

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALGLERE AĞIR METAL VE MİKROPLASTİK ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ÜNVANLI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

AĞUSTOS 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALGLERE AĞIR METAL VE MİKROPLASTİK ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ÜNVANLI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nurtaç ÖZ

AĞUSTOS 2023

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 “**Algilere Ağır Metal ve Mikroplastik 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 alındığını çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(İmza)

Abdullah ÜNVANLI

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca destek ve emeğini esirgemeyen, bilgi ve birikiminden yararlandığım, karşılaştığım her türlü zorluğun üstesinden gelmemi sağlayan ve farklı bakış açısı kazandıran saygıdeğer tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nurtaç Öz'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmam esnasında manevi destek veren ve çalışma ortamını keyifli bir hale dönüştüren Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nursel KIRATLI YILMAZÇOBAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam esnasında beni destekleyen Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Yapım Dairesi Başkanlığı Bozüyük II. Demiryolu Yapım Grup Müdürü Sayın Kenan Oğula Teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında birikiminden yararlandığım Sayın Ayşegül TEKBABA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi bu aşamada da manevi desteklerini benden esirgemeyen, hep yanımda olan annem Gülizar ÜNVANLI ve babam Eyüp ÜNVANLI 'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Abdullah ÜNVANLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
SUMMARY	xxiii
1.GİRİŞ	1
1.1. Mikroalgler	2
1.1.1. Mikroalg gelişimi için gerekli şartlar ve besinler	3
1.1.1.1. Işık.....	4
1.1.1.2. Sıcaklık.....	4
1.1.1.3. pH.....	4
1.1.1.4. Tuzluluk	5
1.1.1.5. Nütrientler	5
1.2. Ağır Metaller	5
1.2.1. Ağır metallerin sucul ekosistemlere etkileri	6
1.2.2. Ağır metallerin kara ekosistemlerine etkileri	8
1.3. Mikroplastikler	9
1.3.1. Mikroplastiklerin su ekosistemlerine etkisi	11
1.3.2. Mikroplastiklerin kara ekosistemlerine etkisi	12
1.4. Mikrobiyal Enzim Aktivitesi Sonucu Oluşan Ürünler	14
1.4.1. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂)	14
1.4.2. Malondialdehit (MDA)	15
1.5. Çalışmada Kullanılan Yeşil ve Mavi-Yeşil Algler.....	15
1.5.1. <i>Chlorella vulgaris</i>	15
1.5.2. <i>Microcystis aeruginosa</i>	16
1.5.3. <i>Arthrospira platensis</i>	17
1.6. Literatür Taraması	18
1.7. Çalışmanın Amacı	23
2. MATERYAL VE METOD	25
2.1. Çalışma Materyali	25
2.2. Kullanılan Cihazlar	25
2.3. Yöntem	25
2.3.1. Hücre kültürünün hazırlanması	25
2.3.2. Uygulanan ağır metal çeşitleri ve konsantrasyonları	27
2.3.3. Uygulanan mikroplastik çeşitleri ve boyutları	27
2.3.4. Deney ortamı ve düzeneği.....	28
2.4. Ölçüm ve Analizler	28
2.4.1. Optik yoğunluk (OD) ve büyüme oranının belirlenmesi	28

2.4.2. Toplam biyokütle analizi.....	29
2.4.3. Fotosentetik pigment analizi (Klorofil- <i>a</i>)	29
2.4.4. Mikroskopik hücre sayımı.....	30
2.4.5. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) miktar analizi.....	30
2.4.6. Malondialdehit miktar analizi	30
2.4.7. İstatistiksel analizler	31
3. BULGULAR	33
3.1. Optik Yoğunluk (OD).....	33
3.2. Askıda Katı Madde (AKM).....	43
3.3. Fotosentetik Pigment Analizi (Klorofil- <i>a</i>)	53
3.4. Hücre Sayısının Zamana Bağlı Değişimi	65
3.5. Malondialdehit (MDA) Miktarı.....	70
3.6. Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) Miktarı	79
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	109

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
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinilklorür
PS	: Polistiren
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
TBA	: Tiyobarbitürikasit
TCA	: Trikloroasetikasit
Tris	: Tris (Hidroksimetil) aminometan
µm	: Mikrometre

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
V	: Hacim
w	: Ağırlık

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Kullanılan cihazlar	25
Tablo 2.2. BG-11 besi ortamı içeriği (Andersen, 2005; RiPPka ve ark., 1979).....	26
Tablo 2.3. <i>Spirulina</i> medium besi yeri içeriği.....	27
Tablo 3.1. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	65
Tablo 3.2. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	65
Tablo 3.3. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cd ⁺² konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	66
Tablo 3.4. <i>Microcystis aeruginosa</i> 'nın Cd ⁺² konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	66
Tablo 3.5. <i>Arthrospira platensis</i> 'in Cd ⁺² konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	67
Tablo 3.6. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	67
Tablo 3.7. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	68
Tablo 3.8. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	68
Tablo 3.9. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	68
Tablo 3.10. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	69
Tablo 3.11. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.....	69
Tablo 3.12. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in zamana bağlı olarak 100 µm den küçük çaptaki PP ve PVC, 100 µm den büyük çaptaki PP, PVC ve 1 µm çapındaki PS mikroplastığına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Denizel ortamda birincil plastiklerden bazıları; 1-3: Fiberler, 4-6: mikro boncuklar, 7: Pelet (Esensoy ve ark., 2020).....	12
Şekil 1.2. Toprakta bulunan bazı plastik türleri; a,b,c yapı kompostundan kaynaklı görünür plastik pet,d: mavi kapak, e: lif, f-g: şişe(Blasting ve Amelung, 2018).	14
Şekil 1.3. <i>Chlorella vulgaris</i> mikroskop görüntüsü.....	16
Şekil 1.4. <i>Microcystis aeruginosa</i> mikroskop görüntüsü.	17
Şekil 1.5. <i>Arthrospira platensis</i> mikroskop faz görüntüsü.....	18
Şekil 3.1. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına bağlı OD 560 nm absorbansındaki değişimi.	33
Şekil 3.2. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.....	34
Şekil 3.3. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cd^{+2} konsantrasyonlarına bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.....	35
Şekil 3.4. <i>Microcystis aeruginosa</i> 'nın Cd^{+2} konsantrasyonlarına bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.....	36
Şekil 3.5. <i>Arthrospira platensis</i> 'in Cd^{+2} konsantrasyonlarına bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.....	37
Şekil 3.6. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.	38
Şekil 3.7. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.	38
Şekil 3.8. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve polistiren mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.	39
Şekil 3.9. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.	40
Şekil 3.10. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.	41
Şekil 3.11. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve polistiren mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.	42
Şekil 3.12. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastik maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.	43
Şekil 3.13. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.	44
Şekil 3.14. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.	45
Şekil 3.15. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cd^{+2} farklı konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.	45
Şekil 3.16. <i>Microcystis aeruginosa</i> 'nın Cd^{+2} farklı konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.	46

Şekil 3.17. <i>Arthrospira platensis</i> 'in Cd ⁺² farklı konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.	47
Şekil 3.18. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.	48
Şekil 3.19. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.	49
Şekil 3.20. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.	49
Şekil 3.21. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.	50
Şekil 3.22. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.	51
Şekil 3.23. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.	52
Şekil 3.24. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastik maruziyetine bağlı askıda katı madde değişimi.	53
Şekil 3.25. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	54
Şekil 3.26. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	55
Şekil 3.27. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cd ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	56
Şekil 3.28. <i>Microcystis aeruginosa</i> 'nın Cd ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	57
Şekil 3.29. <i>Arthrospira platensis</i> 'in Cd ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	58
Şekil 3.30. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne maruziyetine bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	59
Şekil 3.31. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne maruziyetine bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	59
Şekil 3.32. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne maruziyetine bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	60
Şekil 3.33. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne maruziyetine bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	61
Şekil 3.34. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyetine bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	62
Şekil 3.35. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyetine bağlı olarak klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	63
Şekil 3.36. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastik maruziyetine bağlı klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişimi.	64
Şekil 3.37. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	70
Şekil 3.38. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	71
Şekil 3.39. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cd ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	72
Şekil 3.40. <i>Microcystis aeruginosa</i> 'nın Cd ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	73
Şekil 3.41. <i>Arthrospira platensis</i> 'nın Cd ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	73

Şekil 3.42. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	74
Şekil 3.43. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	75
Şekil 3.44. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	76
Şekil 3.45. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	76
Şekil 3.46. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	77
Şekil 3.47. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.	78
Şekil 3.48. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastiklere maruziyetine bağlı olarak MDA miktarındaki değişimi.	78
Şekil 3.49. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	79
Şekil 3.50. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	80
Şekil 3.51. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cd ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	81
Şekil 3.52. <i>Microcystis aeruginosa</i> 'nın Cd ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	82
Şekil 3.53. <i>Arthrospira platensis</i> 'in Cd ⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	83
Şekil 3.54. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	84
Şekil 3.55. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	85
Şekil 3.56. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	86
Şekil 3.57. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	87
Şekil 3.58. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	88
Şekil 3.59. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Pb ⁺² konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ ürün miktarındaki değişimi.	89
Şekil 3.60. <i>Chlorella vulgaris</i> 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastiklere maruziyetine bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H ₂ O ₂ miktarındaki değişimi.	90

ALGLERE AĞIR METAL VE MİKROPLASTİK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Artan dünya nüfusu ile tüketim talebinin karşılanması için küresel çapta üretim mekanizmaları artmıştır. Artan bu üretim mekanizmalarından ve bazı faaliyetlerden kaynaklı kirlilikler meydana gelmiş olup oluşan kirlilikler ekosistemimize ciddi zararlar vermektedir. Madencilik, kimyasal işleme tesisleri, metal sanayi gibi faaliyet gösteren sektörlerden kaynaklı ağır metal kirliliği çevresel ekosistemlerimizi tehdit etmektedir. Çevresel ekosistemlerin bu kirliliğe maruz kalması ekosistemde yaşayan canlıları etkilemekte olup bu canlılarda kalıcı toksik etkilere sebebiyet vermektedir. Çevresel ekosistemleri etkileyen diğer bir kirlilik kaynağı ise mikroplastiklerdir. Dünyanın her yerine yayılım göstermiş olan bu kirlilik kaynağı sınırsız üretim yapan başta büyük ülkelerden ve diğer ülkelerin tamamından hızlı bir şekilde yayılım göstermektedir. Mikroplastik kirliliği yayılım gösterdiği ekosistemde uzun süre kalarak organizmaları etkiler ve ciddi zararlar verir.

Ağır metal ve mikroplastik kirliliğinin çevresel ekosistemlere verdiği zarar canlı yaşamını tehdit eder olup özellikle sucul ekosistemlerde varlığını sürdüren organizmalar, ağır metallerin suda çözünmesi sebebiyle daha fazla risk altına girmektedir. Sucul ekosistemleri tehdit etmesi ve fotosentez kapasitesini düşürmesi sebebiyle özellikle mikroalgler üzerinde stres koşulları oluşturması olası görülmektedir. Bu çalışmada *Chlorella vulgaris* yeşil alg'i ve *Microcystis aeruginosa*, *Arthrospira platensis* mavi-yeşil alglerinin üç farklı ağır metale ve bunların konsantrasyonlarına, farklı tür ve çaptaki mikroplastiklere maruziyeti sonucu oluşan etkiler incelenmiştir. Yapılan çalışmada mikroalgler'in metal ve mikroplastik maruziyetine verdiği tepkileri anlamak için OD560 değerleri, klorofil-a, askıda katı madde, hücre sayımı, Malondialdehit ve hidrojen peroksit miktarları incelenmiştir.

Yürütülen çalışmada *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* ve *Arthrospira platensis* ağır metallere maruz bırakılmış olup *Chlorella vulgaris* için kurşun, bakır ve kadmiyum; *Microcystis aeruginosa* ve *Arthrospira platensis* için kadmiyum ağır metallerinin farklı konsantrasyonları (0.5-1-2.5-5-10 mg/L) seçilmiştir. Deney süresi boyunca en yüksek konsantrasyonda (10 mg/L) metal maruziyeti etkisinde olan kültürde klorofil-a miktarı, OD 560 değerleri ciddi düşüşler göstermiş alg hücrelerinde büyüme ve gelişim yavaşlamış ölümler başlamıştır. Toksik etkinin fazla olması sebebiyle yapılan analizlerde en yüksek konsantrasyona maruz bırakılan kültürlerde malondialdehit ve hidrojen peroksit miktarları yüksek çıkmıştır. Malondialdehit ve hidrojen peroksit miktarlarının yüksek olması ağır metal konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak hücredeki toksik etkinin ve yıkımın fazla olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Başka bir deney setinde *Chlorella vulgaris* yeşil alg'i bakır ve kurşun ağır metallerinin farklı konsantrasyonları (0.5-1-2.5 mg/L) ile 100 µm den küçük çapa sahip polipropilen, polivinilklorür ve polistiren mikroplastikleri nin etkisi altına bırakılmış olup zamana bağlı olarak *Chlorella vulgaris* hücrelerindeki büyüme ve gelişim incelenmiştir. Ağır metal toksikliği ve

mikroplastik etkisinin mikroalg hücreleri üzerinde büyüme ve gelişmeyi yavaşlattığı, ölümlere sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. 2.5 mg/L metal ve polivinilklorür mikroplastığı ilavesi yapılan kültürde klorofil-a ve OD 560 değerlerinde azalmalar tespit edilmiş olup aynı kültürün enzim aktivitesi sonucu oluşan malondialdehit ve hidrojen peroksit miktarında artışlar tespit edilmiştir. Yürütülen başka bir sette *Chlorella vulgaris* farklı tür ve çaptaki mikroplastiklere maruz bırakılmış olup mikroplastik türü ve çapı olarak Polipropilen, polivinilklorür mikroplastikleri için 100 µm nin altında ve üstünde, polistiren mikroplastığı için 1µm çap seçilmiştir. Zamana bağlı olarak yapılan bu incelemede bütün kültürler kendi arasında kıyaslandığında en iyi klorofil-*a* artışı 1µm boyutlu polistiren mikroplastığı 'nin eklendiği kültürde tespit edilmiştir. En az klorofil-*a* miktarı ise 100 µm nin üstünde çapa sahip polivinilklorür mikroplastığında tespit edilmiştir. Hidrojen peroksit ve malondialdehit miktarı analiz edilen klorofil-*a* değerleri ile uyumlu tespit edilmiştir. Yapılan bütün çalışmada yürütülen setlerin tamamında saf kültürden oluşan kontrol grubu oluşturulmuştur. Sonuç olarak Ağır metal ve mikroplastiklerin sucül ekosistemlere, bu ekosistemlerde yaşayan organizmalara ciddi zararlar vermekte olduğu anlaşılmaktadır. Ekosistemlerde yaşayan canlıların ağır metal veya mikroplastik kirliliğine maruz kalması, canlılıklarının son bulması maruz kalınan toksik etkinin besin zincirinin üst basamaklarına taşınmasına sebebiyet verecektir.

INVESTIGATION OF HEAVY METAL AND MICROPLASTIC EFFECTS ON ALGAE

SUMMARY

Global production mechanisms have increased in order to meet the consumption demand with the increasing world population. Pollution has occurred due to these increased production mechanisms and some activities. The resulting pollution causes serious damage to our ecosystem. Heavy metal pollution originating from operating sectors such as mining, chemical processing plants, metal industry threatens our environmental ecosystems. Naturally occurring heavy metals are already present in rocks, plants, animals and soil. They exist in the form of ions dissolved in water, in the form of gases, or in the form of minerals or salts in rocks, sand and soils. Heavy metals constitute a large part of inorganic materials and they are spread to our environment due to reasons such as sewage waste areas, pesticides, fertilizers, car exhausts. Heavy metals enter the living body through the skin or directly through the mouth and enter the digestive system. It shows its effect differently by causing accumulation in every organ in the living body. The toxic effects of heavy metals vary depending on the way the metal is taken into the body, the chemical form and biological availability of the metal, and its interaction with other metals in metabolism.

These toxicity mechanisms of heavy metals (such as enzymes, polynucleotides, transport systems of essential nutrients and ions) block functional groups of important molecules. They show their toxic effects by removing or replacing the necessary ions in cellular regions, denaturing or inactivating enzymes, and disrupting the membrane integrity of cells and organelles. Exposure of environmental ecosystems to heavy metal pollution seriously affects the living things in the ecosystem and causes permanent toxic effects on these creatures.

Another source of pollution affecting environmental ecosystems is microplastics. This source of pollution, which has spread all over the world, spreads rapidly from large countries and other countries that produce unlimitedly. Microplastic pollution remains in the ecosystem where it spreads for a long time, affecting organisms and causing serious damage. The country with the highest plastic production in 2020 was China with 32%. After China, which is the largest plastic producer, the USA, Canada and Mexico come. The plastic production share of EU countries is mostly packaging waste. According to the Turkish Plastics Industry monitoring report of the Turkish Plastics Industrialists Research Development and Education Foundation (PAGEV, 2021), the value of 5.4 million tons of plastic products produced in the first half of 2021 in our country is stated as 20.6 billion dollars. The sizes of microplastics, which are widely seen in the environment, vary as a result of different transformation processes such as biodegradation and decomposition, which change their physicochemical properties. Microplastics are broadly classified according to their shape as film (thin layer plastic), foam (foam plastic), fragment (small particle plastic), fiber (fibrous plastic), pellet (round plastic) and granule.

Since microplastics can stay in the body and the environment for a long time, they can cause damage such as metabolism/energy balance changes, impaired immune function, displacement, oxidative stress and cytotoxicity. This contamination can occur through direct skin contact, as well as by ingestion and inhalation. Microplastics, which also have negative effects on plants and animals, are effective in growth and reproduction. Microplastics have a high impact on aquatic environments and are easy to transport. Due to its density, it can cause changes in the physical properties of water as a result of accumulation on the surface. Therefore, reptiles, birds and living creatures in water are adversely affected by the microplastic effect. At the same time, microplastics that enter the structure of any living thing in the aquatic environment can also pass to other living things through transportation and feeding.

The damage caused by heavy metal and microplastic pollution to environmental ecosystems threatens living life, and organisms living in aquatic ecosystems are at greater risk due to the dissolution of heavy metals in water. It is likely to create stress conditions, especially on microalgae, as it threatens aquatic ecosystems and reduces photosynthesis capacity.

In this study, the effects of exposure of *Chlorella vulgaris* green algae and *Microcystis aeruginosa*, *Arthrospira platensis* blue-green algae to three different heavy metals and their concentrations, and to microplastics of different types and diameters were investigated. In the study, OD 560 values, chlorophyll-*a*, suspended solids, cell count and the amount of malondialdehyde and hydrogen peroxide formed as a result of enzyme activities were examined to understand the reactions of microalgae to metal and microplastic exposure. OD 560 and chlorophyll-*a* values were determined with the help of spectrophotometer, and the amount of suspended solids was determined by weighing the cultures after they were filtered and dried with the help of a vacuum air pump and filter paper. Cell counts were determined by counting on a well slide under the microscope. All parameters (light, temperature, pH, nutrient elements) required for the growth of algal cells on day zero were stabilized by providing standard conditions in the whole study. Until the last day of the examinations, the light was kept constant at 60 micromolphoton/m²s and the temperature at 25 ± 2 °C, and no nutrients were added to the cultures, including the control group.

In the study conducted, *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* and *Arthrospira platensis* were exposed to heavy metals and lead, copper and cadmium for *Chlorella vulgaris*; Different concentrations of cadmium heavy metals (0.5-1-2.5-5-10 mg/L) were selected for *Microcystis aeruginosa* and *Arthrospira platensis*. In addition to the established experimental sets, a control group was formed for three algae separately. During the experiment, OD 560, chlorophyll-*a*, suspended solids amounts were examined and cell counts were made for 13 days in the experimental sets prepared for the concentrations of three different heavy metals. When *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* and *Arthrospira platensis* algae exposed to heavy metal concentrations were examined, the lowest OD 560, chlorophyll-*a*, suspended solids amount and cell counts were determined in the culture with 10 mg/L concentration of copper, lead and cadmium heavy metals. Growth and development slowed down in algal cells with L metal concentration, and death began.

In the analyzes made due to the high toxic effect, the amounts of malondialdehyde and hydrogen peroxide, which are the products of enzyme activities, were found to be high in cultures exposed to the highest concentration. The high amount of malondialdehyde and hydrogen peroxide can be considered as an indication that the toxic effect and

destruction in the cell is high due to the increase in heavy metal concentrations. The higher the heavy metal concentration in the culture, the higher the toxicity, and an increase in the amount of enzyme product is observed. The lowest OD 560 and chlorophyll-*a* values were detected in cultures with a heavy metal concentration of 0.5 mg/L, valid for three algae, and the highest cell count was made at the same concentration. When the metal concentration of 0.5 mg/L was examined, it was observed that the amounts of malondialdehyde and hydrogen peroxide were low. It has been determined that living biomass continues to live at low concentrations of heavy metal compared to other concentrations.

In another set of experiments, *Chlorella vulgaris* green algae was exposed to different concentrations of copper and lead heavy metals (0.5-1-2.5 mg/L) and polypropylene, polyvinylchloride and 1 µm polystyrene microplastics with a diameter of less than 100 µm. The growth and development of *Chlorella vulgaris* cells over time were investigated. In the experimental sets established for copper and lead, a separate control group was formed for each. The development and effects in the cells were followed for 13 days. Cultures with a metal concentration of 2.5 mg/L and polyvinylchloride microplastics smaller than 100 µm had lower OD 560, chlorophyll-*a*, and suspended solids than other concentrations. Serious decreases in cell numbers were observed. It has been determined that heavy metal toxicity and microplastic effect slow down growth and development on microalgae cells and cause death. The highest number of cells was detected in culture exposed to 0.5 mg/L metal concentration and 1 µm polystyrene microplastic. Again, the highest OD 560 and chlorophyll-*a* values were determined in the culture with the same metal concentration. When the enzyme product (MDA and H₂O₂) amounts were examined, the lowest 0.5 mg/L metal concentrations were detected in the culture with 1 µm polystyrene microplastic. The highest amount of MDA and H₂O₂ was detected in the culture with a metal concentration of 2.5 mg/L and a polyvinylchloride microplastic smaller than 100 µm. When copper and lead heavy metals are compared among themselves, the most toxic effect was detected in cultures exposed to copper metal concentrations. Lead heavy metal is less toxic.

In another set, *Chlorella vulgaris* was exposed to microplastics of different species and diameters. Polypropylene was chosen as the microplastic type and diameter, for polyvinylchloride microplastics below and above 100µm, for polystyrene microplastics 1 µm diameter was chosen. A control group was formed for this experimental set. In this time-based analysis, all cultures were examined and compared among themselves. The highest chlorophyll-*a* increase was detected in the culture to which 1µm polystyrene microplastic was added. When the amount of suspended solids and the OD 560 value were examined, determinations were made in the culture to which 1 µm diameter polystyrene microplastic was added. The least amount of chlorophyll-*a*, OD 560 and suspended solids content were determined in polyvinylchloride microplastics with a diameter over 100 µm. The amount of hydrogen peroxide and malondialdehyde formed as a result of enzyme activity was observed in accordance with the analyzed chlorophyll-*a* values. Cultures exposed to polystyrene microplastics showed very slow growth for the first three days. Afterwards, the amount of live biomass and suspended solids increased.

When heavy metal sources are examined, heavy metal pollution spreading to the environment in case of a possible accident and danger causes irreversible damage to ecosystems. Heavy metals directly affect the organisms living in environmental ecosystems and increase their toxicity in the food chain. When microplastic sources

are examined, all countries, especially those with unlimited production, have a share in this pollution, but no measures are taken with the increasing consumption. Microplastics, which spread all over the world on a global scale, threaten life in long-term exposure and disrupt the natural balance of environmental ecosystems. Microplastics, which go up to the upper layers through the food chain, accumulate in the living body and pose a risk. Controlling the wastes, stopping the unlimited production approach, and following up the waste in a controlled and appropriate way will reduce the damage to aquatic ecosystems. The presence of microplastics in aquatic ecosystems will lead to the deterioration of the standard conditions necessary for the survival of living organisms in the environment and the increase in deaths due to deteriorated conditions. Organisms that have adapted to the existence of aquatic ecosystems, on the other hand, will carry the microplastics they have taken into their bodies and accumulated in various ways to a higher living group, thereby increasing their toxicity even more. These microplastics entering the living body will cause various diseases such as acute ailments, nervous and digestive system problems.

As a result, it is understood that heavy metals and microplastics cause serious damage to aquatic ecosystems and organisms living in these ecosystems. Exposure of living things living in ecosystems to heavy metal or microplastic pollution, ending their vitality will cause the toxic effect to be carried to the upper steps of the food chain. Controlling heavy metal sources and complying with the necessary conditions and rules will reduce the spread of heavy metals to the environment.

1. GİRİŞ

Çevre canlıların yaşadığı doğal ve yapay ortamların tümüne verilen isim olup bitkiler, hayvanlar, insanlar ve diğer tüm organizmalar ile birlikte bir ekosistem oluştururlar (Gürbüz, 2008). Çevre içinde atmosfer, su kaynakları, toprak bitki örtüsü, hayvanlar ve insanlar sürekli olarak etkileşim halindedir (Jahan ve ark., 2018). Ancak insan faaliyetleri çevrenin doğal yolculuğunu bozabilir ve çevre kirliliğine neden olup çevrenin sürdürülebilirliğini engelleyebilir (Dübüş, 2022). Öyle ki birçok işletmenin kullandığı kaynaklardan ve faaliyetlerini sürdürdüğü alanlardan dolayı flora ve fauna etkilenip, sulak alanlarımız ve yüzeysel sularımız risk altına girer (Gedik, 2019).

Çevremizin ana unsurlarından bir tanesi olan suyun kirlenmesi işletme faaliyetlerinden kaynaklı atıkların suya karışması ve insan faaliyetleri sonucunda oluşan kirlilik sebebiyle oluşmaktadır (Dübüş, 2022). Yüzeysel suların ve yeraltı sularının kirlenmesi yaşayan tüm canlılar için tehdit oluştururken özellikle bu su ortamında yaşayan mikroorganizmalar su kirliliğinden ilk etkilenen canlılardır (Candan, 2010). Sucul ortamların kirlilik kaynaklarını incelendiğinde endüstriyel atıklar, evsel atıkların deşarjı, gemi söküm işlemlerinden kaynaklı atıklar, liman operasyonları vb. faaliyetlerden kaynaklı olduğu saptanmış olup özellikle ağır metallerin sucul ortamlara çok ciddi zararlar verip su ekosistemini bozduğu belirlenmiştir (Jannat ve ark., 2023).

Ağır metallerin diğer kaynakları incelendiğinde sediment kaynaklı doğal oluşum haricinde insan kaynaklı olarak madencilik, birincil ve ikincil metal endüstrileri, galvanik kaplama tesisleri, kimya endüstrileri vb. gibi tesislerden yayılım göstermektedir (Naddafi ve ark., 2022).

Canlı sağlığına etki eden bir diğer kirlenici grubu ise günümüz dünyasında her alanda karşılaştığımız mikroplastiklerdir. Kirleniciler için vektör olarak hareket etme yeteneğine sahip mikroplastikler çevre ekosistemi, sucul yaşam ve insan sağlığı için risk oluşturmaktadır (Malli ve ark., 2022). Özellikle denizlerde bulunan mikroplastiklerin kaynağı olarak yağmur suyu akışı ile plastiklerin nehirler vasıtasıyla taşınımıdır.

Plastik üretim tesisleri mikroplastik kirliliğinin başlıca kaynağı olup plastik atıkların uygunsuz bir şekilde çevreye bırakılması kirliliğe ana etken olup sucul yaşam formlarını tehdit etmektedir (Adegoke ve ark., 2023).

Sucul yaşam formları incelendiğinde daha çok makro yapıdaki formlara kıyasla mikro formlar ağır metal ve mikroplastik kirliliğinden fazlaca etkilenmektedir. Kirlilik sebebiyle etkilenen mikro formların başında algler yer almaktadır (Qian ve ark., 2009).

Algler tek hücreli mikroalglerden büyük deniz yosunlarına kadar değişiklik gösteren sucul veya nemli ortamda yaşayan fotosentetik organizmalardır (Azeez ve Banerjee, 1987) (Ceniklioğlu, 2022).

Mikroalg kullanarak yapmış olduğum çalışmamda mavi-yeşil alglerden *Arthrospira platensis* ve *Microcystis aeruginosa*, yeşil alglerden *Chlorella vulgaris* seçilmiştir. Yapılan çalışmada mavi-yeşil algler ve yeşil alg farklı ağır metallere ve farklı çeşit ve boyuttaki mikroplastiklere maruz bırakılmış ve etkileri gözlemlenmiştir. Gözlemler sonunda ise ağır metallerin ve mikroplastiklerin yeşil alg ve mavi-yeşil alg hücrelerine verdiği yıkımın etkisinin anlayabilmek için ve gelişim etkisini görebilmek için antioksidan parametrelerinden malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) deneyleri yapılmıştır.

1.1. Mikroalgler

Algler deniz, göl, akarsu gibi sucul ekosistemlerin yanı sıra nemli topraklar ve bazı ağaçların gövdelerinde bulunan tek veya çok hücreli yapıya sahip yüksek enerjili ototrof canlılardır (Oğuz, 2009). Mikroalgler bulunduğu sucul ekosistemde hem inorganik hem de organik nitrojen kullanımı yoluyla oksijen üretim karbondioksit fiksasyonuna katılırlar (Chakravorty ve ark., 2023). Fotosentez sırasında sera gazı emisyonunu azaltmaya yardımcı olabilecek karbondioksit yakalama potansiyeline sahiptirler (Syafiuddin ve Boopathy, 2021).

Yüksek büyüme oranları ve çok çeşitli, değerli bileşikler üretmeleri ile bilinirler (Kendirlioğlu, 2012). Mikroalgler'in bazı yetenekleri göz önüne alındığında; hızlı ve çoğu ortamda yetişebilmesi, kirleticileri sucul ortamlardan uzaklaştırma potansiyelleri, yüksek protein ve lipit içeriğine sahip olması ve pigmentler, antioksidanlar gibi çok değerli bileşiklerin üretiminde kullanılması mikroalglerle olan ilginin artmasında önemli rol oynamıştır (Richmond, 2004).

İçerisindeki değerli bileşikler bulunduğu ortamın etkenlerine göre (ışık, sıcaklık, tuzluluk, pH, nitrojen, fosfor vb.) değişiklik gösterirken tam büyüme ve gelişim için optimum şartların sağlanmalıdır (Hu, 2013). Bu sebeple alglerin su kalitesinin belirlenmesinde veya toksisite çalışmalarında kullanılması durumunda kimyasal ve fiziksel değişiklikler göz önünde bulundurulmalı, kullanılan mikroalg türüne göre optimum şartlar sağlanmalıdır (Ağırman, 2012).

Mikroskobik tatlı su alglerinin pek çok çalışmada sıklıkla tercih edilmesinin ana unsurları arasında fotosentetik canlılar olup basit besi yerlerinde kolayca yetişebilmesi ve yüksek lipit ve protein içeriğine sahip olmaları sayılabilir (Kara, 2012). Mikroalgleri geniş bazda ele aldığımızda prokaryot ve ökaryot olarak gruplandırabiliriz (Kurhan, 2012). Algler çok farklı pigment içeriklerine sahip olup bu pigmentlere göre mavi-yeşil algler, yeşil algler, kamçılı algler, ateş rengi algler, esmer algler, altın renkli algler ve kırmızı algler olmak üzere gruplara ayrılarak isimlendirilir (Yılmaz, 2019). Biyoteknolojik çalışmalar incelendiğinde mikroalg olarak sıklıkla tercih edilen gruplar yeşil alg ve mavi-yeşil alg türleridir (Ağırman, 2015).

Bu küçük organizmalar gıda takviyeleri, çevre kirliliği kontrolü, kozmetik, ilaçlar gibi birçok alanda kullanılsa da özellikle yağ içeriği bakımından zengin oluşu biyoyakıt üretimi için ilgi çekici hale getirir (Carino ve Vital, 2023). Dünyanın birçok yerinde biyodizel üretimleri hayvansal yağlar veya kullanılmış yemeklik yağların işlenmesi sonucu üretilirken mikroalgler 'in yüksek enerji potansiyelinin varlığı bu organizmalara olan ilginin artmasına ve birçok çalışmada kullanılmasına sebebiyet vermiştir (El-Sheekh ve ark., 2019)

Ekosistemimize zarar veren birçok kirletici gurubunun izlenmesinde kullanılan ve biyolojik bir gösterge niteliği taşıyan mikroalgler, ağır metal gibi kirleticilerin çevresel zarar etkilerini belirlemek, azaltmak içinde kullanılır (Li ve ark., 2021).

