

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROPLASTİK KONSANTRASYONU SİYONABAKTERİ
YOĞUNLUĞU ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma GÜZEL YILMAZ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

EKİM 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROPLASTİK KONSANTRASYONU SİYONABAKTERİ
YOĞUNLUĞU ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma GÜZEL YILMAZ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nurtaç ÖZ

EKİM 2023

Fatma GÜZEL YILMAZ tarafından hazırlanan “Mikroplastik Konsantrasyonu Siyonabakteri Yoğunluğu Üzerine Etkisinin Araştırılması ” adlı tez çalışması 26.10.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Tuğba ONGUN SEVİNDİK**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Nurtaç ÖZ (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “**Mikroplastik Konsantrasyonu Siyonabakteri Yoğunluğu Üzerine Etkisinin Araştırılması**” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığımı, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

26/10/2023

Fatma GÜZEL YILMAZ



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ihtiyaç duyduğum her türlü bilgi ve deneyimi benimle paylaşan, hiçbir konuda desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Nurtaç ÖZ'e ve diğer bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarımnda, ihtiyacım olan her türlü desteği sağlayan arkadaşım Ayşe Gül TEKBABA, Esmâ ADANUR ve Abdullah ÜNVANLI'ya tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteklerinden güç aldığım sevgili annem, babam, kardeşim, eşim ve oğlum Abdullah Baybars YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma GÜZEL YILMAZ



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1.GİRİŞ	1
2.1. Plastikler.....	3
2.2. Mikroplastikler	3
2.3.1. Mikroplastiklerin sucul ekosistem üzerine etkileri	5
2.3.2. Mikroplastiklerin karasal ekosistem üzerine etkileri	6
2.4. Siyonabakteriler	6
2.5. <i>Microcystis aeruginosa</i>	8
2.6. <i>Synechocystis sp.</i>	9
2.7. <i>Arthrospira platensis</i>	11
2.8. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂).....	11
2.9. Malondialdehit (MDA)	12
2.10. Literatür Çalışmaları	12
3. MATERYAL VE METOD.....	15
3.1. Çalışmada Kullanılan Kültürlerin Eldesi	15
3.2. Hücre Kültürlerinin Hazırlanması	15
3.3. Uygulanan Mikroplastik Çeşitleri ve Boyutları	16
3.4. Mikroorganizmaların Sayımı	16
3.5. Optik Yoğunluk, Spektrofotometre Ölçümü	17
3.6. Klorofil- <i>a</i> Tayini	17
3.7. Askıda Katı Madde Tayini	17
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	19
4.1. Siyonabakterilerin Kültür ve Gelişimi	19
4.1.1. <i>Microcystis aeruginosa</i> kültür ve gelişimi.....	19
4.1.2. <i>Synechocystis sp.</i> kültür ve gelişimi.....	19
4.1.3. <i>Arthrospira platensis</i> kültür ve gelişimi	20
4.2. Siyonabakteri Kültürleri Üzerine Farklı Tür ve Boyutlardaki Mikroplastiklerin Etkileri.....	21
4.2.1. Farklı türlerde ve boyutlardaki mikroplastiklerin hücre yoğunluğuna etkisi	21
4.2.2. Farklı tür ve boyutlardaki mikroplastiklerin optik yoğunluğuna etkisi ...	24
4.2.3. Farklı tür ve boyutlardaki mikroplastiklerin alglerin askıda katı madde miktarına etkisi.....	26

4.2.4. Farklı tür ve boyutlardaki mikroplastiklerin alglerin klorofil- <i>a</i> miktarına etkisi	28
4.2.5. Farklı türlerde ve boyutlardaki mikroplastiklerin MDA miktarına etkisi	31
4.2.6. Farklı türlerde ve boyutlardaki mikroplastiklerin alglerin H ₂ O ₂ miktarına etkisi	33
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	37
ÖZGEÇMİŞ	45



KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı Madde
AÖF	: Anlamlı Önemli Fark
BG11	: Blue-Green Medium
EDTA	: Etilendiamintetraasetikasit
L	: Litre
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
µmol	: Mikromol
Na	: Sodyum
nm	: Nanometro
OH•-	: Hidroksil radikali
OD	: Optik yoğunluk
pH	: H ⁺ iyonu konsantrasyonunun kologaritması
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
TBA	: Tiyobarbitürikasit
TCA	: Trikloroasetikasit
Tris	: Tris (Hidroksimetil) aminometan
µm	: Mikrometre
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinilklorür
PS	: Polistiren
V	: Hacim
w	: Ağırlık



SİMGELER

%	: Yüzdellik ifadesi
°C	: Santigrat derece
Cu	: Bakır
Pb	: Kurşun
Cd	: Kadmiyum
KI	: Potasyum İyodür
F	: Seyreltme faktörü
E	: Ekstraksiyon için kullanılan aseton
V	: Hacim
L	: Quartz küvet uzunluğu



TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. BG11 besiyeri içeriği.	15
Tablo 3.2. Eser element karışımı.	16
Tablo 3.3. Spirulina Medium besiyeri içeriği (Aiba ve Ogawa, 1977).	16





ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. <i>Microcystis aeruginosa</i> mikroskop görüntüsü.	9
Şekil 2.2. <i>Synechocysts sp.</i> mikroskop görüntüsü.	10
Şekil 2.3. <i>Arthrospira platensis</i> mikroskop görüntüsü.	11
Şekil 4.1. <i>Microcystis aeruginosa</i> kültürlerinin 30 günlük gelişim grafiği.	19
Şekil 4.2. <i>Synechocystis sp.</i> kültürlerinin 30 günlük gelişim grafiği.	20
Şekil 4.3. <i>Arthrospira platensis</i> kültürlerinin 30 günlük gelişim grafiği.	21
Şekil 4.4. Mikroplastiklerin <i>Microcystis aeruginosa</i> hücre sayısına etkisi.	22
Şekil 4.5. Mikroplastiklerin <i>Synechocystis sp.</i> hücre sayısına etkisi.	23
Şekil 4.6. Mikroplastiklerin <i>Arthrospira platensis</i> hücre sayısına etkisi.	23
Şekil 4.7. Mikroplastiklerin <i>Microcystis aeruginosa</i> OD560 absorbansına etkisi. ...	24
Şekil 4.8. Mikroplastiklerin <i>Synechocystis sp.</i> OD 560 absorbansı üzerine etkisi. ...	25
Şekil 4.9. Mikroplastiklerin <i>Arthrospira platensis</i> OD560 absorbansına etkisi.	26
Şekil 4.10. Mikroplastiklerin <i>Microcystis aeruginosa</i> AKM miktarına etkisi.	26
Şekil 4.11. Mikroplastiklerin <i>Synechocystis sp.</i> AKM miktarına etkisi.	27
Şekil 4.12. Mikroplastiklerin <i>Arthrospira platensis</i> AKM miktarına etkisi.	28
Şekil 4.13. Mikroplastiklerin <i>Microcystis aeruginosa</i> klorofil- <i>a</i> miktarına etkisi. ...	29
Şekil 4.14. Mikroplastiklerin <i>Synechocystis sp.</i> klorofil- <i>a</i> miktarına etkisi.	30
Şekil 4.15. Mikroplastiklerin <i>Arthrospira platensis</i> klorofil- <i>a</i> miktarına etkisi.	30
Şekil 4.16. Mikroplastiklerin <i>Microcystis aeruginosa</i> MDA miktarına etkisi.	31
Şekil 4.17. Mikroplastiklerin <i>Synechocystis sp.</i> MDA miktarına etkisi.	32
Şekil 4.18. Mikroplastiklerin <i>Arthrospira platensis</i> MDA miktarına etkisi.	33
Şekil 4.19. Mikroplastiklerin <i>Microcystis aeruginosa</i> H ₂ O ₂ miktarına etkisi.	33
Şekil 4.20. Mikroplastiklerin <i>Synechocystis sp.</i> H ₂ O ₂ miktarına etkisi.	34
Şekil 4.21. Mikroplastiklerin <i>Arthrospira platenis</i> H ₂ O ₂ miktarına etkisi.	35



MİKROPLASTİK KONSANTRASYONU SİYONABAKTERİ YOĞUNLUĞU ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Son yıllarda plastik günlük hayatın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Her yıl dünya çapında milyonlarca ton plastik malzeme üretilmektedir. Plastiğin birçok farklı sektörde yaygın olarak uygulanması ve uzun ömürlü özellikleri nedeniyle, son zamanlarda plastik çöp miktarı önemli ölçüde artmış olup günümüzde plastik kirliliği, çevre ile ilgili en sorunlu konular arasında kabul edilmektedir. Plastikler, ucuz, ulaşılabilir, hafif, esnek yapıda oldukları ve insanlara sağladığı faydadan dolayı diğer ürünler yerine tercih edilmektedir. Birçok avantajına rağmen plastikler atık haline geldiğinde uzun yıllar doğada varlığını sürdürerek çevre için ciddi bir tehdit haline gelmektedir.

Boyut olarak 1µm ila 5mm arasında değişen plastik parçacıklar mikroplastik olarak tanımlanmaktadır. Çok çeşitli ürünlerden kaynaklanan mikroplastikler küresel ölçekte yayılım göstermiş olup ekosistemleri ciddi boyutta etkilemektedir. Mikroplastikler, endüstriyel üretim ve insanın günlük yaşamı süreçlerinde kozmetiklerin veya küçük boyutlu liflerin doğrudan suya bırakılması gibi çeşitli şekillerde su ortamına deşarj edilmektedir. Mikroplastiklerin son derece küçük boyutları ve geniş dağılımları nedeniyle memeliler, balıklar, kabuklular ve zooplankton gibi çeşitli trofik seviyelerdeki organizmalar tarafından doğrudan veya dolaylı olarak alınabilmekte ve su ekosistemi için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Aynı zamanda, büyümenin azalmasına, doğurganlığın engellenmesine, oksijen tüketiminin değişmesine, yaşam süresinin azalmasına, sınırlı beslenme kapasitesine neden olur.

Mavi-yeşil algler, prokaryotik hücre yapılarından kaynaklı olarak 'siyanobakteriler' olarak da isimlendirilirler. Fotosentez özelliğine sahip olup, bulunan ve hala varlığını sürdüren en eski fosildir. Mikroplastikler sucul ortamda canlılar için etkili bir kirletici olup siyanobakteriler içinde tehlike oluşturmaktadır. Mikroplastiklerin sucul ekosistemdeki varlığı siyanobakterilerde klorofil içeriğinin, fotosentez aktivitesinin giderek azalmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada farklı tür ve boyutlardaki PS, PP, PVC mikroplastiklerin siyanobakteri kültürlerinin gelişimi üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi amacıyla; *Microcystis aeruginosa*, *Synechocystis sp* ve *Arthrospira platensis* kültürlerinden çalışma süresinde, 2 günde bir örnek alınarak 15 gün boyunca siyanobakterilerin spektrofotometrik hücre yoğunlukları, biyokütle miktarları, klorofil-*a* miktarları, ve mikroskopik olarak hücre sayımları yapıp ve Malondealdehit (MDA) ve Hidrojen peroksit (H₂O₂) enzimleri analiz edilmiştir. Her mikroplastik için >100 µm ve <100 µm olmak üzere iki farklı boyutta uygulama yapılmıştır. Sonuç olarak hücrenin maruz kaldığı mikroplastik boyutunun siyanobakterilere doğrudan etkisinin olduğu belirlenmiştir.



INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MICROPLASTIC CONCENTRATION ON CYANOBACTERY DENSITY

SUMMARY

In recent years, plastic has become an integral part of daily life. Millions of tons of plastic materials are produced worldwide every year. Due to the widespread application of plastic in many different sectors and its long-lasting properties, the amount of plastic garbage has increased significantly in recent times, and today plastic pollution is considered one of the most problematic issues related to the environment. When plastics are broken down in various ways and come to smaller sizes, they are called microplastics. In recent years, it is known that microplastics are frequently seen in sea, fresh water resources, land and organisms.

Plastic pollution in a broad sense; It can be stated as the accumulation of plastic wastes left to nature by humans, on land and in the seas. Plastics have diversified so much with the advancement of science, pollutants that are difficult to filter as part of people's daily life. In our society, the land is polluted first, as people throw their garbage into the environment uncontrollably and use plastic excessively. The plastic wastes formed are naturally transported from the land to the aquatic environment over time. During this event, plastics break down into smaller pieces in size, forming plastics microplastics.

The term microplastic was first used in 2004 by Thompson et al. was used to describe the abundance of microscopic plastic debris observed in marine environments. These substances, defined as microplastics, are plastic particles ranging in size from 1µm to 5mm, and they are present in all ecosystems and have reached everywhere from urban areas to freshwater regions, from the open seas to the great oceans. Terrestrial ecosystems play an important role in the transport of microplastics to aquatic ecosystems. Microplastics can occur in the terrestrial environment with the effect of ultraviolet rays or natural effects such as water, air, wind and sun.

The first studies in this area were made in aquatic ecosystems, and microplastics are considered as serious aquatic environment pollutants. Microplastics with a density greater than water may show accumulation in the sediment. Surface microplastics in the waters may become biologically contaminated over time, absorb other pollutants, and increase in density and collapse. Microplastics that settle to the bottom can be repeatedly raised and transported to the aquatic environment by the movements of water and aquatic organisms.

Microplastics are an effective pollutant for living things in the aquatic environment and pose a danger to cyanobacteria. The presence of microplastics in the aquatic ecosystem causes cyanobacteria to gradually decrease in their chlorophyll content and photosynthesis activity.

The most important symptom of cyanobacteria and their toxins is organic contamination and eutrophication. Eutrophication prepares the environment for deterioration of water quality, formation and proliferation of cyanobacteria. Excessive

algal growth and eutrophication cause pollution in the aquatic ecosystem, endanger usable water resources, and pose a great threat to aquatic organisms and humans. The first studies in this area were made in aquatic ecosystems, and microplastics are considered as serious pollutants of the aquatic environment.

Microplastics with a density higher than water may accumulate in the sediment. Surface microplastics in waters can become biocontaminated over time, absorb other pollutants, increase in density and precipitate. Microplastics that settle to the bottom can be transported to the aquatic environment by rising repeatedly with the movements of water and aquatic organisms.

In the study, polypropylene, polyvinyl chloride, polystyrene microplastics in different sizes; The effects of a single application on various cyanobacteria species such as *Microcystis aeruginosa*, *Arthrospira platensis*, and *Synechocystis sp* will be investigated. In this thesis, spectrophotometric cell densities, biomass amounts, chlorophyll-a amounts, and microscopic cell counts of cyanobacteria will be made and Malonaldehyde (MDA) and Hydrogen peroxide (H₂O₂) enzymes will be analyzed.

The mode of action of microplastics against microalgae is very complex. Considering that a typical algal cell wall pore size is < 20 nm (smaller than most single microplastics), two interaction effects can be pointed out between these organisms and microplastics. The first is that microplastics can affect microalgae through their cell walls or cause membrane damage after direct contact, which may eventually lead to cytotoxic effects (Zhang et al., 2017; Liu et al., 2019), and the other effect is the shading effect of microplastics in the water column (access to light). These are the effects of being able to affect microalgae through a reduction in photosynthesis (Bhattacharya et al., 2010; Liu et al., 2019; Wang et al., 2020). Microplastics can also physically damage algal cells by increasing osmotic pressure and altering biocomponent compositions (including carbohydrate, lipid, and protein levels) (Manzi et al., 2022).

Toxicity of microplastic to microalgae; It depends on many variables such as the type and size of microplastics, surface properties, concentrations and exposure time of microalgae to microplastics.

During the presented 15-day study, reduction in cell density of *Microcystis aeruginosa*, *Synechocystis sp* and *Arthrospiraplatensis* algae greater than 100 µm in polyvinylchloride and polypropylene microplastics, reduction in cell density of less than 100 µm in polyvinylchloride and polypropylene microplastics, and polypropylene microplastics in 1 µm. not observed. It was observed that the cell density and optical density progressed in direct proportion in each experimental group. While a certain increase in the amount of chlorophyll-a was observed for each cyanobacterial culture in PP and PVC types with microplastic size less than 100 µm, a higher increase was observed in polystyrene with 1 µm size compared to other small size microplastics. This result shows us that photosynthesis may be adversely affected as the microplastic size increases in cyanobacteria.

Toxicity of microplastic to microalgae; It depends on many variables such as the type and size of microplastics, surface properties, concentrations and exposure time of microalgae to microplastics. In our study, it was observed that chlorophyll-a values, cell density and cell numbers and AKM amounts were affected in different degrees in all three cyanobacteria species.

In the following periods, *Microcystis aeruginosa*, *Synechocystis* sp. and *Arthrospira Platensis* algae.





