farklı sıcaklık derecelerinde, farklı ışık sürelerinde, besin içerik ve oranlarından daha geniş bir pH aralıklarına maruz bırakıldığında gösterecekleri tepkilerin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, seçilen türlerin izole kültürlerinin oluşturularak hem birbirleriyle hem de aynı çevresel koşullar altında ayrı ayrı denenmesi, elde edilen sonuçların daha iyi anlaşılmasına ve yorumlanmasına katkı sağlayacaktır.

6. YORUM

Mevcut literatürde iklim değişikliğinin etkileri açısından genellikle uzun süreli çalışmalara rastlanmaktadır. Bu çalışma 72 saat gibi kısa bir sürede anlamlı biyokütle ve fitoplankton kompozisyon değişimlerinin olabileceğini göstermiştir. Birçok literatür çalışması (Zepernick vd., 2024; Tilman vd., 2008; Goldman vd., 1982) sıcaklık veya pH etkilerini tek başına değerlendirirken, bu çalışma bu iki değişkenin etkileşimine odaklanarak çok etmenli analizlere katkı sunmuştur.

Yapılan bu deneysel çalışma, sığ göl ekosistemlerinin kısa vadeli çevresel değişimlere yüksek duyarlılığını göstererek bölgesel ekoloji literatürüne güçlü bir örnek eklemiştir.

Deneysel bulgular, iklim değişikliği senaryolarında sığ göl sistemlerinde hangi grupların baskın hale gelebileceğine dair öngörüler sunarak gelecekteki modelleme çalışmalarına temel sağlayabilecektir. Bacillariophyceae ve Chlorophyceae sınıflarının sıcaklık ve pH toleransının ayrıntılı karşılaştırılması, sınıf bazlı rekabet dinamiklere dair literatürdeki boşluklara katkı sunmuştur.

7. KAYNAKLAR

- Anderson, D. M., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M., Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. **Estuaries**, 25 (2002) 704-726.
- Atayeter, Y., Temurçin, K., & Yayla, O. Baraj Göllerinde Arazi Kullanım Planlamasındaki Çevresel Hassasiyet Analizi: Burdur Gölü Kapalı Havzasında Karaçal Baraj Gölü Havzası Örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, (56), (2022) 221-238.
- Attayde, J. L., Panosso, R., Becker, V., Dias, J. D., & Jeppesen, E., Preface: advances in the ecology of shallow lakes. **Hydrobiologia**, 849(17) (2022) 3653-3661.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Christensen, R. H. B., Singmann, H., ... & Bolker, M. B. Package 'lme4'. convergence, 12(1), 2, 2015.
- Beardall, J., & Raven, J. A., The potential effects of global climate change on microalgal photosynthesis, growth and ecology. **Phycologia**, 43(1) (2004) 26-40.
- Beardall, J., & Stojkovic, S. Microalgae under global environmental change: implications for growth and productivity, populations and trophic flow. *ScienceAsia*, 32(s1), (2006) 001-010.
- Beklioglu, M. Role of hydrology, nutrients and fish in interaction with global climate change in effecting ecology of shallow lakes in Turkey. In International River Basin Management Congress Book.(Eds M. Güllü, A. Özkaldi, S. Kurbay, AA Ünal, C. Nogay, N. Çiftçi, D. Kayis & S. Köylü) (pp. 583-595), 2007
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F., Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology letters**, 15(4) (2012) 365-377.
- Bellinger, E. G., & Sigee, D. C. A key to the more frequently occurring freshwater algae. *Freshwater algae*, 137-244, 2010.
- Bradbury, J. P., Stoermer, E. F., & Smol, J. P. Continental diatoms as indicators of long-term environmental change (pp. 169-182). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1999
- Brock, T. D. Lower p H Limit for the Existence of Blue-Green Algae: Evolutionary and Ecological Implications. *Science*, 179(4072), (1973) 480-483.

Browning, T. J., & Moore, C. M., Global analysis of ocean phytoplankton nutrient limitation reveals high prevalence of co-limitation. **Nature Communications**, 14(1) (2023) 5014.

Buetow, D. E., & Schuit, K. E., Phosphorus and the growth of *Euglena gracilis*. **The Journal of protozoology**, 15(4) (1968) 770-773.