1.1.1. Mikroalg gelişimi için gerekli şartlar ve besinler

Mikroalg gelişimi için gerekli şartlar incelendiğinde; pH, sıcaklık, ışık, tuzluluk, su, nütrientler, ve yeterli miktarda bulunması gereken bazı metallerdir (Chisti, 2007). Farklı alg türleri için gereken gelişim şartları farklılık göstermekte olup tuzlu su algleri için sıcaklık ve tuzluluk önemli iken tatlı su algleri için pH, alkalinite gibi parametreler önem taşımaktadır (Sınmaz, 2022). Örneğin *Arthrospira platensis* yüksek pH ve

bikarbonat yoğunluğunda, *Chlorella vulgaris* ise besince zengin bir ortamda büyüme ve gelişmeye daha yatkındır (Gezici, 2012).

1.1.1.1. Işık

Algler fotosentez yoluyla ışığı soğurup inorganik maddeleri organik maddelere dönüştüren sucul mikrobiyal canlılardır. Algler ile ilgili pek çok sınıflandırma yapılsa da genel olarak prokaryot ve ökaryot olarak sınıflandırılmış olup kök, gövde ve yaprakları bulunmayan klorofile sahip organizmalardır (Gezici ve ark., 2012).

Yapılan birçok çalışmada mikroalglerde büyüme ve gelişimin tam olarak gerçekleşebilmesi için ışık yoğunluğunun alg türüne göre seçilip optimum ışık şiddeti seçilmelidir (Benas ve Ak, 2022). Doygunluk noktasına kadar sürekli artan ışık yoğunluğunda mikrobiyal gelişimde sürekli artmakta olup gelişimin en üst seviyesinde ışık yoğunluğu artsa bile mikrobiyal gelişim sabit kalmaktadır (Chang ve ark. 2016). Tam gelişimin sağlanması sonrasında ışık yoğunluğunun artırılması mikrobiyal kütlede ölümlere sebebiyet verebilir (Andersen, 2005).

1.1.1.2. Sıcaklık

Fotosentez yapan mikroalgler 'in sıcaklığa bağlı olarak bir dizi kimyasal reaksiyon geçirmesinden kaynaklı sıcaklık faktörü alg büyümesi için sınırlayıcı bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Zhang,2015). Sıcaklık seviyesi alg türüne göre değişiklik gösterse de ortalama 20 ila 30 °C arasında değişiklik gösterip optimum sıcaklığından 5°C farklılıklara kadar dayanabilmektedirler (Chisti,2007). Her alg türü için optimum sıcaklık değeri farklılık göster ve optimum sıcaklık seviyesine kadar mikrobiyal biyokütle artış gösterir. Sıcaklık seviyesinin optimum değerinin çok altına veya üstüne çıkması gelişimi engeller ve alg ölümleri ile sonuçlanır (Singh ve Singh, 2015). Yapılan araştırmalara göre bazı alglerin 10°C sıcaklıkta bile optimum şartlardaki gibi gelişim gösterdiğini ortaya koymuştur (Agrawal, 2012).

1.1.1.3. pH

pH mikroalg gelişimi için önemli sınırlayıcı değerler bir tanesidir. Mikroalg büyümesinin ve sağlıklı pigment oluşumunun sağlanabilmesi için optimum pH seviyesi ayarlanmalıdır. Aksi halde alg hücrelerinin büyümesi engellenecek ve ölümler başlayacaktır (Akgül ve ark. 2022).

Karbondioksitin çözünmesinden kaynaklı suda karbonik asit miktarının artması pH yükselir ve ortamın bazikliği artar. Amonyum mikroalgler tarafından emildiğinde ise ortamda hidrojen salınır ve pH düşerek asidik bir ortam oluşur (Sınmaz, 2022). Mikrobiyal aktivite sırasından ortamdaki karbondioksit azalacağından dolayı pH her zaman yükselme eğilimindedir (Andersen, 2005).

1.1.1.4. Tuzluluk

Algler için tuzluluk seviyesinin optimum olarak ayarlanamaması mikrobiyal büyüme-gelişim için büyük sınırlayıcı faktör olarak belirlenmiştir (Uslu, 2021). Ortamdaki tuzluluk seviyesinin yüksek olması özellikle tatlı su algleri için ölümlere sebebiyet vermektedir (Chisti, 2007).

Yapılan araştırmalarda yüzeysel su mikroalgler'inin yüksek tuzluluğa maruz kalması durumunda ortamda bulunan alg topluluğunun sınırlandığı, çeşitliliğinin azaldığı tespit edilmiştir (Song ve ark., 2021). Tuzluluk oranının yüksek olduğu ortamlarda şartlara adapte alamayan mikroalg toplulukları mikrobiyal aktiviteyi uyaran bazı besinler sağlayarak karbon mineralizasyonunu etkiler (Al-Maliki ve Breesam, 2020).

1.1.1.5. Nütrientler

Mikrobiyal büyümeyi tam olarak sağlayabilmek için bazı eser elementlere ihtiyaç vardır. Azot, Fosfor, demir mikrobiyal büyüme için ortamı elverişli hale getirmektedir (Zhang, 2015). Alg hücreleri nükleik asit ve protein oluştururken azot, lipid üretimi gerçekleştirirken fosfat kullanır (Juneja ve ark. 2013).

1.2. Ağır Metaller

Özgül ağırlığı 5 cm³ ten fazla olan ve atom ağırlığı 40'tan fazla olan, eksenindeki elektron dağılımı olarak benzerlik gösteren metalik elementler olup bakır, kurşun, kadmiyum, nikel, kobalt gibi atmıştan fazla metal bu gruba dahildir (Yavuz, 2018). Endüstriyel atıkların düzensiz depolanması sonucu veya evsel katı atıklar ile bir arada tutulması sonucu yüzeysel sulara ve yeraltı sularına karışmasından kaynaklı ağır metaller çevremize yayılmaktadır (Geravand ve ark., 2017).

Yanlış yapılan tarımsal faaliyetler sonucu yine ağır metaller yeraltı ve yerüstü sularına karışıp çevresel ekosisteme zarar vermektedir. Özellikle tarımsal faaliyette mantar önleyici olarak kullanılan ilaçlar çok tehlikeli ağır metallerin etrafa saçılmasına sebebiyet vermektedir (Durmaz, 2019). Bununla birlikte nüfus artışı, sanayileşme,

endüstriyel çeşitlilik, iyi derece bir atık arıtım yapılmaması ve atıkların toprağa gömülmesi sebeplerden dolayı ağır metaller her geçen gün ekosistemimizin her alanında canlı yaşamını ciddi bir şekilde tehdit etmektedir (Yaşar ve ark., 2016).

Ağır metallerin çevreye yayılması karasal, sucul ve hava ekosistemlerini etkilemekte canlı yaşamı üzerinde ciddi toksik etkilere sebebiyet vermektedir (Okewale ve Grobler, 2023). Birçoğu zehirlidir ve en küçük derişimlere bile maruz kalınması durumunda ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Derin ve ark., 2020).

Ağır metaller ekosistemdeki canlılarda birikerek toksik etkiler açığa çıkartır. Bu toksik etkiler zamanla canlıya verdiği zararı artırarak kanserojen bir hal alır ve mutasyonlara ve genetik hasara sebebiyet verir (Kaya, 2019). Ağır metallerin canlılar üzerindeki toksik etkileri incelendiğinde canlıdaki fonksiyonel grupları inhibe ederek yararlı enzimleri bloke eder ve hücre membran bütünlüğünü bozmaktadır (Önem, 2016). Ağır metaller canlı vücuduna doğrudan besin yoluyla veya deriden geçerek birikmektedir ve canlı vücuduna giren bu ağır metallerin birikim miktarı her organ ve dokuda farklılık göstermektedir (Francesconi ve ark., 1999).

1.2.1. Ağır metallerin sucul ekosistemlere etkileri

Endüstriyel atıklar, tarımsal faaliyetlerde kullanılan doğal veya yapay gübreler, deterjanlar, radyoaktif maddeler, pestisitler gibi birçok kirletici unsur ekolojik dengeyi bozmakta ve canlı yaşamına ciddi zararlar vermektedir (Atamanalp ve Yanık, 2001). Ekolojik dengeyi bozan kirletici unsurların başında ağır metaller gelmekte olup sızıntı veya doğrudan boşaltım yoluyla su ekosistemine geçen bu kirleticiler su içerisinde çözünmekle kalmayıp ortam şartlarına göre organizmalar ile birleşip canlı vücudunda birikmelere sebebiyet vermekte olup besin zincirinde yerini almaktadır (Taylan ve Özkoç, 2007).

Tatlı su kaynaklarında ağır metal kontaminasyonu incelendiğinde ağır metallerin sedimentte birikimi jeolojik kaynaklıdır. Ancak birincil kaynak olarak antropolojik unsurlar gösterilmektedir (Giouri ve ark. 2010). Sedimentler ister doğal olsun ister antropolojik kaynaklı olsun kirletici unsurları büyük oranda depolamakta olup zamanla sediment içindeki kontaminasyon suyun içinde çözünerek farklı bir kaynak oluşturur (Kaçar, 2021).

Sucul ekosistemlerin kontaminasyon sonucu kirlenmesi ile birçok mikro ve makro yapıdaki canlılar etkilenmektedir. Balıklar, midye, mikroorganizma vb. canlıların yanı

sıra kontamine olmuş su ile beslenen canlılar veya sulama yapılan arazilerde bulunan bitkilerde sıklıkla bu kirletici unsurlardan zarar görmektedir (Bayır,2022).

Su Kaynaklarının beslendiği havzaların koruma altına alınması, havzaların ve havza kollarının belirli zaman dilimlerinde kalite parametrelerinin izlenmesi gibi uygulamaların yapılması sucul ekosistemlerin varlığının devam etmesi açısından çok önemlidir (Cüce ve ark. 2020). Özellikle içme ve kullanma suyu olarak kaynakların (baraj, göl, akarsu) etrafında bulunan noktasal veya geniş bir alana yayılmış olan kirletici kaynaklarının kontrol altına alınması çevre ve insan sağlığı açısından, ekosistemin devamlılığı açısından oldukça önemlidir (Kalıpcı ve ark. 2017; Gümüş, 2021).

Gelişmekte olan birçok ülkenin su kirlilik indekslerine baktığımızda mevcut durumlar ciddi tehlike ile karşı karşıya olduğumuzu göstermekte olup özellikle göl, baraj gibi durgun olan su kütlelerinden kanallar vasıtasıyla başka bölgelere su taşımının kontamine olan suyun yayılımını daha da artırdığını göstermektedir (Hemachandra ve Sewwandi, 2023). Yüzey suyu birçok organizmaya, endüstriye, su ürünleri yetiştiriciliğine, tarımsal faaliyetlere temel bir bileşen olup günümüz de en kötü yönetilen doğal kaynaklar arasındadır (Rahman ve ark., 2022).

Doğal bir kaynağımız olan yüzeysel suların korunması ve kirliliğinin önlenmesi yine doğal ve çevre dostu yöntemlerle yapılmalıdır. Bunun için dünyanın pek çok ülkesinde bilim insanları suların ağır metaller ile kirlenmesini mikroalgler ile gidermeye çalışmış olup ağır metal uzaklaştırmak için çeşitli mikroalg türleri ile çalışmışlardır (Amal Raj ve ark., 2023).

Geniş yüzey alanı ve güçlü çekim kuvveti olmasından kaynaklı alglerin sularda ki kirleticilerin giderilmesinde kullanımı son yıllarda daha da verimli bir yöntem haline gelmiştir (Ramesh ve ark., 2023). Su kirliliğinin giderilmesinde alg türlerinin verimi farklılık göstermekte olup çoğu alg türü ağır metale maruz kaldıklarında gelişim seviyesinde gerileme hatta ölüm ile sonuçlanan bir süreç izlemektedir (Xiao ve ark., 2023). Yapılan birçok çalışma göstermiştir ki ağır metallerin sucul ekosistemlere verdiği tahribat mikroalgler kullanılarak izlenmiş ve ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarında mikroalgler 'in hücre içi yıkımları ciddi boyutta artmıştır (Cui ve ark., 2021).

1.2.2. Ağır metallerin kara ekosistemlerine etkileri

Karasal ekosistemler incelendiğinde toprak kirliliğinin çok yaygın olduğu görülmekte ve standart oran hesaplandığında toprak kirliliği %16,1 e ulaşmış olup bu kirliliğin çoğunu ağır metaller oluşturmaktadır (Wang ve ark., 2022). Toprakta bulunan ağır metallerin kaynakları incelendiğinde eski maden sahaları, nüfus artışına bağlı olarak kentleşme hızının giderek kontrolsüz artması, endüstriyel faaliyetlerden kaynaklı atıkların düzenli depolanamaması gibi etkenlerden kaynaklı toprakta ağır metal kirliliği giderek artmaktadır (Jannat ve ark., 2023b). Endüstriyel alanlarda faaliyet gösteren bir bölge endüstriyel bir tesisin olmadığı alanlara göre daha fazla ağır metal içermekte olup bu bölgelerde tespit edilen ağır metaller canlılarda akut eklem rahatsızlıkları, böbrek, sinir sistemi, kemik ve üreme sistemi rahatsızlıklarını ortaya çıkarmaktadır (Ugochukwu ve ark., 2022).

Dünyada ki tarımsal toprakların büyük çoğunluğu çeşitli sebeplerden dolayı (Doğal ve yapay gübreleme, depolama alanının yanlış konumlandırılması, kentleşme, sanayileşme vb.) ağır metal kirliliği ile yüzleşmekte olup bu kirlilik mikroorganizmalardan başlayıp bütün canlı yaşamı için toksik etkiler barındırmaktadır (Ahmed ve ark., 2023). Tortullarda ve toprakta birikme eğilimi gösteren ağır metaller gelişmekte olan ülkelerde sıklıkla görülen kirli sulama suyu kullanımı sonucu yayılım gösterir ve biriken ağır metallerin solunması veya teması sonrasında hastalıklarla hatta ölümlerle karşılaşılabilir (Jannat ve ark., 2023a).

Toprakta bulunan ağır metallerin diğer bir kaynağı da hayvanlarda kullanılan antibiyotiklerin dışkı yoluyla toprağa atılmasıdır ve bu antibiyotik atıkları kümes hayvanlarının atıkları veya balık yemleri oluşturmaktadır (Zhou ve ark., 2022). Ağır metal ile kirlenmiş toprakta yetişen bitkiler ve bu bitkileri yiyen canlı grupları da ağır metale maruz kalmakta olup ağır metalin sebebiyet verdiği bütün hastalıklara ve toksik etkilerden etkilenmektedir (Siddiqui, 2015). Yapılan çalışmalar ağır metal ile kirlenen topraklarda yetişen bitkilerin gelişim sürecinin uzadığı, bitki boylarının etkilendiğini göstermiş hatta bitki yapraklarında DNA hasarı tespit edilmiştir (Gichner ve ark., 2006). Bu sebepten dolayı toprak ana bileşen olan topraktaki ağır metallerin varlığı hayvancılık, mahsul, gıda ,su gibi ürünlerin kalitesi ve genel olarak incelendiğinde çevre sağlığı ve ekotoksikolojik açısından öneme sahiptir (Mosallaei ve ark., 2023).

Karasal ekosistemde ağır metalleri daha az zararlı hala getirmek için çok çeşitli uygulamalar mevcut olup ısıtma işlemi, manyetik ayırma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Aynı bir uygulama olarak da aerobik koşullar altında bakteri ve mantar ile ağır metallerin giderimi yapılmaktadır (Kumar ve ark., 2023). Biyolojik materyaller göz önüne alındığında algler, mayalar, mantarlar gibi mikroorganizmaların yüksek verimliliği, düşük maliyeti ve bol miktarda bulunabilirliği göz önünde bulundurulduğunda biyoremediasyon ağır metal giderimi için daha ön plana çıkmaktadır (Sarker ve ark., 2023).

1.3. Mikroplastikler

Çevresel sorunlardan biri haline dönüşen mikroplastikler yalnızca makro düzeyde bir problem olmayıp farklı sebeplerle parçalanarak görünmez tehlikelere sebebiyet vermektedir (Kanlı ve Kurt, 2019). Plastik, incelendiği zaman ham madde olarak petrol ve türevlerinden kaynaklandığı petrokimya tesislerinde kimyasal dönüşüm sonucu ortaya çıkan ürün olarak tanımlanır (Kayan ve ark., 2020).

Boyut olarak 1µm ila 5mm arasında değişen plastik parçacık 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).

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 ve ark., 2020). Çok çeşitli ürünlerden kaynaklanan mikroplastikler küresel ölçekte yayılım göstermiş olup ekosistemleri ciddi boyutta etkilemektedir (Seeruttun ve ark., 2023).

Son 50 yıl incelendiğinde plastik üretim miktarı dünyada 359 milyon ton olarak tespit edilmiş ve 2025 yılına kadar bu miktarın 500 milyon tona ulaşması öngörülmektedir (Osman ve ark., 2023). Küresel bazda ülkeler arasında Çin 63 milyon ton plastik üretimim ile ilk sırada yer almaktadır. Ülkelerin bu üretim yarısından kaynaklı plastik kirliliğinin oluşması sucul, karasal ekosistemleri ciddi boyutta etkilemiş olup yayılım

giderek artmaktadır (Bank ve ark., 2022). Artan bu mikroplastik kirliliği sebebiyle soluma, gıda yoluyla, besin zincirindeki deniz ürünleri yoluyla, içme suyu ile, kozmetik ürünlerinin deriye teması gibi yollarla canlı vücuduna giren bu kirletici kısırlığa, obeziteye, kromozomlarda değişikliğe (Sharma ve Chatterjee, 2017), organlarda tıkanıklık ve iltihaplanmaya, toksik-ekotoksikolojik etkilere, akciğerlerde hasara sebebiyet vermektedir (Esmeray ve Armutçu, 2020).

Tablo 1.1. Çeşitli plastikler ve yaygın kullanım alanları (Yurtsever, 2015;Hidalgo-Ruz ve ark., 2012).

Plastik Adı	Yoğunlukları (g.cm ⁻³)	Kullanım Alanları
Akrilonitril bütadien stiren		Elektronik aletler, otomotiv, mutfak gereçleri.
Akrilonitril stiren akrilat		
Polyamid	1.02-1.04	Fiber, diş fırçası kılları, misina
Polibütülen tereftalat	1.31	Halı, tekstil
Polikarbonat	1.20-1.22	Tıbbi aletler, su şişesi, kapak, bardak, çatal cd, gözlük.
Poliyeten	0.917-0.965	Paketleme, Plastik mutfak ürünleri, otomotiv sanayi, altyapı malzemeleri
Poliyeten-yüksek yoğunluklu	0.94-0.96	Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ambalajı, bazı poşetler
Poliyeten-düşük yoğunluklu	0.91-0.93	Şişe, dondurulmuş gıda, market poşetleri
Poliyeten tereftalat	1.37-1.45	Pet şişe ismi bundan gelir.
Polimetil akrilat	1.22	
Polimetil Metakrilat, akrilik, pleksiglas	1.15-1.19	Otomotiv farı, cihaz kapakları, levha, optik ekipmanlar, boya, elyaf, iplik ve ev dekorasyon ürünleri
Polyester	1.24-2.3	Tekstil endüstrisi
Polioksimetilen, Asetal	1.41-1.61	Elektrik ve sıhhi tesisat bağlantıları
Polipropilen	0.83-0.90	Otomobil yan sanayi, bahçe mobilyaları, yiyecek kabı
Polistiren	0.96-1.05	Gıda paketleme, elektronik ve beyaz eşya, film, levha,
Politetrafloretilen (Teflon)		Mutfak gereçleri, kaplar

Tablo 1.1. (Devamı) Çeşitli plastikler ve yaygın kullanım alanları (Yurtsever, 2015;Hidalgo-Ruz ve ark., 2012)..

Plastik Adı	Yoğunlukları (g.cm ⁻³)	Kullanım Alanları
Poliüretan	1.2	Dolgu köpükleri, ısı yalıtım köpükleri, yüzey
Polivinilklorid	1.16-1.58	Döşeme, ev dış cepHe kaplaması, borular, streç.
Poliviniliden klorid	1.63	Yiyecek paketleme, evsel ve endüstriyel gereçler
Stiren-akrilonitril		Mutfak gereçleri, buzdolabı parçaları, raf

1.3.1. Mikroplastiklerin su ekosistemlerine etkisi

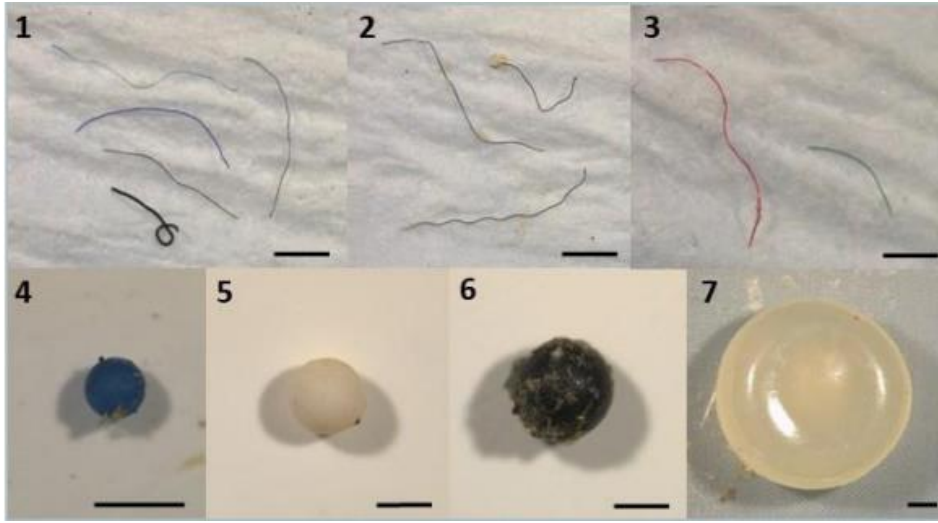
Mikroplastikler çevremizde her yerde bulunmaktadır. Denizler, göller, kıyılarımız, gibi su ekosistemlerinde büyük oranlarda tespit edilmiştir (Malli ve ark., 2022). Su ekosistemleri incelendiğinde nehirlerin mikroplastiklerin taşınmasında etkili olduğu özellikle yavaş akan nehir yatakları veya suyun 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).

Kontamine olmuş su ekosistemlerinde bulunan memeliler, balıklar, zooplankton, deniz kaplumbağaları hatta dolaylı da olsa insanlar mikroplastik kirliliğinde etkilenip toksikliğe ciddi bir şekilde maruz kalmaktadır (Sun ve ark., 2023). Toksikliğe maruz kalan canlılarda mikroplastiklerin dokularla etkileşimi neticesinde parçacık toksisitesi meydana gelmekte olup dokularda biriken bu toksik etkiler insanlara ciddi zararlar vermektedir (Tutoğlu, 2019).

Kıyı bölgelerinde mikroplastik kirliliği incelediğinde kirlilik kaynağı turizm faaliyetlerinden olup araştırmalarda tüm kıyı boyunca makro ve mikro plastiklerin

varlığı söz konusudur. Düşük ve yüksek yoğunlukta bulunan plastiklerin büyük çoğunluğu dalga ve rüzgar etkisi ile deniz ekosistemine karışmakta olup canlılar üzerinde toksik etkilere sebebiyet verir ve tortullarda biriken plastikler zamanla varlığını sürdürmektedir (GUL ve ark., 2023). Mikroplastikler denizel ortama girdikten sonra bakteriler, mantarlar ve alg toplulukları tarafından kaplanarak daha hızlı bir şekilde deniz tabanına çökerek ekolojik dengeyi bozmaktadır (Çağlayan ve Aytan, 2020).



Şekil 1.1. Denizel ortamda birincil plastiklerden bazıları; 1-3: Fiberler, 4-6: mikro boncuklar, 7: Pelet (Esensoy ve ark., 2020).

Göller, nehirler ve denizlerin yanı sıra sulak alanlar ve yeraltı sularında da mikroplastik tehdidi giderek büyümektedir. Öyle ki Amerika ve Çin gibi birinci dünya ülkelerinin yeraltı suları ve sulak alanları mikroplastik içermektedir (Y. Wang ve ark., 2022). Özellikle üretim kapasitesi yüksek olan Çin de bulunan nehir, göl, rezervuar gibi alanlar incelendiğinde polietilen, polistiren, polikarbon ve onlarca çeşit plastik kirlilik tespit edilmiş olup sucul ekosistemlerde yaşayan canlılar üzerinde çok kez araştırmalar yapılmıştır (Zhang ve ark., 2018). Yüzeysel su ortamlarında ki mikroplastik yoğunluğu incelendiğinde bölgedeki insan popülasyonu birincil etken haline geldiği anlaşılmaktadır (Xu ve ark., 2020).

1.3.2. Mikroplastiklerin kara ekosistemlerine etkisi

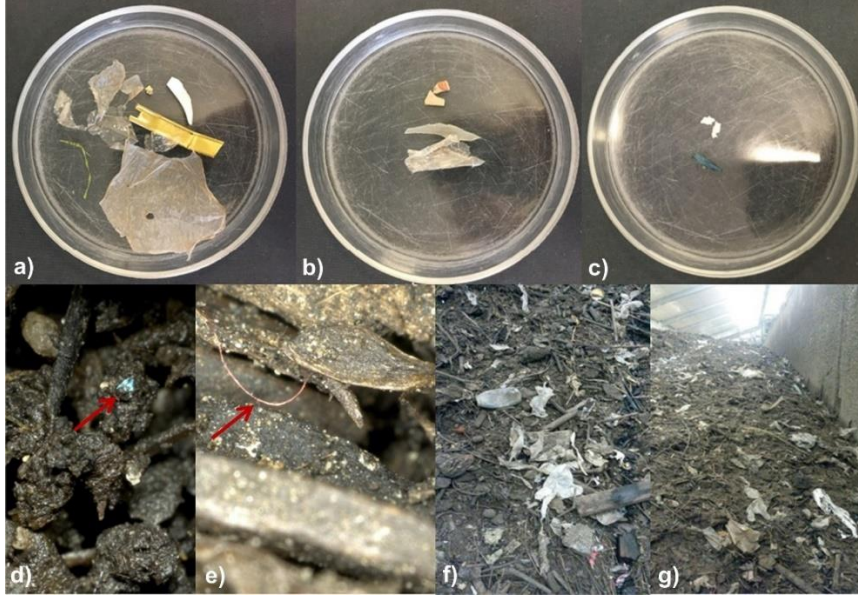
Antropolojik kaynaklı olarak ortaya çıkan plastikler toprakta da sucul ortamda olduğu gibi çok fazla birikir ve ciddi sorunlara neden olur (Mammo ve ark., 2020). Toprakta ki mikroplastikler incelendiğinde daha büyük plastiklerin bozunması ile (İkincil

üretim), polietilen folyoların çözünmesi ile, kirlenmiş atık çamurları, deterjanlar gibi kaynaklardan ekosisteme yayılım gösterir (Carr ve ark., 2016) (Mintenig ve ark., 2017), (Sadri ve Thompson, 2014). Toprakta tespit edilen mikroplastik türleri incelendiğinde elyaf parçaları, film, pelet, lifler, mikro boyutlu boncuklar vb. tespit edilmiştir (Zhang ve Liu, 2018 ; Y. Zhou ve ark., 2019).

Mikroplastik etkisi ile kontamine olmuş toprakta kirlilik miktarına bağlı olarak toprak enzim aktivitesinde değişiklikler gözlemlenmekte olup organik karbon, azot miktarı, bakteri seviyesi gibi değerleri azalttığı gözlemlenmiştir (Fei ve ark., 2020). Mikroplastik ile kirlenmiş toprakta kirliliği yok etmek yada mikroplastik ayrımı yapmak için kullanılan yöntemler arasında numuneyi solüsyon ile tamamen karıştırma, numunenin oturması ve dinlenmesini sağlamak, süpernatantın süzülmesi ve elenmesi sayılabilir (Han ve ark., 2019). Küçük boyutlu mikroplastiklerin rüzgarlar vasıtasıyla taşınarak atmosferde uzun süre kalabilir dolayısıyla canlılar üzerinde ciddi zararlara sebebiyet vermektedir (Liu ve ark., 2019). Mikroplastik kullanımı kontrollü bir şekilde ele alınmaz ise mikroplastik soluyan hayvanlar ve dolayısıyla insanlar bu kirliliğe maruz kalacaktır (Prata, 2018).

Havaya saçılan mikroplastiklerin kaynakları incelendiğinde net olmayan verilere göre karadan rüzgar etkisiyle saçılan mikroplastikler, deniz spreyi, rüzgar aşındırması, sentetik malzemelerin havalandırılmalı kurutulması gibi faktörler sayılabilir (O'Brien ve ark., 2023). Özellikle deniz üzerindeki atmosferde mikroplastik varlığı tespit edilmiş olup bu mikroplastik kaynağının deniz yüzeyinden aerosol şeklinde kopmaların sebep olduğu yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır (Trainic ve ark., 2020).

Okyanus üzerinde tespit edilen bu mikroplastiklerin atmosferde askıda dögüsel olarak taşındığını göstermektedir (Allen ve ark., 2020). Düzenli depolama alanlarındaki atıklardan rüzgarlar vasıtasıyla havaya saçılan mikroplastik miktarları ciddi boyutta olup bu saçılan mikroplastikler hava ekosistemine ve bütün canlılara zarar vermektedir (Amato-Lourenço ve ark., 2020).



Şekil 1.2. Toprakta bulunan bazı plastik türleri; a,b,c yapı kompostundan kaynaklı görünür plastik pet,d: mavi kapak, e: lif, f-g: şişe(Blasting ve Amelung, 2018).

1.4. Mikrobiyal Enzim Aktivitesi Sonucu Oluşan Ürünler

Serbest radikal türleri moleküler oksijenin indirgenmesindeki tek adımlı elektronlardan kaynaklanan toksik maddelerdir. Stres sonucunda organizmalarda rastlanan formları süperoksit anyonu (O_2^-), hidroksil radikali (OH^-) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) 'tir (Şaş, 2023). Son yörüngesinde bir ya da daha fazla eşleşmemiş elektron bulunduran moleküllere serbest radikal denilmektedir. Serbest radikaller normal metabolik olayların bir yan ürünü veya zararlı toksik maddelerin bir sonucu olarak oluşmaktadır. Serbest radikallerin miktarındaki artış ile hücrelerde oksidatif stres artmakta olup organik bileşiklerin yapılarında bozulmalar, enzim aktivitesinde aksama, hücre ölümleri ve membran permeabilitesinde bozulmalar gibi zararlı etkiler meydana gelir (Er, 2019). Ağır metaller ile yüksek veya düşük sıcaklık, ultraviyole ışınları gibi çeşitli stres faktörlerinin serbest radikal oluşumuna sebebiyet vermektedir.

1.4.1. Hidrojen peroksit (H_2O_2)

Süperoksitin bir elektron alması sonucu ya da oksijenin diğer moleküllerden iki elektron alması sonucu peroksit molekülü oluşur denklem (1.1) (Kılıç, 2017). 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 (Yaklaşık 1 ms) oluştuğu yerden difüzyon ile başka bölgelere kolayca yayılım göstermektedir (Tekbaba, 2019).



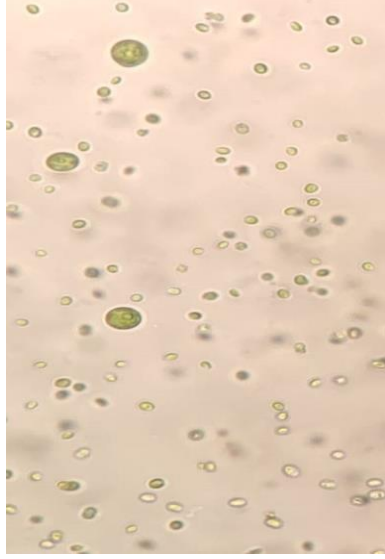
1.4.2. Malondialdehit (MDA)

Malondialdehit lipid peroksidasyonunda son üründür ve oksidatif hasarın seviyesini anlamak için kullanılmaktadır (Urso ve Clarkson, 2003). Mikroorganizmadaki MDA miktarının artması demek serbest radikal miktarının artması anlamına gelmektedir (Choudhary ve ark., 2007) (Benzer ve Temizer, 2003). Reaktif oksijen türleri hücre içerisinde biriktikçe hücre zarındaki hasara sebebiyet vermektedir. Zarda gerçekleşen bu hasar lipitleri etkileyerek peroksidasyonu başlatır ve malondialdehit oluşur. Hücre membranında bulunan yağ asitlerinin radikaller tarafından farklı ürünlere yıkılması durumudur. Bu yıkımın sonucunda oluşan aldehit ürünleri hücreye ciddi zararlar vermektedir (Tekbaba, 2019).