1. GİRİŞ

Son yıllarda plastik günlük hayatın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Her yıl dünya çapında milyonlarca ton plastik malzeme üretilmektedir. Plastikğin birçok farklı sektörde yaygın olarak uygulanması ve uzun ömürlü özellikleri nedeniyle, son zamanlarda plastik çöp miktarı önemli ölçüde artmış olup günümüzde plastik kirliliği, çevre ile ilgili en sorunlu konular arasında kabul edilmektedir.

Plastikler çeşitli yollarla parçalanarak daha küçük boyutlara geldiğinde mikroplastik olarak adlandırılır. Son yıllarda, mikroplastiklerin sıklıkla deniz, tatlı su kaynakları, karalar ve organizmaların içerisinde görüldüğü bilinmektedir. Katkı maddesi içermeleri, toksik bir etkiye sahip olmaları, canlılarda besin yoluyla sindirim sistemine ulaşmaları, havada ve suda kolayca taşınmaları, atıksu arıtma tesislerinde gideriminin tam anlamıyla yapılamaması ve doğada çok zor bir biçimde yok olmaları sebebiyle çevre ve canlı sağlığı açısından büyük bir tehlikedir (Bakir ve ark., 2014; Carr ve ark., 2016; Cole ve ark., 2013; Desforges ve ark., 2014; Dris ve ark., 2017; Koelmans ve ark., 2016; Lusher ve ark., 2014; Wright ve ark., 2013).

Mikroplastikler, sucul ortamlarda genellikle nehir akıntılarıyla taşınmaktadır (Okubo ve ark., 2018). Bu ortamlardaki (okyanuslar) plastiklerin %10'unun gemilerdeki atıklardan ve balıkçılık aktivitelerinden dolayı oluştuğu düşünülmektedir.

Siyanobakteriler ve toksinlerinin en önemli işareti organik kirlenme ve ötrofikasyondur. Ötrofikasyon, su kalitesindeki bozulmalara, siyanobakteri oluşumu ve artışına ortam hazırlamaktadır. Aşırı alg artışı ve ötrofikasyon, sucul ekosistemde kirliliğe sebep olarak kullanılabilir su kaynaklarını tehlikeye sokmakta, sucul canlılar ve insanlar için büyük bir tehdit oluşturmaktadır (KOCA ve ark., 2019).

Mikroplastikler sucul ortamda canlılar için etkili bir kirlenici olup siyanobakteriler içinde tehlike oluşturmaktadır. Mikroplastiklerin sucul ekosistemdeki varlığı siyanobakterilerde klorofil içeriğinin, fotosentez aktivitesinin giderek azalmasına sebep olmaktadır. Mikroplastikler ayrıca direk fiziksel hasara ve toksik olan kimyasalların ortama yayılmasına neden olabilir (Prata, 2018).

Farklı boyutlarda bulunan polipropilen, polivinil klorür, polistiren mikroplastiklerinin; *Microcystis aeruginosa*, *Arthrospira platensis*, ve *Synechocystis sp* gibi çeşitli siyanobakteri türleri üzerine tek olarak uygulanması sonucu etkileri araştırılacaktır. Bu tez çalışmasında siyanobakterilerin spektrofotometrik hücre yoğunlukları, biyokütle miktarları, klorofil-*a* miktarları, ve mikroskobik olarak hücre sayımları yapılacak ve Malondealdehit (MDA) ve Hidrojen peroksit (H₂O₂) enzimleri analiz edilecektir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Plastikler

Plastikler fosil kaynaklardan ve selüloz gibi organik ürünlerden elde edilen, plastisite özelliği sergileyen sentetik organik polimerlerin çoğunu kapsayan genel bir isimdir. Plastik materyallerden sağlık, giyim, otomotiv gibi birbirinden farklı birçok alanda faydalanılmaktadır. Ucuz olmaları, ulaşılabilir olmaları, korozyon karşı dayanıklı olup kolay biçim alabilmeleri gibi avantajları olan bu malzemelerin, elde edilmesinde fosil kaynakların kullanılması, geri dönüşümü sırasındaki yüksek maliyetleri başta olmak üzere birçok dezavantajı bulunmaktadır (Phuong ve diğ. 2016). Plastikler kararlı bir kimyasal yapıya ve özelliklere sahip olmalarına rağmen, büyük plastikler dalgalara, hava koşullarına ve ultraviyole ışınlarına maruz kaldıklarında küçük parçalara ayrılırlar (Yurtsever, n.d.-a).

Polietilen tereftalat (PET), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polivinil klorür (PVC), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polipropilen (PP), polistiren (PS), poliamid (PA) ve poliüretan (PUR) küresel plastik üretiminin %90'ını oluşturan plastiklerdir (Ansari ve ark., 2021). Bu polimerler çeşitli elementler (karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen, silikon ve klorür gibi) içerir ve istenen özellikleri elde etmek için diğer kimyasal katkı maddeleri uygulanır.

Genellikle, plastik döküntülerin makroplastikler, 5 mm'den büyük parçalar; mikroplastikler, 5 mm ile 100 nm arasındaki parçalar ve nanoplastikler 100 nm'den küçük plastik parçalar olmak üzere üç ana sınıfa ayrılabilir (Karalija ve ark., 2022).

2.2. Mikroplastikler

Mikroplastik terimi ilk olarak 2004 yılında Thompson ve ark. deniz ortamlarında gözlemlenen mikroskobik plastik enkaz bolluğunu tanımlamak için kullanılmıştır. (Alimba ve Faggio, 2019; Thompson ve ark., 2004). Boyut olarak 1µm ila 5mm arasında değişen plastik parçacıklar mikroplastik olarak tanımlanan bu maddeler tüm ekosistemlerde varlığını göstermekte olup kentsel alanlardan tatlı su bölgelerine, açık

denizlerden büyük okyanuslara kadar her yere ulaşmıştır (Brown ve ark., 2023). Düşük yoğunluklu ve kararlı kimyasal özelliklere sahip olan bu parçacıklara plastik ürünlerin üretimi sırasında üretilenlere birincil, plastik parçaların bozunması ile oluşan parçacıklara ikincil mikroplastik denilmektedir (Talukdar ve ark., 2023). Bu bozunma, su, hava, rüzgar gibi doğal yollarla ya da ultraviyole ışınları etkileriyle olabilir (Yurtsever, n.d.).

Dünyamız üzerinde plastik kirlilik kaynakları incelendiğinde kişisel bakım ürünleri, su şişeleri, streç filmler, besin ambalajları, izolasyon malzemeleri, tekstil tesisleri, taşıma çantaları, sıcak içecek kapları, elektronik kablolar, su boruları vb. başlıca kirlilik olarak sayılabilir (Üçüncü Tunca ve ark., 2020a). Çok çeşitli ürünlerden kaynaklanan mikroplastikler küresel ölçekte yayılım göstermiş olup ekosistemleri ciddi boyutta etkilemektedir (Seeruttun ve ark., 2023)

Tüketici kullanımdan sonucu oluşanlar, tekstil-giyim ürünlerinden kaynaklı oluşanlar, endüstriyel işlemlerden ve ulaşımından kaynaklananlar olmak üzere çevresel zararları oldukça fazla olan birçok mikroplastik kaynağı mevcuttur (Yurtsever, n.d.-b).

"Plastik" terimi birçok farklı polimeri içerir, ancak su ortamlarında tespit edilen en bol polimer sınıfları polietilen (PE), polivinilklorür(PVC) polipropilen (PP), polyester (PEST), poliamid (PA), polistiren (PS) ve akriliktir. Bu malzemelerin küresel plastik üretiminin büyük bir bölümünü oluşturduğu ve kısa ömürlü ürünlerde yaygın olarak kullanıldığı göz önüne alındığında bu durum şaşırtıcı gelmemektedir (Erni-Cassola ve ark., 2019).

Polistiren(PS), dayanıklılığı yüksek, iyi şişebilirlik, geniş yüzey alanı, kararlı kimyasal özellikler, kolay yenilenebilirlik ve düşük maliyet gibi sebeplerden dolayı çok çeşitli ürünler yapmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Su ortamlarında, polistirenler en fazla bulunan mikroplastiklerden biri haline gelmiştir (Dong ve ark., 2020).

Polipropilen(PP), sentetik ve yüksek endüstriyel üretim hacimlerine sahip plastiklerden olup çevresel ekosistemde çok sık tespit edilmektedir. Bu polimerler, biyolojik olarak parçalanmamaktadır (Üçüncü Tunca ve ark., 2020).

Polivinilklorür(PVC), ısıtıldığında eriyebilme ve soğutulduğunda sertleşebilme özelliklerinden dolayı termoplastiktir. Bu özellikler tersine çevrilebilir ve bu nedenle tekrar tekrar ısıtılabilir, yeniden şekillendirilebilir ve soğutulabilir (Thompson ve ark., 2004).

2.3. Mikroplastiklerin Ekosistem Üzerine Etkileri

Plastikler, ucuz, ulaşılabilir, hafif, esnek yapıda oldukları ve insanlara sağladığı faydadan dolayı diğer ürünler yerine tercih edilmektedir. Birçok avantajına rağmen plastikler atık haline geldiğinde uzun yıllar doğada varlığını sürdürerek çevre için ciddi bir tehdit haline gelmektedir (Karakehya, n.d.). Plastik kirliliğini geniş anlamda; insanlar tarafından doğaya bırakılan plastik atıkların, karada, denizlerde birikmesi olarak belirtilebilir (Kayan ve ark., 2020). Plastikler, bilimin ilerlemesiyle çok fazla çeşitlenmiş, insanların günlük hayatının bir parçası olarak filtrelenmesi zor olan kirleticiler olmuştur. Toplumumuzda insanların çöplerini kontrolsüzce çevreye atmaları ve aşırı bir şekilde plastik kullanmalarıyla birlikte ilk olarak karalar kirlenmektedir. Oluşan plastik atıklar zamanla doğal yollarla karalardan su ortamına taşınmaktadır. Bu olay sırasında plastikler boyut olarak daha küçük parçalara ayrılarak plastikler mikroplastikleri oluşturur.

Mikroplastikler, çevresel ortamlara insanların yoluyla taşınabilmektedir. Bununla birlikte tatlı su kaynaklarında, havada, toprakta, buzullarda, insanın, okyanusun en derin kısımlarında görülmüş olması, mikroplastiklerin doğal süreçlerle de taşınabileceğinin göstergesidir. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar sucul ekosistemlerde yapılmış olup mikroplastikler ciddi derecede sucul ortam kirleticisi olarak kabul edilmektedir. Ancak son zamanlarda yapılan araştırmalara göre, bu kirleticilerin hava ve toprakta da yüksek oranda var olduğu anlaşılmıştır (Steinmetz vd., 2016; Dehghani vd., 2017; Bläsing ve Amelung, 2018).

2.3.1. Mikroplastiklerin sucul ekosistem üzerine etkileri

Mikroplastiklerin en önemli toksik etkisi sucul ekosistemlerde görülmektedir. Su kaynaklarında görülen atıkların çoğunu plastikler oluşturmaktadır. Su ekosistemleri incelendiğinde nehirlerin mikroplastiklerin taşınmasında etkili olduğu özellikle yavaş akan nehir yatakları veya suyun akış hızının kesildiği kısımlarda mikroplastiklerin dip tortullara çökerek birikme yaptığı tespit edilmiştir (Adegoke ve ark., 2023). Bununla birlikte biriken mikroplastikler balıklar gibi canlıların içerisinde depolanıp toksikliğini artırır. Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan tesislerde mikroplastikler incelendiğinde kaynak olarak balık yem ve unu, borulardan gelen mikroplastikler, ekipman malzemeleri gibi maddeler sayılabilir (Iheanacho ve ark., 2023).

Nehir yataklarının mikroplastik kirliliğine maruz kalmasının diğer bir sebebi de atık suların arıtılması sırasında çok küçük parçacıklar halinde bulunan mikroplastikler arıtma sırasında tutulamaz ve deşarj sonrası yüzeysel sulara karışıp büyük havzalara ve okyanuslara kadar ilerleyebilmektedir (Citterich ve ark., 2023).

Su topluluklarındaki atıkların % 60-80 oranında plastiklerden oluştuğu ve bunların da mikroplastiklerin oluşturduğu bilinmektedir (Browne ve ark., 2010). Bu alanlardaki mikroplastiklerin evsel, endüstriyel ve atık su arıtma tesislerindeki gibi çeşitli aktiviteler sonucunda oluşmaktadır.

Mikroplastiklerden yoğunluğu sudan büyük olanlar sedimentte birikim özelliği gösterebilir. Sulardaki mikroplastiklerden yüzeyle olanlar zamanla biyolojik kirlenmeye uğrayabilirler, diğer kirleticileri absorbe edebilirler ve yoğunlukları artış gösterip çökebilirler. Dibe çöken mikroplastikler suyun ve sucul canlılarının hareketleriyle tekrar tekrar su ortamına yükselip taşınabilirler.

2.3.2. Mikroplastiklerin karasal ekosistem üzerine etkileri

Karasal ekosistemler mikroplastiklerin sucul ekosistemlere taşınmasında önemli rol oynamaktadır. Mikroplastikler kara ortamında ultraviyole ışınları etkisiyle veya su, hava, rüzgâr, güneş etkisi gibi doğal etkilerle gerçekleşebilir (Eriksen ve ark., 2014).

Mikroplastikler toprağa ulaştıktan sonra toprak katmanlarında birikerek (Dong ve ark., 2018; O'Connor ve ark., 2019) toprak katmanlarında depolanabilir, erozyonla yer değiştirebilir, çevresel faktörlerden etkilenerek yeraltı sularına sızabilirler. Toprağın en üstünde bulunan katman UV maruziyeti, oksijen bolluğu ve diğer katmanlara oranla daha yüksek sıcaklıklardan dolayı mikroplastiklerin bozunduğu bir ortamdır. Ayrıca, bu mikroplastikler torakta yetişen ürünlerin verimini düşürebilmekte (Boots ve ark., 2019), ortamda bulunan farklı kirleticilerin etkilerini artırabilmektedir (Rodriguez Seijo ve ark., 2019).

Mikroplastikler insanların vücuduna besin zinciri yoluyla veya doğrudan solunum yoluyla girebilir. Düşük bir ihtimal olarak da yaralı ve hasta cilde sahip insanlarda deri dokusunun içlerine doğru bu plastikler ilerleyebilir (Lehner ve ark., 2019).

2.4. Siyanobakteriler

Mavi-yeşil algler, prokaryotik hücre yapılarından kaynaklı olarak 'siyanobakteriler' olarak da isimlendirilirler. Fotosentez özelliğine sahip olup, bulunan ve hala varlığını

sürdüren en eski fosildir. Dünya oluşumunda belki de ilk canlı organizmalardır. Milyarlarca yıl boyunca dünyanın atmosferinde karmaşık organizmalarla uyumsuz, zehirli ve oksijen bulunmamasına karşı siyanobakteriler, oksijenli atmosferi üretmenin yanı sıra troposferin nötralizasyonuna katkıda bulunmuştur. Mavi-yeşil algler günümüzde de pek çok açıdan hayat vericidir.

Hücrelerinde çekirdeğe eşdeğer DNA iplikçikleri hücrenin orta bölgesinde yoğun olarak veya hücrenin her tarafına yayılmış olarak bulunur. Siyanobakterilerin mitokondri, çekirdek, golgi aygıtı, endoplazmik retikulum ve plastidleri bulunmamaktadır. Hücre duvarları amino asit ve peptidoglikandan oluşmaktadır (Demirel, 2008).

Oksijen üreterek fotosentez yapabilmelerine ve ökaryotik alglerle aynı ortamlarda yaşamalarına rağmen, siyanobakteriler gram negatif bakterilerdir ve bu nedenle prokaryotlardır. Ayrıca, atmosferik nitrojeni amonyak gibi elementin kullanılabilir formlarına dönüştürme işlemi olan nitrojen fiksasyonunu bağımsız olarak yürütme yeteneğine de sahiptirler. Tuzlu ve tatlı su kaynaklarının yüzeyinde bulunurlar. Karada ışığın ve nemin olduğu bazı canlı organizmaların yüzeylerinde bulunabilirler. Koyu yeşilimsi-mavi pigmentlerinden dolayı bu isimle adlandırılırlar (Yılmaz ve Duru, 2011).