Burrell, A. L., Sun, Q., Baxter, R., Kukavskaya, E. A., Zhila, S., Shestakova, T., ... & Barrett, K., Climate change, fire return intervals and the growing risk of permanent forest loss in boreal Eurasia. **Science of the Total Environment**, 831 (2022) 154885.

Chakraborty, S., Karmaker, D., Rahman, M. A., Bali, S. C., Das, S. K., & Hossen, R., Impacts of pH and salinity on community composition, growth and cell morphology of three freshwater phytoplankton. **Plant Science Today**, 8(3) (2021) 655-661.

Charalampous, E., Matthiessen, B., & Sommer, U., Light effects on phytoplankton morphometric traits influence nutrient utilization ability. **Journal of Plankton Research**, 40(5) (2018) 568-579.

Chaurasia, A., Cyanobacterial biodiversity and associated ecosystem services: introduction to the special issue. **Biodiversity and Conservation**, 24 (2015) 707-710.

Cullen, J. J. Primary production methods. *Encyclopedia of ocean sciences*, 11, (2001) 2277-2284.

Dodge, J. D., Fine structure of the Pyrrophyta. **The Botanical Review**, 37 (1971) 481-508.

Dorgham, M. M. Effects of eutrophication. *Eutrophication: Causes, Consequences and Control: Volume 2*, 29-44, 2014.

Dorić, V., Ivković, M., Baranov, V., Pozojević, I., & Mihaljević, Z., Extreme freshwater discharge events exacerbated by climate change influence the structure and functional response of the chironomid community in a biodiversity hotspot. **Science of the total environment**, 879 (2023) 163110.

Downing, J. A., & Rigler, F. H. (Eds.). *A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters* (Vol. 17). Oxford: Blackwell scientific publications, 1984.

Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... & Sullivan, C. A. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), **(2006)** 163–182

Dusenge, M. E., Duarte, A. G., & Way, D. A., Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO₂ and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. **New Phytologist**, 221(1) **(2019)** 32-49.

Elser, J. J., Bracken, M. E., Cleland, E. E., Gruner, D. S., Harpole, W. S., Hillebrand, H., ... & Smith, J. E., Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. **Ecology letters**, 10(12) **(2007)** 1135-1142.

Erratt, K. J., Creed, I. F., Favot, E. J., Smol, J. P., Vinebrooke, R. D., Lobb, D. A., & Trick, C. G. Reconstructing historical time-series of cyanobacteria in lake sediments: Integrating technological innovation to enhance cyanobacterial management. *Journal of Environmental Management*, 343, **(2023)** 118162.

Falkowski, P. G., & Knoll, A. H., An introduction to primary producers in the sea: who they are, what they do, and when they evolved. In *Evolution of primary producers in the sea*, (Academic Press), **(2007)** 1-6.

Florescu, L. I., Moldoveanu, M. M., Catană, R. D., Păceșilă, I., Dumitrache, A., Gavrilidis, A. A., & Ioja, C. I., Assessing the effects of phytoplankton structure on zooplankton communities in different types of urban lakes. **Diversity**, 14(3) **(2022)** 231.

Fogg, G. E., Release of glycollate from tropical marine plants. **Functional Plant Biology**, 3(1) **(1976)** 57-61.

Fritz, S., See, L., Bayas, J. C. L., Waldner, F., Jacques, D., Becker-Reshef, I., ... & McCallum, I., A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps. **Agricultural systems**, 168 **(2019)** 258-272.

Fukuzawa, H., Ogawa, T., & Kaplan, A. The uptake of CO₂ by cyanobacteria and microalgae. *Photosynthesis: plastid biology, energy conversion and carbon assimilation*, **(2012)** 625-650.

Gershunov, A., Shulgina, T., Clemesha, R. E., Guirguis, K., Pierce, D. W., Dettinger, M. D., ... & Ralph, F. M., Precipitation regime change in Western North America: the role of atmospheric rivers. **Scientific reports**, 9(1) (2019) 9944.

Gleick, P. H. Water in crisis (Vol. 82). New York: Oxford University Press, 1993.

Goldman, J. C., Azov, Y., Riley, C. B., & Dennett, M. R., The effect of pH in intensive microalgal cultures. I. Biomass regulation. **Journal of experimental marine biology and ecology**, 57(1) (1982) 1-13.

Gómez, F., A checklist and classification of living dinoflagellates (Dinoflagellata, Alveolata). **Cicimar Oceanides**, 27(1) (2012) 65-140.