1.5. Çalışmada Kullanılan Yeşil ve Mavi-Yeşil Algler

1.5.1. *Chlorella vulgaris*

Chlorella vulgaris özellikle beslenme ve içeriğindeki yağ ve lipit özelliğinden dolayı son yıllarda ün kazanmış bir mikroalg türüdür. Çoğu çalışmada tercih edilmesinin sebebi olarak doğada bol miktarda bulunması ve çalışmalara esnek cevaplar vermesidir. Ekolojik risk değerlendirilmesi çalışmalarında sıklıkla tercih edilir (Akıncı ve Günal, 2022). 1980 yılında Hollandalı araştırmacı Willem Beijerinck tarafından iyi tanımlanmış bir çekirdeğe sahip mikroalg olarak bulunmuştur. Ökaryotik bir tatlı su yeşil alg türüdür. *Chlorella vulgaris* 2-10µm çapına sahiptir ve bitkilere benzer birçok yapı elemanına sahiptir (Yılmaz, 2019). Sucul ekosistemlerden farklı olarak nemli alanlarda veya toprakta da yaşamlarını sürdürebilmektedirler.

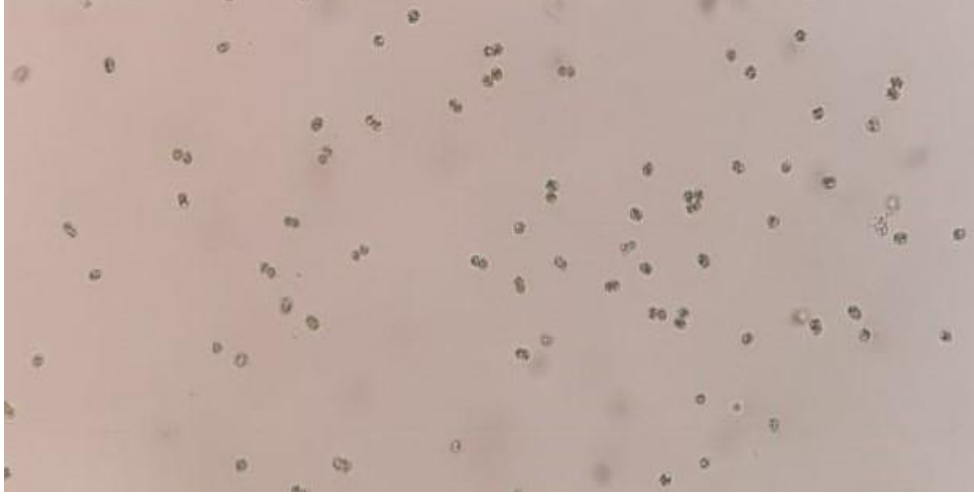


Şekil 1.3. *Chlorella vulgaris* mikroskop görüntüsü.

1.5.2. Microcystis aeruginosa

Prokaryot bir alg türü olan bu mavi-yeşil alg türü microcystaceae familyasına aittir (Kuşoğlu, 2019). *Microcystis aeruginosa* en yaygın siyanobakteri türü olup küresel çapta su ekosistemlerinde baskındır. Hücrelerinin etrafı bir mukus tabakası ile çevrilidir. Fotosentetik bir organizma olan *Microcystis aeruginosa* yapısında bulundurduğu klorofil-*a* pigmenti sayesinde ve daha farklı pigment içeriklerini de içermesinden dolayı farklı dalga boylarında ışığı kullanarak aktif bir şekilde besin ve oksijen üretmektedir (Cohen ve Gurevitz, 2006).

Hücre çapı 1-9µm aralığında değişiklik gösterirken hücresel içeriği karbonhidratlar, yağ asitleri, fosfor ve proteinden oluşmaktadır (Harke ve ark. 2016). Yaşam fazları incelendiğinde sıcaklık artışı ile ilkbahar ve yaz aylarında *Microcystis aeruginosa* biyokütlesinde aşırı artışlar görülürken hava sıcaklığının düşmesi ile durağan faza geçiş yapar (Manavoğlu, 2021).



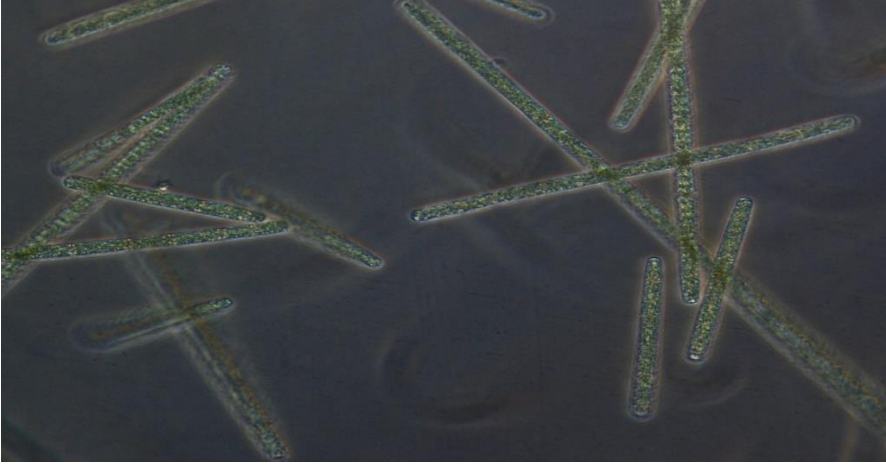
Şekil 1.4. *Microcystis aeruginosa* mikroskop görüntüsü.

1.5.3. Arthrospira platensis

Arthrospira platensis besin değeri yüksek protein, vitamin, minerallerce zengin; klorofil, krotin ve mavi renkli fikosiyonin içeren mikroalg türlerinden biridir. Çok hücreli iplikli yapıda bulunan mavi-yeşil (siyanobakteri) alg türü olup 1-12 µm çapında iplikçiklerden oluşmuştur (Borowitzka ve Borowitzka, 1992). *Arthrospira platensis* sıcak, alkali ve sığ su ekosistemlerinde hızlı bir şekilde büyüebilmektedir (Çölkesen, 2020).

Arthrospira platensis simbiyotik bir alg türü olup ototroftir ve ikiye bölünerek çoğalır. İplikli yapısının uzunluğu 50-500 µm arasında değişiklik göstermektedir. Bulanık ve durgun sular, tatlı ve acı sular, nehirler gibi çok çeşitli ortamlarda yaşayabilen bu mikroalg türü optimum 25-30 °C yaşayabilmekte olup pH 9-11 yaşam için uygun aralıktır (Richmond, 1992).

Beslenmesi oldukça basit olan bu mavi yeşil alg türü azot kaynağı olarak nitrat ve amonyak 'ı kullanır. Işık mikroskopu altında ikiye bölünmeye uğrayan vejetatif hücrelerden oluşan mavi-yeşil çepirler rahatlıkla görülebilmektedir (Yılmaz, 2011).



Şekil 1.5. *Arthrospira platensis* mikroskop faz görüntüsü.

1.6. Literatür Taraması

Jannat ve ark., 2023b yılında yapmış olduğu bu çalışmada kıyı bölgelerindeki ağır metallerin varlığı ve bu metallerin sağlık üzerine etkilerinden bahsedilmiştir. Çalışma 2015 ten 2022 ye kadar kıyı bölgelerinde tortul, toprak ve sudaki metal kirliliğinin metrik değerlerini araştırmıştır. Araştırma Sonucu olarak kıyı bölgelerinde başta kadmiyum olmak üzere su ve tortullarda birçok metal kirliliğine rastlanmıştır. Ayrıca kıyı bölgelerinde bulunan kirliliğin kaynakları da bu çalışmada vurgulanmıştır.

X. Song ve ark., 2022 yılında araştırdığı çalışma da mikroplastiklerin organik, inorganik ve biyo-kirleticilerle etkileşimini ve bunların karasal ve su ekosistemindeki organizmalar üzerindeki ekotoksikolojik etkilerini incelenmiştir. Ayrıca kirleticilerin mikroplastiklere emilim mekanizmalarını, mikroplastiklerin antibiyotik direnç genleri ve zararlı mikroplar için rezervuar görevi görme potansiyelini ve mikroplastikler ile kirleticilerin birleşik etkilerini de kapsar. Ek olarak, makale, bilimsel bilgi boşluklarını ve mikroplastiklerle ilgili gelecekteki araştırma yönergelerini vurgulamaktadır.

Tong ve ark., 2023 yılındaki çalışmasında körfez ekosistemlerindeki plastik kirliliği ve bunun deniz organizmaları üzerindeki etkisinden bahsedilmiştir. Körfez ekosistemlerindeki plastiklerin kaynakları ve dağılımını, deniz suyu ve tortuda mikroplastiklerin varlığını ve plastiklerin deniz organizmaları üzerindeki toksik etkilerini vurgulamaktadır. Çalışma, çevresel olarak gerçekçi koşullar altında küçük boyutlu plastiklerin risk değerlendirmelerine duyulan ihtiyacı ve körfez ekosistemlerindeki plastik kirliliğinin oluşumunu, türleşmesini ve ekolojik etkilerini anlamının önemini vurgulamaktadır.

Dalvand ve Hamidian, 2023 yılında yapmış olduğu bu çalışma da sulak alanlarda mikroplastiklerin oluşunu ve dağılımlarını araştırılmıştır. Çalışma, sulak alan ekosistemlerinin mikroplastik kirliliğe eğilimli olduğunu ve liflerin sulak alan biyotasındaki mikroplastik parçacıkların baskın biçimi olduğunu bulmuştur. Bununla birlikte, sulak alanlardaki mikroplastik kirliliğinin, diğer su ekosistemlerine göre daha az çalışıldığı vurgulanmıştır.

Sharma ve ark., 2023 yılında yapmış olduğu çalışmasında, küresel iklim değişikliğine katkıları ve deniz biyotası ve insan sağlığı üzerindeki etkileri de dahil olmak üzere plastik ve mikroplastığın evre üzerindeki olumsuz etkilerini tartışmaktadır. Ayrıca plastik üretimi ve gelecekteki trendler, plastik yaşam döngüsü ve sera gazı emisyonu ve plastiğin iklim üzerindeki etkisini azaltma stratejilerini incelemişlerdir. 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.

Conti ve ark., 2021 yılında incelediği çalışmasında büyüyen plastik ve mikroplastik kirliliği sorununu ve bu kirliliğin canlılar üzerindeki zararlı etkisi üzerinde durulmuştur. Plastik kirliliğinin önüne geçmek için yasal mevzuatların düzenlenmesi gerektiğinin ve hatta deniz ürünleri tüketimi için yönergelerin düzenlenmesi gerektiğinin altı çizilmektedir.

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

Islam ve ark., 2022 yılındaki çalışmasında Bangladeş de 2002 yılında plastik poşetlere getirilen yasağa rağmen hala artan plastik kirliliği incelenmiştir. Boyut ve sınıfına göre plastiklerin kaynağı da bu çalışmada ele alınmıştır. İncelenen konular arasında faklı bölgelerden alınan kaynaklardaki plastikler ele alınmış olup bu kaynaklar arasında plaj kumu, tuz rafinerisi, denizler ve nehirler yer almaktadır.

Garcés-Ordñez ve ark., 2022 deki çalışmasında mikroplastiklerin yoğun nüfuslu kıyıları ve havzaları olan lagünlerde daha bol olduğunu ve lif/filament ve parça şekilleri ile polietilen, polyester ve polipropilen polimerlerin baskın olduğunu tespit

etmiştir. İnceleme ayrıca, geniş kapsamlı karşılaştırmalar için sınırlayıcı bir faktör olarak çalışmalar arasındaki metodolojik farklılıkların altını çizdi ve gelecekteki araştırmaların metodolojik yönleri, kirliliğin kendisinin değerlendirilmesine / izlenmesine, mikroplastik dinamiklere ve etkilere ve sağlam bir çevre yönetiminin parçası olarak önleme tedbirlerine odaklanmasını vurgulamıştır.

Hemachandra ve Sewwandi, 2023 yılında yapmış olduğu çalışma da ağır metaller ve evsel, belediye ve endüstriyel kaynaklardan gelen diğer atık ürünlerle oldukça kirlenmiş olan Colombo, Sri Lanka'daki St. Sebastian Kanalı incelenmiştir. İncelemede, su kalitesini değerlendirmek için su kirliliği ve ağır metal kirliliği endekslerinin geliştirilmesini ve her iki endeksi kullanan sahaya özgü değerlendirmelerin yetkililerin iyileştirme yöntemlerini uygulamasına ve daha fazla kirliliği önlemesine nasıl yardımcı olabileceği tartışılmaktadır. Belge ayrıca, Sri Lanka gibi gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerin uygun yönetim eksikliği nedeniyle karşı karşıya kaldıkları su kaynağı sorunlarına da dikkat çekmektedir. Su örnekleri kimyasal ve ağır metal parametreleri ile analiz edilmiş olup kanalın ağır metal yönünden çok fazla kirlendiği tespit edilmiştir.

Rahman ve ark., 2022 yılındaki çalışmasında Bangladeş ve diğer ülkelerdeki farklı su kütlelerinde ve nehir sistemlerinde ağır metal kirliliği ve sedimantasyon üzerine çeşitli araştırma ve çalışmaları içermektedir. Odak noktası, az araştırma yapılan alanlar olan aşığı Meghna Nehri halici ve Nijhum Dweep adasıdır. Çalışmalar ağır metal dağılımı ve kontaminasyonu, ekolojik risk değerlendirmesi, kirlilik değerlendirmesi ve insan sağlığı riskleri gibi konuları kapsamaktadır. Çalışmada aynı zamanda bu çalışmalarda kullanılan jeokimyasal bütçeleme, sediman hareket analizi ve su kalitesi kirlilik indeksleri gibi çeşitli yöntem ve tekniklere referanslar içermektedir.

Amal Raj ve ark., 2023 yılında yapmış olduğu bu çalışma da Cooum Nehrindeki ağır metal kirliliği araştırılmış olup bu kirliliğe algler ile bir çözüm yolu aranmıştır. İncelemede nehir boyunca 27 farklı yerden su örnekleri toplanmış olup çeşitli metal iyonlarının konsantrasyonları analiz edilmiştir. Çalışmada 12 farklı ağır metal bulunmuş ve kirlilik giderimi için 3 farklı mikroalg kullanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda kullanılan üç farklı alg türünün de metal kirlilik seviyesinin azaltılmasında büyük rol oynadığı tespit edilmiştir.

Siddiqui, 2015 yılındaki çalışmasında Hindistan bölgesinde yetişen Cicer adındaki bir bitkiye ağır metal etkisi araştırılmıştır. Araştırma metal ile kirlenmiş toprakta yetişen bitkinin kök ucu gelişimi, tohum kalitesi, kök ucu meristemlerindeki kromozomal farklılıkları tespit etmiştir. Çalışma farklı kirlilik seviyesine sahip beş farklı toprak üzerinde yapılmış olup detaylı incelemeler sonucunda metal kirliliğinin bitki ekosisteminde ciddi toksik etkilere sebebiyet verdiği tespit edilmiştir.

Z. Wang ve ark., 2022 yılındaki çalışmasında ağır metal kirliliğinin hafifletilmesi, izlenmesi, yönetilmesini düzenleyen bir incelemedir. İncelemede ağır metal kirliliğinin çevresel etkilerini azaltmak için sistematik modeller ele alınmıştır. Ayrıca su kirliliği ve ağır metal kirliliğinin tespiti için analiz yöntemleri de ele alınmıştır.

K. Zhang ve ark., 2023 yılındaki çalışmasında Çinde içme suyu arıtma tesisinin giriş ve çıkış sularında oluşan metal örnekleri değerlendirilmiştir. Çin deki yönetmelikleri aşan birçok ağır metal konsantrasyonu bulunmuş olup bu ağır metallerin pH gibi parametrelerle korale olduğu ortaya çıkmıştır.

Ugochukwu ve ark., 2022 yılında incelemiş olduğu çalışmada Nijerya da faaliyet gösteren madencilik faaliyetleri sebebiyle tortullarda, toprak ve sudaki ağır metal kirliliği tartışılmaktadır. Çalışmada metal kirliliğinin sağlık ve ekonomiye verdiği yükten bahsedilmiştir. Toprak, su ve sedimentlerdeki metal kirliliğinin sağlık üzerine riskleri tartışılmaktadır.

Ramesh ve ark., 2023 yılında yapmış olduğu çalışmasında su ekosistemindeki metaller, boyalar ve farmasötik kirleticilerin tehdidi için sürdürülebilir yöntemlere duyulan ihtiyaçtan bahsedilmektedir. Çözüm olarak alg biyoremediasyonu ele alınmış olup sınırlamalar ve potansiyel etkiler araştırılmıştır. Yapılan çalışmada alglerin çevre kirliliğinin önlenmesinde en etkili en ucuz ve sürdürülebilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Xiao ve ark., 2023 yılında yapmış olduğu çalışmasında alglerin ağır metal kirliliğine karşı tepki mekanizmalarını ele alınmıştır. Alglerin ağır metal kirliliğini nasıl absorbe ettiğini ve metal kirliliğinin yüksek konsantrasyonlarında kimyasal ve özellikle fizyolojik süreçleri nasıl olumsuz etkilediği tartışılmıştır.

(Musah ve ark., 2022) yılında yapmış olduğu çalışmada *Chlorella vulgaris* ve *Arthrospira platensis* mikroalgleri kullanılmış olup belirli ağır metallerin krom, bakır,

nikel, demir gibi sulardan uzaklaştırılması araştırılmıştır. Düşük dozlarda kullanılan ağır metallerin mikroalg kullanılarak uzaklaştırılması olumlu sonuç vermiştir.

Hee ve ark., 2021 yılında yapmış olduğu çalışmada tatlı su ekosistemlerine doğrudan veya dolaylı olarak evsel, endüstriyel alanlardan kaynaklı ağır metal kirliliği boşaltımının neden olduğu kirlilik araştırılmıştır. Bu kirlilik çevresel ekosistemler ve canlılık için çok ciddi risk oluşturmakta ve hızlı bir şekilde çözüme kavuşmalıdır. Çalışma bir tatlı su havzasına karışan kurşun ağır metalinin *Chlorella vulgaris* ve çevresindeki su kütlesi üzerinde pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen vb. gibi parametrelere etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda *Chlorella vulgaris* mikroalg 'inin kurşun ağır metali için iyi bir gösterge olduğu saptanmış olup ölçülen parametrelerde (pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen) düşüş ölçülmüştür.

Oukarroum ve ark., 2012 yılında yapmış olduğu çalışmasında *Chlorella vulgaris* in farklı sıcaklıklarda fotosentetik performansını araştırmış olup algler üzerindeki bu çalışmada klorofil, ışık şiddeti gibi parametreleri kullanmıştır. Çalışmada mikroalg *Chlorella vulgaris* bakırın farklı konsantrasyonlarına ve farklı sıcaklık etkisi altına bırakılmış ve sıcaklıktaki artış miktarına bakıldığında bakırın tek başına fotosentez miktarını daha fazla azaltmaya sebep olduğunu ortaya koymuştur. Ek olarak sıcaklık etkisi değiştiğinde bakırın inhibe edici özelliğinin de değiştiği vurgulanmıştır.

Bajguz, 2000 yılında yapmış olduğu çalışma da bitki hormonuna karıştırılan ağır metal konsantrasyonlarının alg hücresi üzerindeki etkileri araştırılmış, alg üzerindeki büyüme ve gelişim etkisi saptanmıştır. Araştırmacı Bajguz yüksek konsantrasyondaki ağır metallerin ister tek başına isterse isterse bitki hormonu ile birlikte alg hücreleri için öldürücü olduğunu saptamıştır. Düşük konsantrasyonlarda ise bitki hormonunun kadmiyum, kurşun ve bakır için alg hücrelerinde birikmesini bloke edebildiğini bulmuştur.

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.

Cepoi ve ark., 2020 yılında yapmış olduğu çalışmada mikroalg *Arthrospira platensis* 'in bünyesinde sentetik atıklardan ağır metallerin özellikle bakırın nasıl biriktirildiği araştırmıştır. Çalışma *Arthrospira platensis* mikroalg' inin metal biriktirme kapasitesinin yüksek olduğunu ve yenilenebilir birçok sorbent görevi gördüğünü saptamıştır. Bu sebeple *Arthrospira platensis* 'in biyokimyasal bileşenleri arasında bir denge olduğu özellikle protein içeriğinde bir azalma olduğu vurgulanmıştır.

Abed ve ark., 2021 yılında yapmış olduğu bu çalışma da Iraktaki Al-Dalmaj su lagünü ele alınmış ve bu lagünün güney kesimlerinin mikroplastik kirliliğine maruz kaldığı tespit edilmiştir. Yüksek miktarlarda şeffaf polietilen tespit edilmiş olup bunu yanında PVC gibi farklı mikroplastiklerde bulunmuştur. *Arthrospira platensis* bu lagün içerisinde PVC ye maruz kalarak klorofil içeriğini ve büyüme ve gelişimini durdurmuştur. Al-Dalmaj lagünündeki mikroplastikler organizmaları, balıkları etkileyerek insanlara kadar ulaşan bir sağlık sorunu teşkil etmektedir. Mikroalgler kullanılarak bu lagünde mikroplastik kirliliği için bir izleme, toplama ve biyoremediasyon ajanı olarak *Arthrospira platensis* kullanılmıştır.

Zeng ve Wang, 2011 yılında yapmış olduğu bu çalışma da tatlı su mikroalg 'i olan *Microcystis aeruginosa* 'nın kadmiyum ve çinko alımı ve toksisitesine ışık ve sıcaklık etkisini araştırmışlardır. Çalışma ötrofik tatlı su ekosistemlerinde mikrobiyal çiçeklenme sırasında sıcaklık ve ışık değişiminin biyokimyasal döngülerini etkileyebileceğini öne sürmektedir. Ayrıca araştırmacılar bu çalışmada mikrobiyal hücre içerisindeki çinko ve kadmiyumu da analiz etmişlerdir. Sonuç olarak bu çalışmada düşük konsantrasyonların ve daha yüksek sıcaklık ve ışığın mikrobiyal gelişimi desteklediği vurgulanmıştır.

1.7. Çalışmanın Amacı

Çevresel ekosistemler incelendiğinde çok çeşitli kirlilik kaynakları mevcut olup bu kirlilik kaynaklarının çoğu bu ekosistemlerde yaşayan canlılara toksik etki göstermektedir. Ağır metaller ve mikroplastikler gibi canlılar üzerinde toksik etki yaratan bu kirlilik kaynaklarının sınırlarının bilinmesi etki ettiği ekosisteme ve bu ekosistemdeki bütün canlılara verebileceği zararlar ve sonuçları bilinmelidir.

Yapmış olduğum bu çalışmada su ekosistemlerinin doğal üyelerinden olan yeşil alg *Chlorella vulgaris* ve mavi-yeşil alglerden *Microcystis aeruginosa*, *Arthrospira platensis* ağır metal (kurşun, bakır ve kadmiyum) ve farklı tür ve çaptaki mikroplastik

(PP, PVC ve PS) maruziyetine bırakılmış olup ağır metallerin ve mikroplastiklerin mikroalgler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney süresi boyunca ağır metal ve mikroplastik maruziyetine bırakılmış kültürler optik yoğunluk, askıda katı madde ve klorofil-*a* analizleri yapılmış olup hücredeki toksisiteyi belirleyebilmek için enzim aktivitesi sonucu oluşan malondialdehit ve hidrojen peroksit analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak yapmış olduğum bu çalışmanın ağır metallerin ve mikroplastiklerin sucul ekosistemler üzerindeki etkisinin belirlenmesi adına yapılan toksikolojik çalışmalara katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Çalışma Materyali

Çalışmada kullanılan *Arthrospira platensis* ve *Chlorella vulgaris* Sakarya Üniversitesi Bitki Fizyolojisi ve Alg Ekolojisi Laboratuvarından, *Microcystis aeruginosa* ise Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Hidrobiyoloji Anabilim Dalı, Plankton Kültürü Laboratuvarından temin edilmiş olup Sakarya Üniversitesi Çevre mühendisliği Ana Bilim Dalı Mikrobiyoloji laboratuvarında kültüre alınmıştır.

2.2. Kullanılan Cihazlar

Çalışmanın tamamında kullanılan cihazlar Tablo 2.1 de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Kullanılan cihazlar.

Cihaz Adı	Cihaz İşlevi	Cihaz Markası
Etüv	Kurutma işlemleri	Heraeus
Hassas terazi	Tartım işlemleri	
Soğutuculu Santrifüj	Pelet eldesi	Nüve
Soğutuculu mikrosantrifüj	Süpernatant eldesi	centrion scientific K3
Otoklav	Sterilizasyon	Sanyo
Mikropipet	Enzim analizleri	EPPendorf (10-100) µl
Mikropipet	Solüsyon analizleri	EPPendorf (1-10)ml
Spektrofotometre	Absorbans ölçümleri	PHaro 300
pH metre	pH ölçüm işlemleri	Metler toledo
Mikroskop	Hücre sayımı işlemleri	Olympus
Vakum pompası	Askıda katı madde ö.	Rocker 300
PCR kabini	Steril ortam işlemleri	Herolab
Çalkalayıcı	Alg kültürü homojenliği	Orbital shaker

2.3. Yöntem

2.3.1. Hücre kültürünün hazırlanması

Chlorella vulgaris ve *Microcystis aeruginosa* algleri BG-11 besi ortamında (RiPPka ve ark., 1979) aksenik koşullar altında yetiştirilmiştir (Tablo 2.2). *Arthrospira platensis* alg 'i ise medium besi ortamında yetiştirilmiştir (Tablo 2.5). 500 ml hacme

sahip erlende steril bir şekilde hazırlanan 270 ml besi ortamına 30 ml alg kültürü olacak şekilde kültürlenmiştir. Kültürlenen mikroalgler 25 ± 2 °C'de çalkalayıcı üzerinde 60 mikromolphoton/m²s sürekli aydınlatma altında 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık döngüsü ile inkübe edilmiştir. Kültürlenen mikroalgler'in çalkalayıcı üzerindeki konumları değiştirilmemiş bütün şartlar optimum seviyede sağlanarak 15 gün boyunca 48 saat te bir ölçüm alınarak analiz edilmiştir.

Tablo 2.2. BG-11 besi ortamı içeriği (Andersen, 2005; RiPPka ve ark., 1979).

Solüsyon	Hacim(L)	Bileşik	Miktar(g)
Stok Solüsyon	1	NaNO ₃ ,	1.5
		K ₂ HPO ₄	4
		MgSO ₄ .7H ₂ O	7.5
		CaCl ₂ .2H ₂ O	3.6
		Sitrik asit	0.6
		Demir (II) amonyum sitrat	0.6
		EDTA (disodyum tuzu)	0.1
		Na ₂ CO ₃	2
İz Element Solüsyonu	1	H ₃ BO ₃	2,86
		MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81
		ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,222
		CuSO ₄ .5H ₂ O	0,39
		Co (NO ₃) ₂ .6H ₂ O	0,049

Tablo 2.3. *Spirulina* medium besiyeri içeriği.

Solüsyon	Hacim(L)	Bileşik	Miktar(g)
Spirulina Medium	1	NaHCO ₃	18
		Na ₂ CO ₃	1
		K ₂ HPO ₄	1
		NaNO ₃	2
		KNO ₃	1
		NaCl	1
		MgSO ₄ .7H ₂ O	0,4
		CaCl ₂ .2H ₂ O	0,02
		FeSO ₄ .7H ₂ O	0,02
		NaNO ₃	2
KNO ₃	1		

2.3.2. Uygulanan ağır metal çeşitleri ve konsantrasyonları

Hazırlanan kültürlerle eklenecek olan ağır metaller bileşikleri CuSO₄.5H₂O, Pb (NO₃)₂ ve Cd(NO₃)₂.4H₂O bileşikleri olup kullanılan ağır metal konsantrasyonları hepsi için 0.5-1-2.5-5 ve 10 mg/L olarak belirlenmiştir. *Microcystis aeruginosa* ve *Arthrospira platensis* mikroalgleri kadmiyum ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılırken *Chlorella vulgaris* ise bakır, kurşun ve kadmiyum ağır metallerinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılmıştır. Metal konsantrasyonlarının her biri için ayrı erlen hazırlanmış olup erlen içeriği 270 ml besiyeri ve 30 ml alg kültürlerine sahiptir. Metal konsantrasyonlarına maruz bırakılan alg kültürleri 15 gün boyunca analiz edilip incelenmiştir.

2.3.3. Uygulanan mikroplastik çeşitleri ve boyutları

Hazırlanan mikroalg kültürleri farklı deney düzeneklerinde farklı mikroplastiklere maruz bırakılmıştır. *Chlorella vulgaris* mikroalgi için polivinilklorür (PVC), polipropilen (PP) ve polistiren (PS) mikroplastikleri kullanılmıştır. Kullanılan mikroplastiklerin boyutları PVC ve PP için 100 µm den büyük ve 100 µm den küçük olmak üzere iki farklı boyutta değerlendirilmiştir. Kullanılan PS mikroplastigi için ise 1 µm boyut seçilmiştir. Mikroalg kültürlerine mikroplastigin direkt olarak uygulanması *Chlorella vulgaris* için yapılmıştır.

2.3.4. Deney ortamı ve düzeneği

Temin edilen mikroalg kültürleri laboratuvar şartlarında optimum koşullar sağlanarak çoğaltılıp büyüme ve gelişimi sağlandıktan sonra her bir alg türü için 270 ml besi ortamına 30 ml alg kültürü ekimi yapılmıştır. *Chlorella vulgaris* için bakır, kurşun ve kadmiyum ağır metallerinin farklı konsantrasyonları (0.5-1-2.5-5 ve 10) mg/L hazırlanmış olup alg kültürü hazırlanan ağır metal konsantrasyonlarına maruz bırakılmıştır. *Arthrospira platensis* ve *Microcystis aeruginosa* ise sadece kadmiyum ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına (0.5-1-2.5-5-10) mg/L maruz bırakılmıştır.

Farklı erlenlerde hazırlanan mikroalg kültürleri eş zamanlı olarak aynı erlende mikroplastik ve ağır metal konsantrasyonlarına maruz bırakılmıştır. *Chlorella vulgaris* ağır metallerden kurşun, bakır ve kadmiyumun 0.5 mg/L, 1 mg/L ve 2.5 mg/L lik konsantrasyonları ile mikroplastiklerden PVC, PP, PS 'nin farklı boyutlarına maruz bırakılırken, *Arthrospira platensis* ve *Microcystis aeruginosa* ise sadece kadmiyum ağır metalinin 0.5 mg/L, 1 mg/L ve 2.5 mg/L lik konsantrasyonları ile PVC, PP, PS 'nin farklı boyutlarına maruz bırakılmıştır.

Farklı deney düzenekleri kurularak hazırlanan mikroalg kültürlerinde direkt mikroplastığın etkisi araştırılmış olup *Chlorella vulgaris* mikroalgi mikroplastığın farklı boyut ve çeşitlerine maruz bırakılmıştır.

Bütün deney düzenekleri 15 gün boyunca 48 saatte bir ölçüm alınarak analiz edilmiş olup bu süre zarfında ağır metal ve mikroplastığe maruz bırakılan kültürlerin optik yoğunluk, klorofil-*a*, askıda katı madde ve hücre sayımları yapılmıştır. Hazırlanan her farklı deney düzeneği için içerisinde saf kültür bulunan ve 15 gün boyunca aynı şartlarda gelişime bırakılan kontrol kültürü oluşturulmuştur. Bütün kültürler 15 günün sonunda homojenizasyon işlemine tabi tutulmuş ve -20 °C de saklanmıştır.

2.4. Ölçüm ve Analizler

2.4.1. Optik yoğunluk (OD) ve büyüme oranının belirlenmesi

Mikroalgler'in büyüme oranlarını ve toksik maddelerin mikroalg kültürlerine etkisini anlamak için OD 560 absorbans değeri spektrofotometre de 15 gün boyunca 48 saatte bir takip edilerek incelenmiştir. Spektrofotometrede ölçüm için kör çözelti olarak saf su kullanılmıştır. *Arthrospira platensis*, *Microcystis aeruginosa* ve *Chlorella vulgaris*

mikroalgleri için aynı işlemler tekrarlanmış olup 15. Günün sonunda bütün mikroalgler için büyüme oranları ve toksik etkiler hesaplanmıştır.

2.4.2. Toplam biyokütle analizi

Kültür ortamlarında gelişen *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis* ve *Microcystis aeruginosa* algler için biyokütlesinin tespiti için askıda katı madde (AKM) tayinlerinden faydalanılmıştır. 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 kurutulmuştur. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra hassas terazide tekrar tartılarak (denklem 2.1) biyokütle tespiti yapılmıştır.

$$AKM \text{ mg/L} = (A-B) * 1000 * (V^{-1}) \quad (2.1)$$

A= Filtre kağıdı + kuru kalıntının tartımı (g),

B= Filtre kağıdının tartımı (g),

V= Numune hacmi (ml).