Hücrelerinde çekirdeğe eşdeğer DNA iplikçikleri hücrenin orta bölgesinde yoğun olarak veya hücrenin her tarafına yayılmış olarak bulunur. Siyanobakterilerin mitokondri, çekirdek, golgi aygıtı, endoplazmik retikulum ve plastidleri bulunmamaktadır. Hücre duvarları amino asit ve peptidoglikandan oluşmaktadır. Siyanobakteri türlerinin sayısı halen tartışma konusudur ve 8000'e ulaştığı tahmin edilmektedir. Morfolojik karakterlere ve moleküler analizlere göre şimdiye kadar 5185 tür tanımlanmış; *Chroococcales*, *Gloeobacterales*, *Nostocales*, *Oscillatoriales*, *Pleurocapsales*, *Spirulinales* ve *Synechococcales* olarak sınıflandırılmıştır: *Chroococcales*, müsilaçlı bir zarf içinde kolloid, tek hücreli siyanobakteriler içerir. Bu sıradaki ünlü tür, tatlı suda çiçek oluşturan tür *Microcystis aeruginosa* 'dır (Komárek ve ark., 2003). *Gloeobacterales*, tek hücreli veya tilakoidleri olmayan düzensiz gruplar halinde çubuk şeklindeki tatlı su siyanobakterileridir. En çok tanımlanan siyanobakteriler, *Nostocales* takımına ait ipliksi türlerdir ve bu takımın bazı türleri nitrojeni sabitleme yeteneğine sahiptir. Bentik lineer ipliksi türlerin en yüksek sayısı Salımlılarla ilişkilidir ve kolloid hücreler olabilen veya filamentlere (psödo-

filamentler) benzeyen *Pleurocapsales*, karmaşık koloni oluşumları oluşturabilir. *Spirulinales* üyeleri sarmal filamentlere sahipken, *Synechococcales* düzeninde kategorize edilen türler hem tek hücreli hem de filamentli türleri içerir. *Synechococcales* 70'den fazla cinse sahiptir ve en bol, ekolojik olarak önemli ve en eski siyanobakteri olarak kabul edilir. *Synechocystis sp. Synechococcales*'in bir üyesidir (Allaf ve Peerhosssaini, 2022).

2.5. Microcystis Aeruginosa

Aşırı alg artışlarında en çok karşılaşılan tür olan *Microcystis* genellikle toksiktir. İlk izole edilip laboratuvarında çalışılan ve tanımlanan toksik mavi -yeşil alg türü *Microcystis aeruginosa*'dır.

Microcystis aeruginosa, tatlı su ortamlarında bulunan yaygın bir tek hücreli siyanobakteridir. Bu bakteri, *Microcystis aeruginosa*'nın çiçek açtığı kontamine alanlarda yaşayan ve hasat yapan popülasyonlar için sağlık riskleri oluşturan zararlı toksinler üretir. Su ortamlarında besin seviyeleri yükseldiğinde veya besin seviyeleri *Microcystis aeruginosa*'ya karşı seçici olduğunda çiçeklenme meydana gelir.

Hücre içi yapıların varlığı, gaz kesecikleri, hücrelere kaldırma kuvveti sağlar. Bu içi boş, gazla dolu yapılar, *Microcystis* hücrelerini, büyüme için en uygun ışık ve oksijenin olduğu su kütlesinin yüzeyine yakın tutabilir. Böylece, su sütunu sabit olduğunda, koloniler su yüzeyinde birikebilir ve yüzey suyu çiçeklerini oluşturabilir (Mlouka ve ark.,2004). Hücrelerin çapı 2,61 ila 5,40 µm arasında değişir ve oval veya küre şeklinde olabilir. *Microcystis aeruginosa*'nın hücre dışı kaplaması birkaç katmana bölünmüştür: sitoplazmik zar veya plazmalemma, peptidoglikan katmanı ve hücre duvarının çok katmanlı yapısı (Kim ve ark., 1997).



Şekil 2.1. *Microcystis aeruginosa* mikroskop görüntüsü.

Microcystis aeruginosa ışığa bağımlı ve oksijenlidir, ancak hücreler karanlık anaerobik koşullar altında ötrofik göllerde uzun süre yaşayabilirler. *Microcystis aeruginosa* genellikle ötrofik göllerde ve rezervuarlarda çiçek açar. Yüzeysel su patlamaları, su yüzeyinin altında anaerobik koşullara neden olabilir ve böylece *Microcystis aeruginosa* da dahil olmak üzere diğer fitoplanktonların elverişsiz bir ortamda yaşamasına neden olabilir. *Microcystis aeruginosa*, göller ve nehirler gibi su habitatlarında meydana gelen ve farklı coğrafi konumlara göre değişen, siyanotoksin üreten bir türdür. Mikrosistin (Hepatotoksin) insanlarda, hayvanlarda ve suda yaşayan canlı organizmalarda ciddi sağlık tehlikelerine neden olur. Mikrosistin'in kanser hücre dizilerinin büyümesini engelleme yeteneği, etkili antikanser ilaçların, *Microcystis* siyanobakteriyel cinsinin farmakolojik ve toksikolojik önemini keşfedilmesine yol açabilir (Gothalwal ve ark., 2022).

2.6. Synechocystis sp.

Synechocystis sp. nitrojen sabitleyici olmayan tek hücreli bir mezofilik siyanobakteridir (Johnson, Lecomte, 2013). Aydınlik ortamda fotosentez yoluyla fototrofik büyüme sergilerken karanlık dönemlerde glikoliz ve oksidatif fosforilasyon yoluyla heterotrofik olarak büyüyebilirler.



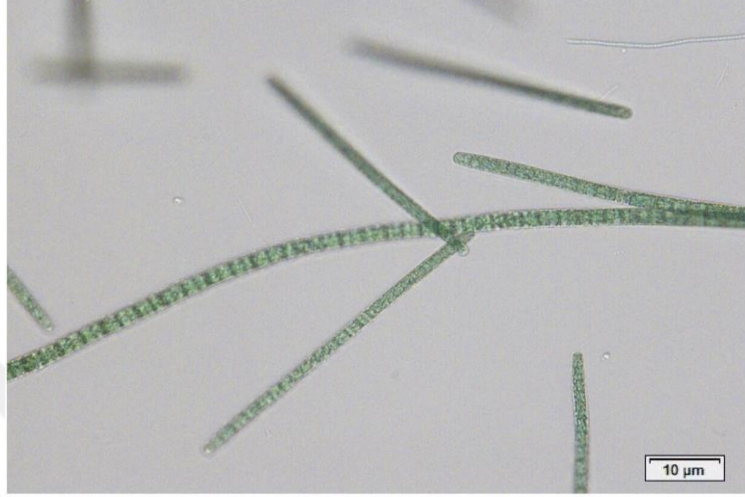
Şekil 2.2. *Synechocysts sp.* mikroskop görüntüsü.

Synechocystis'in, ortamda inorganik karbon (CO_2 veya HCO_3^-) yetersiz olduğunda farklı organik asitleri (piruvat, asetat ve süksinat dahil) birlikte metabolize edebilir. Organik asitlerin siyanobakteriyel hammadde olarak kullanılması, ölçekli biyokütle üretimi için uygun maliyetli olmasa da organik substrat kullanım kapasitesi, erken yaşamda ototrofikten heterotrofik metabolizmalara evrimsel geçiş hakkında fikir verebilir. Çoğu siyanobakteri nitrojen kaynağı olarak nitrat ve amonyumu kullanabilir. *Synechocystis*, N_2 'yi doğal olarak sabitleyemez (nitrojenaz yokluğu), ancak çoklu arginin ve aspartat kalıntıları içeren bir polipeptit olan siyanofisin üreterek amonyum nitrojeni hücre içinde depolayabilir. Bu polimer, nitrojen sınırlama koşulu altında bir hidrolitik enzim siyanofisinaz tarafından parçalanabilir (Richter ve ark., 1999). *Synechocystis*'in bu tür nitrojen depolama kapasitesi, atık sudan nitrojenin uzaklaştırılması için potansiyel olarak kullanılabilir ve ortaya çıkan siyanofisin, bir biyo-gübre olarak kullanılabilir.

İlk olarak 1968'de bir tatlı su gölünden izole edildiğinden beri üzerinde en çok çalışılan türlerden biridir. *Synechocystis*, fotoototrofik, miksotrofik ve heterotrofik koşullar altında büyüyen çok yönlü karbon metabolizmaları gösterir. Ek olarak, bitki kloroplastları ve *Synechocystis* arasındaki biyokimyasal benzerlikler, *Synechocystis*'i daha yüksek bitkilerde stres tepkilerinin ve stres adaptasyonunun altında yatan moleküler mekanizmaları incelemek için ideal bir sistem haline getirir. Sentetik biyolojideki son gelişmeler, *Synechocystis*'in çeşitli kimyasal türlerinin üretimi için fotosentetik bir konakçı olarak tasarlamak için çok sayıda moleküler biyoloji aracı sağlamıştır (Yu ve ark., 2013).

2.7. Arthrospira Platensis

Arthrospira platensis, en fazla kültürü yapılan; kozmetik, tıp, gıda maddesi olarak farklı alanlarında sıklıkla kullanılan siyanobakteriler sınıfından ipliksi bir prokaryotik organizmadır (Koru ve Cirik, 2002).



Şekil 2.3. *Arthrospira platensis* mikroskop görüntüsü.

Arthrospira platensis yüksek protein içeriğinden dolayı ticari önemli algler arasında yer almaktadır. *Arthrospira platensis*, besin özelliklerinin yanında farklı etkileri de bulunmaktadır. Bilim insanları tarafından *Arthrospira plantensis*'in antibiyotik, antikanser, antioksidan, bağışıklık sistemi güçlendirici, probiyotik ve antialerjik etkileri bulunmuştur. *Arthrospira platensis*'nin sindirim sistemi fonksiyonlarını üzerine etkilerinin olduğu da bildirilmiştir (Badawi ve ark., 2022).

2.8. Hidrojen Peroksit (H₂O₂)

Süperoksitin bir elektron alması sonucu ya da oksijenin diğer moleküllerden iki elektron alması sonucu peroksit molekülü oluşur (denklem 2.1). Hidrojen peroksit yüksek stabilitesi sebebiyle ciddi oksidatif hasar gücüne sahiptir (Sharma ve ark., 2012). Biyolojik sistemlerdeki oluşumu süperoksit dismutasyonu ile meydana gelmektedir. Dokulardaki yarı ömrü uzun olan bu radikal, oluştuğu yerden difüzyon ile başka bölgelere kolayca yayılım göstermektedir (Tekbaba, 2019).



2.9. Malondialdehit (MDA)

Malondialdehit (MDA), oksidatif lipid peroksidasyonunun parçalanmasıyla oluşan toksik etkili son üründür. Mikroorganizmadaki MDA miktarının artması demek serbest radikal miktarının artması anlamına gelmektedir (Choudhary ve ark., 2007). Reaktif oksijen türleri hücre içerisinde biriktikçe hücre zarındaki hasara sebebiyet vermektedir. Zarda gerçekleşen bu hasar lipitleri etkileyerek peroksidasyonu başlatır ve malondialdehit oluşur. Malondialdehit radikaller tarafından hücre membranındaki yağ asitlerinin farklı ürünlerle yıkılması durumudur. Bu yıkımın sonucunda oluşan ürüneler hücreye ciddi zararlar vermektedir (Tekbaba, 2019).

2.10. Literatür Çalışmaları

Wan ve ark. (2021), mikroplastiklerin tatlı su algleri üzerindeki etkilerini araştırmış ve mikroplastığe maruz kalmanın alg büyümesini, fotosentezi engelleyebileceğini ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) içeriğini artırarak oksidatif strese yol açabileceğini bulmuştur.

Zheng ve ark. (2021b), polivinil klorür mikroplastiklerin *Microcystis aeruginosa*'nın hücre içi ve hücre dışı mikrosistinlerinin içeriğini artırarak su ortamı için bir tehdit oluşturduğunu göstermiştir.

Prata ve ark. (2018), Mao ve ark. (2018b); Zhao ve ark. (2019), Mikroplastiklerin partiküllerinin ve dozajlarının, mikroalgler üzerinde büyümenin engellenmesi, fotosentetik etkinliğin azalması vb. dahil olmak üzere toksik etkilere neden olabileceği yaptıkları çalışmada kanıtlanmıştır.

Canniff ve Hoang (2018), tarafından yapılan çalışma, plastik mikrobuncukların *Raphidocelis subcapitata* için substrat görevi görerek mikroalglerin büyümesine fayda sağlayabileceğini göstermiştir.

Bhattacharya ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada yüksek konsantrasyondaki (50 mg/L) polivinil klorür mikroplastikleri, 96 saat maruz kaldıktan sonra deniz mikroalgi *Skeletonema costatum*'un büyümesini ve fotosentezini engellediğini; Polistiren (PS) mikroplastikleri ayrıca fotosentetik aktiviteyi engellediğini ve yeşil alg *Chlorella* ve *Scenedesmus*'ta reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini desteklediğini göstermiştir.

Sjolemma ve ark. (2016), Polistrenin(PS), küçük boyutlu PS ile yüksek konsantrasyonlara maruziyetinde *Dunaliella tertiolecta*'nın büyümesi üzerine bariz bir etkiye sahip olduğunu ve azalan boyutla birlikte bu etkinin arttığını bildirmişlerdir.

Wu ve ark. (2019), mikroplastiklere polipropilen (PP) ve polivinil klorür (PVC) maruz kalmanın, logaritmik büyüme süresi boyunca *Chlorella* (C.) *pyrenoidosa* ve *Microcystis* (M.) *flos-aquae* alglerinin fotosentetik sistemi üzerindeki etkisini araştırmış; PVC ve PP'nin klorofil- a'yı önemli ölçüde azalttığını, ayrıca iki mikroplastik karşılaştırıldığında, PVC'nin tatlı su alglerinin fotosentez sistemini büyük ölçüde engellediğini belirtmişlerdir.

Murphy ve Quinn (2018), mikroplastiğe maruz kalmanın tatlı su *H. attenuata*'nın beslenmesini önemli ölçüde azaltabileceğini ve beslenmenin mikroplastik konsantrasyonu ile önemli ölçüde negatif bir korelasyona sahip olduğunu göstermektedir. *H. attenuata* morfolojisinde önemli değişiklikler gözlenmiş olup bunlar öldürücü olmamış ve üremede herhangi bir değişikliğin olmadığını belirtmişlerdir.

Zhang ve ark. (2020), PP, PVC, PS ve PE mikroplastiklerinin *Microcystis aeruginosa* algisi üzerindeki etkilerini araştırmış; 96 saat maruziyet sonucunda büyümeyi inhibe ederek klorofil-a içeriğini önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

Tong ve ark. (2023), yaptıkları çalışmada körfez ekosistemlerindeki plastik kirliliği ve bunun deniz organizmaları üzerindeki etkisinden bahsederek. Körfez ekosistemlerindeki plastiklerin kaynakları ve dağılımını, deniz suyu ve tortuda mikroplastiklerin varlığını ve plastiklerin deniz organizmaları üzerindeki toksik etkilerini araştırmışlardır.

Jeong ve ark.(2016), yaptıkları çalışmada, daha önce yapılan araştırmalara nispeten küçük boyutlu (0,05 µm) mikroplastiklerin deniz rotiferleri için 0,5 µm ve 6 µm'den daha toksik olduğunu göstermişlerdir.

Sharma ve ark. (2023), yapmış oldukları çalışmada, küresel iklim değişikliğine katkıları ve deniz biyotası ve insan sağlığı üzerindeki etkileri de dahil olmak üzere plastik ve mikroplastığın çevre üzerindeki olumsuz etkilerini tartışmaktadır. Mikroplastikler ile ilgili bu çalışmada kirliliğin doğal ekosistemlerde ciddi değişikliklere sebebiyet verdiği küresel ölçekte biyosistemlere zarar verdiği, toprak ve su ekosistemlerindeki doğal döngüyü etkilediği vurgulanmıştır.

Ain Bhutto ve You (2022), yaptığı çalışmasında Çin de bulunan bir tatlı su kaynağında ekosistemdeki mikroplastiklerin yaygın dağılımı incenmiş olup sistematik bir şekilde ortaya konulmuştur. Çalışma mikroplastiklerin tatlı su besin ağları üzerindeki potansiyel etkilerini ve plastik atık endüstrisinin tahmini büyüme oranından bahsedilmektedir.

Van Cauwenberghe ve ark. (2013) ; Porter ve ark.(2018),yaptıkları bu çalışmadan mikroplastiklerin,alglerin ve mikroplastiklerin bir araya toplanarak alglerin boyutunun ve ağırlığının artmasına neden olduğunu öne sürdü ve bunların alg-mikroplastik kompleksleri hem bentik hem de pelajik (derin deniz) alanlarda mevcut olduğunu tespit etti.

Abbasi ve ark. (2023),yılında yapmış olduğu çalışmada farklı konsantrasyondaki mikroplastiklerin *Arthrospira platensis* mikroalg 'inin büyüme, fotosentez, üretim fonksiyonları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma artan mikroplastik konsantrasyonları ile büyüme hızının ve fotosentetik aktivitenin azaldığını ve belirli bir konsantrasyon üzerindeki mikroplastik varlığının mikroalg de enzim aktivitelerinin olduğunu ortaya koymuştur.