Guasch, H., Leira, M., Montuelle, B., Geiszinger, A., Roulier, J. L., Tornés, E., & Serra, A., Use of multivariate analyses to investigate the contribution of metal pollution to diatom species composition: search for the most appropriate cases and explanatory variables. **Hydrobiologia**, 627 (2009) 143-158.

Guillard, R. R., & Lorenzen, C. J. Yellow-green algae with chlorophyllide c. *Journal of Phycology*, 8(1), 1972.

Hampton, S. E., Galloway, A. W., Powers, S. M., Ozersky, T., Woo, K. H., Batt, R. D., ... & Xenopoulos, M. A., Ecology under lake ice. **Ecology letters**, 20(1) (2017) 98-111.

Hansen, P. J. Effect of high pH on the growth and survival of marine phytoplankton: implications for species succession. *Aquatic microbial ecology*, 28(3), (2002) 279-288.

Hansen, P. J., Effect of high pH on the growth and survival of marine phytoplankton: implications for species succession. **Aquatic microbial ecology**, 28(3) (2002) 279-288.

Hao, B., Wu, H., You, J., Xing, W., & Cai, Y., Biomass and physiological responses of green algae and diatoms to nutrient availability differ between the presence and absence of macrophytes. **Ecological Indicators**, 129 (2021) 107987.

Hattich, G. S. I., Jokinen, S., Sildever, S., Gareis, M., Heikkinen, J., Junghardt, N., ... & Sjöqvist, C., Temperature optima of a natural diatom population increases as global warming proceeds. **Nature Climate Change**, 14(5) (2024) 518-525.

Henson, S. A., Beaulieu, C., Ilyina, T., John, J. G., Long, M., Séférian, R., ... & Sarmiento, J. L., Rapid emergence of climate change in environmental drivers of marine ecosystems. **Nature Communications**, 8(1) (2017) 14682.

Hinga, K. R., Effects of pH on coastal marine phytoplankton. **Marine ecology progress series**, 238 (2002) 281-300.

Huang, J., Graham, N., Templeton, M. R., Zhang, Y., Collins, C., & Nieuwenhuijsen, M., A comparison of the role of two blue-green algae in THM and HAA formation. **Water Research**, 43(12) (2009) 3009-3018.

Hubert, Z., Louchart, A., Robache, K., Epinoux, A., Gallot, C., Cornille, V., ... & Artigas, L. F., Decadal changes in phytoplankton functional composition in the Eastern English Channel: possible upcoming major effects of climate change. **Ocean Science**, 21(2) (2025) 679-700.

Huisman, J., Codd, G. A., Paerl, H. W., Ibelings, B. W., Verspagen, J. M. H., & Visser, P. M., Cyanobacterial blooms. **Nature Reviews Microbiology**, 16(8) (2018) 471-483.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022.

Javaheri, N., Dries, R., Burson, A., Stal, L. J., Sloot, P. M. A., & Kaandorp, J. A., Temperature affects the silicate morphology in a diatom. **Scientific Reports**, 5(1) (2015) 11652.

Jeppesen, E., Kronvang, B., Meerhoff, M., Søndergaard, M., Hansen, K. M., Andersen, H. E., ... & Olesen, J. E., Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations. **Journal of environmental quality**, 38(5) (2009) 1930-1941.

Jia, J., Chen, Q., Ren, H., Lu, R., He, H., & Gu, P., Phytoplankton composition and their related factors in five Different Lakes in China: implications for Lake management. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 19(5) (2022) 3135.

Jin, X., Gao, Y., Xu, T., Shi, G., Zhao, S., & Sun, Y., Complete mitochondrial genome of the Asian freshwater goby *Synechogobius ommaturus* (Perciformes, Gobioidaei). **Mitochondrial DNA**, 24(2) (2013) 83-85.