2.4.3. Fotosentetik pigment analizi (Klorofil-a)

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 kağıdı 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 süzölüp spektrofotometrede 630, 645, 665 ve bulanıklık kontrolü için 750 nm dalga boylarında ölçölmüştür. Klorofil-a tayini için bütün kültürler 15 gün boyunca 48 saate bir analiz edilerek canlı biyokütle gelişimi takip edilmiştir. Elde edilen absorbans değerleri ile (Denklem 2.2) klorofil-a değeri hesaplanmıştır.

Klorofil-a µg/L

$$= [11.64 (\text{Abs}663) - 2.16 (\text{Abs}645) + 0,10 (\text{Abs}630)] E.(F) * (V^{-1}) \quad (2.2)$$

F = Seyreltme faktörü, E = Ekstraksiyon için kullanılan aseton (ml), V = Filtre edilen suyun hacmi (L), L = Quartz küvet uzunluğu (cm)'i ifade etmektedir.

2.4.4. Mikroskopik hücre sayımı

Farklı konsantrasyonlarda ağır metale ve farklı boyutta ve türdeki mikroplastiklere maruz bırakılan her bir mikroalg kültüründen mikropipet yardımıyla örnekler alınıp ışık mikroskobu yardımıyla çukur lamda sayım yapılmıştır. Hücre sayımları 15 gün boyunca 48 saatlik periyotlarla yapılarak alg hücrelerinin gelişimi takip edilmiştir. Mikroskopik hücre sayımı denklem 2.3 'de belirtilen formülasyon yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Hücre sayısı. mL}^{-1} = [(C) \times (T_A)] / [(A) \times (V) \times (F)] \quad (2.3)$$

C = Sayılan hücre sayısı

T_A = Sayım hücresi dip alanı

A = Sayım yapılan bölgenin mm² olarak alanı

V = Çöktürülen hacim

F = Sayım bölgesinin kaç birim olduğu

2.4.5. Hidrojen peroksit (H₂O₂) miktar analizi

Hidrojen peroksit miktar analizi Heath ve packer (1968) 'in yöntemi kullanılarak belirlenmiş olup 15 ml hacimde alınan mikroalg kültürlerinden 4000 rpm ve +4°C de 15 dk santrifüj yapıldıktan sonra yaklaşık 0,2 g mikroalg peleti elde edilmiştir. Elde edilen bu pelet 5 ml 0.1 % TCA ile homojenize edilmiştir. Daha sonra 4100 rpm de 10 dk santrifüj edilip 0.5 ml süpernatanta, 0.5 ml, 0.5 M Tris-HCl (pH=7.6) ve 1 ml, 1 M KI (Potasyum İyodür) eklenmiştir. Daha sonra spektrofotometre de 390 nm dalga boyunda absorbans değerleri belirlenmiştir. Hidrojen peroksit miktarı önceden hazırlanan standart grafik yardımıyla nmol/g olarak hesaplanmıştır.

2.4.6. Malondialdehit miktar analizi

Malondialdehit miktar analizi Heath ve packer (1968) 'in yöntemi kullanılarak belirlenmiş olup 15 ml hacimde alınan mikroalg kültürlerinden 4000 rpm ve +4°C de 15 dk santrifüj yapıldıktan pelet elde edilmiştir. Elde edilen bu pelet 5 ml 0.1% TCA (Trikloroasetik asit) ile homojenize edilmiş olup 4100 rpm de 10 dakika santrifüj edilmiştir. 0.5 ml süpernatant 0.5 ml 0.1 M tris-HCl (pH=7.6) ve 1 ml TCA-TBA

çözeltisi (15 % w/v Trikloroasetik asit- 0.375% w/v tiyobarbütirik asit) ile karıştırılmıştır. 60 dakika sıcak su banyosunda (95 °C) bekletilmiştir. Reaksiyon karışımlarının absorbanları 532 ve 600 nm dalga boylarında ölçülmüş olup MDA miktarı ekstinksiyon katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır.

2.4.7. İstatistiksel analizler

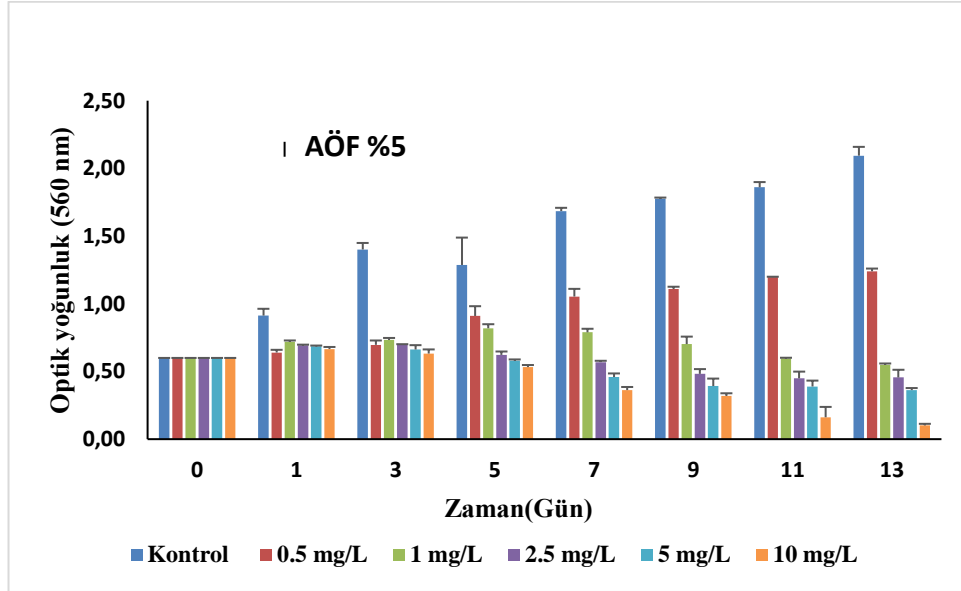
İstatistikler için, verilere SPSS 22. paket programında yer alan tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve değişkenler arasındaki farklılığın belirlenmesi için LSD testi uygulanmıştır. Anlamlı Önemli Fark (AÖF) olan her bir bağımsız değişken için uygulama ve çeşitler arasındaki farkın önem kontrolü %5 düzeyinde hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Optik Yoğunluk (OD)

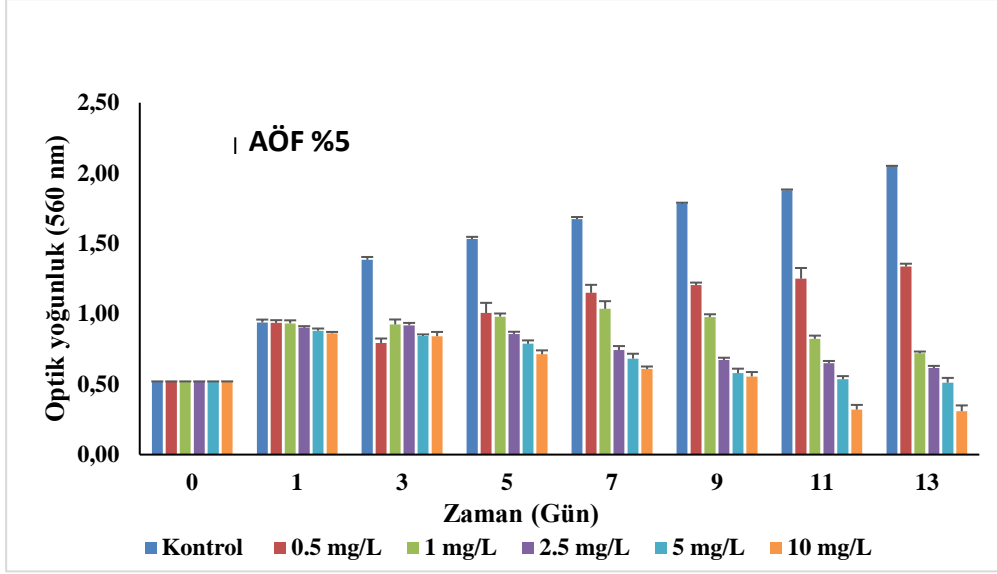
Chlorella vulgaris algine uygulanan bakır ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 3.1 de gösterilmiştir.

Chlorella vulgaris bakır ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına 15 gün süre boyunca maruz bırakılmış ve 48 saatte bir 560 nm absorbansta ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.1. *Chlorella vulgaris*'in Cu konsantrasyonlarına bağlı OD 560 nm absarbansındaki değişimi.

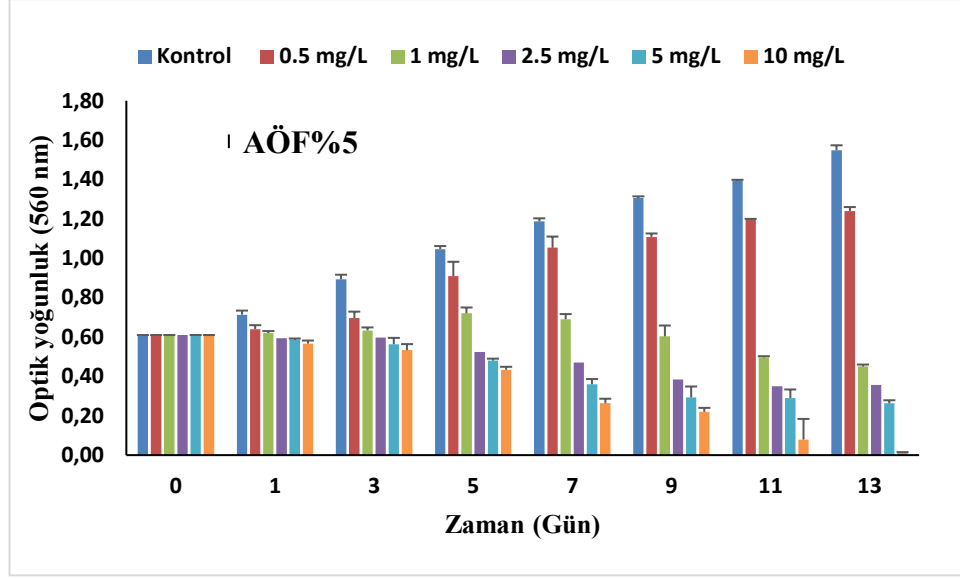
Birinci günden on üçüncü güne kadar bakır metalinin konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Chlorella vulgaris* kültürlerinde birinci gün itibariyle kontrol grubu diğer kültürlerden ayrılmış olup metal konsantrasyonlarının bulunduğu kültürler ise üçüncü gün itibariyle ayrılmaya başlamıştır. Yedinci gün ile metal konsantrasyonlarının bulunduğu kültürler toksik etkiye daha çok maruz kalarak optik yoğunluklarında düşüş gözlemlenmiştir. Kontrole göre kıyaslandığında en fazla düşüş on üçüncü günün sonunda 10 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip olan örnekte anlamlı fark tespit edilmiştir ($p>0.05$).



Şekil 3.2. *Chlorella vulgaris*'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

Birinci günden on üçüncü güne kadar kurşun metalinin konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Chlorella vulgaris* kültürlerinde birinci gün kontrole birlikte bütün konsantrasyonlar artarken kontrole kıyasla optik yoğunluk değerlerinde istatistiki bir değişme gözlemlenmemiştir ($p>0.05$). Üçüncü gün ile kontrol grubunda artışlar mevcutken metal konsantrasyonları beşinci gün itibari ile ayırmaya başlamıştır. Kurşun toksisitesinin verdiği zarar en yüksek dozdaki 10 mg/L lik kültürde ölçülmüş, on üçüncü günün sonunda kontrole göre kıyaslandığında anlamlı fark tespit edilmiştir ($p>0.05$).

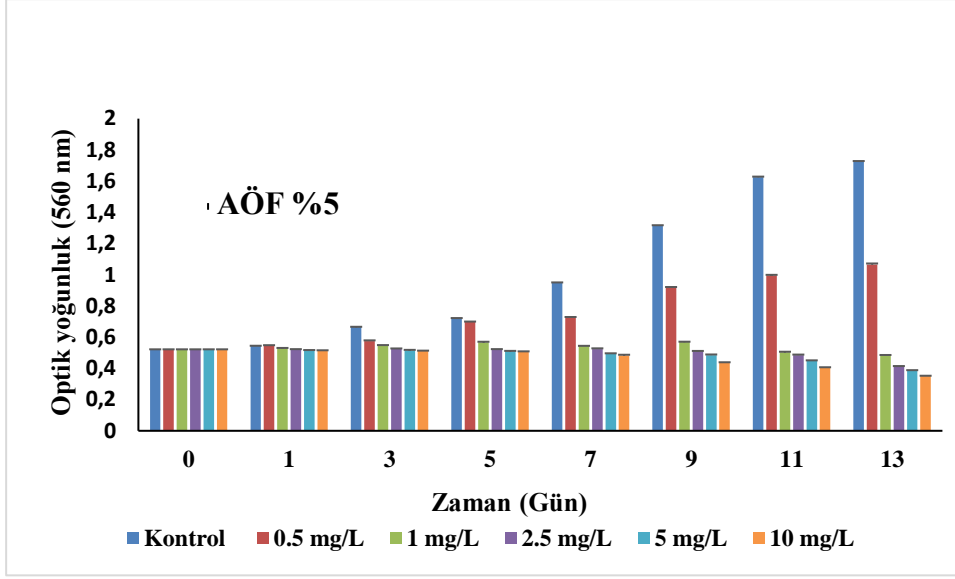
Kurşun ile bakır metalinin mikroalg kültürlerine verdiği zarar kıyaslandığı zaman bakırın *Chlorella vulgaris* üzerinde daha fazla toksik etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Kurşun ağır metalinin maruz bırakılan mikroorganizmaya hızlı bir şekilde etki etmediği bakır metalinin ise anında toksikliğini gösterdiği elde edilen absorbans değerlerinden anlaşılmıştır. Ağır metal konsantrasyonu arttığında alg kültürleri üzerindeki toksiklik giderek artarak mikroalg gelişim hızı düşmektedir.



Şekil 3.3. *Chlorella vulgaris*'in Cd^{+2} konsantrasyonlarına bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

Birinci günden on üçüncü güne kadar kadmiyum metalinin konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Chlorella vulgaris* kültürlerinde birinci gün itibariyle bütün metal konsantrasyonları ayrışmaya başlamış olup kontrol ile kıyaslandığında anlamlı farklar tespit edilmiştir ($p>0.05$). Kadmiyum ağır metali konsantrasyonu arttıkça toksikliği artmıştır. Kontrolle birlikte kadmiyumun 0.5 mg/L lik dozu, içerisine eklendiği mikroalge ciddi toksik etki etmeyip mikroalg 'in gelişimine müsaade etmiştir.

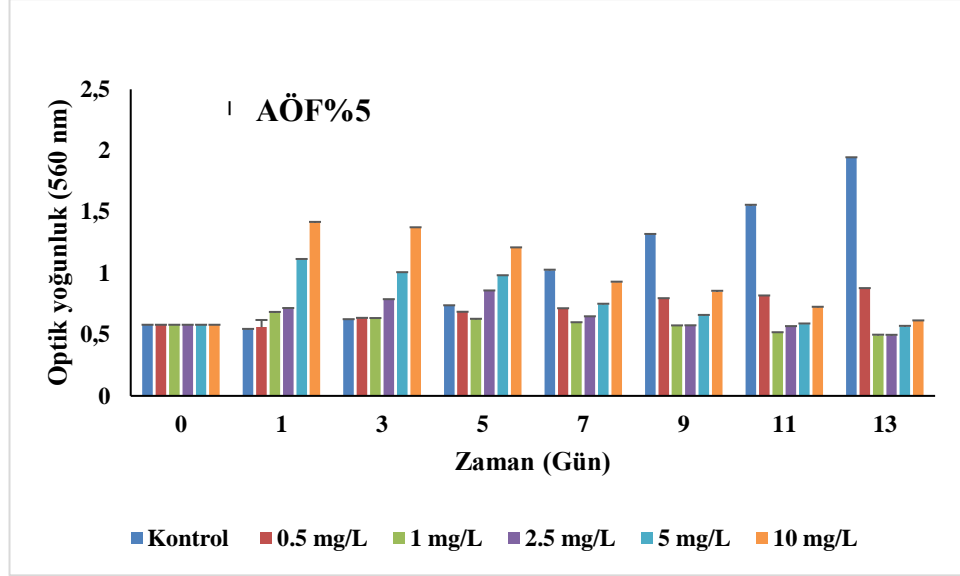
Ağır metal konsantrasyonu arttıkça toksiklik artmış olup en fazla toksik etkiyi 10 mg/L lik kadmiyum metalinin eklendiği kültür göstermiştir. Kontrol ile kıyaslandığı zaman anlamlı farklar tespit edilmiştir ($p>0.05$). Kadmiyum metal konsantrasyonlarının eklendiği kültürler kendi aralarında kıyas edildiğinde en az toksik etkiye maruz kalan kültür 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna maruz kalan kültür olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. *Microcystis aeruginosa* 'nın Cd^{+2} konsantrasyonlarına bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

Birinci günden on üçüncü güne kadar kadmiyum metalinin konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Microcystis aeruginosa* kültürlerinde ilk üç gün metal konsantrasyonlarında fark gözlemlenmezken ilk günlük kültürler kontrol ile kıyaslandığında 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültür ve diğer kültürlerin tamamında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$).

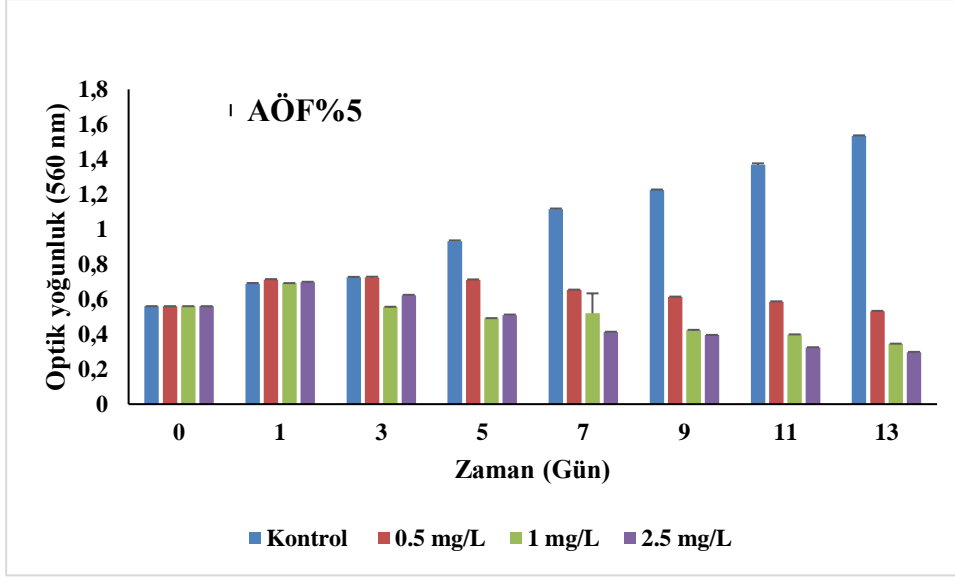
On üçüncü günün sonunda kadmiyum metalinin toksik etkisinin 0.5 mg/L lik konsantrasyon kültür hariç diğer bütün kültürlerde etkisi gösterdiği ancak dozlar arasında kıyaslama yapıldığında toksik etkinin yine en çok en yüksek konsantrasyona sahip kültürde olduğu tespit edilmiştir. Kontrol ile kıyaslama yapıldığında istatistiksel olarak on üçüncü günde bütün kültürlerde anlamlı fark tespit edilmiştir ($p>0.05$).



Şekil 3.5. *Arthrospira platensis* 'in Cd^{+2} konsantrasyonlarına bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

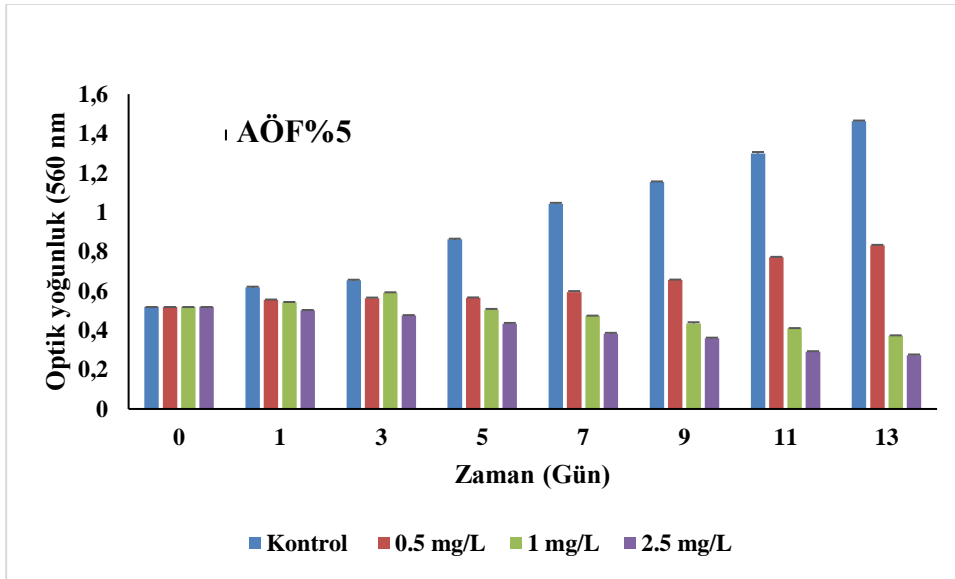
Birinci günden on üçüncü güne kadar kadmiyum metalinin konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Arthrospira platensis* kültürleri, metal konsantrasyonlarının mikroalg kültürlerine verdiği zararın etkisi birinci gün itibari ile tespit edilmiştir.

Zamana bağlı olarak kadmiyum metalinin 10 mg/L lik konsantrasyonu *Arthrospira plasentis* mikroalgine en fazla toksik etki etkiyi yapmıştır. Birinci gün bütün kültürler kontrol ile kıyaslandığında sadece 0.5 mg/L lik konsantrasyona sahip kültür istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmezken ($p>0.05$), diğer bütün dozlarda istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir ($p<0.05$). On üçüncü gün bütün kültürlerde kontrol göre anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($P<0.05$)



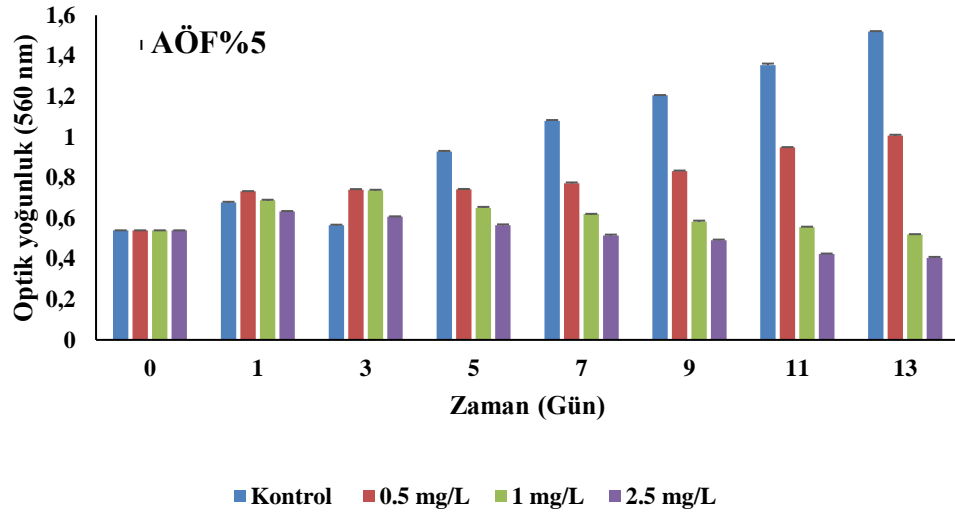
Şekil 3.6. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

Chlorella vulgaris mikroalgi bakır ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığına maruz bırakılarak zamana bağlı absorbans değerleri incelenmiş olup birinci gün itibariyle kontrol ile kıyaslandığında istatistiksel olarak bütün kültürlerde anlamlı artış gözlemlenmiştir ($p < 0.05$). Beşinci gün ile bütün kültürlerde ayrışma başlamış ve on üçüncü gün en fazla toksik etki 2.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna ve mikroplastığına sahip kültürde gözlemlenmiştir. On üçüncü gün kültürler kontrol ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı azalış tespit edilmiştir ($p < 0.05$).



Şekil 3.7. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

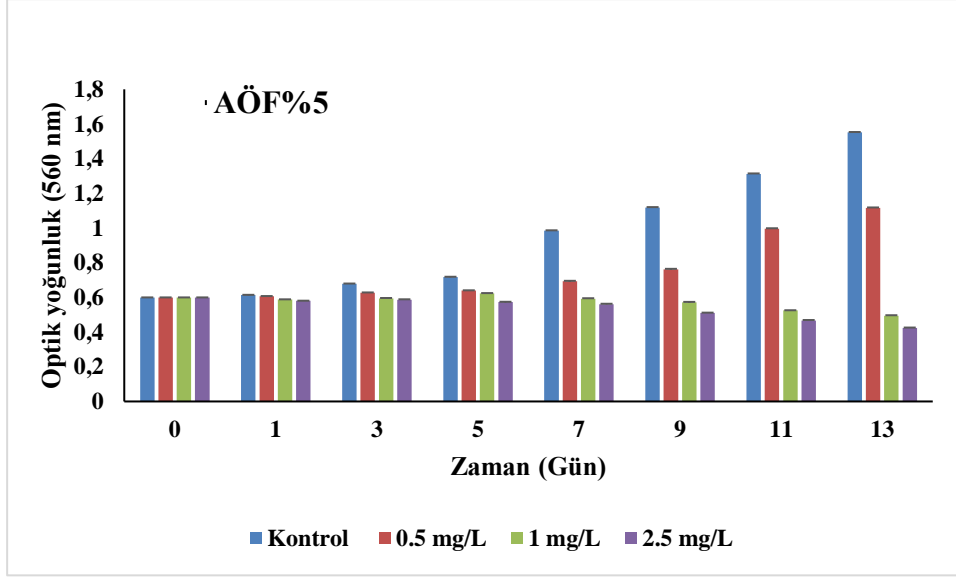
Chlorella vulgaris mikroalgi bakır ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığına maruz bırakılarak zamana bağlı absorban değerleri Şekil 3.7 de incelenmiş olup birinci gün itibariyle kontrol ile kıyaslandığında istatistiksel olarak bütün kültürlerde anlamlı farklar gözlemlenmeye başlamıştır ($p<0.05$). Beşinci gün ile kültürler birbirinden ayrılmaya başlamış on üçüncü gün ise en düşük absorban değeri 2.5 mg/L lik metal konsantrasyonu ve PVC mikroplastığına sahip kültürde gözlemlenmiştir. On üçüncü günkü metal ve mikroplastik konsantrasyonları kontrol ile kıyaslandığında istatistiksel olarak bütün kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($P<0.05$).



Şekil 3.8. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve polistiren mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbanındaki değişimi.

Chlorella vulgaris mikroalginin bakır ağır metalinin farklı konsantrasyonları ve polistiren mikroplastığına maruz bırakılmasına bağlı absorban değişimi Şekil 3.8 de verilmiştir.

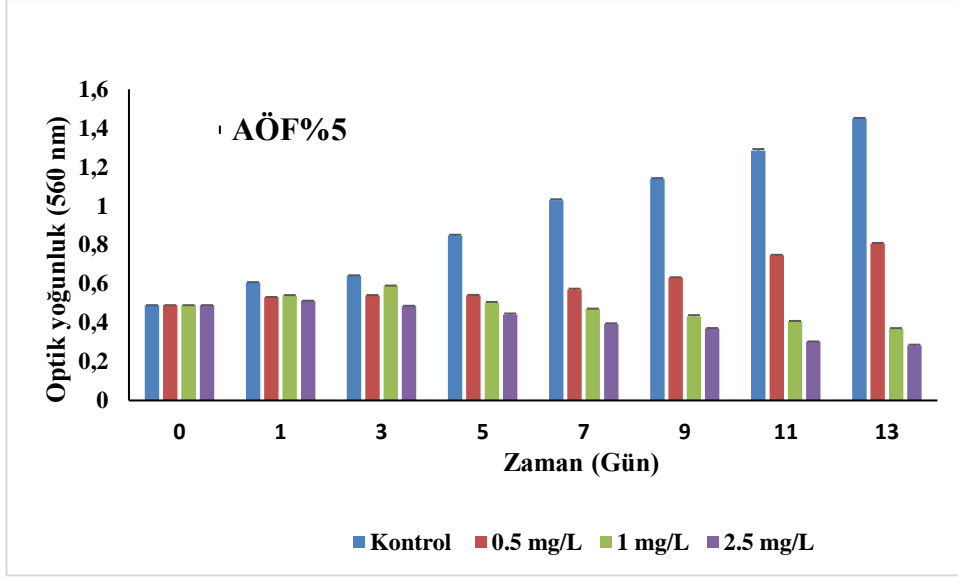
Birinci gün itibariyle metal konsantrasyonlarının bulunduğu kültürlerde anlamlı artışlar kontrole göre kıyaslandığında tespit edilirken ($p<0.05$), beşinci gün metal kültürlerde ayrışma başlamış olup on üçüncü gün kültürler kontrole göre kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p<0.05$). En fazla toksik etki bakır metalinin 2.5 mg/L konsantrasyonuna ve polistiren mikroplastığına sahip kültürlerde tespit edilmiştir.



Şekil 3.9. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in kurşun ağır metalinin farklı konsantrasyonları ve PP mikroplastığına maruz bırakılmasına bağlı absorbans değişimi Şekil 3.9 de verilmiştir.

Chlorella vulgaris kültürlerinde beşinci gün konsantrasyonların alg kültüre üzerindeki toksiklik etkisi belirgin bir şekilde fark edilirken on üçüncü gün ile toksik etki ve mikroplastığın alg kültürü üzerinde gölgeleme etkisi sebebiyle gelişim çok fazla olamamıştır. Kontrole göre kıyaslama yapıldığında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Ağır metal ve mikroplastik ilavesi yapılan bütün kültürler kendi arasında kıyaslandığı zaman en fazla toksik etki 2.5 mg/l metal konsantrasyonuna maruz kalmış kültürde meydana gelirken büyüme ve gelişim yavaşlamıştır. En iyi gelişim 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna maruz kalan kültürde tespit edilmiştir.

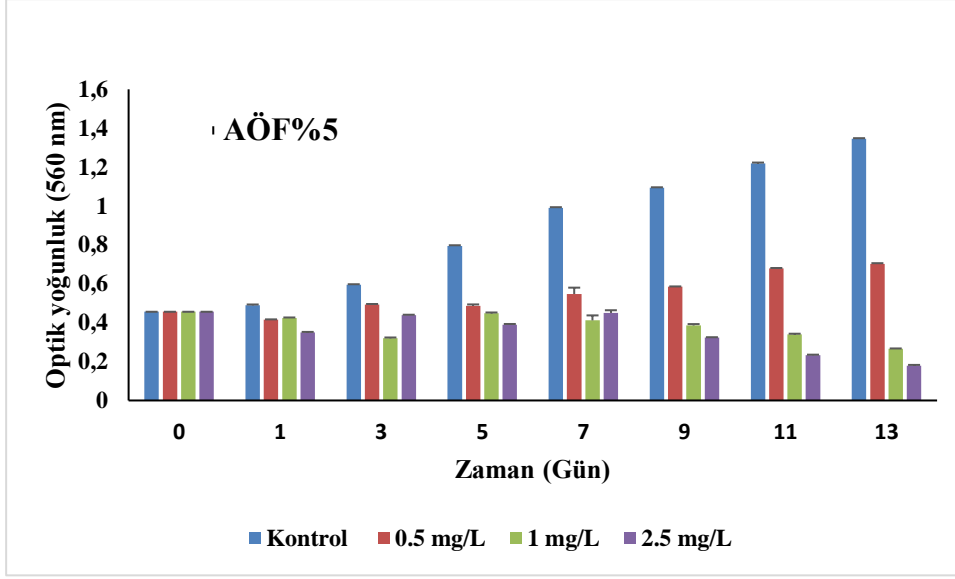


Şekil 3.10. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal ve mikroplastik maruziyeti sonucu değişimi Şekil 3.10 da verilmiştir.

Boyut olarak 100 µm nin altında ilavesi yapılan PVC ve metal konsantrasyonları eklenen kültürlerden birinci gün istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilirken ($p<0.05$) bütün kültürlerde üçüncü gün ayrışmalar görülmeye başlanmıştır. Toksik etkinin en iyi görüldü yer on üçüncü gün olup kurşun ağır metalinin 2.5 mg/L lik konsantrasyonuna sahip kültürde absorbans değeri baz alındığında ciddi düşüş gözlemlenmiştir.