Chae ve ark.(2018), yaptığı çalışmada yeşil alglerin büyümesi büyümesi *Chlamydomonas reinhardtii*, 0-100 mg/L konsantrasyonlarda 500 nm PS mikroplastiklere maruz kaldığında önemli ölçüde değişmediğini ortaya koydu.

Conti ve ark.(2023), yılında incelediği çalışmasında büyüyen plastik ve mikroplastik kirliliği sorununu ve bu kirliliğin canlılar üzerindeki zararlı etkisi üzerinde durulmuştur.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışmada Kullanılan Kültürlerin Eldesi

Çalışmada kullanılan *Microcystis aeruginosa* (PCC7806) kültürü Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Hidrobiyoloji Anabilim Dalı, Plankton Kültürü Laboratuvarından; *Arthrospira platensis* kültürü Sakarya Üniversitesi, Bitki Fizyolojisi ve Alg Ekolojisi Laboratuvarından; *Synechocystis sp.* kültürü Gazi Üniversitesi, Dr. Tahir ATICI Gazi MACC Laboratuvarı alg koleksiyonlarından temin edilmiştir. Deneyler Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mikrobiyolojisi Laboratuvarında yapılmıştır.

3.2. Hücre Kültürlerinin Hazırlanması

Alglerden *Arthrospira platensis* Spirulina Medium'da (Tablo); *Microcystis aeruginosa* ve *Synechocystis sp.* BG11 ortamında (Tablo 3.1.) aksenik koşullar altında büyütüldü. Algler, 180 mL besiyerine, 20 mL alg kültürü ekimi yapılarak 250 mL'lik erlenlerde, 25 ± 2 °C'de çalkalayıcı üzerinde 60 mikromolphoton/m²s sürekli aydınlatma altında 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık döngüsü ile inkübe edilmiştir.

Tablo 3.1. BG11 besiyeri içeriği.

Bileşen	Konsantrasyon
NaNO ₃	15 g 1000 mL ⁻¹
K ₂ HPO ₄	2 g 500 mL ⁻¹
MgSO ₄ .7H ₂ O	3.75 g 500 mL ⁻¹
CaCl ₂ .2H ₂ O	1.8 g 500 mL ⁻¹
Citric acid	0.3 g 500 mL ⁻¹
Ammonium ferric citrate green	0.3 g 500 mL ⁻¹
EDTANa ₂	0.05 g 500 mL ⁻¹
Na ₂ CO ₃	1 g 500 mL ⁻¹
Eser element karışımı	250 mL ⁻¹

Tablo 3.2. Eser element karışımı.

Bileşen	Konsantrasyon
H ₃ BO ₃	0.143 g 50 mL ⁻¹
MnCl ₂ .4H ₂ O	0.0905 g 50 mL ⁻¹
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.011 g 50 mL ⁻¹
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.0195 g 50 mL ⁻¹
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.004 g 50 mL ⁻¹

Tablo 3.3. Spirulina Medium besiyeri içeriği (Aiba ve Ogawa, 1977).

Solüsyon (SL)	Hacim (mL)	Bileşik	SL Konsantrasyon
SL- A	500 mL	NaHCO ₃	18 g 500 mL ⁻¹
		Na ₂ CO ₃	1 g 500 mL ⁻¹
		K ₂ HPO ₄	1 g 500 mL ⁻¹
		NaNO ₃	2 g 500 mL ⁻¹
SL- B	500 mL	KNO ₃	1 g 500 mL ⁻¹
		NaCl	1 g 500 mL ⁻¹
		MgSO ₄ .7H ₂ O	0.4 g 500 mL ⁻¹
		CaCl ₂ .2H ₂ O	0.02 g 500 mL ⁻¹
		FeSO ₄ .7H ₂ O	3.3 500 mL ⁻¹

3.3. Uygulanan Mikroplastik Çeşitleri ve Boyutları

Hazırlanan mikroplastik kültürleri farklı deney düzeneklerinde farklı mikroplastiklere maruz bırakılmıştır. Polivinilklorür (PVC), polipropilen (PP) ve polistiren (PS) mikroplastikleri kullanılmıştır. Kullanılan mikroplastiklerin boyutları PVC, PP için 100 µm den büyük ve 100 µm den küçük olmak üzere iki farklı boyutta değerlendirilmiştir. Kullanılan polistiren mikroplastığı için ise 1 µm boyut seçilmiştir.

3.4. Mikroorganizmaların Sayımı

Alglerin sayımı Olympus CX31 marka mikroskopta yapıldı. İpliksi ve koloni halinde bulunan organizmaların hücre sayıları dikkate alındı. Sayılan hücrelerin mL'deki yoğunluğunun hesaplanmasında aşağıdaki matematiksel formül kullanıldı.

$$\text{Hücre sayısı. mL}^{-1} = [(C) \times (T_A)] / [(A) \times (V) \times (F)] \quad (3.1)$$

C = Sayılan hücre sayısı
T_A = Sayım hücresi dip alanı
A = Sayım yapılan alanın mm² olarak alanı
V = Çöktürülen hacim
F = Sayım alanının ne kadar birim olduğu

3.5. Optik Yoğunluk, Spektrofotometre Ölçümü

Mikroplastik maruziyeti sonucunda alglerin optik yoğunluk ve büyüme oranlarını hesaplamak için deney süresi boyunca spektrofotometrede 560 nm dalga boyunda ölçümler yapılmış ve kör çözelti olarak saf su kullanılmıştır. Tüm spektrofotometrik ölçümler “Spectroquant Pharo 300” spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır.

3.6. Klorofil-a Tayini

Alg pigmenti olan klorofil-a, alg biyokütlesinin kuru ağırlığının %1 veya %2 sini oluşturur (Sınmaz, 2022). Biyokütle takibi için klorofil-a analizleri oldukça önem arz etmektedir. Klorofil-a tayini için kurulan deney numune sayısı kadar kapaklı cam tüp içine 5 mL aseton ilavesi yapılmıştır. Toplam biyokütle analizinden elde edilen filtre kâğıdı pens kullanılarak el değmeden kıvrılmıştır. Makas ile küçük parçalar haline getirilip tüplere yerleştirilmiştir. 25 ± 1 °C karanlık ortamda 5 gün (Sartory ve ark., 1984) (Tanttu ve ark., 2023) bırakılarak pigment ekstraksiyonu tamamlanmıştır. 5. günün sonunda küçük parçalara ayrılıp cam tüp içerisine yerleştirilen aseton içerisinde bekletilen filtre kağıtları süzülüp spektrofotometrede 630, 645, 665 ve bulanıklık kontrolü için 750 nm dalga boylarında ölçülmüştür. Klorofil-a tayini için bütün kültürler 15 gün boyunca 48 saate bir analiz edilerek canlı biyokütle gelişimi takip edilmiştir. Elde edilen absorbans değerleri ile klorofil-a değeri hesaplanmıştır.

Klorofil-a µg/L

$$= [11.64 (\text{Abs}663) - 2.16 (\text{Abs}645) + 0,10 (\text{Abs}630)] E.(F) * (V^{-1}) \quad (3.2)$$

F = Seyreltme faktörü, E = Ekstraksiyon için kullanılan aseton (mL),

V = Filtre edilen suyun hacmi (L), L = Quartz küvet uzunluğu (cm)’i ifade etmektedir.

3.7. Askıda Katı Madde Tayini

Kültür ortamlarında gelişen *Microcystis aeruginosa*, *Synechocystis sp* ve *Arthrospira platensis* algleri’nin biyokütlesinin tespiti için askıda katı madde (AKM) tayinlerinden

faýdalanılmıştır. Askıda katı madde tayini 48 saat ara ile 15 gün boyunca izlenmiştir. Biyokütle tayini için yapılan askıda katı madde ölçümleri standart yöntem (Apha,1998) ile belirlenmiştir. Sabit tartım durumuna getirilmiş hassas bir terazi kullanılarak cam elyaf 0,45 µm gözeneklere sahip filtre kağıtları tartılıp mikroalg kültürleri filtre kağıdından süzöldükten sonra 103-105 °C de kurutulur. Kurutma işlemini tamamlandıktan sonra hassas terazide tekrar tartılarak biyokütle tespiti yapılmıştır.

$$AKM (mg/l) = (C-D) \times 1000/V \quad (3.3)$$

C= Filtre kağıdı + kuru kalıntının tartımı (mg),

D= Filtre kağıdının tartımı (mg),

V= Numune hacmi (mL).

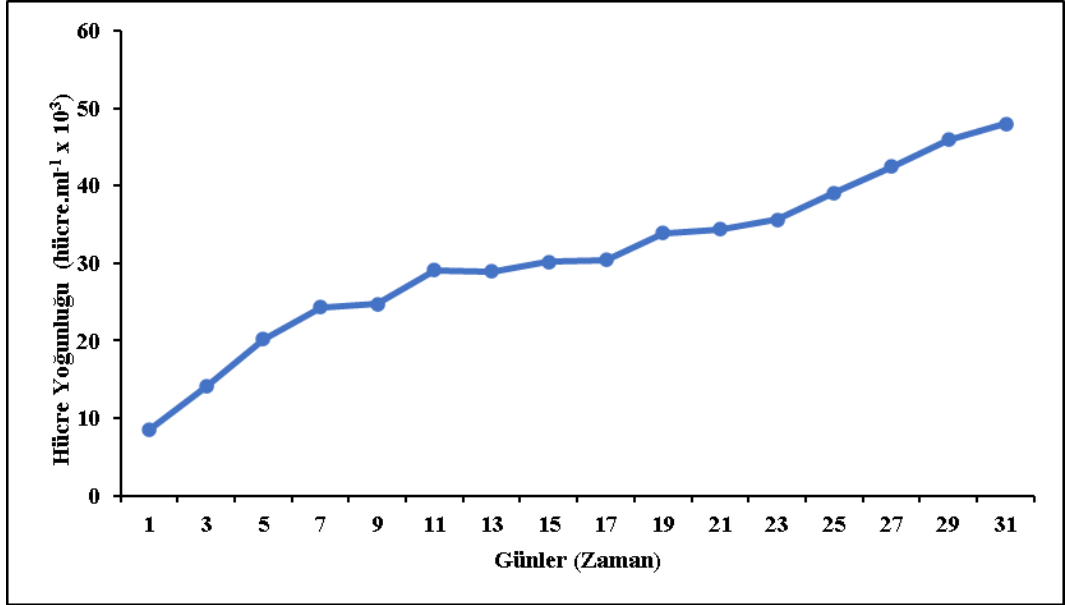
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Siyanobakterilerin Kültür ve Gelişimi

Ekim yapılan kültürlerin hücre yoğunlukları 30 gün inkübasyon süresi boyunca takip edilmiştir.

4.1.1. *Microcystis aeruginosa* kültür ve gelişimi

Deneyde kullanılan *Microcystis aeruginosa* (PCC7806) kültürleri Trakya Üniversitesi Plankton Kültürü Laboratuvarından temin edilmiştir. Ekim yapılan *Microcystis aeruginosa* kültürü başlangıçta $8,5 \times 10^3$ hücre. mL⁻¹ yoğunluğuna sahipken, 30 gün inkübasyon sonunda 48×10^3 hücre.mL⁻¹ hücre yoğunluğuna ulaştığı anlaşılmıştır. Stok kültürlerin hücre sayılarındaki değişim grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir.

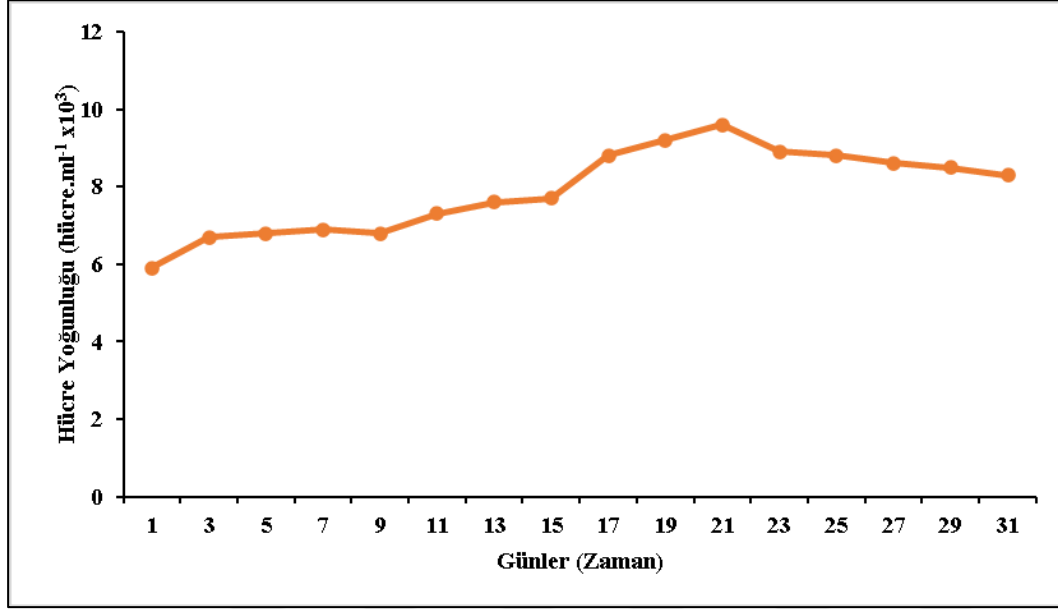


Şekil 4.1. *Microcystis aeruginosa* kültürlerinin 30 günlük gelişim grafiği.

4.1.2. *Synechocystis sp.* kültür ve gelişimi

Bu çalışmada kullanılan *Synechocystis sp.* kültürleri Gazi Üniversitesi, Dr. Tahir ATICI Gazi MACC Laboratuvarından temin edilmiştir.

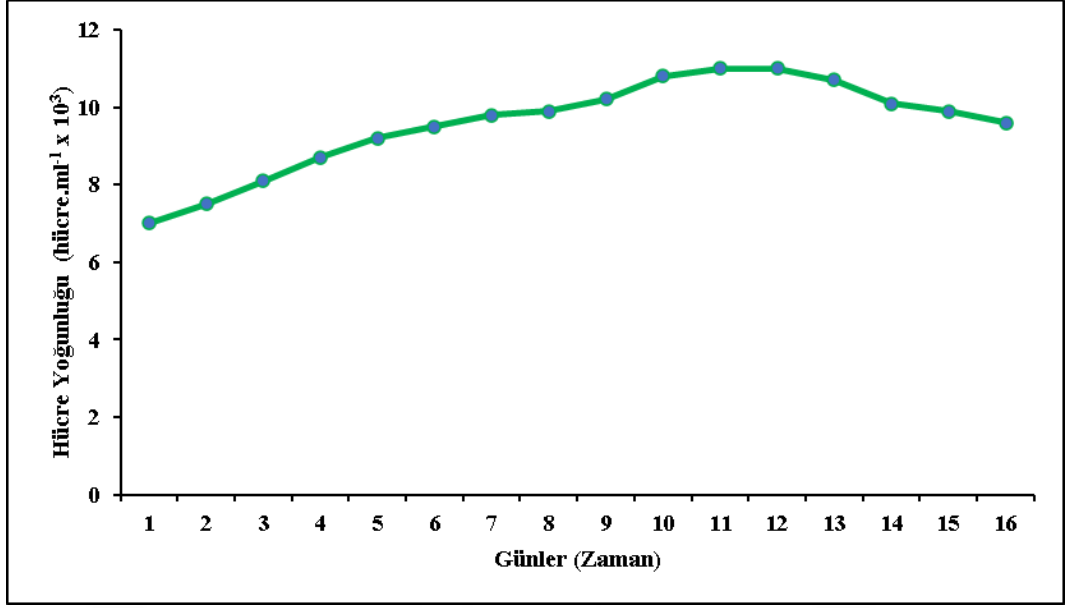
Ekim yapılan *Synechocystis sp.* kültürü başlangıçta $5,9 \times 10^3$ hücre. mL⁻¹ hücre yoğunluğuna sahipken, 21.günde en yüksek $9,6 \times 10^3$ hücre.mL⁻¹ yoğunluğuna ulaşmış, daha sonrasında azalış göstererek 31.gün sonunda $8,3 \times 10^3$ hücre.mL⁻¹ hücre yoğunluğu gözlemlenmiştir. Stok kültürlerin hücre sayılarının değişimi grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. *Synechocystis sp.* kültürlerinin 30 günlük gelişim grafiği.