Kapan, C. Mogan Gölü (Ankara) kirlilik incelenmesi, 2011

- Kim, J. I., Moore, C. E., Archibald, J. M., Bhattacharya, D., Yi, G., Yoon, H. S., & Shin, W., Evolutionary dynamics of cryptophyte plastid genomes. **Genome Biology and Evolution**, 9(7) **(2017)** 1859-1872.
- Kosten, S., Huszar, V. L. M., Bécares, E., Costa, S., van Donk, E., Hansson, L.-A., & Lüring, M. Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology*, 18(1), **(2012)** 118–126.
- Kramer, B. J., Turk-Kubo, K., Zehr, J. P., & Gobler, C. J. Intensification of harmful cyanobacterial blooms in a eutrophic, temperate lake caused by nitrogen, temperature, and CO₂. *Science of the Total Environment*, 915, **(2024)** 169885.
- Kritzberg, E. S., Hasselquist, E. M., Škerlep, M., Löfgren, S., Olsson, O., Stadmark, J., ... & Laudon, H., Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. **Ambio**, 49 **(2020)** 375-390.
- Kruk, C., Devercelli, M., & Huszar, V. L. Reynolds Functional Groups: a trait-based pathway from patterns to predictions. *Hydrobiologia*, 848(1), **(2021)** 113-129.
- Landsberg, J. H., The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms. **Reviews in fisheries science**, 10(2) **(2002)** 113-390.
- Lau, S. S. S., & Lane, S. N., Biological and chemical factors influencing shallow lake eutrophication: a long-term study. **Science of the Total Environment**, 288(3) **(2002)** 167-181.
- Li, H., Xu, T., Ma, J., Li, F., & Xu, J. Physiological responses of *Skeletonema costatum* to the interactions of seawater acidification and the combination of photoperiod and temperature. *Biogeosciences*, 18(4), **(2021)** 1439-1449.
- Liang, L., Deng, Y., Wang, W., Zhou, S., & Zhang, L., Influences of lower pH on phytoplankton growth in alkaline lakes after water transfer: Insights from a coupled hydrodynamic–algal ecological model and experimental analysis. **Environmental Research**, 257 **(2024)** 119201.
- Litchman, E., & Klausmeier, C. A. Trait-based community ecology of phytoplankton. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 39(1), **(2008)** 615-639.
- Ludes, B. P., Chambre, A., & Delabarde, T., The diatom test in the field of forensic medicine: a review of a long-standing question. **International Journal of Legal Medicine**, 139(2) **(2025)** 597-605.

Lüning, K., Environmental and internal control of seasonal growth in seaweeds. In Fourteenth International Seaweed Symposium: Proceedings of the Fourteenth International Seaweed Symposium held in Brest, France, August 16–21, 1992, (Springer Netherlands), (1993) 1-14.

Lyche Solheim, A., Gundersen, H., Mischke, U., Skjelbred, B., Nejstgaard, J. C., Guislain, A. L., ... & Berger, S. A., Lake browning counteracts cyanobacteria responses to nutrients: Evidence from phytoplankton dynamics in large enclosure experiments and comprehensive observational data. **Global Change Biology**, 30(1) (2024) e17013.

Mancuso, J. L., Weinke, A. D., Stone, I. P., Hamsher, S. E., Villar-Argaiz, M., & Biddanda, B. A., Cold and wet: Diatoms dominate the phytoplankton community during a year of anomalous weather in a Great Lakes estuary. **Journal of Great Lakes Research**, 47(5) (2021) 1305-1315.

Mangit, F., & Yerli, S. V. An Approach for Trophic Gradient in Lake Mogan Turkey: A Shallow Eutrophic Lake. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 38(1), (2010) 41-45.

Marzetz, V., Spijkerman, E., Striebel, M., & Wacker, A., Phytoplankton community responses to interactions between light intensity, light variations, and phosphorus supply. **Frontiers in Environmental Science**, 8 (2020) 539733.

Miller, E. C., & Román-Palacios, C., Evolutionary time best explains the latitudinal diversity gradient of living freshwater fish diversity. **Global Ecology and Biogeography**, 30(3) (2021) 749-763.

Moore, J. W., & Olden, J. D., Response diversity, nonnative species, and disassembly rules buffer freshwater ecosystem processes from anthropogenic change. **Global change biology**, 23(5) (2017) 1871-1880.

Moss, B. Ecology of fresh waters: a view for the twenty-first century. John Wiley & Sons. 2010.

Myers, R. A., & Worm, B., Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. **Nature**, 423(6937) (2003) 280-283.

Nielsen-Gammon, J. W., Banner, J. L., Cook, B. I., Tremaine, D. M., Wong, C. I., Mace, R. E., ... & Kloesel, K.. Unprecedented drought challenges for Texas water resources in

a changing climate: what do researchers and stakeholders need to know?. *Earth's Future*, 8(8), (2020) e2020EF001552.