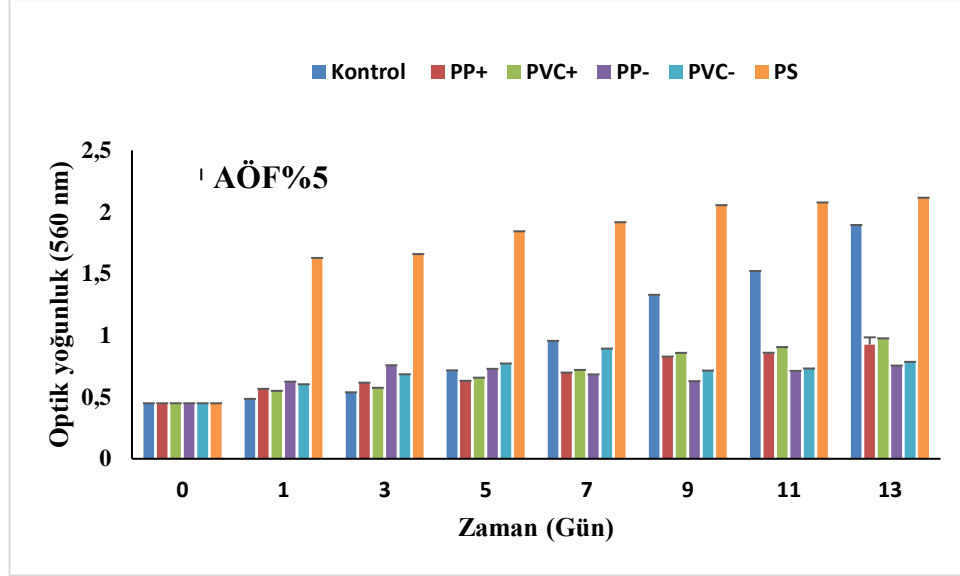
Konsantrasyonlar arasında en az toksik etkiyi 0.5 mg/L lik kurşun konsantrasyonunda gözlemlenmiştir. Kontrole kıyasla 0.5 mg/L lik konsantrasyona sahip kültür büyüme ve gelişim açısından yavaşlarsa da diğer dozlar ile kıyaslandığında gelişimini ilerletmiştir. İstatistiksel olarak kontrole kıyas edildiğinde on üçüncü gün bütün kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p<0,05$).



Şekil 3.11. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve polistiren mikroplastığı maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal ve polistiren mikroplastik maruziyeti sonucu değişimi Şekil 3.11 de verilmiştir.

Kurşun ağır metali ve polistiren mikroplastığına maruz bırakılan *Chlorella vulgaris* 'in zamana bağlı absorbans değerleri incelediğinde kontrol grubunun zamana bağlı olarak sürekli büyüme ve gelişim gösterdiği, kurşun ağır metali ve mikroplastik ilavesi yapılan kültürlerde ise ilave yapılan konsantrasyon miktarına bağlı olarak zamanla gelişim yavaşlamış en az gelişimin gözlemlendiği kültür ise 2.5 mg/L lik konsantrasyonda tespit edilmiştir. Kontrol ile kıyaslandığında bütün kültürlerin on üçüncü gününde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p < 0.05$).



Şekil 3.12. *Chlorella vulgaris* 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastik maruziyetine bağlı OD 560 absorbansındaki değişimi.

Chlorella vulgaris kültürlerine ilavesi yapılan boyut olarak 100 µm den küçük PP, PVC ve yine boyut olarak 100 µm den büyük PP ve PVC mikroplastikleri seçilmiş olup PS mikroplastik boyutu ise 1 µm olarak belirlenerek kültürlerle etkisi zamana bağlı olarak Şekil 3.12 de gösterilmiştir.

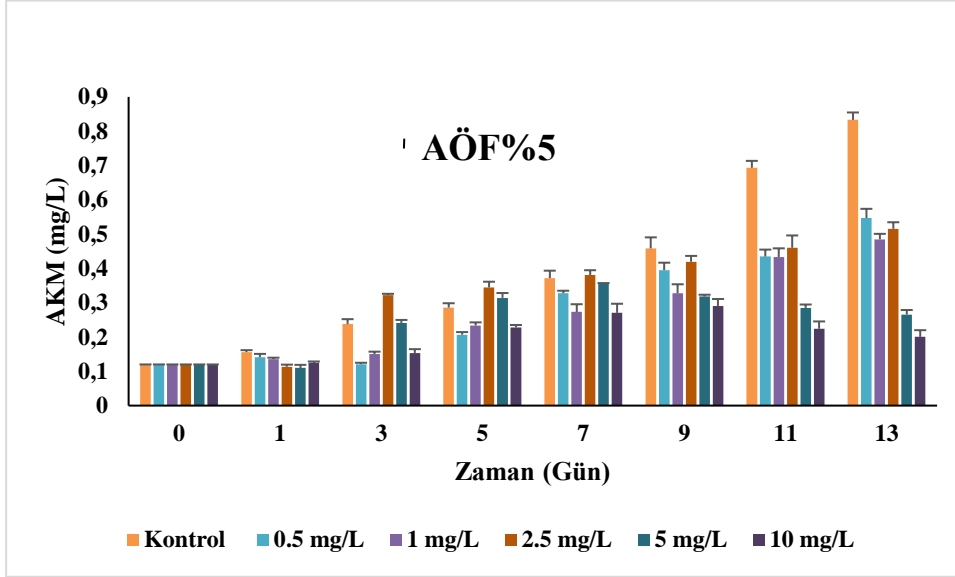
Mikroplastik ilavesi yapılan kültürlerin zamana bağlı grafiği incelendiğinde birinci gün itibari ile polistiren eklenen kültür diğer dozlardan ayrılmıştır. PP ve PVC mikroplastikleri (>100 µm) kontrol ile kıyaslandığında anlamlı fark gözlemlenmemiştir ($p>0.05$). PS ve 100 µm den küçük PP ve PVC ise kontrol ile kıyaslandığında anlamlı artışlar gözlenmemiştir ($p>0.05$).

Zamana bağlı absorbans değişim grafiği incelendiğinde kontrol kültürü normal büyüme eğrisi grafi çizerken ilk günden itibaren polistiren ilavesi yapılan kültürde ciddi oranda absorbans değerinde artma gözlemlenmiştir. On üçüncü gün incelendiğinde PS ilavesi yapılan kültürdeki absorbans değeri kontrole göre anlamlı artarken diğer kültürlerin tamamı anlamlı olarak azalmıştır ($P<0.05$).

3.2. Askıda Katı Madde (AKM)

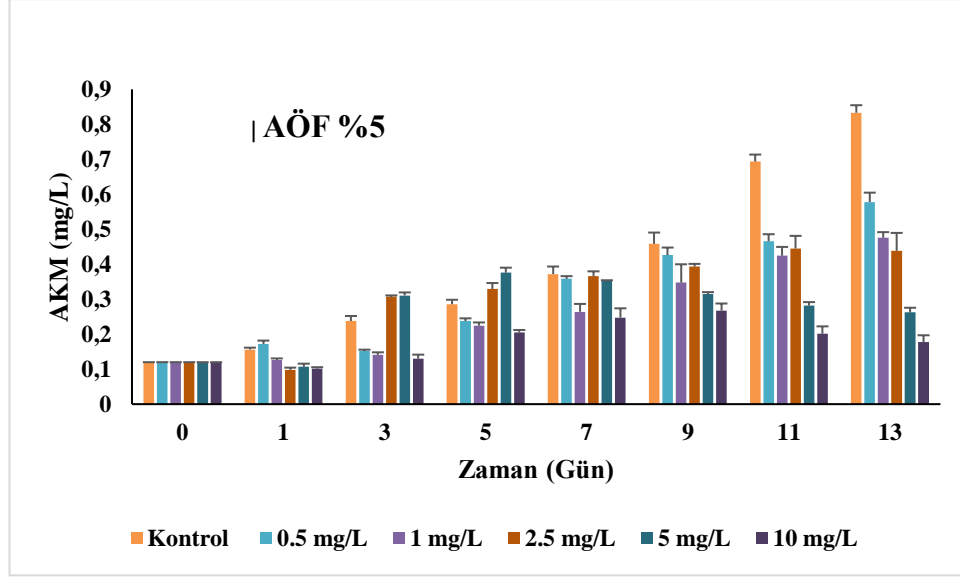
Chlorella vulgaris alg kültürlerine uygulanan bakır ağır metalinin farklı konsantrasyonlarının kültürlerle olan etkisini anlamak ve mikroorganizmaların gelişimini takip edebilmek için askıda katı madde 15 gün boyunca 48 saatte bir analiz edilerek izlenmiştir.

Şekil 3.13 de *Chlorella vulgaris* 'in zamana bağlı olarak askıda katı madde değişimi verilmiştir.



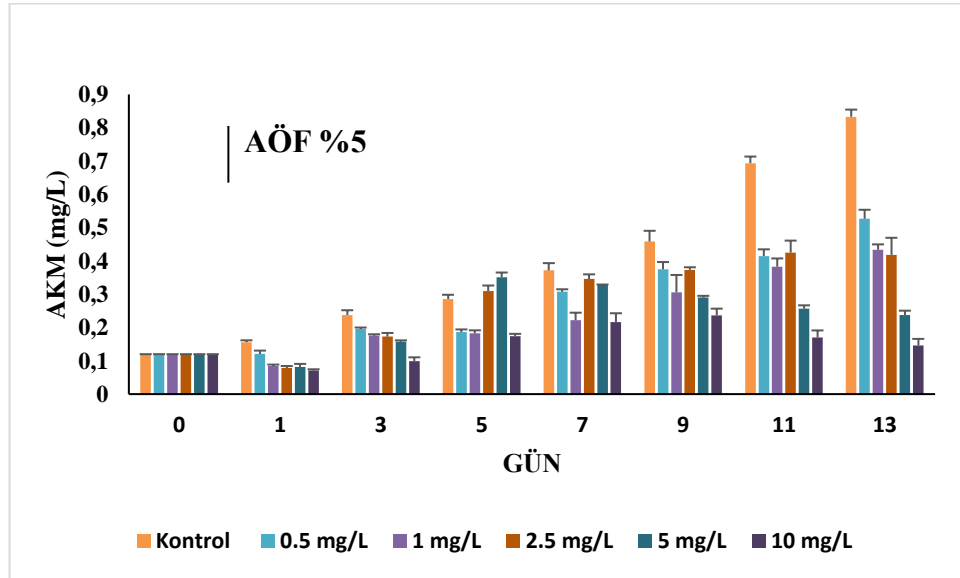
Şekil 3.13. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.

Bakır metalinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılan yeşil alg *Chlorella vulgaris* 'in grafiği incelendiğinde birinci gün kültürler arasında ciddi oranda değişiklik gözlemlenmemekte olup kontrole göre kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). On üçüncü gün bütün kültürler incelendiğinde askıda katı maddenin zamana bağlı artışı en fazla kontrol grubu hariç 0.5 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürde gözlemlenmiştir. En az askıda katı madde oluşumu ise 10 mg/L lik konsantrasyonda gözlemlenmiştir. Kontrol ile kıyaslandığında on üçüncü gün istatistiksel olarak bütün kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p<0.05$).



Şekil 3.14. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.

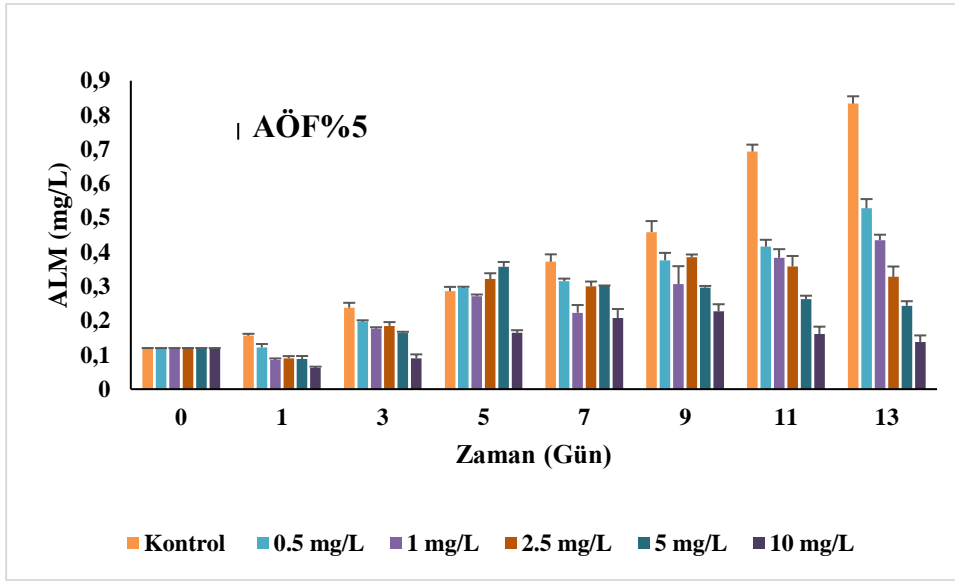
Chlorella vulgaris mikroalginin kurşun ağır metalinin etkisinin zamana bağlı değişimi Şekil 3.14 de gösterilmiştir. Birinci gün bütün kültürlerde kontrol ile kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p > 0.05$). On üçüncü gün kültürlerin zamana bağlı askıda katı madde değişimi incelendiğinde kontrol grubuna kıyasla anlamlı azalışlar gözlemlenmiştir. ($p < 0.05$).



Şekil 3.15. *Chlorella vulgaris* 'in Cd^{+2} farklı konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.

Chlorella vulgaris mikroalginin kadmiyum metaline maruziyeti sonucu zamana bağlı askıda katı madde miktarındaki değişim Şekil 3.15. de verilmiştir.

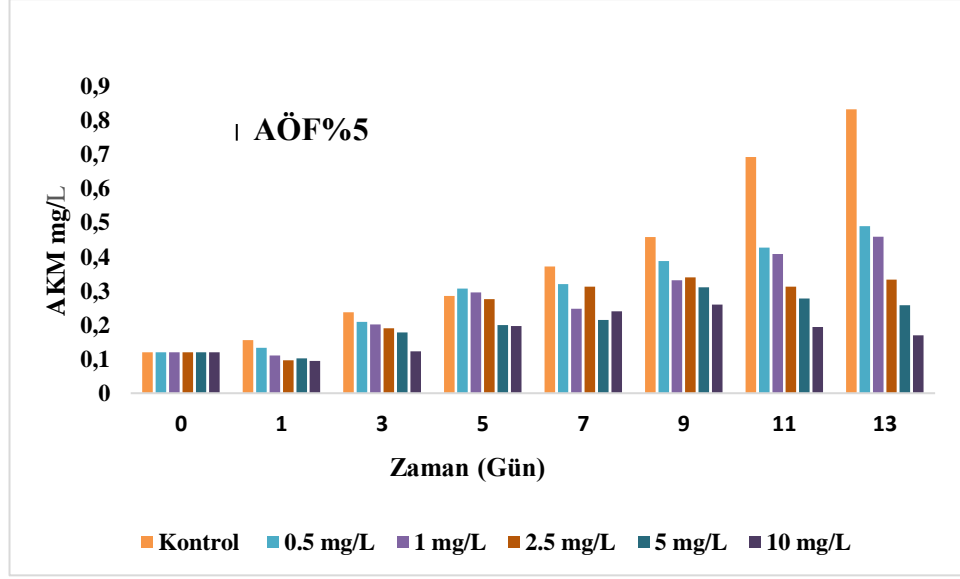
Askıda katı madde değişim grafiği incelendiği zaman metal maruziyeti ilk gün den toksik etlisini göstermiş olup konsantrasyon arasındaki ayrışmalar tespit edilmiştir. Kontrol kültürüne göre kıyaslandığı zaman istatistiksel olarak anlamlı azalış tespit edilmiş olup ($p<0.05$) yedinci gün itibariyle ayrışmalar daha da belirginleşmiştir. Askıda katı madde miktarına kültürlerin toksik metale maruz kalması sonucu ölü hücrelerde etki etmiştir. On üçüncü günkü değişim incelendiğinde en fazla askıda katı madde kaybı 10 mg/L lik konsantrasyon da meydana gelmiş olup bütün kültürlerde istatistiksel olarak anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p<0.05$).



Şekil 3.16. *Microcystis aeruginosa* 'nın Cd^{2+} farklı konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.

Microcystis aeruginosa mavi-yeşil alg'i zamana bağlı olarak kadmiyum ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılmış ve askıda katı madde miktarındaki değişim şekil 3.16 da verilmiştir.

Kontrol grubu standart bir büyüme grafiği gösterirken metal maruziyetine bırakılan kültürlerden en fazla 0.5 mg/L lik doz artmıştır. İstatistiksel olarak birinci gün 1 ve 10 mg/L lik konsantrasyonlarda anlamlı bir azalma gözlemlenirken ($p<0.05$) diğer konsantrasyonlarda anlamlı bir fark görülemedi ($p>0.05$). On üçüncü günde kontrole kıyasla istatistiksel olarak bütün kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p>0.05$).

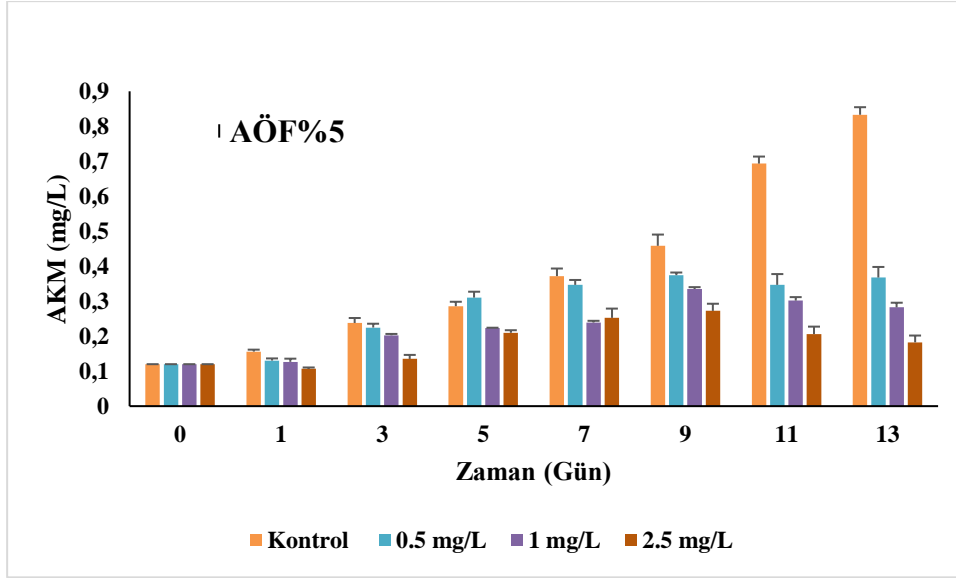


Şekil 3.17. *Arthrospira platensis* 'in Cd⁺² farklı konsantrasyonlarına ve zamana bağlı askıda katı madde değişimi.

Arthrospira platensis kadmiyum ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılarak zamana bağlı olarak askıda katı madde değişimi şekil 3.17 de verilmiştir.

Zamana bağlı grafik incelediğinde birinci gün ile kadmiyum metalinin toksik etkisi artmış olup kültürler arasında askıda katı madde değişimi gözlemlenmeye başlamıştır. İstatistiksel olarak kontrol ile kıyaslama yapıldığında bütün kültürlerde anlamlı azalma tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

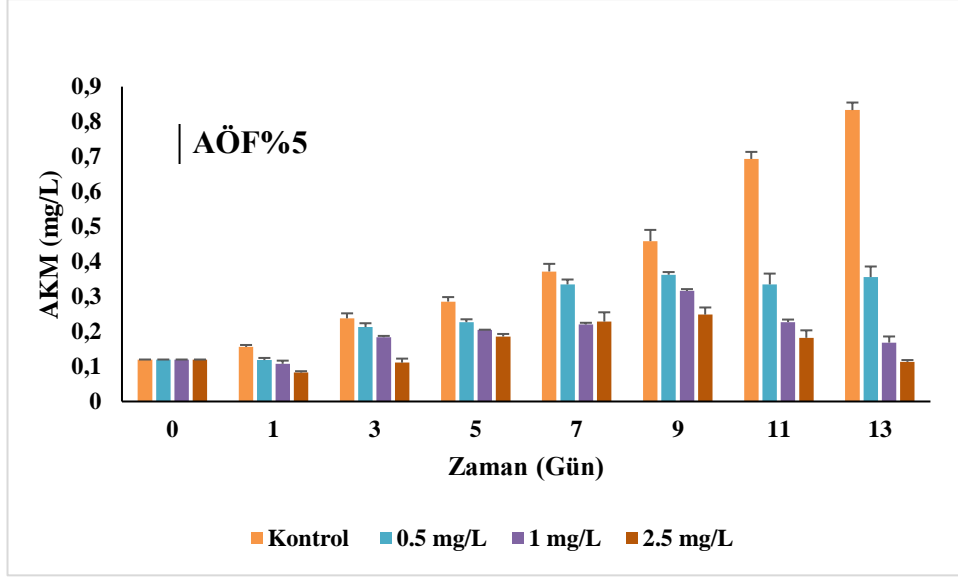
Arthrospira platensis mikroalginin uzun ve sarmal yapısından kaynaklı metal toksisitesi etki ettiği hücreyi parçalamış ve kültür içinde ölü hücre sayısını artırmıştır. Askıda katı madde değişimine ölü hücrelerin etkisi olmuştur. Yedinci gün incelendiğinde kültürler arasındaki askıda katı madde değişimi ölü hücrelerin varlığından kaynaklanmaktadır. Toksik etki sonucu ölen alg hücreleri mikroskop yolu ile tespit edilmiş olup on üçüncü günün sonunda yapılan analizlerde en fazla askıda katı madde kaybı yaşayan kültür 10 mg/L lik konsantrasyon da meydana gelmiştir. İstatistiksel olarak kontrol ile kıyaslama yapıldığında bütün kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p < 0.05$).



Şekil 3.18. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığına bağlı askıda katı madde değişimi.

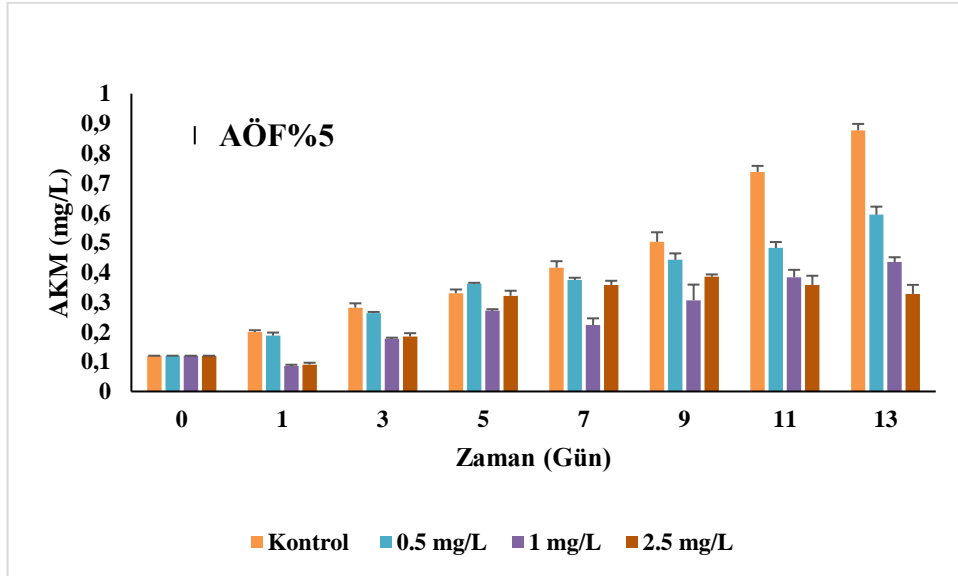
Chlorella vulgaris bakır metaline ve 100 µm den küçük boyutlu PP mikroplastığına maruz bırakılarak zaman bağlı olarak askıda katı madde miktarlarındaki değişim Şekil 3.18 de verilmiştir. Birinci gün bütün kültürlerde istatistiksel olarak kontrole kıyasla anlamlı farklar tespit edilmemiştir ($p>0.05$).

Mikroplastik varlığı kaynaktan çıkan ışığın kültürlerle ulaşmasını engellemiş ve bakırın toksik etkisi ile alg kültürlerinde gelişim yavaşlamış hücrelerde ölümler başlamıştır. Zamana bağlı grafikteki son gün ise en fazla askıda katı madde kaybı 2.5 mg/L lik konsantrasyona maruz bırakılan kültürde meydana gelmiştir. En son günün istatistiki olarak kontrol ile kıyaslamasında bütün kültürler için anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p<0.05$).



Şekil 3.19. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.

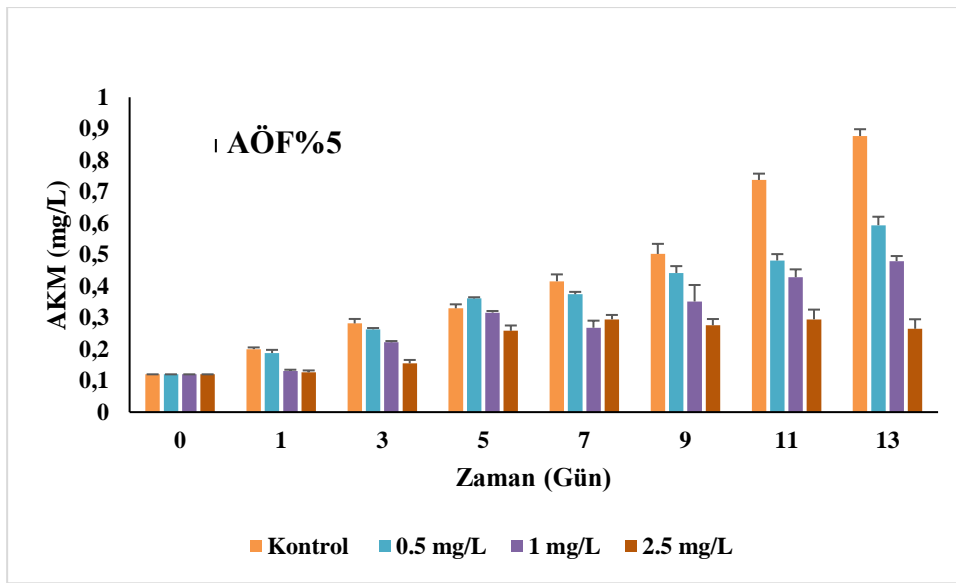
0.5-1-2.5 mg/L lik bakır ağır metali konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne maruz bırakılan *Chlorella vulgaris* 'in zamana bağlı olarak askıda katı madde değişimi Şekil 3.19 da verilmiştir. Zamana bağlı grafik incelendiğinde birinci gün istatistiksel olarak kontrol ile kıyaslandığında bütün kültürlerde anlamlı fark tespit edilmemiştir ($p < 0.05$). On üçüncü gün ise bütün kültürlerde kontrole kıyasla anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p > 0.05$).



Şekil 3.20. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.

Bakır ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığına maruz bırakılan *Chlorella vulgaris* 'in zamana bağlı askıda katı madde değişimi Şekil 3.20 de verilmiştir.

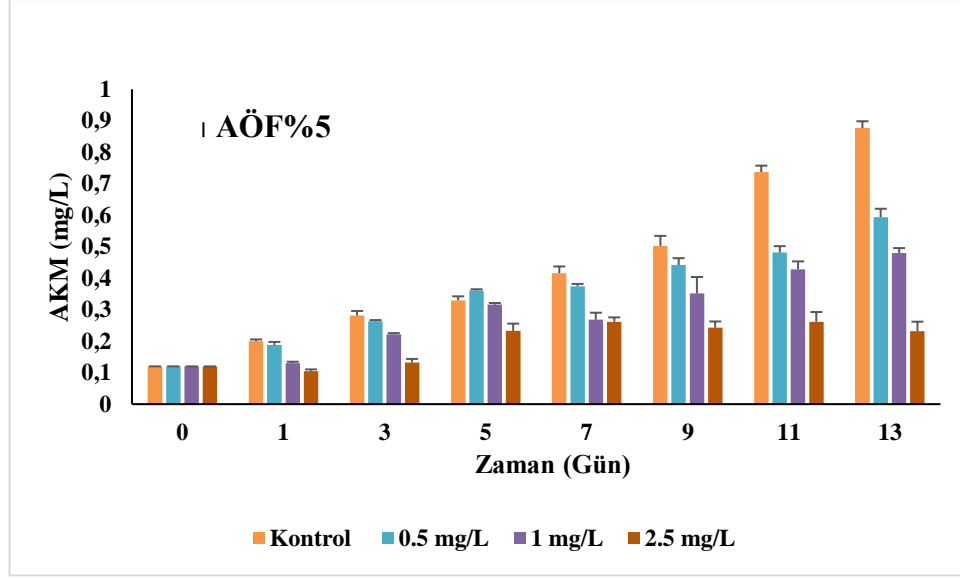
Zamana bağlı değişim grafiği incelendiğinde birinci gün istatistiksel olarak sadece 0.5 mg/L lik konsantrasyona ait kültürde anlamlı bir artış gözlemlenirken ($p < 0.05$) diğer kültürlerde anlamlı bir fark görülememiştir ($p > 0.05$). Yapılan analizlerin sonuncu gününde istatistiksel olarak kontrol ile kıyaslama yapıldığında bütün kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiş olup ($p > 0.05$) en fazla askıda katı madde kaybı 2.5 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürde meydana gelmiştir.



Şekil 3.21. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığına bağlı askıda katı madde değişimi.

Chlorella vulgaris kültürlerine ilavesi yapılan metal ve mikroplastik konsantrasyonlarının zamana bağlı askıda katı madde değişim grafiği Şekil 3.21 de gösterilmiştir. Birinci gün 2.5 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürde anlamlı azalma gözlenirken ($p < 0.05$) diğer kültürlerde anlamlı bir fark görülmemiştir. Mikroplastik ve kurşun maruziyetine bırakılan kültürlerdeki askıda katı madde değişim en fazla on üçüncü gün 2.5 mg/L de meydana gelmiştir.

Mikroskop yardımıyla bütün kültürler incelenmiş olup metal ve mikroplastik toksikliğin mikroalg hücrelerine zararları tespit edilmiştir. Hücre boyutlarında küçülme, hücrelerin parçalanması ve ölü hücre kalıntılarının varlığı tespit edilmiştir.

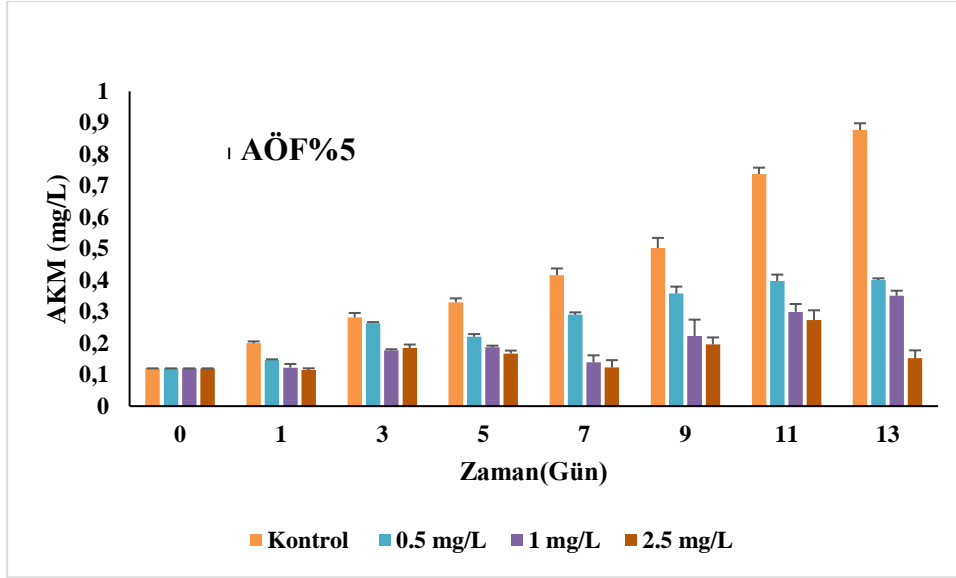


Şekil 3.22. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.

Chlorella vulgaris 'in kurşun metaline ve mikroplastığe maruz bırakılması sonucu askıda katı madde değişim grafiği Şekil 3.22 de verilmiştir.

Mikroalg kültürlerinin zamana bağlı grafiği incelendiğinde bütün kültürlerde analiz süresi boyunca anlamlı artış veya azalış görülmemiş olup kıyaslamalar istatistiksel olarak kontrol baz alınarak yapılmıştır. En fazla askıda katı madde azalışı analiz süresinin sonuncu günü baz alındığında 2.5 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürde meydana gelmiş olup eklenen kurşun metali toksik etkisini göstermiştir.