4.1.3. *Arthrospira platensis* kültür ve gelişimi

Bu çalışmada kullanılan *Arthrospira platenis* kültürleri Sakarya Üniversitesi, Bitki Fizyolojisi ve Alg Ekolojisi Laboratuvarından temin edilmiştir. Ekim yapılan *Arthrospira platensis* kültürü başlangıçta 7×10^3 hücre. mL⁻¹ hücre yoğunluğuna sahipken, 21.günde en yüksek 11×10^3 hücre.mL⁻¹ yoğunluğuna ulaşmış, daha sonrasında azalış göstererek 31.gün sonunda $9,6 \times 10^3$ hücre.mL⁻¹ hücre yoğunluğu gözlemlenmiştir. Stok kültürlerin hücre sayılarının değişimi grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. *Arthrospira platensis* kültürlerinin 30 günlük gelişim grafiği.

4.2. Siyanobakteri Kültürleri Üzerine Farklı Tür ve Boyutlardaki Mikroplastiklerin Etkileri

Seçilen her üç alg türü için deneyler 3 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Belirlenen üç farklı tür ve farklı boyutlarda (PVC 100+, PP 100+, PVC 100-, PP 100-, PS 1 µm) mikroplastiklerin siyanobakteriler kültürlerindeki etkilerini gözlemlemesi amacıyla çalışma sürecinde 2 günde bir bakılan örneklerde spektrofotometrik olarak 560 nm dalga boyunda optik yoğunluk, klorofil-*a* miktarına bakılmış; MDA ve H₂O₂ analizleri yapılmış ve mikroskopik olarak hücre sayımları yapıp hücre boyutları takip edilmiştir.

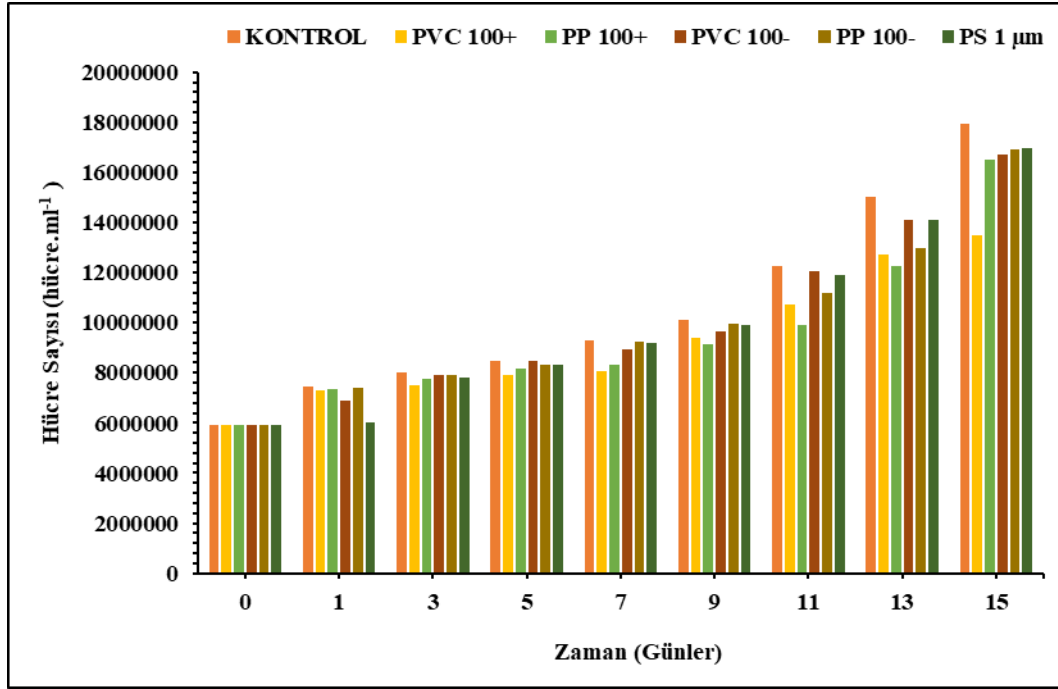
4.2.1. Farklı türlerde ve boyutlardaki mikroplastiklerin hücre yoğunluğuna etkisi

Mikroskop üzerinde yapılan sayımlarda farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklere maruz bırakılan algler için hücre sayıları hesaplanmıştır.

Microcystis aeruginosa algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklere hücre yoğunluğu üzerine etkisi Şekil 4.4'te verilmiştir.

Mikroskop üzerinde yapılan sayımlarda hücre sayıları farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin ilave edildiği ilk gün tüm dozlarda 6 x 10⁶ hücre. mL⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Hücre sayıları AKM ve klorofil-*a* değerlerinde olduğu gibi tüm deney gruplarında deneme süresince benzer bir değişim gözlenmemiştir. Ölçümü yapılan değerler sırasıyla; kontrol grubunda denemelerin sonunda 17 x 10⁶ olarak ölçülürken

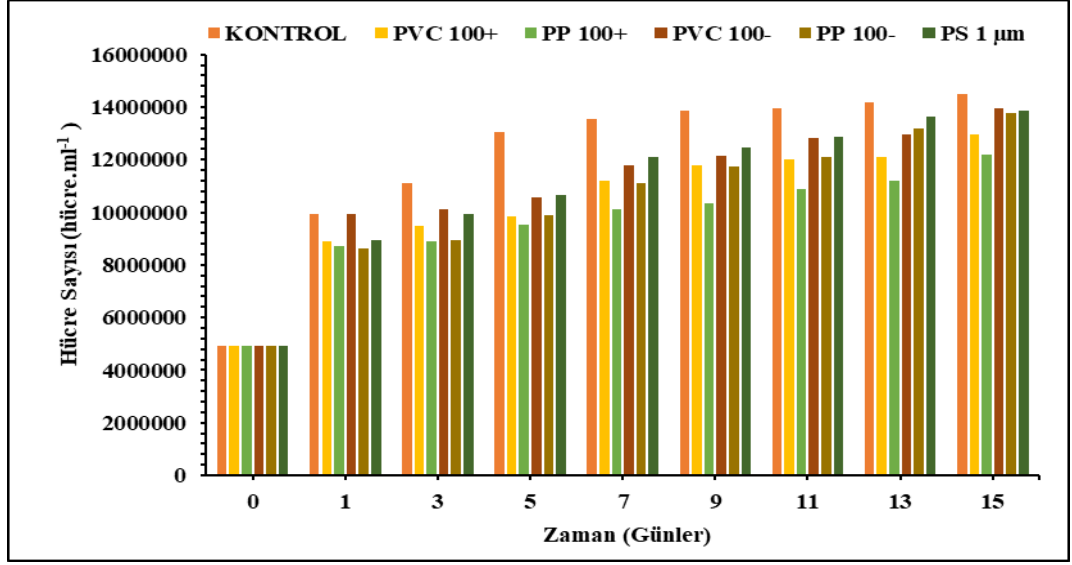
en düşük olarak ise polivinilklorür 100 µm den büyük mikroplastik uygulanan kültürde 13×10^6 hücre. mL⁻¹ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. Mikroplastiklerin *Microcystis aeruginosa* hücre sayısına etkisi.

Synechocystis sp. algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin hücre yoğunluğu üzerine etkisi Şekil 4.5'te verilmiştir.

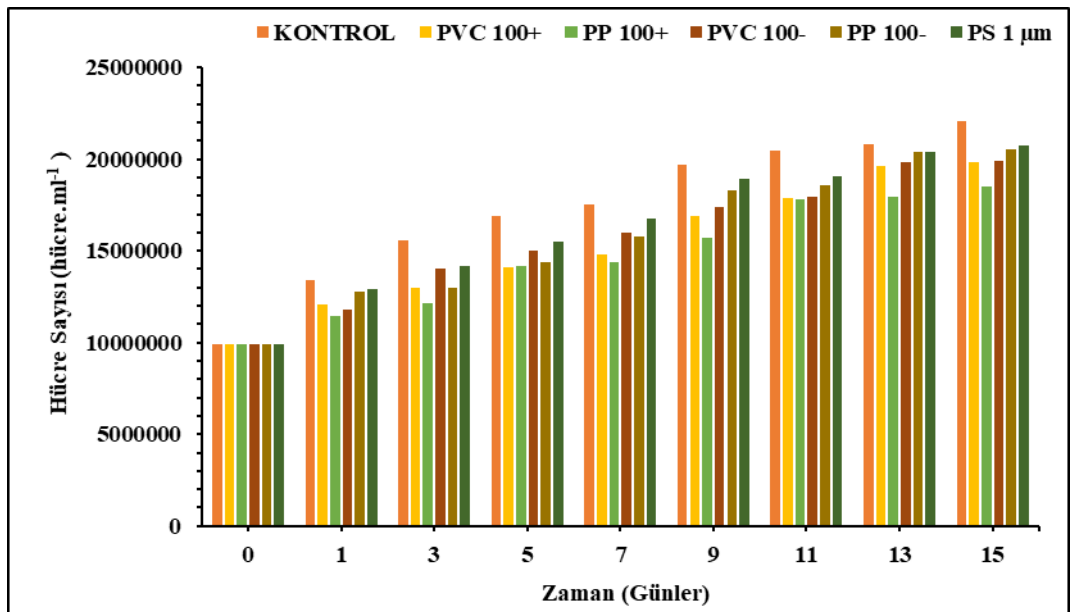
Mikroskop üzerinde yapılan sayımlarda hücre sayıları farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin ilave edildiği ilk gün tüm dozlarda 49×10^5 hücre. mL⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Hücre sayıları AKM ve klorofil-*a* değerlerinde olduğu gibi tüm uygulama gruplarında deneme süresince benzer bir değişim gözlenmiştir. Ölçülen değerler sırasıyla; Kontrol grubunda denemelerin sonunda 144×10^5 hücre. mL⁻¹ olarak ölçülürken en düşük olarak ise polipropilen 100 µm den büyük mikroplastik uygulanan kültürde 12×10^5 hücre.mL⁻¹olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Mikroplastiklerin *Synechocystis sp.* hücre sayısına etkisi.

Arthrospira platensis algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin hücre yoğunluğu üzerine etkisi Şekil 4.6’de verilmiştir.

Mikroskop üzerinde yapılan sayımlarda hücre sayıları farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin eklendiği ilk gün tüm dozlarda 99×10^5 hücre. mL^{-1} olarak hesaplanmıştır. Hücre sayıları ve klorofil-*a* değerlerinde olduğu gibi tüm uygulama gruplarında deneme süresince benzer bir değişim gözlenmiştir. Ölçülen değerler sırasıyla; Kontrol grubunda denemelerin sonunda 205×10^5 hücre. mL^{-1} olarak ölçülürken en düşük olarak ise 100 µm den küçük polivinilklorür ve polipropilen uygulanan kültürde gözlenmiştir.

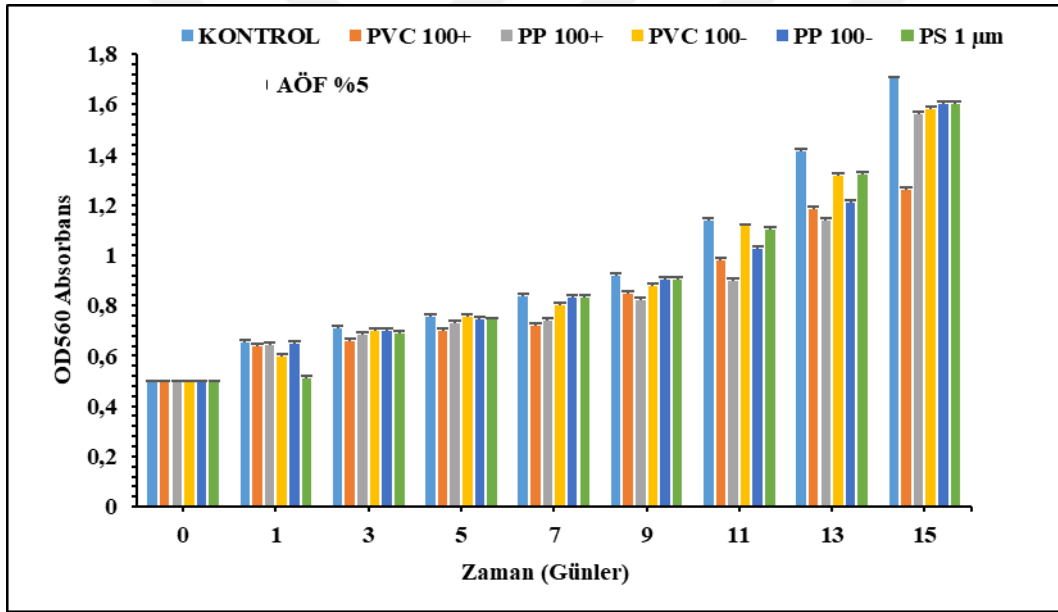


Şekil 4.6. Mikroplastiklerin *Arthrospira platensis* hücre sayısına etkisi.

4.2.2. Farklı tür ve boyutlardaki mikroplastiklerin optik yoğunluğuna etkisi

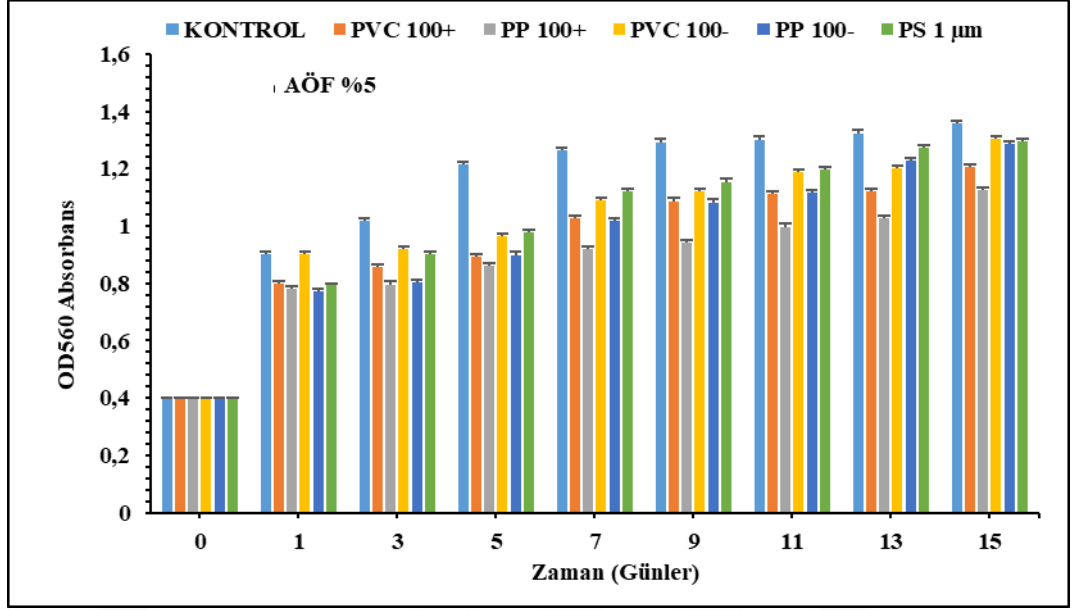
Microcystis aeruginosa algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin OD 560 absorbansı üzerine etkisi Şekil 4.7’de verilmiştir.

Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlardaki mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Microcystis aeruginosa* kültürlerinde 3, 7, 9, 13 ve 15. günde tüm mikroplastik türlerinde ve boyutlarında (PVC 100+, PP 100+, PVC 100-, PP 100-, PS 1 µm); 1. Günde PS 1 µm ; 5. Günde PVC 100+, PP 100+, PP 100-, PS 1 µm ; 11. Günde PP 100+, PVC 100-, PP 100-, PS 1 µm mikroplastik türlerinde ve boyutlarında OD 560 absorbansında kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı artış görülmüştür ($p>0.05$). 1. gün PVC 100- ve PP 100- mikroplastik türlerinde ve boyutlarında absorbansında istatistiksel olarak anlamlı azalma görülmüştür ($p<0.05$).



Şekil 4.7. Mikroplastiklerin *Microcystis aeruginosa* OD560 absorbansına etkisi.