Niyogi, D. K., McKnight, D. M., & Lewis, W. M., Influences of water and substrate quality for periphyton in a montane stream affected by acid mine drainage. **Limnology and Oceanography**, 44(3) (1999) 804-809.

O'Neill, E., Using new techniques to study old favorites: A case study of *Euglena*. In *Handbook of Algal Science, Technology and Medicine*, (Academic Press), (2020) 161-170.

OECD, Test No. 201: Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2, OECD Publishing, Paris, 2011.

Özen, A., Šorf, M., Trochine, C., Liboriussen, L., Beklioglu, M., Søndergaard, M., ... & Jeppesen, E., Long-term effects of warming and nutrients on microbes and other plankton in mesocosms. **Freshwater Biology**, 58(3) (2013) 483-493.

Paerl, H. W., & Huisman, J. Blooms like it hot. *Science*, 320(5872), (2008) 57–58.

Paerl, H. W., & Otten, T. G., Blooms bite the hand that feeds them. **Science**, 342(6157) (2013) 433-434.

Paerl, H. W., & Paul, V. J., Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria. **Water research**, 46(5) (2012) 1349-1363.

Peng, X., Zhang, L., Li, Y., Lin, Q., He, C., Huang, S., ... & Wu, Z. The changing characteristics of phytoplankton community and biomass in subtropical shallow lakes: Coupling effects of land use patterns and lake morphology. *Water Research*, 200, (2021) 117235.

Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., & Team, R. C. Linear and nonlinear mixed effects models. R package version, 3(57), (2007) 1-89.

Psenner, R., Environmental impacts on freshwaters: acidification as a global problem. **Science of the Total Environment**, 143(1) (1994) 53-61.

Raven, J. A. Inorganic carbon acquisition by eukaryotic algae: four current questions. *Photosynthesis research*, 106, (2010) 123-134.

Record freshwater flow in water year affects conditions in the Chesapeake Bay. USGS. (n.d.), **2019**.

Reynolds, C. S. The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press, **2006**.

Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. Standard methods for the examination of water and wastewater, **2012**.

Riera, J. L., Magnuson, J. J., Kratz, T. K., & Webster, K. E., A geomorphic template for the analysis of lake districts applied to the Northern Highland Lake District, Wisconsin, USA. **Freshwater Biology**, 43(3) (**2000**) 301-318.

Roberts, E. C., & Laybourn-Parry, J., Mixotrophic cryptophytes and their predators in the Dry Valley lakes of Antarctica. **Freshwater Biology**, 41(4) (**1999**) 737-746.

Rodgers, E. M., Adding climate change to the mix: Responses of aquatic ectotherms to the combined effects of eutrophication and warming. **Biology Letters**, 17(10) (**2021**) 20210442.

Round, F.E., Crawford, R.M. and Mann, D.G. The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera. Cambridge University Press, Cambridge, 747 pp, **1990**.

Schabhöttl, S., Hingsamer, P., Weigelhofer, G., Hein, T., Weigert, A., & Striebel, M., Temperature and species richness effects in phytoplankton communities. **Oecologia**, 171 (**2013**) 527-536.

Scheffer, M., & van Nes, E. H., Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. **Hydrobiologia**, 584 (**2007**) 455-466.

Schindler, D. W., & Smol, J. P., Cumulative effects of climate warming and other human activities on freshwaters of Arctic and subarctic North America. **AMBIO: a Journal of the Human Environment**, 35(4) (**2006**) 160-168.

Serôdio, J., & Lavaud, J., Diatoms and their ecological importance. In *Life below water*, (Cham: Springer International Publishing), (**2022**) 304-312.

Shin, J. K., Jeon, G., Kim, Y., Kim, M. K., Kim, N. Y., & Hwang, S. J., Recruitment potential of cyanobacterial harmful algae (genus *Aphanizomenon*) in the winter season in Boryeong reservoir, Korea: Link to water-level drawdown. **Korean Journal of Ecology and Environment**, 50(3) (**2017**) 337-354.

Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*, 100(1-3), (1999) 179-196.

Stevenson, J. Ecological assessments with algae: a review and synthesis. *Journal of Phycology*, 50(3), (2014) 437-461.

Strickland, J. D. H., & Parsons, T. R. A practical handbook of seawater analysis, 1972.

Strock, J. P., & Menden-Deuer, S., Temperature acclimation alters phytoplankton growth and production rates. **Limnology and Oceanography**, 66(3) (2021) 740-752.