Kurşun ve bakır metali kıyaslandığında ise bakır metalinin kurşun metaline göre daha fazla toksik etki barındırdığı anlaşılmaktadır. PP ve PVC mikroplastikleri algelere ilave edildikten sonra analiz süresi boyunca boyutlarında çok az bir erime gözlemlenmiş olup kültürlerin büyüme ve gelişimi için temel unsur ışığın geçirgenliğini azaltmıştır. Bütün kültürlerde PVC varlığı büyüme ve gelişim için engelleyici unsur olarak görev yapmıştır.

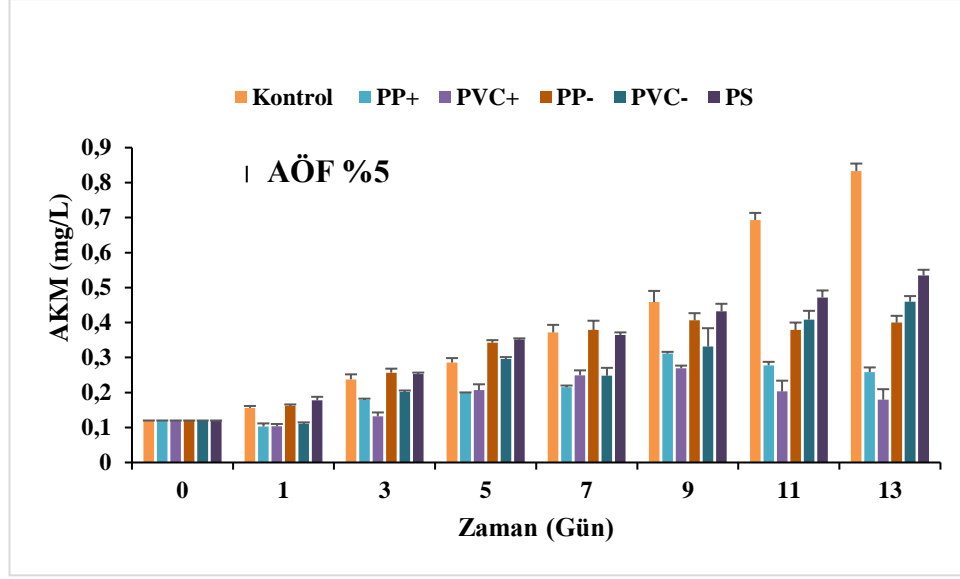


Şekil 3.23. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı askıda katı madde değişimi.

Chlorella vulgaris alg kültürlerinin metal ve mikroplastik maruziyetine bağlı olarak askıda katı madde değişimi Şekil 3.23 de verilmiştir.

1 μm çap oranına sahip PS mikroplastığı sıvı halde bütün kültürlere eklenmiş ve zamana bağlı olarak analiz işlemlerinin en sonuncu gününe kadar kültürlerde varlığını kaybetmiştir. Mikroalg kültürlerinin gelişimini destekleyen ışık geçirgenliği PS varlığının bitmesiyle artmış olsa da kurşun ağır metalinin kültürlerdeki varlığı büyüme ve gelişimi sınırlamıştır. Öyle ki birçok kültürde mikroalg hücrelerinin boyutlarında küçülme hatta ölümlere sebebiyet vermiştir.

Kültürlerdeki askıda katı madde değişimi istatistiksel olarak kontrol ile kıyaslandığında birinci gün 1 ve 2.5 mg/L lik konsantrasyona sahip kültür anlamlı azalmış ($p < 0.05$) diğer kültürlerin kontrol ile kıyasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. On üçüncü gün kontrol ile kıyas edildiğinde bütün kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($P < 0.05$).



Şekil 3.24. *Chlorella vulgaris* 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastik maruziyetine bağlı askıda katı madde değişimi.

Chlorella vulgaris 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastiklere maruziyeti sonucu askıda katı madde miktarındaki zamana bağlı değişim Şekil 3.24 de verilmiştir.

Mikroalg kültürlerine ilavesi yapılan 100 µm den büyük ve küçük PP ve PVC, 1 µm boyutlu PS mikroplastikleri 'nin *Chlorella vulgaris* üzerinde askıda katı madde değişim grafiği incelediği zaman birinci günlük değişimler istatistiksel olarak kontrol ile kıyas yapılmış olup 100 µm den büyük boyutlu olan PP, PS ve PVC mikroplastığı içeren kültürlerde anlamlı farklar tespit edilmemiştir ($p>0.05$).

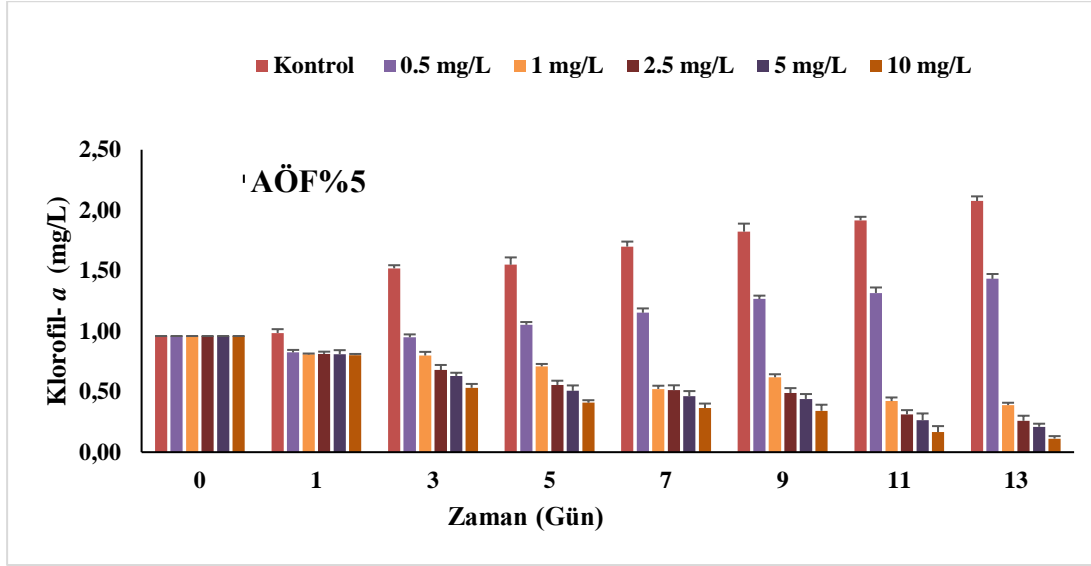
On üçüncü gün PS ve 100 µm den küçük PP, PVC içeren kültürler istatistiksel olarak incelendiğinde kontrole göre kıyaslanmış olup anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Bütün kültürler kendi arasında kıyaslandığında kontrol grubu olarak kültürlenmiş mikroalg kültürü standart bir büyüme eğrisi gösterirken mikroplastik ilavesi yapılan kültürler de büyüme ve gelişim yönünden ayrışmalar tespit edilmiştir. En iyi gelişim gösteren mikroplastik ekli kültür ise PS ilavesi yapılan kültür olarak tespit edilmiştir. 100 µm den büyük boyutlu mikroplastik ilavesi yapılan kültürler de ise gelişim hızı düşmüş ışık geçirgenliği azalmasına bağlı olarak büyüme yavaşlamıştır.

3.3. Fotosentetik Pigment Analizi (Klorofil-a)

Chlorella vulgaris, *Arthrospira platensis* ve *Microcystis aeruginosa* algleri zamana bağlı olarak ağır metal konsantrasyonlarına maruz bırakılmış olup *Chlorella vulgaris*

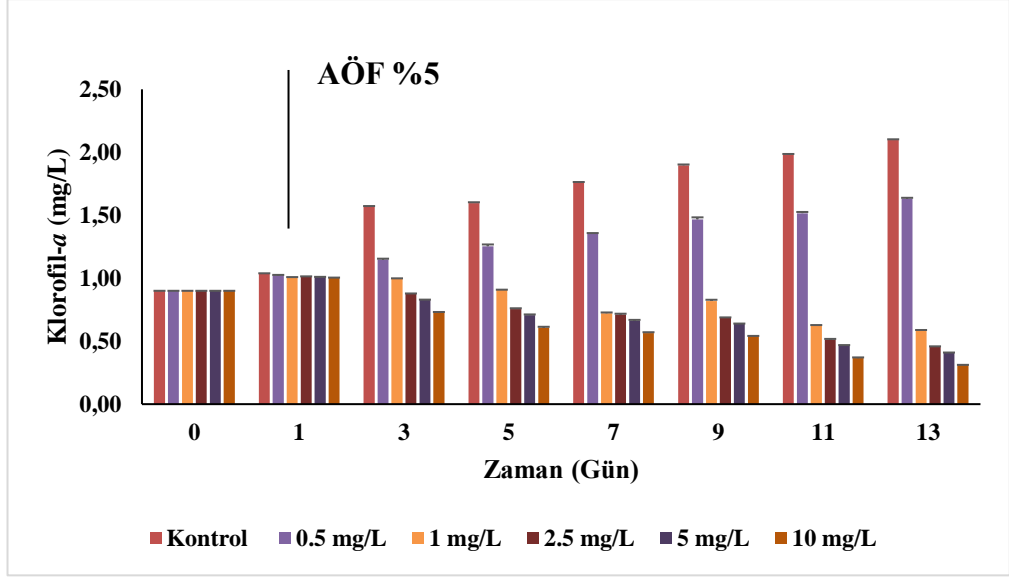
kurşun, bakır, kadmiyum ağır metali ve PP, PVC, PS mikroplastiklerine karşı fotosentetik pigment analizi yapılmıştır. *Arthrospira platensis* ve *Microcystis aeruginosa* algleri ise kadmiyum ağır metaline tabi tutularak bu iki alg 'in zamana bağlı olarak klorofil-*a* içeriği incelenmiştir. Klorofil-*a* analizleri 48 saatte bir olmak üzere 13 gün süre ile takip edilmiştir.



Şekil 3.25. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris zamana bağlı olarak bakır metaline maruz bırakılmış ve klorofil-*a* miktarındaki değişim Şekil 3.25 de verilmiştir.

Zamana bağlı değişim grafiği incelendiğinde üçüncü gün ile kültürlerde klorofil-*a* miktarında ayrışmalar başlamış olup en son analiz yapılan gün sonunda ölçülen klorofil-*a* miktarı en az 10 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürde tespit edilmiştir. Kontrol grubu hariç bütün kültürler kendi içinde kıyaslandığında en fazla klorofil-*a* miktarı 0.5 mg/L lik konsantrasyonda tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak kontrol grubuna göre kıyas yapıldığında bütün kültürlerde anlamlı azalış tespit edilmiştir ($P < 0.05$).

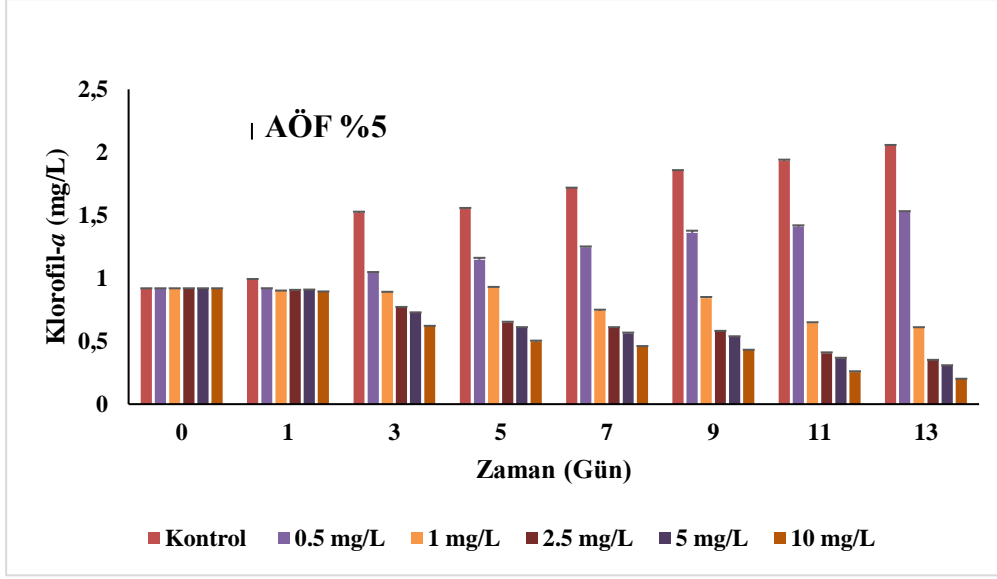


Şekil 3.26. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris zamana bağlı olarak kurşun metaline maruz bırakılmış ve klorofil-*a* miktarındaki değişim Şekil 3.26 de verilmiştir.

Zamana bağlı değişim grafiği incelendiğinde üçüncü gün ile kültürlerde klorofil-*a* miktarında ayrışmalar başlamış olup en son analiz yapılan gün sonunda ölçülen klorofil-*a* miktarı en az 10 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürde tespit edilmiştir. Kontrol grubu hariç bütün kültürler kendi içinde kıyaslandığında en fazla klorofil-*a* miktarı 0.5 mg/L lik konsantrasyonda tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak kontrol grubuna göre kıyas yapıldığında bütün kültürlerde üçüncü günden on üçüncü güne kadar anlamlı azalış tespit edilmiştir ($P < 0.05$).

Bakır metali ve kurşun metali kendi arasında kıyaslandığında bakır metalinin toksiklik etkisinin daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Analizi yapılan kurşun metalinin farklı konsantrasyonlarına sahip kültürlerde klorofil-*a* miktarı 0.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültür hariç diğer bütün kültürlerde başlangıç miktarının altına düşmüştür.



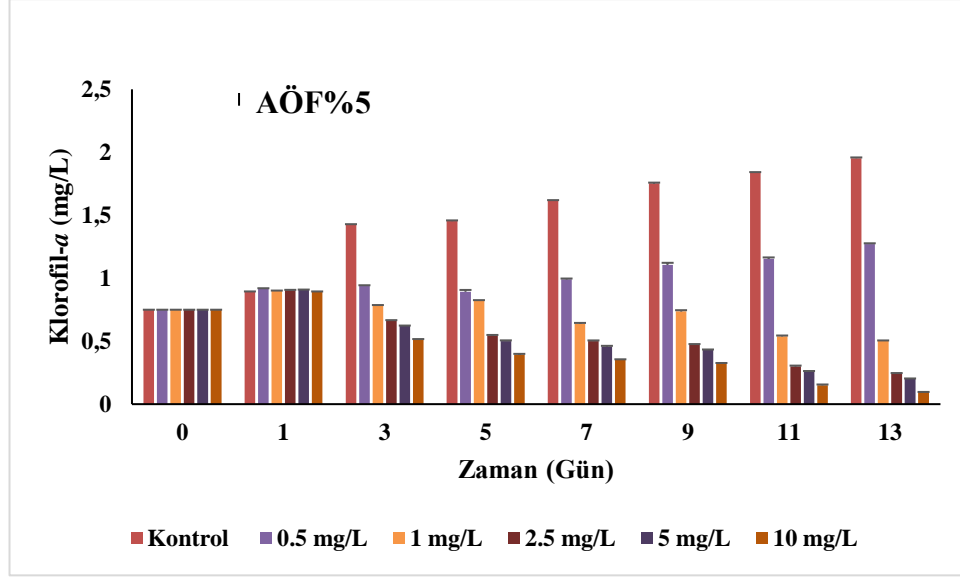
Şekil 3.27. *Chlorella vulgaris* 'in Cd^{+2} konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris zamana bağlı olarak kadmiyum metaline maruz bırakılmış ve klorofil-*a* miktarındaki değişim Şekil 3.27 de verilmiştir.

Zamana bağlı değişim grafiği incelendiğinde üçüncü gün ile kültürlerde klorofil-*a* miktarında ayrışmalar başlamış olup en son analiz yapılan gün sonunda ölçülen klorofil-*a* miktarı en az 10 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürde tespit edilmiştir. Kontrol grubu hariç bütün kültürler kendi içinde kıyaslandığında en fazla klorofil-*a* miktarı 0.5mg/L lik konsantrasyonda tespit edilmiştir.

Canlı biyokütle tahmini yapabilmek için ve mikroalgin büyüme ve gelişiminin takibi açısından önemli olan klorofil-*a* analizleri alg kültürlerine ilave edilen farklı konsantrasyonlardaki metal maruziyetinden etkilenmiş olup büyüme ve gelişim toksik etki altında 1-2.5-5-10 mg/L lik konsantrasyonlara sahip kültürlerde ciddi oranda yavaşlamıştır.

İstatistiksel olarak bütün kültürler kontrol grubu ile kıyaslandığında birinci günün sonunda yapılan analizler baz alındığında bütün kültürlerde anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($P>0.05$). On üçüncü gün sonunda yapılan ölçümler baz alındığında kontrole göre kıyasla anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($P<0.05$).



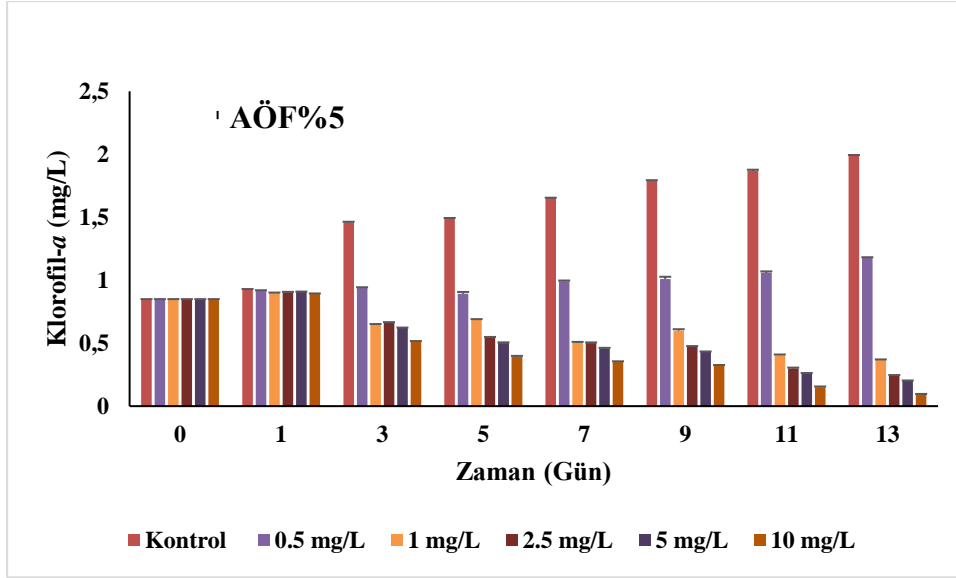
Şekil 3.28. *Microcystis aeruginosa* 'nın Cd^{+2} konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Microcystis aeruginosa mikroalgi zamana bağlı olarak kadmiyum metaline maruz bırakılmış ve klorofil-*a* miktarındaki değişim Şekil 3.28 de verilmiştir.

Zamana bağlı değişim grafiği incelendiğinde birinci günün sonunda bütün kültürlerin klorofil-*a* miktarında değişiklik gözlemlenmezken üçüncü gün ile kültürlerde klorofil-*a* miktarında ayrışmalar başlamış olup en son analiz yapılan gün sonunda ölçülen klorofil-*a* miktarı en az 10 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürde tespit edilmiştir. Kontrol grubu hariç bütün kültürler kendi içinde kıyaslandığında en fazla klorofil-*a* miktarı 0.5 mg/L lik konsantrasyonda tespit edilmiştir.

On üçüncü gün sonunda ölçülen klorofil-*a* miktarları 0.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültür hariç sıfırıncı günkü ölçülen klorofil-*a* miktarlarının altına düşmüş olup kadmiyum ağır metalinin *Microcystis aeruginosa* algine verdiği toksik etkinin fazla olduğu anlaşılmıştır.

İstatistiksel olarak bütün kültürler kontrol grubu ile kıyas edildiğinde birinci gün 1-2.5- ve 10 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürlerde anlamlı artışlar görülmüş olup ($p < 0.05$) 0.5 ve 5 mg/L lik konsantrasyonlara sahip kültürlerde anlamlı bir fark görülmemiştir. On üçüncü gün klorofil-*a* miktarlarındaki değişim kontrol grubu ile kıyas edildiğinde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

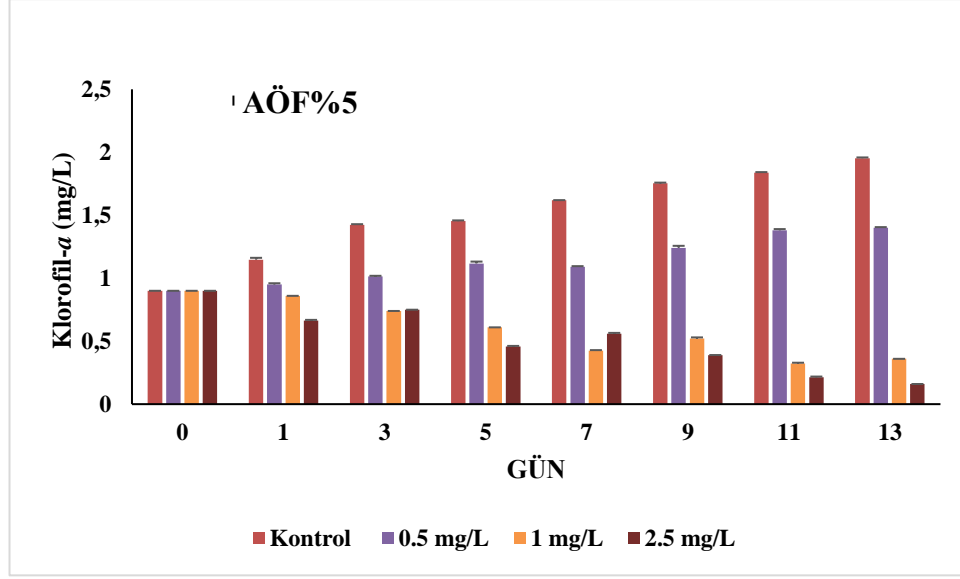


Şekil 3.29. *Arthrospira platensis* 'in Cd^{+2} konsantrasyonlarına bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Arthrospira platensis alg'i zamana bağlı olarak kadmiyum meteline maruz bırakılmış ve klorofil-*a* miktarındaki değişim Şekil 3.29 de verilmiştir.

Zamana bağlı değişim grafiği incelendiğinde üçüncü gün ile kültürlerde klorofil-*a* miktarında ayrışmalar başlamış olup en son analiz yapılan gün sonunda ölçülen klorofil-*a* miktarı en az 10 mg/L lik konsantrasyona sahip kültürde tespit edilmiştir. Kontrol grubu hariç bütün kültürler kendi içinde kıyaslandığında en fazla klorofil-*a* miktarı 0.5 mg/L lik konsantrasyonda tespit edilmiştir.

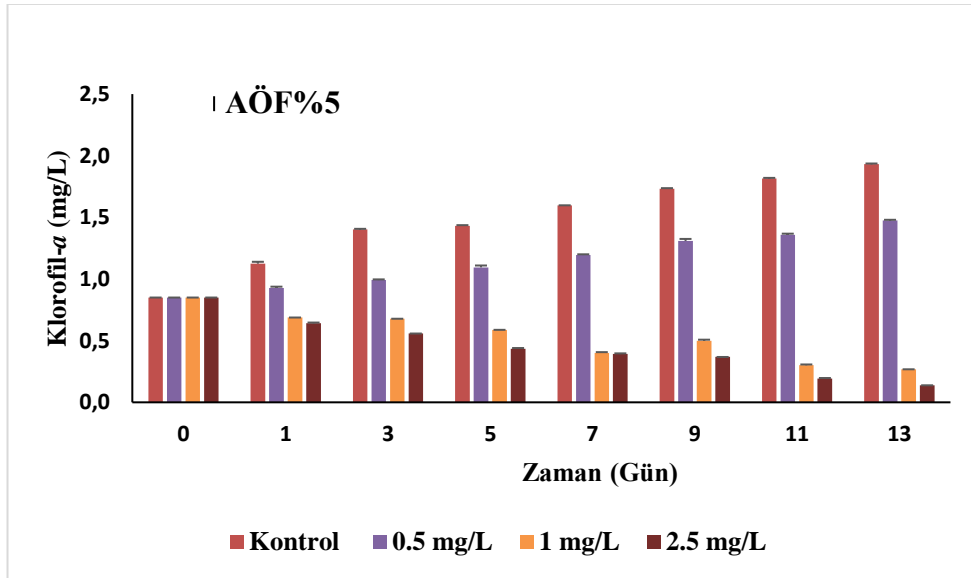
İstatistiksel olarak kontrol grubu ile kıyaslandığında birinci gün bütün kültürlerde anlamlı bir fark tespit edilmezken ($p < 0.05$), on üçüncü gün ise bütün kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Sıfıncı güne göre kıyaslama yapıldığında 0.5 mg/L lik metal konsantrasyona sahip kültür hariç diğer kültürler başlangıç seviyesinin altına düşmüştür. Sadece 0.5 mg/L lik konsantrasyona sahip kültür kontrol grubu ile paralel bir artış göstermiştir.



Şekil 3.30. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne maruziyetine bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

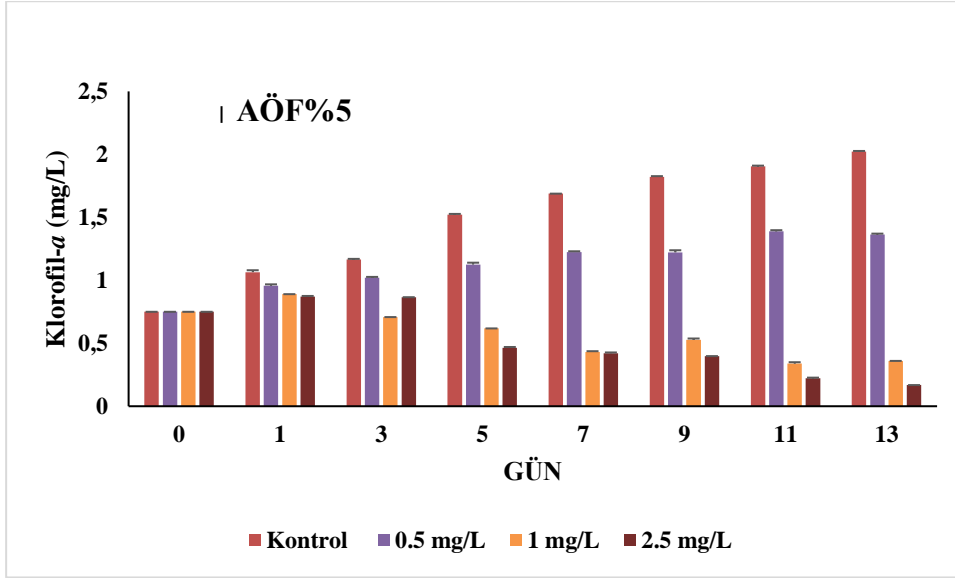
Chlorella vulgaris 'in farklı konsantrasyonlarda metale ve PP mikroplastığıne maruz bırakılmış olup klorofil-*a* miktarındaki değişimi Şekil 3.30 da gösterilmiştir.

Kültürler arasında kıyaslama yapıldığında birinci gün ayrışmalar başlamış olup on üçüncü günün sonunda yapılan ölçümlerde en fazla klorofil-*a* kaybı 2.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürde gözlemlenmiştir. İstatistiksel olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında birinci ve on üçüncü gün sonunda elde edilen klorofil-*a* miktarları arasında anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p > 0.05$).



Şekil 3.31. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne maruziyetine bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

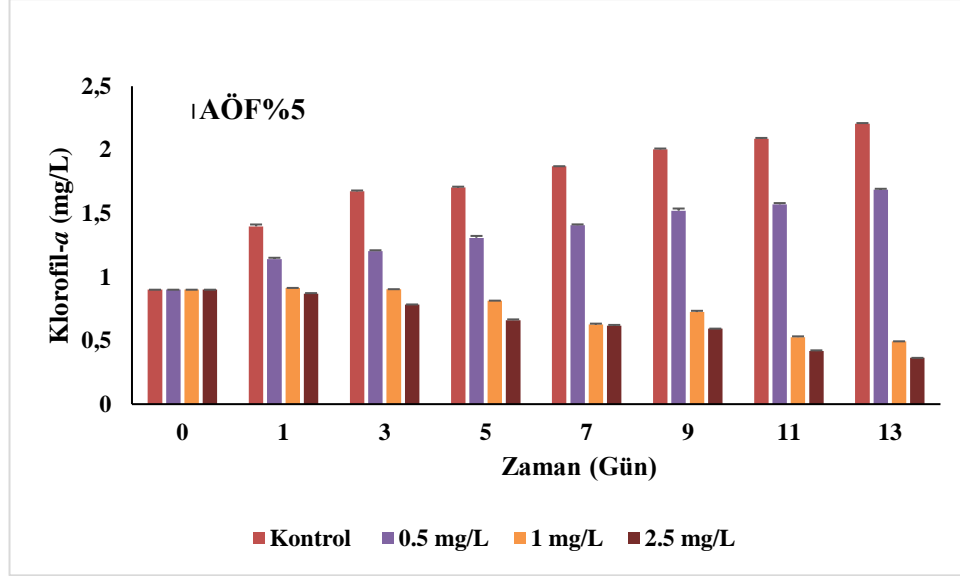
Chlorella vulgaris 'in farklı konsantrasyonlarda metale ve PP mikroplastığıne maruz bırakılmış olup klorofil-*a* miktarındaki değişimi Şekil 3.31 da gösterilmiştir. Birinci günden on üçüncü güne kadar bütün kültürlerde kontrole kıyasla anlamlı azalış tespit edilmiştir ($P<0.05$). En fazla azalış olan kültür 2.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürde gözlemlenmiştir.



Şekil 3.32. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne maruziyetine bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris mikroalgi farklı konsantrasyonlarda metale ve PS mikroplastığıne maruz bırakılmış olup klorofil-*a* miktarındaki değişimi Şekil 3.32 da gösterilmiştir.

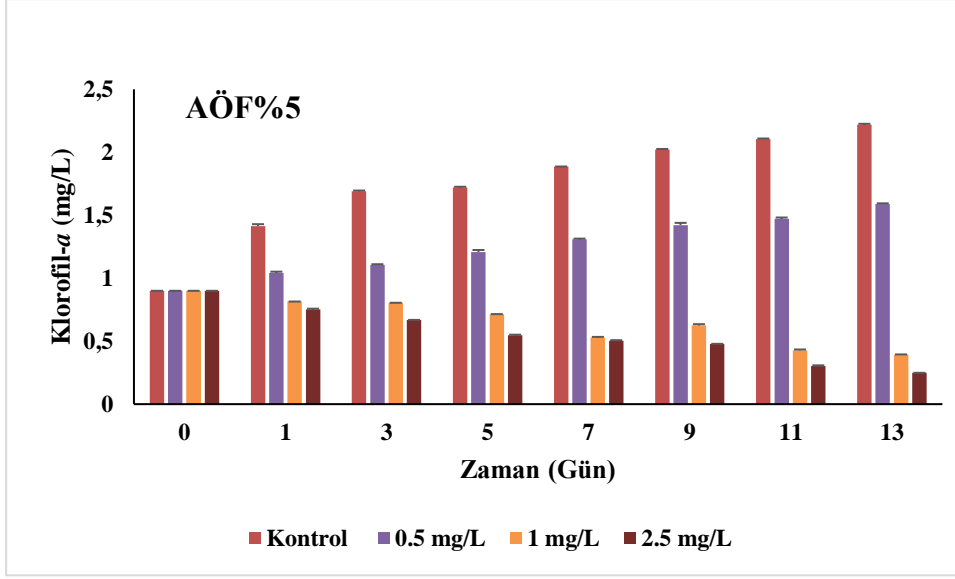
İstatistiksel olarak kontrol ile kıyas edildiğinde birinci günden on üçüncü güne kadar bütün kültürlerde anlamlı azalış tespit edilmiştir ($P<0.05$). 1 μm boyutlu PS mikroplastığı 0.5 mg/L lik ağır metal konsantrasyonuna sahip kültürde gelişime izin vermiş olup kontrol ile paralel bir artış göstermiştir. Klorofil-*a* miktarındaki en fazla azalış ise 2.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürde gözlemlenmiştir.



Şekil 3.33. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne maruziyetine bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Zamana bağlı olarak analizi yapılan *Chlorella vulgaris* alg'i metal ve mikroplastik maruziyeti sonucu değişen klorofil-*a* miktarı Şekil 3.33 de verilmiştir.

Birinci gün itibariye klorofil-*a* miktarlarındaki değişim gözlenirken on üçüncü gün klorofil-*a* miktarındaki düşüş en fazla 2.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürde meydana gelmiştir. İstatistiksel olarak bütün kültürler kontrol ile kıyaslandığında anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Kontrol grubu standart bir klorofil-*a* grafiğine sahipken diğer kültürler arasında en fazla klorofil-*a* artışı 0.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürde tespit edilmiştir.