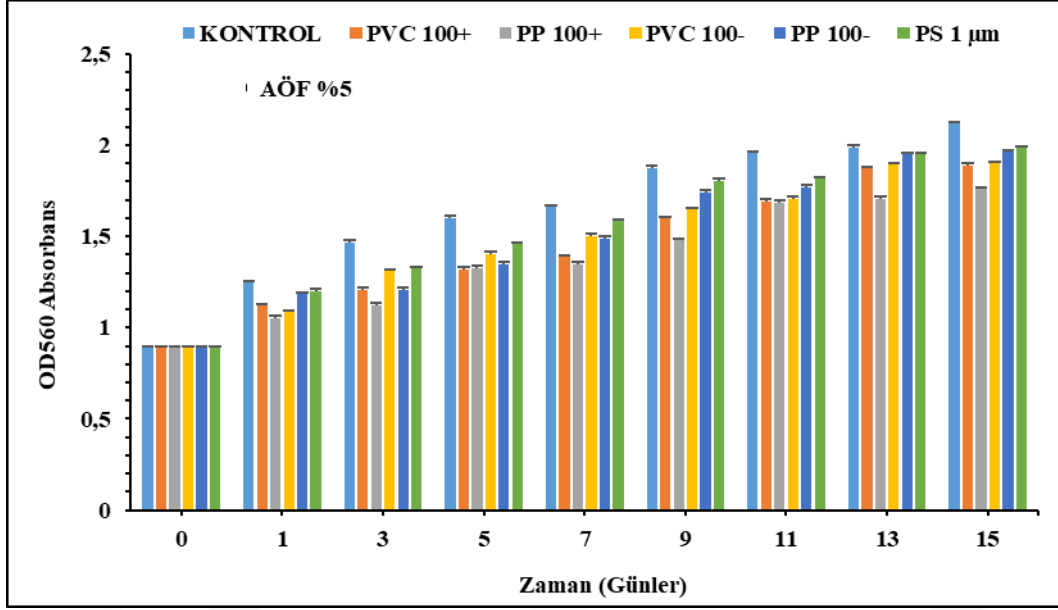
Synechocystis sp. algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin OD560 absorbansı üzerine etkisi Şekil 4.8.’de verilmiştir. Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin etkisine maruz bırakılan *Synechocystis sp.* kültürlerinde 1, 3, 5, 7, 9, 11,13 ve 15. günde tüm mikroplastik tür ve boyutlarında (PVC 100+, PP 100+, PVC 100-, PP 100- ve PS 1 µm) OD 560 absorbansında istatistiksel olarak anlamlı artış olmuştur ($p>0.05$).



Şekil 4.8. Mikroplastiklerin *Synechocystis sp.* OD 560 absorbansı üzerine etkisi.

Arthrospira platensis algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin OD 560 absorbansı üzerine etkisi Şekil 4.9’de verilmiştir.

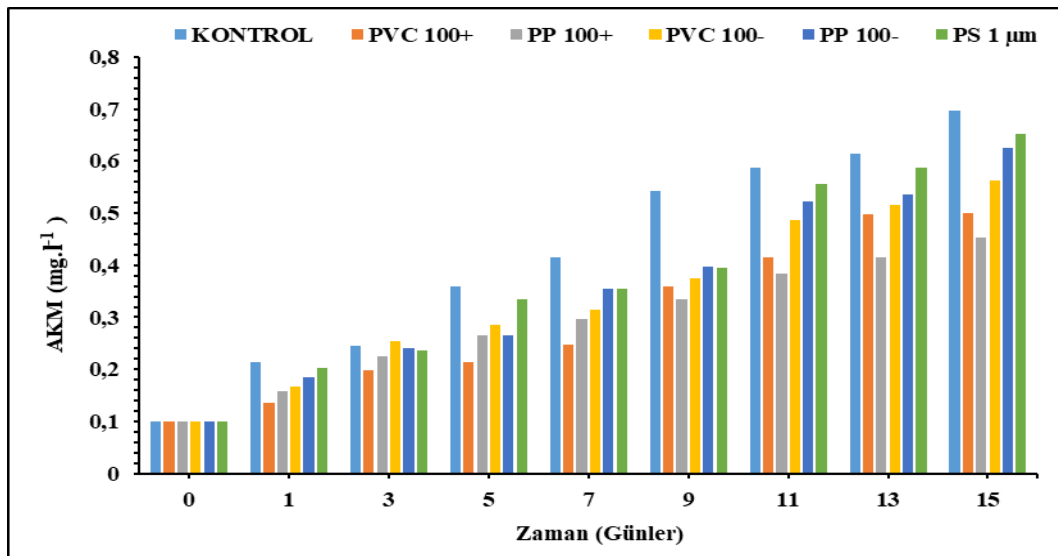
Çalışma süreci boyunca kadar günler kendi aralarında karşılaştırıldığında, farklı tür ve boyutlardaki mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Arthrospira platensis* kültürlerinde 1, 3, 5, 7, 9, 13 ve 15. günde PVC 100+ ve PS 1 µm mikroplastik türlerinde ve boyutlarında; 1, 3, 9, 13 ve 15. Günde PP 100- ; 11. Günde PP- ve 9. Günde PVC -100 mikroplastik türlerinde ve boyutlarında OD560 absorbansında istatistiksel olarak anlamlı artış olmuştur ($p>0.05$). Diğer günlerde tüm mikroplastik tür ve boyutlarında OD560 absorbansında kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı azalma görülmüştür ($p<0.05$).



Şekil 4.9. Mikroplastiklerin *Arthrospira platensis* OD560 absorbansına etkisi.

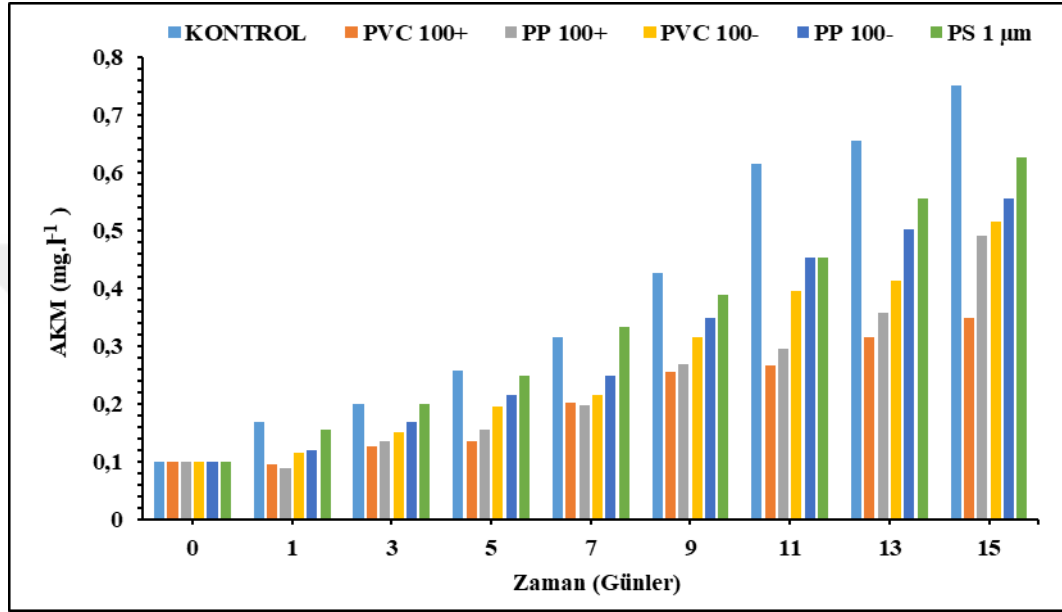
4.2.3. Farklı tür ve boyutlardaki mikroplastiklerin alglerin askıda katı madde miktarına etkisi

Microcystis aeruginosa algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin AKM miktarı üzerine etkisi Şekil 4.10.'de verilmiştir. Çalışma süresi boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Microcystis aeruginosa*'nın mikroplastiklerin tür ve boyutlarına bağlı olarak 100 µm den küçük boyutlardaki plastiklerde kontrole göre azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Mikroplastikler arasında AKM miktarındaki en fazla düşüşün PVC ve PP 100 µm'dan büyük boyutunda meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 4.10. Mikroplastiklerin *Microcystis aeruginosa* AKM miktarına etkisi.

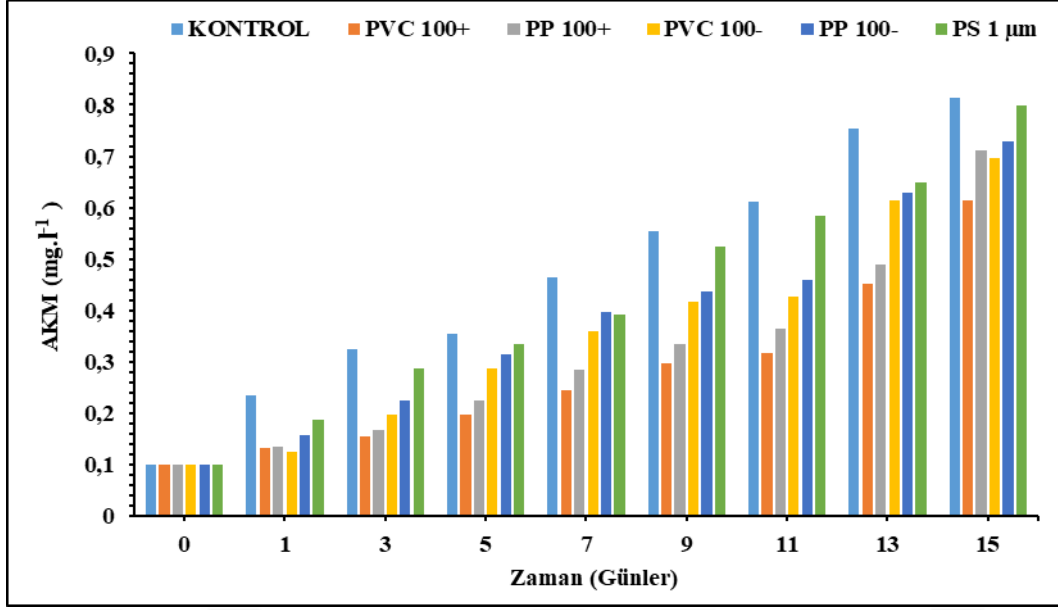
Synechocystis sp. algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin AKM miktarı üzerine etkisi Şekil 4.11.'de verilmiştir. Çalışma süreci boyunca mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Synechocystis sp.*'nin mikroplastiklerin tür ve boyutlarına bağlı olarak 100 µm den küçük boyutlardaki plastiklerde kontrole göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. Mikroplastikler arasında AKM miktarındaki en fazla düşüşün PVC ve PP 100 µm'dan büyük boyutunda meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Mikroplastiklerin *Synechocystis sp.* AKM miktarına etkisi.

Arthrospira platensis algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin AKM miktarı üzerine etkisi Şekil 4.12.'de verilmiştir.

Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Arthrospira platensis*'in mikroplastiklerin tür ve boyutlarına bağlı olarak 100 µm den küçük boyutlardaki plastiklerde kontrole göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. Mikroplastikler arasında AKM miktarındaki en fazla düşüşün PVC ve PP 100 µm'dan büyük boyutunda meydana geldiği belirlenmiştir.

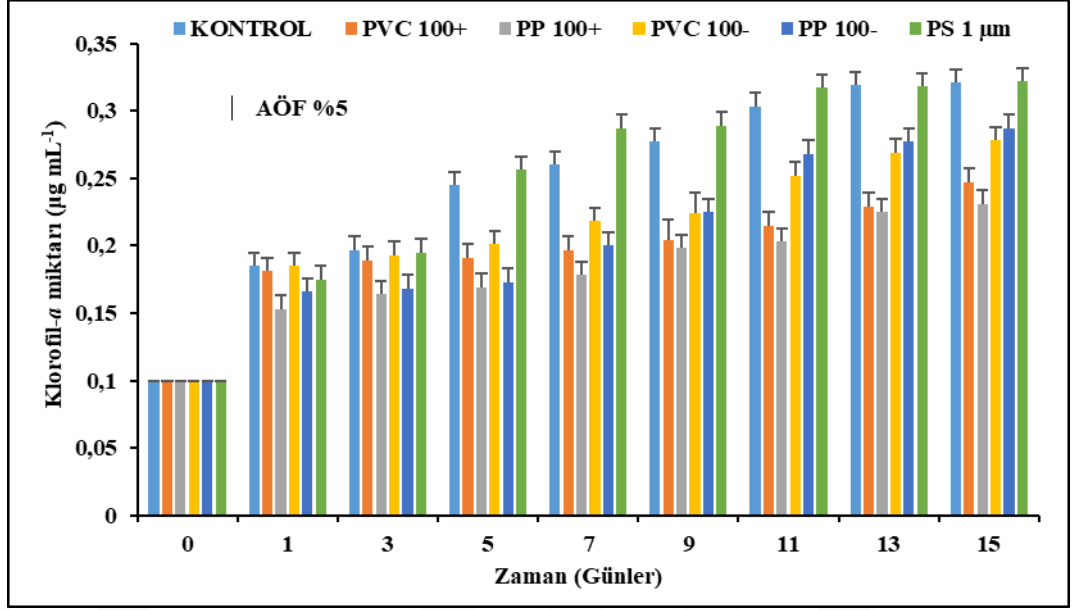


Şekil 4.12. Mikroplastiklerin *Arthrospira platensis* AKM miktarına etkisi.

4.2.4. Farklı tür ve boyutlardaki mikroplastiklerin alglerin klorofil-a miktarına etkisi

Microcystis aeruginosa algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin klorofil-a üzerine etkisi Şekil 4.13.'de verilmiştir.

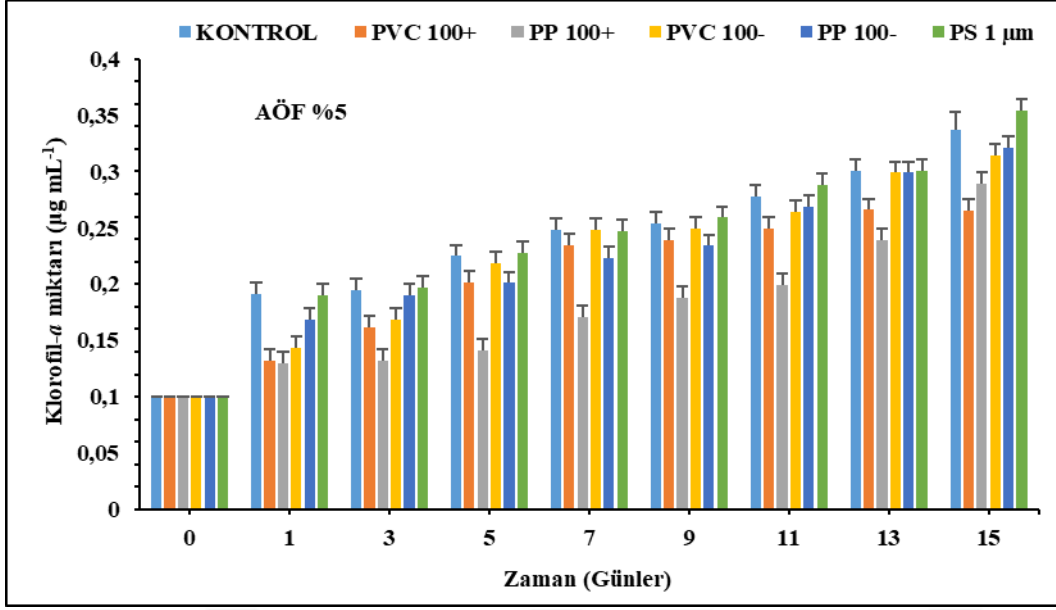
Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Microcystis aeruginosa* kültürlerinde 1. günde PVC 100+, PVC 100-, PP 100-, PS 1 µm mikroplastik türlerinde ve boyutlarında; 3. günde PS 1 µm; 5. günde PVC 100+, PVC 100-, PS 1 µm mikroplastik türlerinde ve boyutlarında; 7.günde PP 100+, PS 1 µm; 9. günde PP 100+, PVC 100-, PP 100-; 11. 13. ve 15. günde PS 1 µm mikroplastik türlerinde ve boyutlarında klorofil-a miktarında anlamlı artış olmuştur ($p>0.05$). Diğer günlerde mikroplastik türlerinde ve boyutlarında, klorofil-a miktarında istatistiksel olarak değişim görülmemiştir.



Şekil 4.13. Mikroplastiklerin *Microcystis aeruginosa* klorofil-*a* miktarına etkisi.

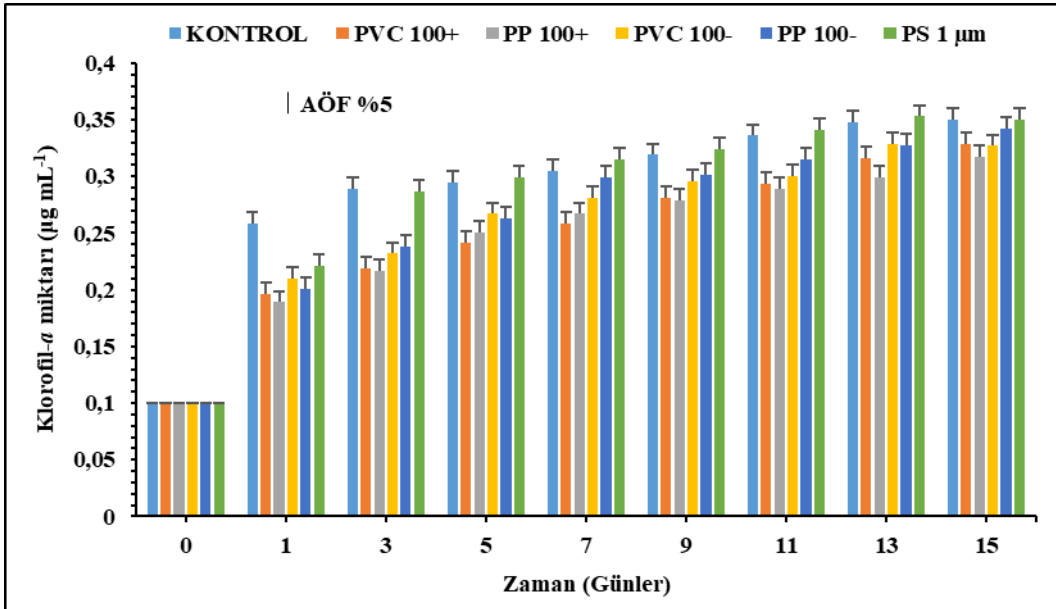
Synechocystis sp. algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin klorofil-*a* üzerine etkisi Şekil 4.14.'de verilmiştir.

Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Synechocystis sp.* kültürlerinde 5.günde PS 1 µm mikroplastik türe ve boyutunda; 7. günde PVC 100+, PVC 100-, PP 100+, PS 1 µm mikroplastik türlerinde ve boyutlarında ; 9. günde PVC 100+, PP 100+, PS 1 µm; 11. günde PVC 100-, PS 1 µm mikroplastik türlerinde ve boyutlarında; 13 ve 15.günde PVC 100-, PS 1 µm mikroplastik türlerinde ve boyutlarında klorofil-*a* miktarında anlamlı artış olmuştur ($p>0.05$). 3. ve 5.günde PP 100+, PP 100, mikroplastik tür ve boyutlarında; 13. ve 15. günde PVC 100 mikroplastik tür ve boyutunda klorofil-*a* miktarında istatistiksel olarak anlamlı azalma görülmüştür ($p<0.05$).



Şekil 4.14. Mikroplastiklerin *Synechocystis sp.* klorofil-*a* miktarına etkisi.

Arthrospira platensis algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin klorofil-*a* üzerine etkisi Şekil 4.15.'de verilmiştir. Çalışma süresi boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Arthrospira platensis* kültürlerinde deney yapılan 3.ve 5. günde tüm mikroplastik tür ve boyutlarında klorofil-*a* miktarında istatistiksel olarak anlamlı azalma görülmüştür ($p < 0.05$).

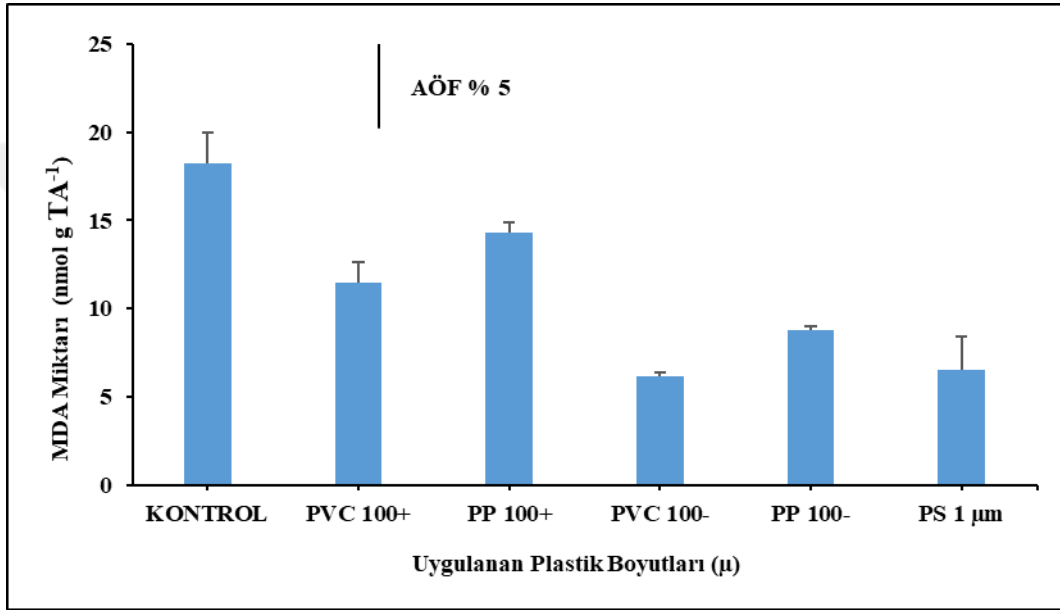


Şekil 4.15. Mikroplastiklerin *Arthrospira platensis* klorofil-*a* miktarına etkisi.

4.2.5. Farklı türlerde ve boyutlardaki mikroplastiklerin MDA miktarına etkisi

Microcystis aeruginosa algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin MDA miktarına etkisi Şekil 4.16.'de verilmiştir.

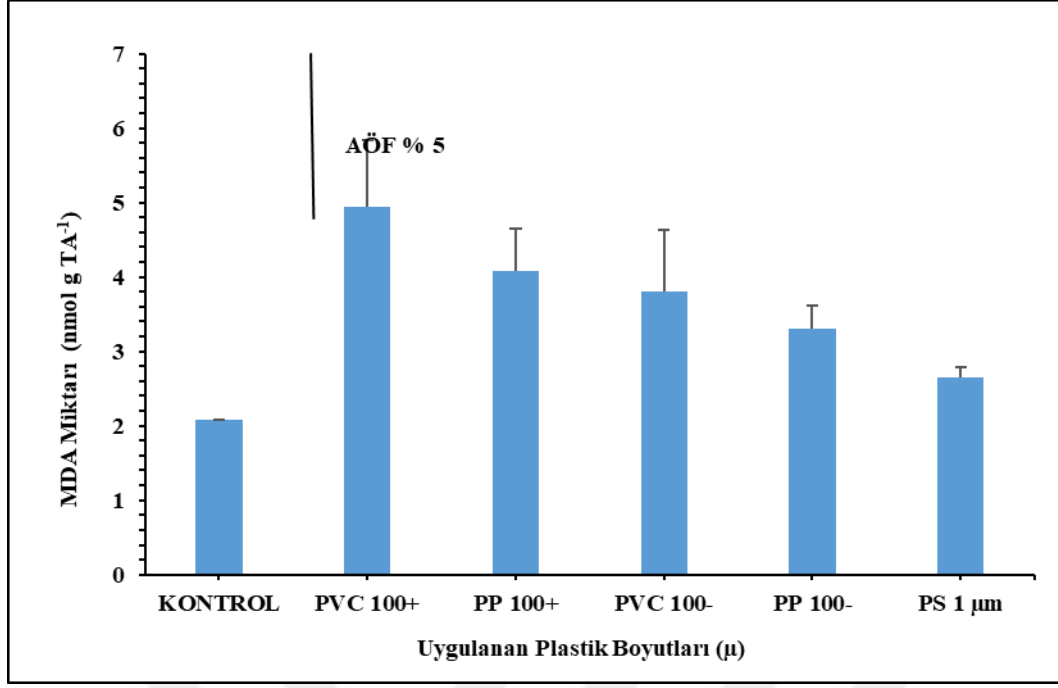
Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Microcystis aeruginosa*'nın PVC 100+, PP 100+, PVC 100-, PP 100- boyutlarında anlamlı azalış göstermişlerdir. MDA miktarının en yüksek (14,28 nmol g TA⁻¹) ve en düşük (6,48 nmol g TA⁻¹) olduğu değerler sırasıyla PP 100 + ve PS 1 µm plastik boyutlarında tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. Mikroplastiklerin *Microcystis aeruginosa* MDA miktarına etkisi.

Synechocystis sp. algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin MDA miktarına etkisi Şekil 4.17.'de verilmiştir.

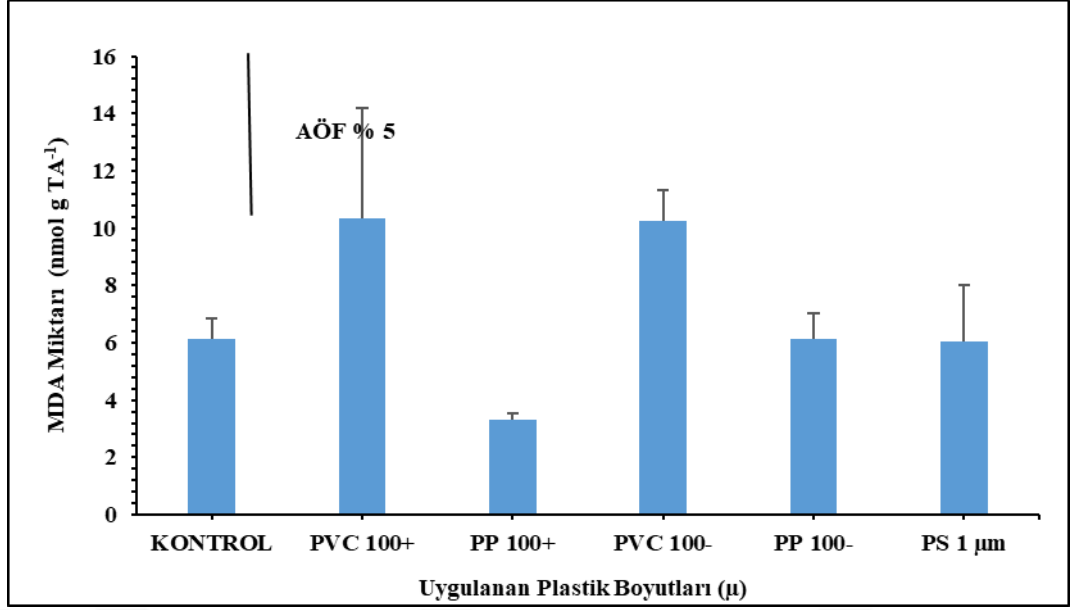
Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Synechocystis sp.*'nin PVC 100+, PP 100+, PVC 100-, PP 100-boyutlarında kontrole göre anlamlı değişim görülmemiştir. MDA miktarı PS 1 µm konsantrasyonlarında istatistiksel olarak anlamlı artmıştır ($p > 0.5$). MDA miktarının en yüksek (4,94 nmol g TA⁻¹) ve en düşük (2,65 nmol g TA⁻¹) olduğu değerler sırasıyla PVC 100+ ve PS 1 µm plastik boyutlarında tespit edilmiştir.



Şekil 4.17. Mikroplastiklerin *Synechocystis sp.* MDA miktarına etkisi.

Arthrospira platensis algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin MDA miktarına etkisi Şekil 4.18.'de verilmiştir.

Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Arthrospira platensis*' in MDA miktarı PVC 100+, PP 100+, PVC 100-, PP 100-boyutlarında kontrole göre anlamlı değişim göstermemiştir. MDA miktarı PS 1 µm boyutlarında istatistiksel olarak anlamlı konsantrasyonlarında istatistiksel olarak anlamlı değişim görülmüştür ($p>0.5$). MDA miktarının en yüksek (10,34 nmol g TA⁻¹) ve en düşük (3,31 nmol g TA⁻¹) olduğu değerler PVC 100+ µm ve PP 100+ µm boyutlarında tespit edilmiştir.

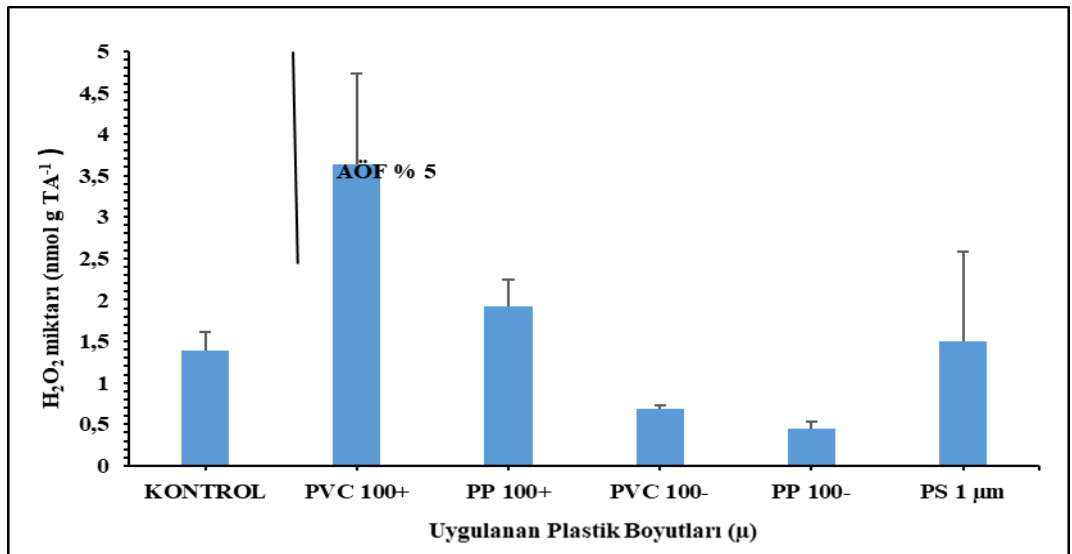


Şekil 4.18. Mikroplastiklerin *Arthrospira platensis* MDA miktarına etkisi.

4.2.6. Farklı türlerde ve boyutlardaki mikroplastiklerin alglerin H₂O₂ miktarına etkisi

Microcystis aeruginosa algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin H₂O₂ miktarına etkisi Şekil 4.19’da verilmiştir.

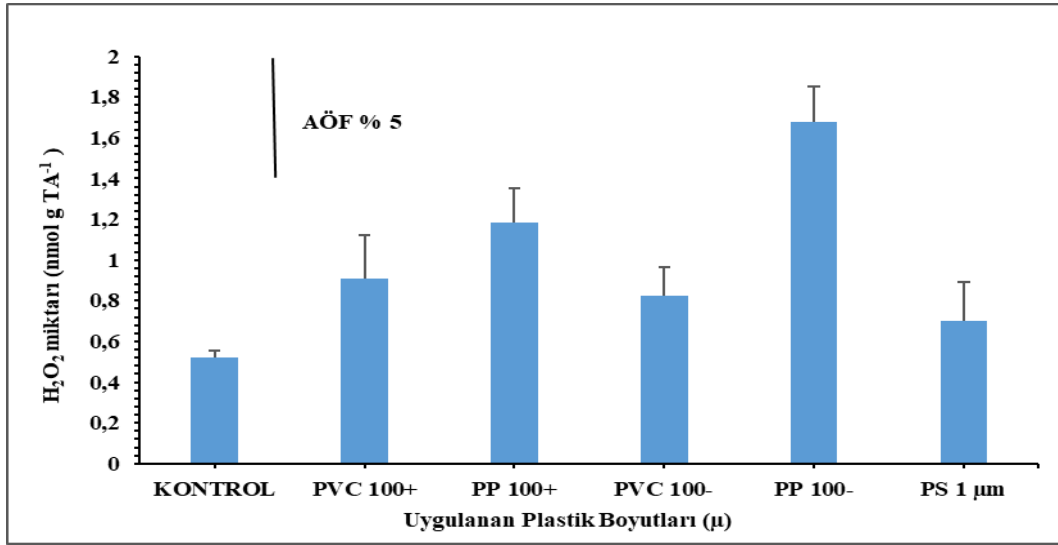
Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı boyutlardaki plastik etkisine maruz bırakılan *Microcystis aeruginosa*’nın H₂O₂ miktarı PVC 100+, PP 100+, PVC 100-, PP 100- anlamlı değişim gözlemlenmemiştir. PS 1 µm boyutlarında anlamlı değişim gözlenmiştir ($p>0.5$). H₂O₂ miktarının en yüksek (3,63 nmol g TA⁻¹) ve en düşük (0,44 nmol g TA⁻¹) olduğu değerler sırasıyla PVC 100+ ve PP 100- plastik boyutlarında tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Mikroplastiklerin *Microcystis aeruginosa* H₂O₂ miktarına etkisi.