Şanal, M., Köse, B., Coşkun, T., & Demir, N. Mogan Gölü'nde sucul makrofitlere göre ekolojik kalitenin tahmini. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5, (2015) 51-55.

Taylor, F. J. R., Hoppenrath, M., & Saldarriaga, J. F., Dinoflagellate diversity and distribution. **Biodiversity and conservation**, 17 (2008) 407-418.

Thamatrakoln, K., & Hildebrand, M. Silicon uptake in diatoms revisited: a model for saturable and nonsaturable uptake kinetics and the role of silicon transporters. *Plant physiology*, 146(3), (2008) 1397-1407.

Thomas, D. N., & Dieckmann, G. S., Antarctic sea ice--a habitat for extremophiles. **Science**, 295(5555) (2002) 641-644.

Tilman, D., Kilham, S. S., & Kilham, P., Phytoplankton community ecology: the role of limiting nutrients. **Annual review of Ecology and Systematics**, 13 (1982) 349-372.

Türkeş, M. Küresel iklimin korunması, iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi ve Türkiye. Tesisat Mühendisliği, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Süreli Teknik Yayın, 61, (2001) 14-29.

Vadeboncoeur, Y., Peterson, G., Vander Zanden, M. J., & Kalff, J., Benthic algal production across lake size gradients: interactions among morphometry, nutrients, and light. **Ecology**, 89(9) (2008) 2542-2552.

Val, P., Lyons, N. J., Gasparini, N., Willenbring, J. K., & Albert, J. S., Landscape evolution as a diversification driver in freshwater fishes. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 9 (2022) 788328.

- Valenzuela, J. J., López García de Lomana, A., Lee, A., Armbrust, E. V., Orellana, M. V., & Baliga, N. S., Ocean acidification conditions increase resilience of marine diatoms. **Nature communications**, 9(1) **(2018)** 2328.
- Visser, P. M., Verspagen, J. M., Sandrini, G., Stal, L. J., Matthijs, H. C., Davis, T. W., ... & Huisman, J., How rising CO₂ and global warming may stimulate harmful cyanobacterial blooms. **Harmful algae**, 54 **(2016)** 145-159.
- Wagner, C., & Adrian, R. Cyanobacteria dominance: quantifying the effects of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54(6part2), **(2009)** 2460-2468.
- Walsby, A. E. Stratification by cyanobacteria in lakes: a dynamic buoyancy model indicates size limitations met by *Planktothrix rubescens* filaments. *New Phytologist*, 168(2), **(2005)** 365-376.
- Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., ... & Whyte, K. P., Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. **Science of the Total Environment**, 733 **(2020)** 137782.
- Wetzel, R. G. *Limnology: lake and river ecosystems*. gulf professional publishing, **2001**.
- Whitton, B. A., & Potts, M. (Eds.). *The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space*. Springer Science & Business Media, **2007**.
- Williamson, C. E., Saros, J. E., Vincent, W. F., & Smol, J. P. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. *Limnology and oceanography*, 54(6part2), **(2009)** 2273-2282.
- Winder, M., & Sommer, U. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia*, 698(1), **(2012)** 5–16.
- Woodward, G., Perkins, D. M., & Brown, L. E., Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, 365(1549) **(2010)** 2093-2106.
- Yang, W., Yao, J., He, Y., Huang, Y., Liu, H., Zhi, Y., ... & Li, W., Nitrogen removal enhanced by benthic bioturbation coupled with biofilm formation: A new strategy to alleviate freshwater eutrophication. **Journal of Environmental Management**, 292 **(2021)** 112814.

Yerli, S. V., Kivrak, E., Gurbüz, H., Manav, E., Mangıt, F., & Türkecan, O. Phytoplankton community, nutrients and chlorophyll a in Lake Mogan (Turkey); with comparison between current and old data. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, (2012) 12(1).

Zeppernick, B. N., Gann, E. R., Martin, R. M., Pound, H. L., Krausfeldt, L. E., Chaffin, J. D., & Wilhelm, S. W., Elevated pH conditions associated with Microcystis spp. blooms decrease viability of the cultured diatom *Fragilaria crotonensis* and natural diatoms in Lake Erie. *Frontiers in Microbiology*, 12 (2021) 598736.

Zingel, P., Boveri, M., Agasild, H., & Jeppesen, E. Preface: Secrets of shallow lakes—insights from research. Hydrobiologia, 852(2), (2025) 283-288.