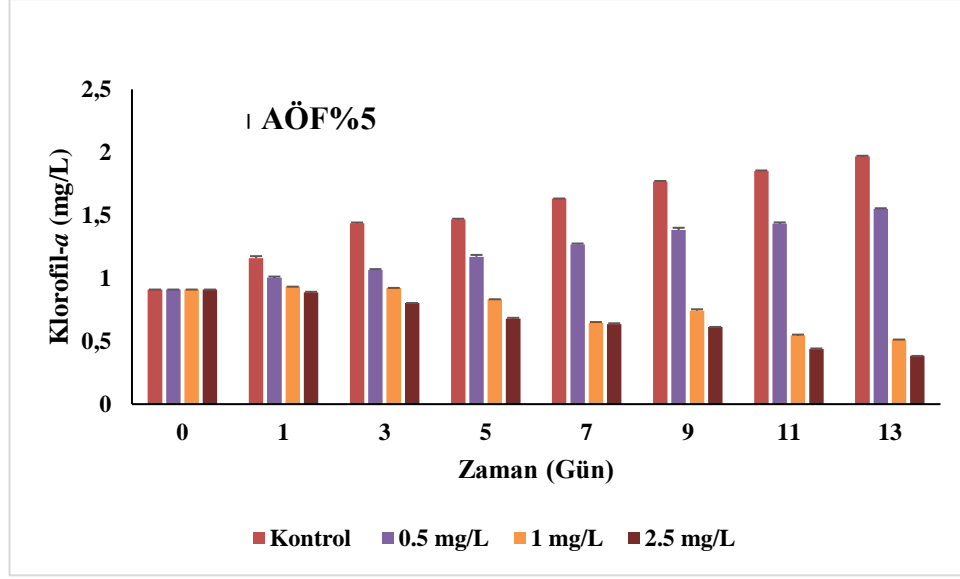


Şekil 3.34. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyetine bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Zamana bağlı olarak analizi yapılan *Chlorella vulgaris* algi 'nin metal ve mikroplastik maruziyeti sonucu değişen klorofil-*a* miktarı Şekil 3.34 de verilmiştir.

Birinci gün itibariye klorofil-*a* miktarlarındaki değişim gözlenirken on üçüncü gün klorofil-*a* miktarındaki düşüş en fazla 2.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürde meydana gelmiştir. İstatistiksel olarak bütün kültürler kontrol ile kıyaslandığında anlamlı azalış tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Kontrol grubu standart bir klorofil-*a* grafiğine sahipken diğer kültürler arasında en fazla klorofil-*a* artışı 0.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürde tespit edilmiştir. 1 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültür dokuzuncu gün klorofil-*a* miktarını bir önceki ölçüme göre artırmış olsa da kurşun metalinin toksikliği baskın gelerek klorofil-*a* miktarındaki düşüş devam etmiştir.

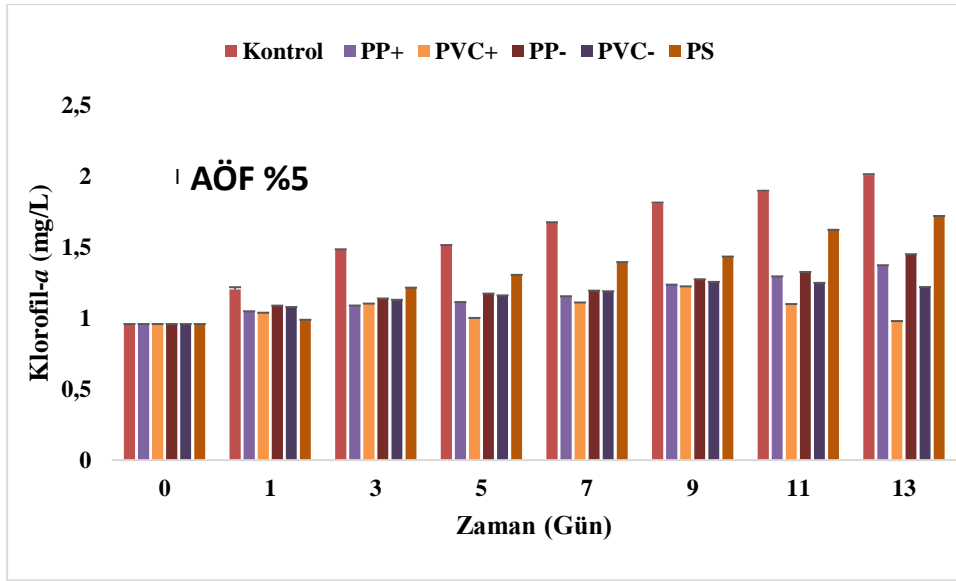


Şekil 3.35. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyetine bağlı olarak klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Zamana bağlı olarak analizi yapılan *Chlorella vulgaris* alg'i 'nin metal ve mikroplastik maruziyeti sonucu değişen klorofil-*a* miktarı Şekil 3.35 de verilmiştir.

İstatistiksel olarak bütün kültürler kontrol ile kıyaslandığında anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Yapılan analizler sonucu değişen klorofil-*a* miktarı en fazla 2.5 mg/l lik metal konsantrasyonunda azalırken, en yüksek kontrol grubu hariç 0.5 mg/L lik metal konsantrasyonda meydana gelmiş.

PS mikroplastığı 1 μm çapında sıvı olup ilave edildiği kültürde zamanla kaybolup düşük metal konsantrasyonuna sahip kültürlerin gelişimine izin vermektedir. Nitekim kontrol ile kıyaslandığında 0.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültür kontrol ile paralel bir gelişim göstermiştir.



Şekil 3.36. *Chlorella vulgaris* 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastik maruziyetine bağlı klorofil-*a* miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastiklere maruziyeti sonucu klorofil-*a* miktarındaki zamana bağlı değişim Şekil 3.36 de verilmiştir.

Mikroalg kültürlerine ilavesi yapılan 100 µm den büyük ve küçük PP ve PVC, 1 µm boyutlu PS mikroplastikleri 'nin *Chlorella vulgaris* algisi üzerinde klorofil-*a* değişim grafiği incelediği zaman istatistiksel olarak bütün kültürler kontrol grubu ile kıyas edildiğinde aralarında anlamlı farklar tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Mikroplastik ilavesi yapılan bütün kültürlerde canlı biyokütle gelişimi tespit edilmiş olup en fazla klorofil-*a* artışı kontrol grubu hariç PS mikroplastığı içeren kültürde gözlemlenmiştir.

100 µm den büyük ve küçük PP ve PVC mikroplastikleri ilave edildiği kültürlerde klorofil-*a* gelişimine izin vermiştir. Ancak boyut ve zamana bağlı olarak kültürlerde yok olamaması gibi faktörler göz önüne alındığında algler 'in gelişimi için ana unsur olan ışık geçirgenliğini azaltmasından kaynaklı gelişim büyük çaptaki mikroplastik içeren kültürlerde daha yavaş olmuştur. PS mikroplastığı hariç diğer mikroplastik ilavesi yapılan kültürlerde klorofil-*a* miktarı birbirlerine yakın artış göstermiştir. İstatistiksel olarak kontrol grubu ile kıyas edildiğinde anlamlı artışlar meydana gelmiştir ($P < 0.05$).

3.4. Hücre Sayısının Zamana Bağlı Değişimi

Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak Cu maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.1 da verilmiştir.

Tablo 3.1. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Bakır Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	67*10 ⁴	10*10 ⁶
0.5	67*10 ⁴	2.2*10 ⁶
1	67*10 ⁴	55*10 ⁴
2.5	67*10 ⁴	42.2*10 ⁴
5	67*10 ⁴	28*10 ⁴
10	67*10 ⁴	17.7*10 ⁴

Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak Pb⁺² maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının değişimi Tablo 3.2. da verilmiştir.

Tablo 3.2. *Chlorella vulgaris* 'in Pb⁺² konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Kurşun Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	70*10 ⁴	11*10 ⁶
0.5	70*10 ⁴	2.2*10 ⁶
1	70*10 ⁴	58*10 ⁴
2.5	70*10 ⁴	15.6*10 ⁴
5	70*10 ⁴	10.5*10 ⁴
10	70*10 ⁴	8.8*10 ⁴

Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak Cd⁺² maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.3 da verilmiştir.

Tablo 3.3. *Chlorella vulgaris* 'in Cd⁺² konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Kadmiyum Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	65*10 ⁴	11*10 ⁶
0.5	65*10 ⁴	1.86*10 ⁶
1	65*10 ⁴	55.6*10 ⁴
2.5	65*10 ⁴	42*10 ⁴
5	65*10 ⁴	31.9*10 ⁴
10	65*10 ⁴	22.8*10 ⁴

Microcystis aeruginosa 'nın zamana bağlı olarak Cd⁺² maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.4 da verilmiştir.

Tablo 3.4. *Microcystis aeruginosa* 'nın Cd⁺² konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Kadmiyum Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	51.4*10 ⁴	4*10 ⁶
0.5	51.4*10 ⁴	9.74*10 ⁵
1	51.4*10 ⁴	42.7*10 ⁴
2.5	51.4*10 ⁴	37.5*10 ⁴
5	51.4*10 ⁴	28*10 ⁴
10	51.4*10 ⁴	17*10 ⁴

Arthrospira platensis 'in zamana bağlı olarak Cd⁺² maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının değişimi Tablo 3.5 da verilmiştir.

Tablo 3.5. *Arthrospira platensis* 'in Cd⁺² konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Kadmiyum Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	14*10 ³	31*10 ³
0.5	14*10 ³	24*10 ³
1	14*10 ³	11.1*10 ³
2.5	14*10 ³	8*10 ³
5	14*10 ³	4.5*10 ³
10	14*10 ³	2,6*10 ³

Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak Cu ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.6 da verilmiştir.

Tablo 3.6. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Bakır + PP Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	65*10 ⁴	9.56*10 ⁶
0.5	65*10 ⁴	9.73*10 ⁵
1	65*10 ⁴	56*10 ⁴
2.5	65*10 ⁴	42*10 ⁴

Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak Cu ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.7 da verilmiştir.

Tablo 3.7. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Bakır + PVC Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	65*10 ⁴	9.56*10 ⁶
0.5	65*10 ⁴	7.72*10 ⁵
1	65*10 ⁴	51*10 ⁴
2.5	65*10 ⁴	34*10 ⁴

Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak Cu ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.8 da verilmiştir.

Tablo 3.8. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Bakır + PS Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	65*10 ⁴	9.56*10 ⁶
0.5	65*10 ⁴	22.5*10 ⁵
1	65*10 ⁴	42*10 ⁴
2.5	65*10 ⁴	29*10 ⁴

Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak Pb⁺² ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.9 da verilmiştir.

Tablo 3.9. *Chlorella vulgaris* 'in Pb⁺² konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Kurşun + PP Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	65*10 ⁴	9.56*10 ⁶
0.5	65*10 ⁴	28.7*10 ⁵
1	65*10 ⁴	59.7*10 ⁴
2.5	65*10 ⁴	41*10 ⁴

Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak Pb⁺² ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.10 da verilmiştir.

Tablo 3.10. *Chlorella vulgaris* 'in Pb⁺² konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Kurşun + PVC Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	65*10 ⁴	9.56*10 ⁶
0.5	65*10 ⁴	24.6*10 ⁵
1	65*10 ⁴	49.3*10 ⁴
2.5	65*10 ⁴	35.7*10 ⁴

Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak Pb⁺² ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.11 da verilmiştir.

Tablo 3.11. *Chlorella vulgaris* 'in Pb⁺² konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısının zamana bağlı değişimi.

Kurşun + PS Konsantrasyonları (mg/L)	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
0	65*10 ⁴	9.56*10 ⁶
0.5	65*10 ⁴	31.6*10 ⁵
1	65*10 ⁴	39.2*10 ⁴
2.5	65*10 ⁴	28.8*10 ⁴

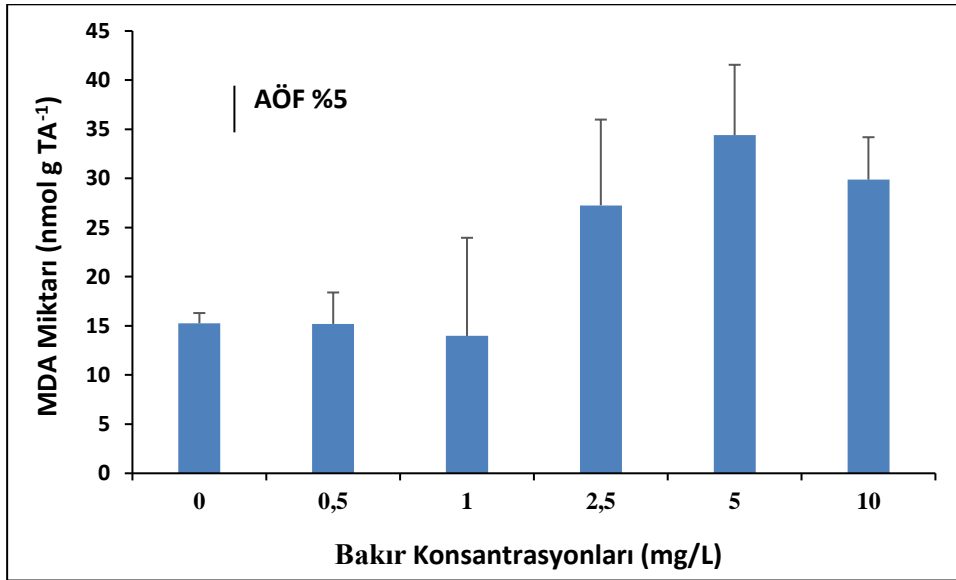
Chlorella vulgaris 'in zamana bağlı olarak 100 µm den küçük çaptaki PP ve PVC, 100 µm den büyük çaptaki PP, PVC ve 1 µm çapındaki PS mikroplastığına maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı değişimi Tablo 3.12 da verilmiştir.

Tablo 3.12. *Chlorella vulgaris* 'in zamana bağılı olarak 100 µm den küçük çaptaki PP ve PVC, 100 µm den büyük çaptaki PP, PVC ve 1 µm çapındaki PS mikroplastığıne maruziyeti sonucu 1 ml hacmindeki hücre sayısı

Mikroplastik Tür ve Boyutları	0.Gün (Hücre/ml)	13.Gün (Hücre/ml)
Kontrol	65*10 ⁴	9.56*10 ⁶
PP> 100 µm	65*10 ⁴	6.4*10 ⁵
PVC>100 µm	65*10 ⁴	1.4*10 ⁵
PP<100 µm	65*10 ⁴	6.98*10 ⁵
PVC<100 µm	65*10 ⁴	6.1*10 ⁵
PS=1 µm	65*10 ⁴	6.54*10 ⁶

3.5. Malondialdehit (MDA) Miktarı

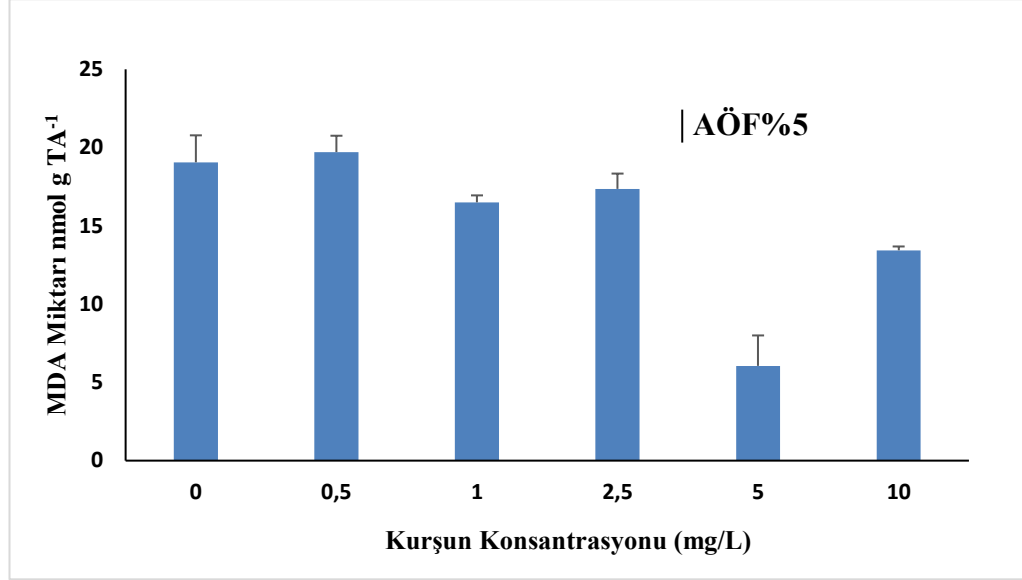
Her bir deney sonucunda elde edilen peletlerde enzim ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarı incelenmiştir. Kültürde malondialdehit miktarı ne kadar fazla ise o kültür hücresinin toksikliğe daha fazla maruz kaldığı ve hücre membranında yıkımın çok fazla olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.37. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına bağılı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris mikroalginin metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.37 de verilmiştir.

İstatistiksel olarak kontrol ile kıyaslandığında 0.5 ve 1 mg/L lik bakır konsantrasyonuna sahip kültürlerde azalış tespit edilmiştir. En fazla malondialdehit miktarı 34.41 nmol gTA⁻¹ ile 5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürde meydana gelmiştir. Daha sonra 10 mg/L lik metal konsantrasyonunda ise 29.89 nmol gTA⁻¹ malondialdehit tespit edilmiştir.

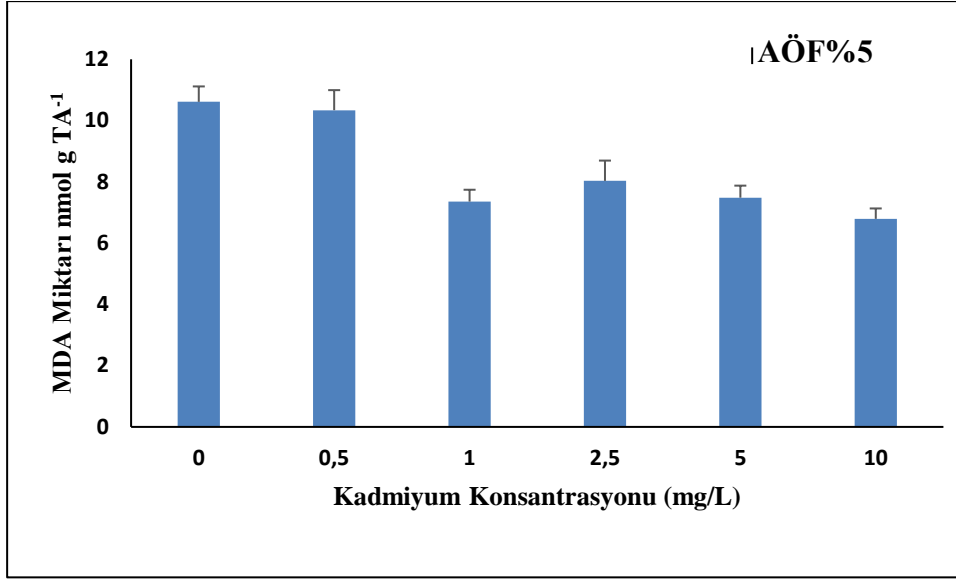


Şekil 3.38. *Chlorella vulgaris* ‘in Pb⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris ‘in metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.38 de verilmiştir.

İstatistiksel olarak kontrol ile kıyas edildiğinde 0.5 mg/l lik metal konsantrasyonuna maruz bırakılan kültürde artış olsa dahi anlamlı fark tespit edilememiştir ($P>0.05$). 1 ve 2.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna maruz bırakılan kültürlerde ise azalış tespit edilmiştir. 5 ve 10 mg/L metal konsantrasyonu eklenen kültürler incelendiğinde ise anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Enzim aktivitesi sonucu oluşan malondialdehit miktarları incelediğinde ürün miktarı en fazla 19.71 nmol gTA⁻¹ ile 0.5 mg/L lik kültürde meydana gelmiştir. En az ise 6,05 nmol gTA⁻¹ ile 5 mg/L lik metal konsantrasyonuna maruz bırakılan kültürde tespit edilmiştir.

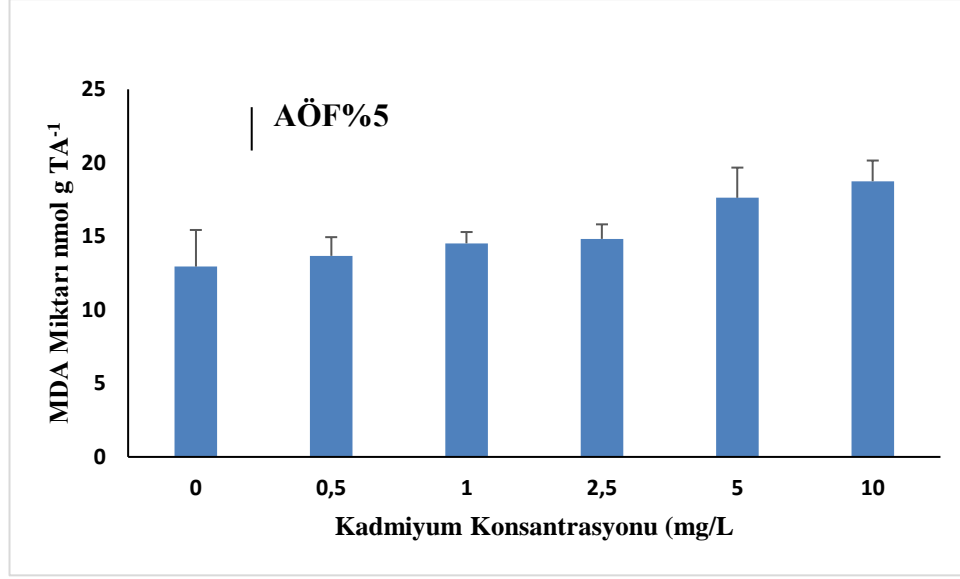


Şekil 3.39. *Chlorella vulgaris* 'in Cd⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.39 de verilmiştir.

İstatistiksel olarak kontrol ile diğer bütün kültürler kıyas edildiğinde 0.5 mg/l lik metal konsantrasyonuna maruz bırakılan kültürde anlamlı fark tespit edilmezken ($p > 0.05$), diğer kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

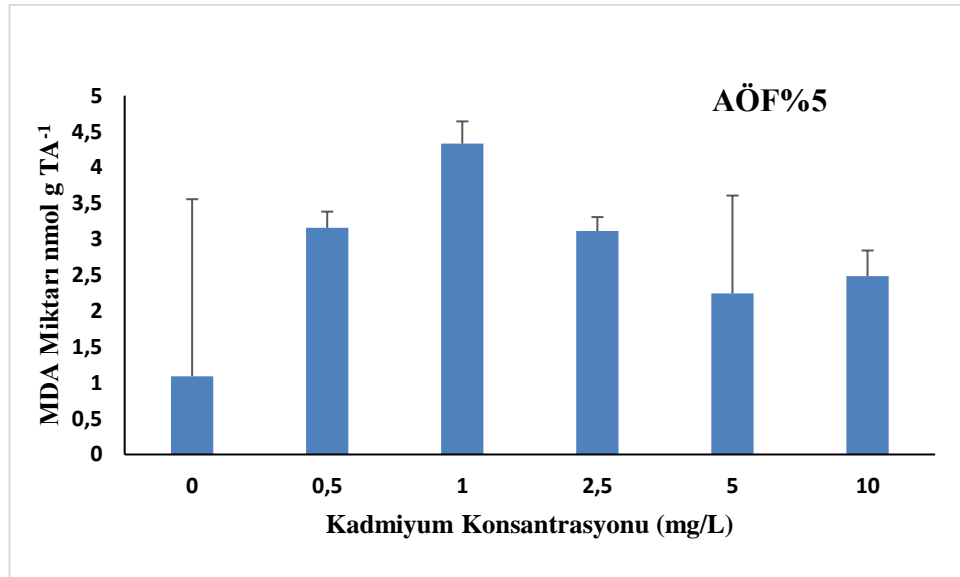
En yüksek malondialdehit miktarı 17.34 nmol gTA⁻¹ ile 0.5 mg/l lik konsantrasyonda meydana gelmiştir. Ez az ise 1 mg/L lik metal konsantrasyonuna maruz bırakılan kültürde 7,35 nmol gTA⁻¹ miktarında tespit edilmiştir.



Şekil 3.40. *Microcystis aeruginosa* 'nın Cd²⁺ konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

Microcystis aeruginosa 'nın metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.40 de verilmiştir.

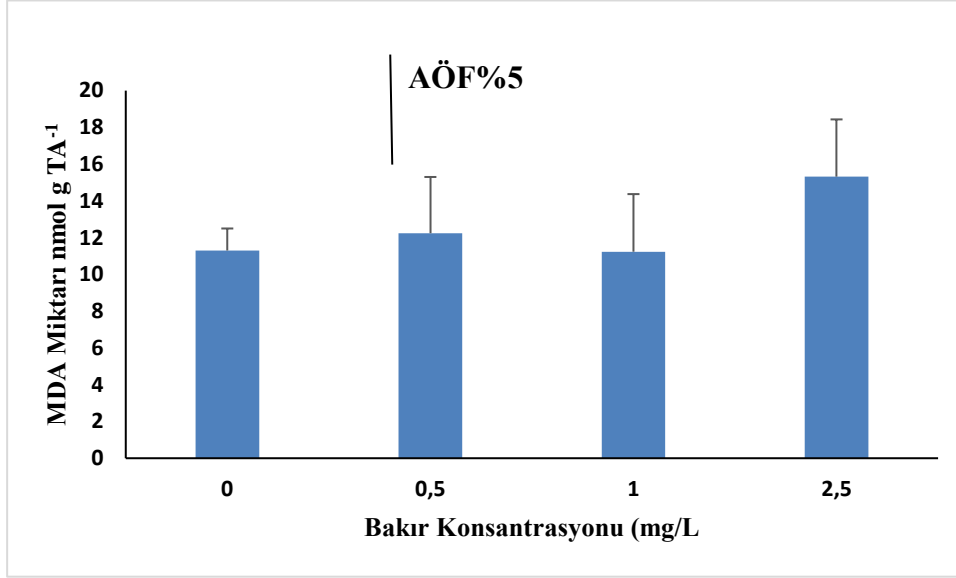
İstatistiksel olarak bütün kültürler kontrol ile kıyas edildiğinde bütün metal konsantrasyonlarına sahip kültürlerde anlamlı farklar tespit edilmezken($P>0.05$) sadece 10 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde kontrole göre kıyasla daha fazla artış tespit edilmiştir.



Şekil 3.41. *Arthrospira platensis* 'nın Cd²⁺ konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

Arthrospira platensis 'in metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.41 de verilmiştir.

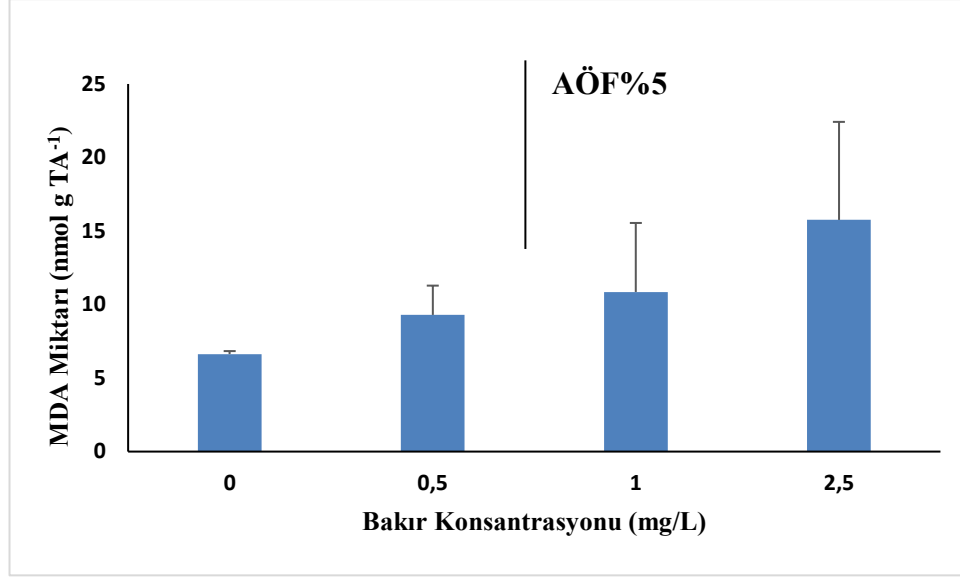
İstatistiksel olarak bütün kültürler kontrol ile kıyaslandığında anlamlı artışlar gözlemlenirken ($P<0.05$) malondialdehit miktarındaki artış oranları dikkate alındığında en fazla artış 1 mg/L lik metal konsantrasyonuna maruz bırakılan kültürde 4.33 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.42. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.42 de verilmiştir.

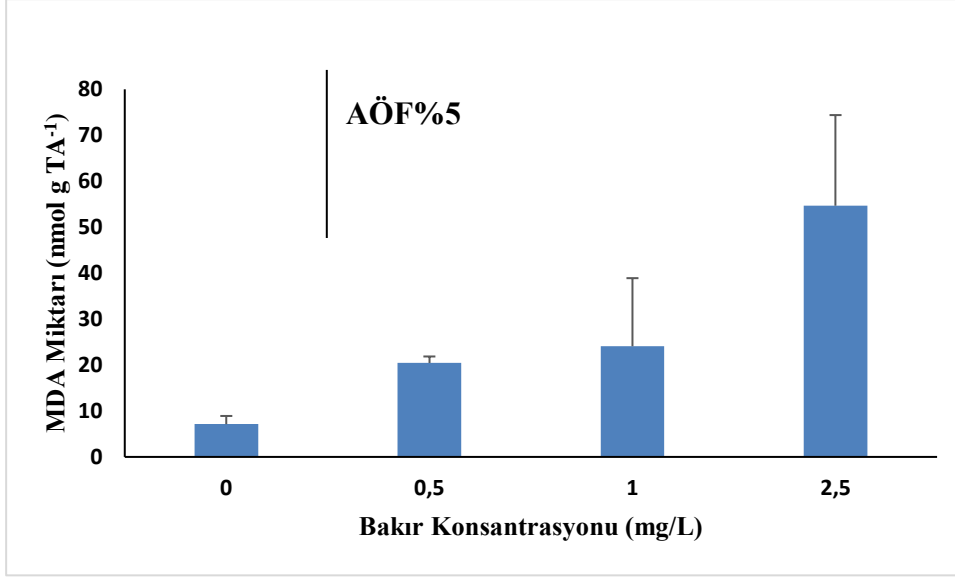
İstatistiksel olarak incelendiğinde bütün kültürler kontrole göre kıyaslanmış olup kültürlerin 0.5, 1 ve 2.5 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürlerde anlamlı fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). 1 mg/L lik metal konsantrasyonuna sahip kültürde ise azalış tespit edilmiştir ($p>0.05$). En fazla malondialdehit miktarı 15.32 nmol gTA⁻¹ ile 2.5 mg/L metal konsantrasyonunda tespit edilmiştir. En düşük ise 11.23 nmol gTA⁻¹ ile 1 mg/L konsantrasyona sahip kültürde tespit edilmiştir.



Şekil 3.43. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.43 de verilmiştir.

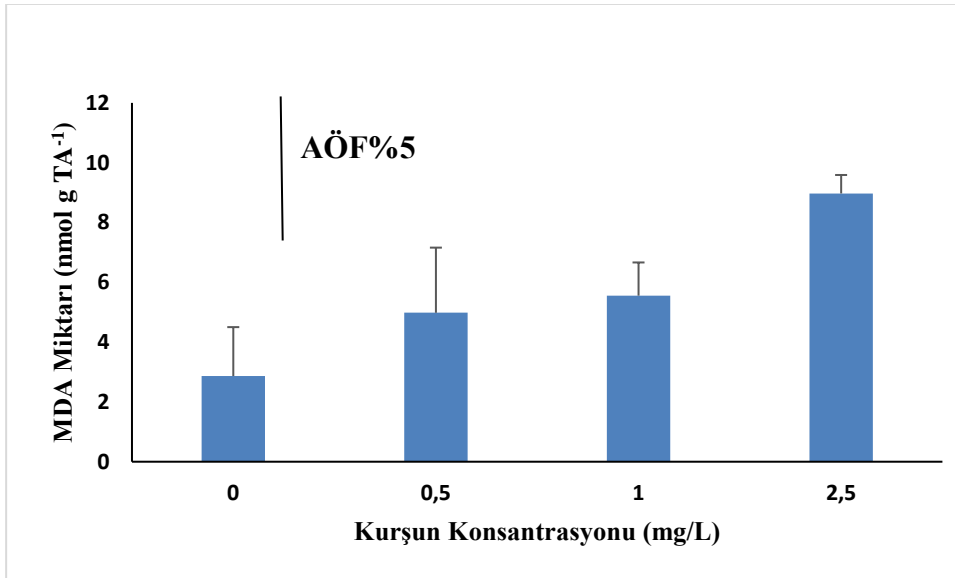
İstatistiksel olarak incelendiğinde bütün kültürler kontrole göre kıyaslanmış olup kültürlerin tamamında anlamlı fark tespit edilememiştir ($p > 0.05$). Malondialdehit miktarındaki en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 15.76 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Toksik etkinin ve hücre membran tahribatının en yoğun olduğu kültür 2.5 mg/L metal konsantrasyonu ilavesi yapılan kültürde meydana gelmiştir.