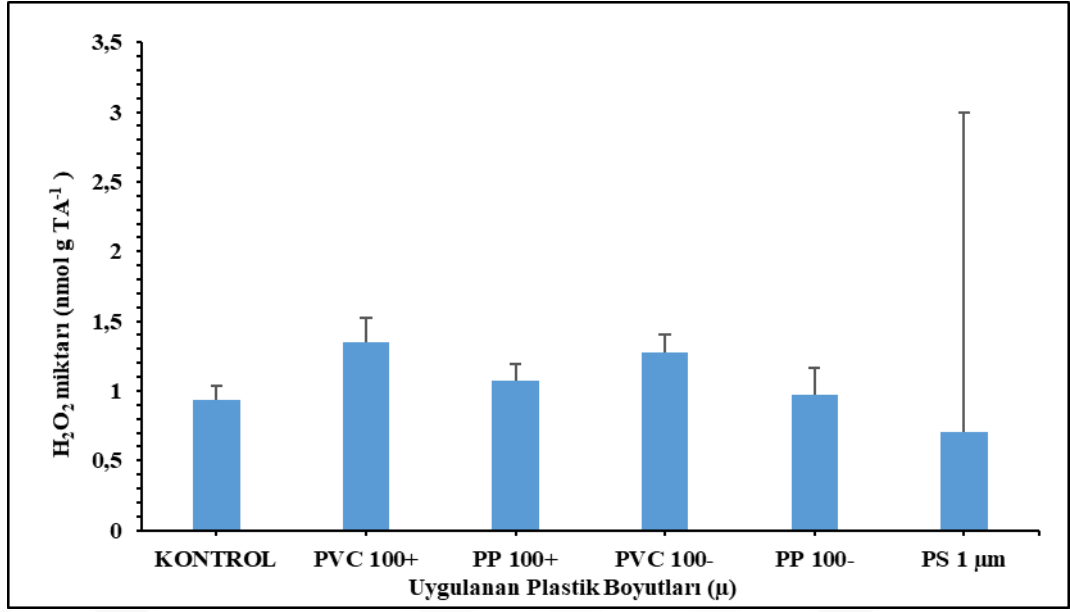
Synechocystis sp. algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin H₂O₂ miktarına etkisi Şekil 4.20.'de verilmiştir.

Çalışma süresi boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Synechocystis sp.* 'nin H₂O₂ miktarı PVC 100+, PP 100+, PVC 100-, PP 100- plastik boyutlarında anlamlı değişim göstermemiştir. H₂O₂ miktarı PS boyutlarında anlamlı artış görülmüştür ($p>0.5$). H₂O₂ miktarının en yüksek (1,67 nmol g TA⁻¹) ve en düşük (0,69 nmol g TA⁻¹) olduğu değerler sırasıyla PP 100- ve PS 1 µm plastik boyutlarında tespit edilmiştir.



Şekil 4.20. Mikroplastiklerin *Synechocystis sp.* H₂O₂ miktarına etkisi.

Arthrospira platenis algine uygulanan farklı tür ve boyutlarda mikroplastiklerin H₂O₂ miktarına etkisi Şekil 4.21.'de verilmiştir.Çalışma süreci boyunca günler kendi aralarında kıyaslandığında, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik etkisine maruz bırakılan *Arthrospira platenis* 'in H₂O₂ PVC 100+, PP 100+, PVC 100-, PP 100- plastik boyutlarında anlamlı değişim gözlenmemiştir. H₂O₂ miktarı PS 1 µm boyutlarında anlamlı artış göstermiştir ($p>0.5$).



Şekil 4.21. Mikroplastiklerin *Arthrospira platenis* H₂O₂ miktarına etkisi.



5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada *Microcystis aeruginosa*, *Synechocystis sp.* ve *Arthrospira platensis* algleri üzerine farklı tür ve boyutlarda bulunan mikroplastiklerin etki etmesi sonucu alglerin, hücre sayısı, OD560 absorbansı, askıda katı madde, klorofil-*a*, hidrojen peroksit ve malondialdehit miktarı değerlerinde görülen değişimler araştırılmıştır.

Mikroplastığın mikroalgelere karşı toksisitesi; mikroplastiklerin türüne, boyutuna, yüzey özelliklerine, konstantrasyonlarına ve mikroalgelerin mikroplastiklere maruz kalma süresine gibi birçok değişkene bağlıdır.

Çalışmamızda üç siyanobakteri türünün de klorofil-*a* değerlerinin, hücre yoğunluğunun ve hücre sayılarını ve AKM miktarlarını farklı derecelerde etkilendiği gözlenmiştir.

Mikroplastiklerin mikroalge karşı etki şekli çok karmaşıktır. Tipik bir alg hücresi duvarı gözenek boyutunun < 20 nm olduğu (çoğu tek mikroplastiklerden daha küçük) olduğu düşünüldüğünde, bu organizmalar ve mikroplastikler arasında iki etkileşim etkisine işaret edilebilir. Bunlardan ilki mikroplastiklerin, hücre duvarları yoluyla mikroalgleri etkileyebilme veya sonunda sitotoksik etkilere yol açabilecek doğrudan temastan sonra zar hasarı oluşturma (Zhang ve ark., 2017 ; Liu ve ark., 2019) ve diğer etki olarak mikroplastiklerin, su sütunundaki gölgeleme etkisi (ışığa erişimin azalması) yoluyla mikroalgleri etkileyebilme ve bu da fotosentez işlemlerini tehlikeye atabilme etkileridir (Bhattacharya ve ark., 2010; Liu ve ark., 2019; Wang ve ark., 2020). Mikroplastikler ayrıca ozmotik basıncı artırarak ve biyobileşen kompozisyonlarını (karbonhidrat, lipid ve protein seviyeleri dahil) değiştirerek alg hücrelerine fiziksel olarak zarar verebilir (Manzi ve ark.,2022).

Bhattacharya ve ark . (2010), yaptıkları çalışmalarda daha önce büyük boyutlu mikroplastiklerin neden olduğu gölgeleme etkisinin fotosentez depresyonunun ana nedeni olduğunu savunmuştur. Son araştırmalar (Liu ve ark, 2019), bu tartışmayı açıklığa kavuşturan daha fazla fikir vermektedir. Örneğin, Liu ve ark. (2019),farklı

boyutlara (0.1, 0.5, 1 ve 2 μm) sahip 5 tip polistirenin etkisini araştıran, büyük boyutlu mikroplastiklerin fotokimyasal reaksiyon merkezinde ışık dönüştürme verimliliğini önemli ölçüde azalttığını bulmuştur.. Yazarlar, mikroplastiklerin boyutlarının mikroalglerin fotosentezini önemli ölçüde etkileyebileceği ve büyük mikroplastik boyutlarının ışık blokajı yoluyla fotokimyasal reaksiyon merkezindeki ışık dönüşüm verimliliğini azalttığını sonucuna varmışlardır(Parsai ve ark., 2022).

Sunulan 15 günlük çalışma süresince, *Microcystis aeruginosa*, *Synechocystis sp* ve *Arthrospira platensis* alglerinde 100 μm ' dan büyük polivinilklorür ve polipropilen mikroplastiklerinde hücre yoğunluklarında azalma gerçekteşmiş, 100 μm ' dan küçük polivinilklorür ve polipropilen mikroplastiklerinde ve 1 μm boyutunda olan polistiren mikroplastığında hücre yoğunluğunda herhangi bir azalma gözlemlenmemiştir. Her deney grubunda hücre yoğunluğu ve optik yoğunluğu doğru orantılı bir şekilde ilerlediği gözlemlenmiştir. Mikroplastik boyutu 100 μm 'dan küçük PP ve PVC türlerinde her siyanobakteri kültürü için klorofil-*a* miktarlarında belirli bir artış yaşanırken 1 μm boyutunda olan polistirende diğer küçük boyutlu mikroplastiklere göre daha fazla bir artış olmuştur. Bu sonuça bizlere siyanobakterilerde mikroplastik boyutunun büyüdükçe fotosentezin olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermektedir.

Çalışmamızda, farklı tür ve boyutlarda mikroplastik uygulanan *Microcystis aeruginosa* bütün boyutlarda anlamlı azalış göstermiş olduğu; *Synechocystis sp* kültürlerinde PS 1 μm boyutlarında anlamlı azalış, diğer tür ve boyutlarda anlamsızlık gösterdiği ve *Arthrospira platensis* kültürlerinde sadece PS 1 μm boyutlarında anlamlı artış gösterdiği gözlenmiştir. MDA miktarında ve H_2O_2 miktarındaki değişimler arasında pozitif bir ilişki gözlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre artan oksidatif stres ile membrandaki lipid peroksidasyon artışı gerçekteşmekte ve buna bağlı MDA miktarında artış gözlenmektedir. Farklı tür ve boyutlarda mikroplastik uygulanan deney düzeneğinde, *Synechocystis sp*. kültüründe H_2O_2 miktarı PP 100 + da anlamlı artış göstermiş olup grafiklerdeki artış görölse de istatistiksel olarak anlamsız artış vardır. *Arthrospira platensis* algi kültürlerinin H_2O_2 miktarı PS 1 μm boyutunda artış bu durum hücrenin strese girdiğini anlamına gelmektedir.

Bu çalışmanın amacı; sucul ekosistem üzerine farklı boyut ve türlerde bulunan mikroplastiklerin stresinin olası etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalara katkıda bulunmaktır. Üç farklı tür olarak kullanılan mikroplastikler farklı boyutlarda kullanılarak siyanobakteri kültürleri üzerine etkisi klorofil-*a* ve hücre yoğunluğuındaki

değişimler ile malondialdehit ve hidrojen peroksit miktarındaki değişimler araştırılmıştır. İlerleyen periyotlarda *Microcystis aeruginosa*, *Synechocystis sp.* ve *Arthrospira platensis* algleri üzerinde mikroplastiklerin birikim mekanizması ve antioksidan parametrelerin oluşturduğu yanıtlar ve bunların genetik temeli ile ilgili çalışmalar yapılabilir.





KAYNAKÇA

- Adegoke, K. A., Adu, F. A., Oyebamiji, A. K., Bamisaye, A., Adigun, R. A., Olasoji, S. O., & Ogunjinmi, O. E. (2023). Microplastics toxicity, detection, and removal from water/wastewater. *Marine Pollution Bulletin*, *187*, 114546. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2022.114546>.
- Alimba, C. G., & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. In *Environmental Toxicology and Pharmacology* (Vol. 68, pp. 61–74). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001>.
- Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2014). *Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions*. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.01.004>.
- Brown, E., MacDonald, A., Allen, S., & Allen, D. (2023). The potential for a plastic recycling facility to release microplastic pollution and possible filtration remediation effectiveness. *Journal of Hazardous Materials Advances*, *10*, 100309. <https://doi.org/10.1016/J.HAZADV.2023.100309>.
- Carmichael, W. (n.d.). *Cyanobacterial secondary metabolites-the cyanotoxins*. <https://www.researchgate.net/publication/286387885>.
- Carr, S. A., Liu, J., & Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research*, *91*, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.002>.
- Citterich, F., Lo Giudice, A., & Azzaro, M. (2023). A plastic world: A review of microplastic pollution in the freshwaters of the Earth's poles. *Science of The Total Environment*, *869*, 161847. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.161847>.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science and Technology*, *47*(12), 6646–6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>.
- Desforges, J. P. W., Galbraith, M., Dangerfield, N., & Ross, P. S. (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, *79*(1–2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.035>.
- Dong, Y., Gao, M., Song, Z., & Qiu, W. (2020). As(III) adsorption onto different-sized polystyrene microplastic particles and its mechanism. *Chemosphere*, *239*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124792>.
- Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, *221*, 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013>.

- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Bornerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, 9(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>.
- Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson, M. I., & Christie-Oleza, J. A. (2019). Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 369, 691–698. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.067>.
- F.De Fillipis, L., Hampp, R., & Ziegler, H. (1981). The Effect of Sublethal Concentrations of Zinc, Cadmium and Mercury on Euglena. Adenylates and Energy Charge. *Zeitschrift Für Pflanzenphysiologie*, 103(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0044-328X\(81\)80234-6](https://doi.org/10.1016/S0044-328X(81)80234-6).
- Iheanacho, S., Ogbu, M., Bhuyan, M. S., & Ogunji, J. (2023). Microplastic pollution: An emerging contaminant in aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 8(6), 603–616. <https://doi.org/10.1016/J.AAF.2023.01.007>.
- Karakehya, N. (n.d.). *TÜKETİM TOPLUMUNUN ÇEVRESEL ETKİLERİ (Environmental Effects of the Consumerist Society) Preparation and characterization of biomass-polymer composites View project*. <https://www.researchgate.net/publication/258050819>.
- Kayan, A., Ayşe, *, & ** K. (2020). *Plastik Kirliliğin Çevresel Zararları ve Çözüm Önerileri* (Vol. 22, Issue 2).
- KOCA, H. M., DEMİR, A. N., & ALP, M. T. (2019). İÇSULARDA SİYANOBAKTERİ ARTIŞLARI VE OLUŞTURDUĞU RİSKLER. *Ziraat Mühendisliği*, 0(367), 25–35. <https://doi.org/10.33724/zm.562579>.
- Koelmans, A. A., Bakir, A., Burton, G. A., & Janssen, C. R. (2016). Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. In *Environmental Science and Technology* (Vol. 50, Issue 7, pp. 3315–3326). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06069>.
- Kumar, R., Mishra, R. K., Mishra, V., Qidwai, A., Pandey, A., Shukla, S. K., Pandey, M., Pathak, A., & Dikshit, A. (2015). Detoxification and Tolerance of Heavy Metals in Plants. In *Plant Metal Interaction: Emerging Remediation Techniques* (pp. 335–359). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00013-8>.
- Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., & Rothen-Rutishauser, B. (2019). Emergence of Nanoplastic in the Environment and Possible Impact on Human Health. In *Environmental Science and Technology*. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05512>.
- Leong, Y. K., & Chang, J. S. (2020a). Bioremediation of heavy metals using microalgae: Recent advances and mechanisms. In *Bioresource Technology* (Vol. 303). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122886>.
- Leong, Y. K., & Chang, J. S. (2020b). Bioremediation of heavy metals using microalgae: Recent advances and mechanisms. In *Bioresource Technology* (Vol. 303). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122886>.

- Lusher, A. L., Burke, A., O'Connor, I., & Officer, R. (2014). Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: Validated and opportunistic sampling. *Marine Pollution Bulletin*, 88(1–2), 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.023>.
- Okubo, N., Takahashi, S., & Nakano, Y. (2018). Microplastics disturb the anthozoan-algae symbiotic relationship. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.016>.
- Özdemir, S. (2008). *Ağır Metallerin Değişik Termofilik Bakterilerdeki Akümüasyonu, Biyosorbsiyonu ve Çevre Biyoteknolojisinde Kullanımı Üzerine Çalışmalar*.
- Özkan, G. (2009). *Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısız Kırsal Alandaki Hava Kalitesi: Muallimköy`de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği*.
- Parsai, T., Figueiredo, N., Dalvi, V., Martins, M., Malik, A., & Kumar, A. (2022). Implication of microplastic toxicity on functioning of microalgae in aquatic system. In *Environmental Pollution* (Vol. 308). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119626>.
- Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? In *Environmental Pollution* (Vol. 234, pp. 115–126). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>.
- Seeruttun, L. D., Raghbor, P., & Appadoo, C. (2023). Mangrove and microplastic pollution: A case study from a small island (Mauritius). *Regional Studies in Marine Science*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102906>.
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., Muñoz, K., Frör, O., & Schaumann, G. E. (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? In *Science of the Total Environment* (Vol. 550, pp. 690–705). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.153>.
- Talukdar, A., Bhattacharya, S., Bandyopadhyay, A., & Dey, A. (2023). Microplastic pollution in the Himalayas: Occurrence, distribution, accumulation and environmental impacts. *Science of The Total Environment*, 874, 162495. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.162495>.
- Tekbaba, A. G. (2019). *Sülfonat Grupları İle Substitue Edilmiş Suda Çözünür Fitalosiyeninlerin Chlorella Vulgaris Gelişimi Ve Antioksidan Parametreleri Üzerine Etkisi*.
- Thompson, R. C., Olson, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>.
- Tong, Y., Lin, L., Tao, Y., Huang, Y., & Zhu, X. (2023). The occurrence, speciation, and ecological effect of plastic pollution in the bay ecosystems. *Science of The Total Environment*, 857, 159601. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.159601>.
- Üçüncü Tunca, E., Üniversitesi, H., & Tıp Bilimleri Bölümü, D. (2020). Sources, Adsorption and Toxicity of Global Threat Microplastics Küresel Tehdit Mikroplastiklerin Kaynakları, Adsorpsiyonu ve Toksisitesi Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi Cilt: 6 Sayı: 2 (2020) 120-136. In *Review Article Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences* (Issue 2).

- Wang, Z., Zhang, Y., Kang, S., Yang, L., Shi, H., Tripathee, L., & Gao, T. (2021). Research progresses of microplastic pollution in freshwater systems. In *Science of the Total Environment* (Vol. 795). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148888>.
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. In *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)* (Vol. 178, pp. 483–492). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>.
- Yurtsever, M. (n.d.-a). *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Mikroplastikler'e Genel Bir Bakış (Microplastics: An Overview)*.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyadı : Fatma GÜZEL YILMAZ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
- **Lisans** : 2022, Anadolu Üniversitesi, Kamu Yönetimi Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2022 yılından beri İstanbul İl Ticaret Müdürlüğünde memur olarak görev yapmaktayım.