Şekil 3.44. *Chlorella vulgaris* ‘in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

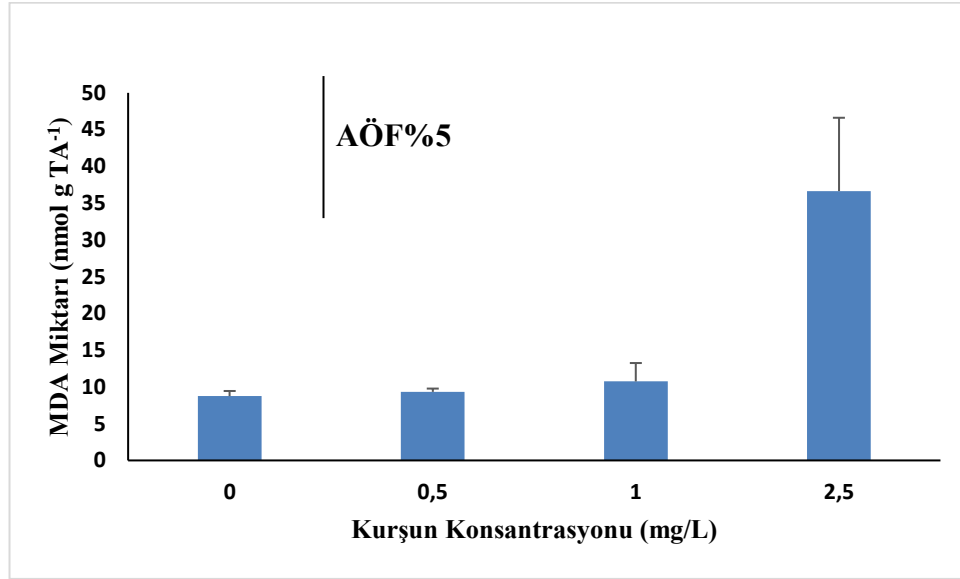
Chlorella vulgaris ‘in metal konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.44 de verilmiştir.

İstatistiksel olarak kontrol ile bütün kültürler kıyas edildiğinde 0.5 ve 1 mg /L metal konsantrasyonlarına sahip kültürler anlamlı artış veya azalış gözlemlenmezken ($p>0.05$) 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde ise anlamlı artışlar tespit edilmiştir ($P<0.05$). En fazla malondialdehit miktarı 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 54.66 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.



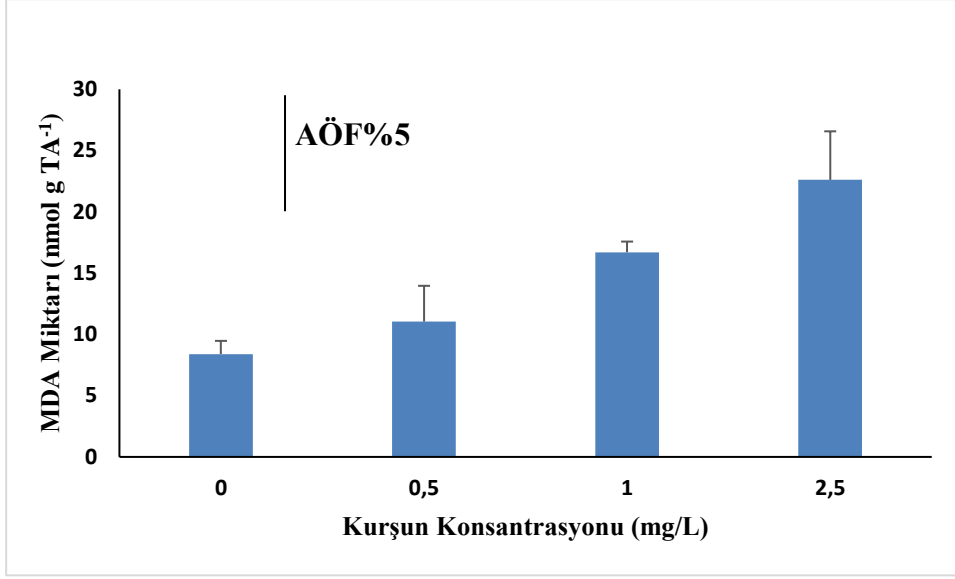
Şekil 3.45. *Chlorella vulgaris* ‘in Pb⁺² konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.45 de verilmiştir. İstatistiksel olarak kontrol grubu ile değerlendirme yapıldığında 0.5 ve 1 mg/l metal konsantrasyonlarına sahip kültürlerde anlamlı artış tespit edilmezken ($p>0.05$) diğer kültürde anlamlı bir artış tespiti yapılmıştır ($P<0.05$). Malondialdehit miktarındaki en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 8.97 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.46. *Chlorella vulgaris* 'in Pb⁺² konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

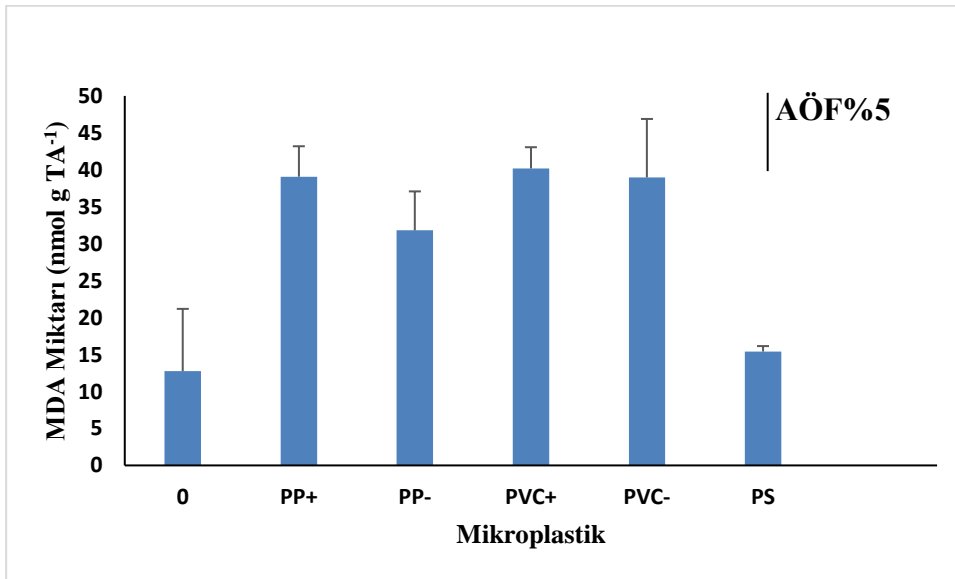
Chlorella vulgaris mikroalginin metal konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.46 de verilmiştir. İstatistiksel olarak kontrol grubu ile değerlendirme yapıldığında 0.5 ve 1 mg/l metal konsantrasyonlarına sahip kültürlerde anlamlı artış olmazken ($p>0.05$), diğer kültürde anlamlı artış tespiti yapılmıştır ($P<0.05$). Malondialdehit miktarındaki en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 36.63 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.47. *Chlorella vulgaris* 'in Pb^{+2} konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris mikroalginin metal konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan malondialdehit miktarı Şekil 3.47 de verilmiştir.

İstatistiksel olarak kontrol grubu ile değerlendirme yapıldığında 0.5 ve 1 mg/l metal konsantrasyonlarına sahip kültürlerde anlamlı artış veya azalış gözlemlenmezken ($p > 0.05$) diğer kültürde anlamlı artış tespiti yapılmıştır ($P < 0.05$). Malondialdehit miktarındaki en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 22.60 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

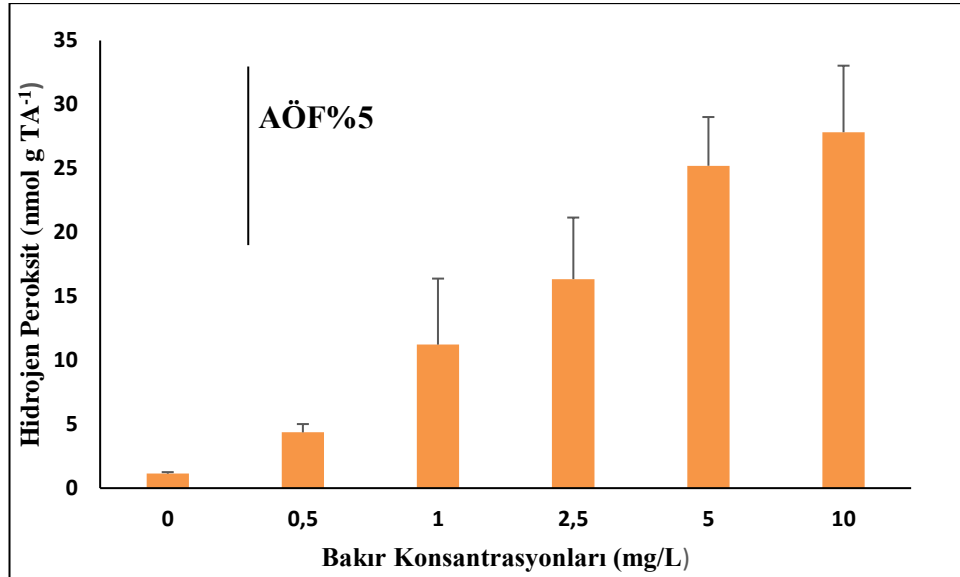


Şekil 3.48. *Chlorella vulgaris* 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastiklere maruziyetine bağlı olarak MDA miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in boyut olarak 100 µm altında ve üstünde PP ve PVC, 1 µm boyutlu PS mikroplastiklerine maruz bırakılmış ve oluşan malondialdehit miktarındaki değişim Şekil 3.48 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyaslandığında sadece PS mikroplastığına anlamlı fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Diğer mikroplastik ilavesi yapılan bütün kültürlerde kontrole göre kıyasla anlamlı artış tespit edilmiştir ($p<0.05$). İlavesi yapılan mikroplastik kültürleri incelendiği zaman en fazla malondialdehit miktarı PVC mikroplastığı içeren kültürde 40.18 nmol gTA⁻¹olarak tespit edilmiştir. En az malondialdehit miktarı ise 15.41 nmol g TA⁻¹ ile PS mikroplastığı içeren kültürde tespit edilmiştir.

3.6. Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Miktarı



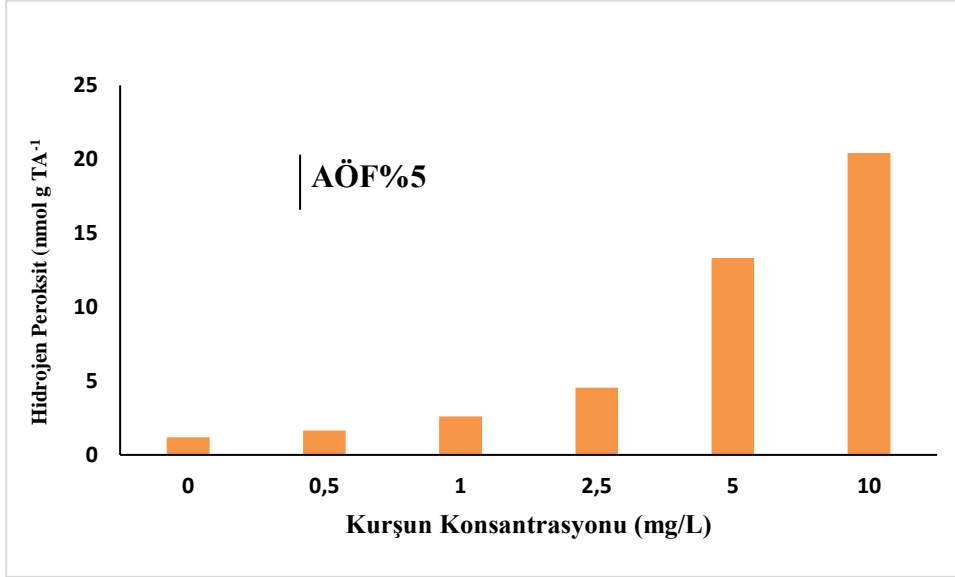
Şekil 3.49. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan hidrojen peroksit miktarı Şekil 3.49 de verilmiştir

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5 ve 1 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürlerde anlamlı fark tespit edilmemiştir ($p<0.05$). Diğer kültürlerin tamamında anlamlı artışlar tespit edilmiştir ($P<0.05$).

Hidrojen peroksit miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 10 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 27.82 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir

Hidrojen peroksit miktarındaki en fazla düşüş ise 0.5 mg/l metal konsantrasyonuna sahip kültürde 4.36 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

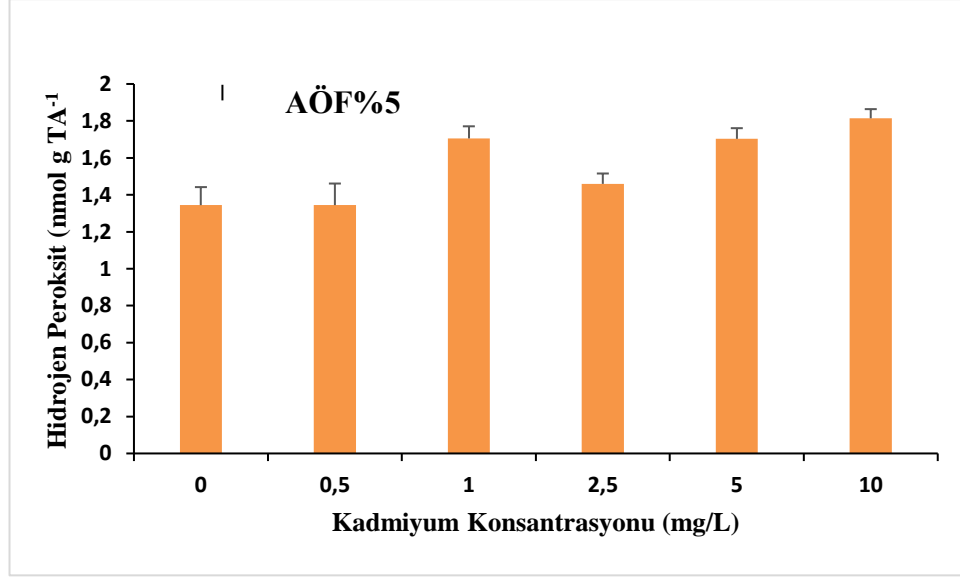


Şekil 3.50. *Chlorella vulgaris* 'in Pb⁺² konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris mikroalginin metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.50 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5, 1 ve 2.5 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürlerde anlamlı fark tespit edilmezken ($p>0.05$) diğer kültürlerde anlamlı artışlar tespit edilmiştir ($P<0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 10 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 20.42 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir H₂O₂ miktarındaki en fazla düşüş ise 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.64 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

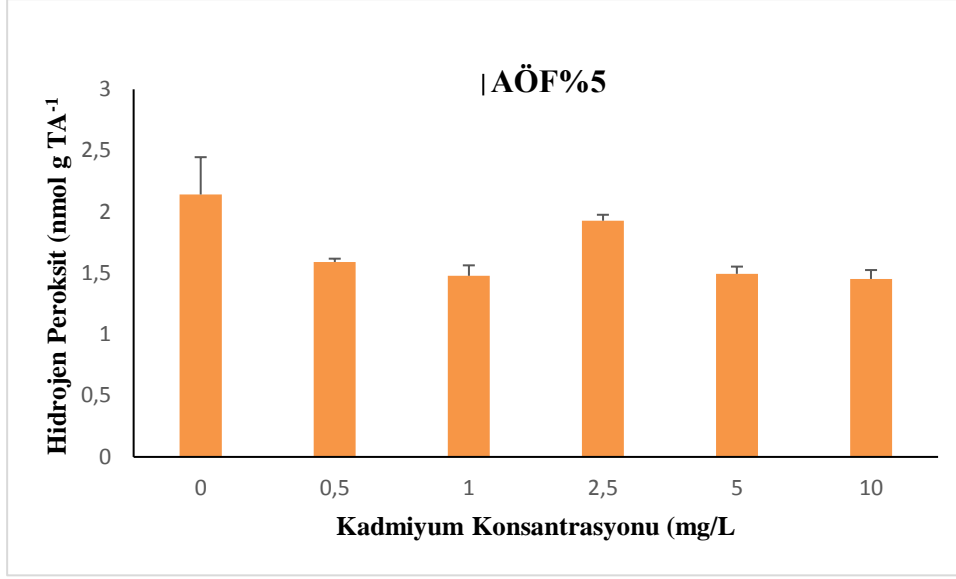


Şekil 3.51. *Chlorella vulgaris* 'in Cd²⁺ konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.51 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürlerde anlamlı fark tespit edilmezken ($p>0.05$) diğer kültürlerde anlamlı artışlar gözlemlenmiştir ($P<0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 10 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.81 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En fazla düşüş ise 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.34 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En yüksek H₂O₂ miktarına sahip olan 10 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürden sonra en yüksek değeri 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.80 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

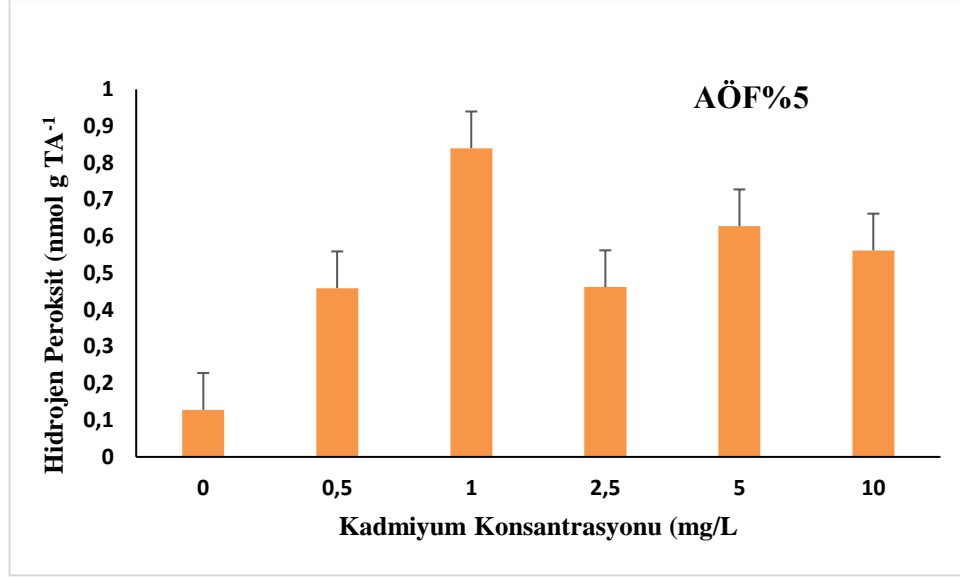


Şekil 3.52. *Microcystis aeruginosa* 'nın Cd²⁺ konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Microcystis aeruginosa 'nın metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.52 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5-1-2.5-5 ve 10 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürlerde anlamlı azalışlar tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.92 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir En fazla düşüş ise 10 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.45 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En yüksek H₂O₂ miktarına sahip olan 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürden sonra en yüksek değeri 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.59 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

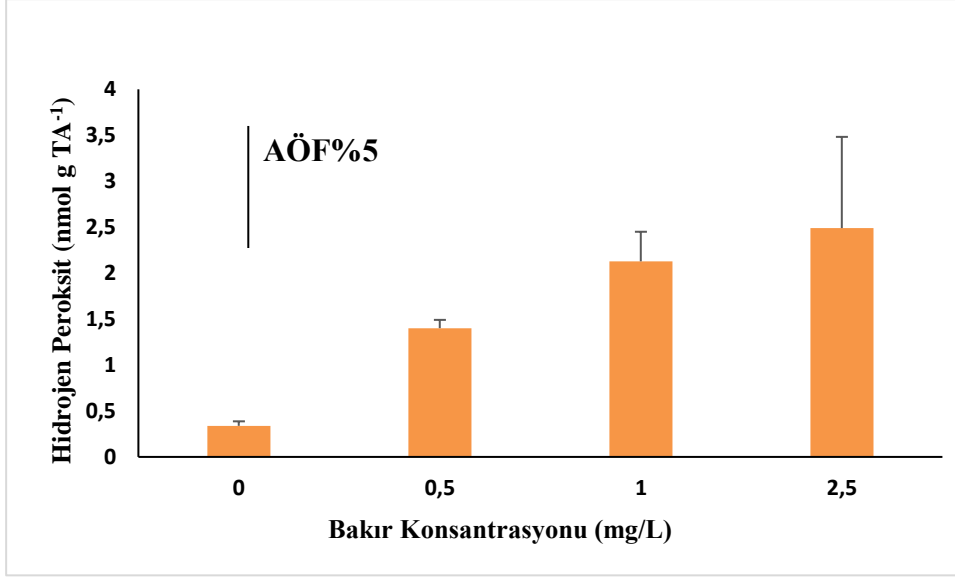


Şekil 3.53. *Arthrospira platensis* 'in Cd²⁺ konsantrasyonlarına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Arthrospira platensis 'in metal konsantrasyonlarına maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.53 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında metal konsantrasyonlarına sahip bütün kültürde anlamlı artma tespit edilmiştir ($p>0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 0.83 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. H₂O₂ miktarındaki en fazla düşüş ise 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 0.46 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En yüksek H₂O₂ miktarına sahip olan 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürden sonra en yüksek H₂O₂ değeri 5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 0.62 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

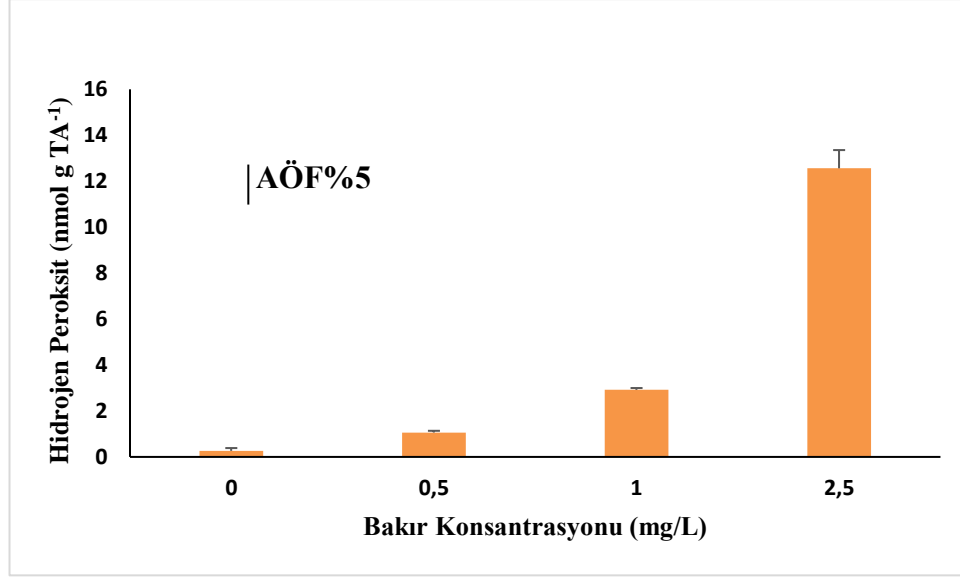


Şekil 3.54. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.54 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5 ve 1 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürde anlamlı artış tespit edilmemiştir ($p > 0.05$). Diğer kültür incelendiğinde anlamlı artış tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 2.49 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. H₂O₂ miktarındaki en fazla düşüş ise 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.40 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En yüksek H₂O₂ miktarına sahip olan 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürden sonra en yüksek değer 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 2.13 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

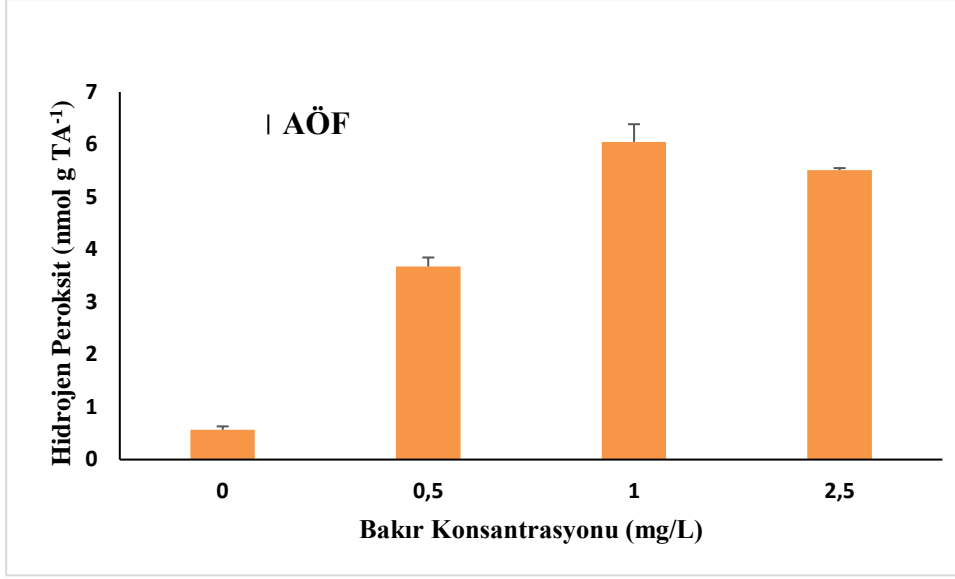


Şekil 3.55. *Chlorella vulgaris* ‘in Cu konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris ‘in metal konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.55 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürde anlamlı bir fark tespit edilmezken ($p>0.05$) diğer kültürler incelendiğinde anlamlı artışlar tespit edilmiştir ($p<0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 12.56 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. H₂O₂ miktarındaki en fazla düşüş ise 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.06 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En yüksek H₂O₂ miktarına sahip olan 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürden sonra en yüksek değer 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 2.92 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

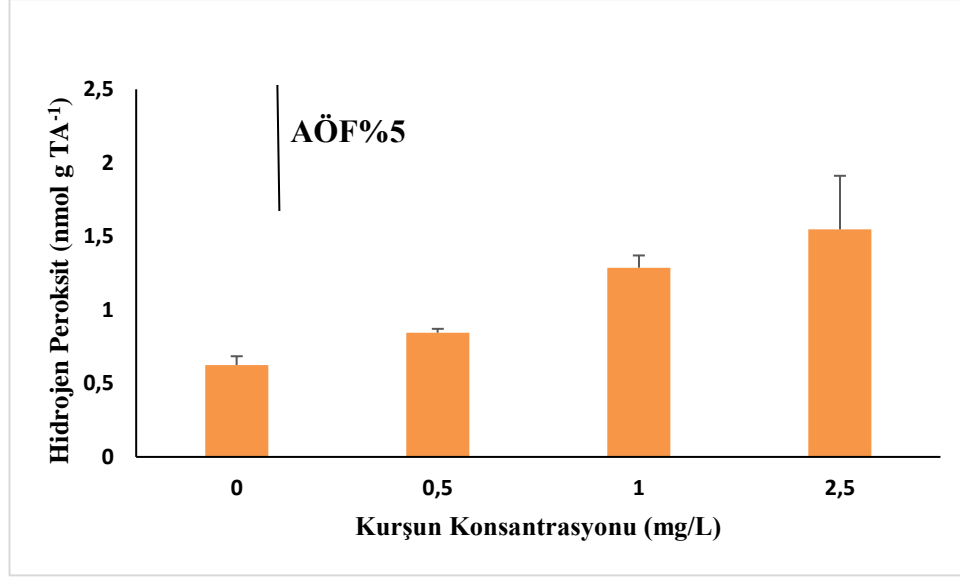


Şekil 3.56. *Chlorella vulgaris* 'in Cu konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.56 da verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5-1 ve 2.5 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürde anlamlı artışlar tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 6.05 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. H₂O₂ miktarındaki en fazla düşüş ise 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 3.67 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En yüksek H₂O₂ miktarına sahip olan 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürden sonra en yüksek değer 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 5.51 nmol gTA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

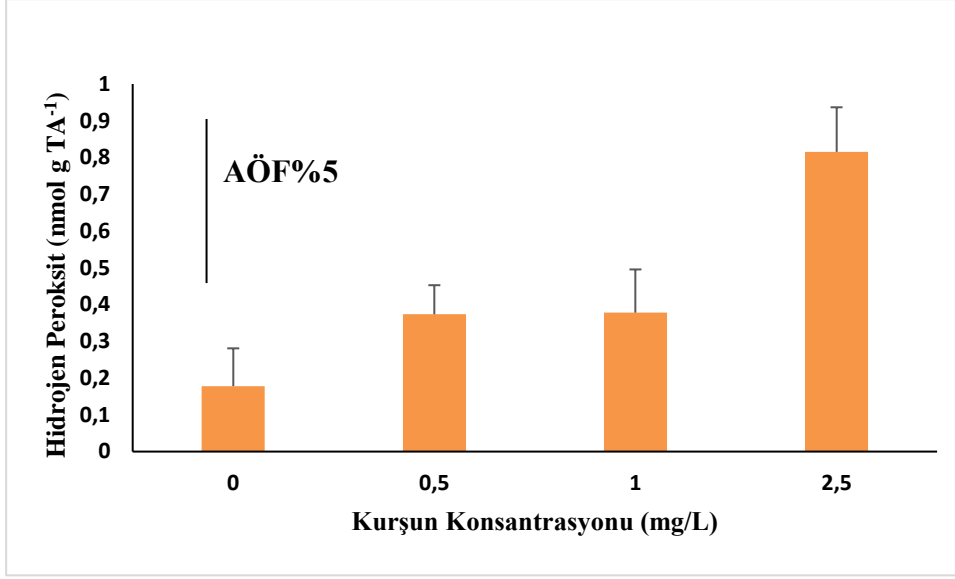


Şekil 3.57. *Chlorella vulgaris* 'in Pb⁺² konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına ve PP mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.57 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5 ve 1 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürde anlamlı bir fark tespit edilmezken ($p>0.05$) diğer kültür incelendiğinde anlamlı bir artış tespit edilmiştir ($p<0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.55 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En fazla düşüş ise 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 0.85 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En yüksek H₂O₂ miktarına sahip olan 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürden sonra en yüksek hidrojen peroksit değeri 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.28 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

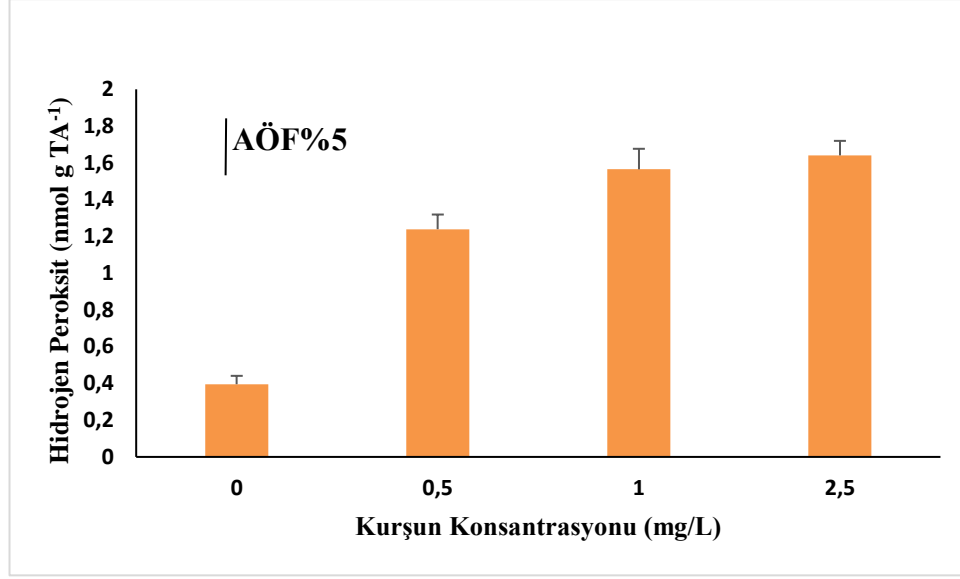


Şekil 3.58. *Chlorella vulgaris* 'in Pb⁺² konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığına bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in metal konsantrasyonlarına ve PVC mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.58 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5 ve 1 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürde anlamlı bir fark tespit edilmezken ($p > 0.05$) diğer kültür incelendiğinde anlamlı artış tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 0.81 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. H₂O₂ miktarındaki en fazla düşüş ise 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 0.3734 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En yüksek H₂O₂ miktarına sahip olan 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürden sonra en yüksek değer 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 0.3778 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

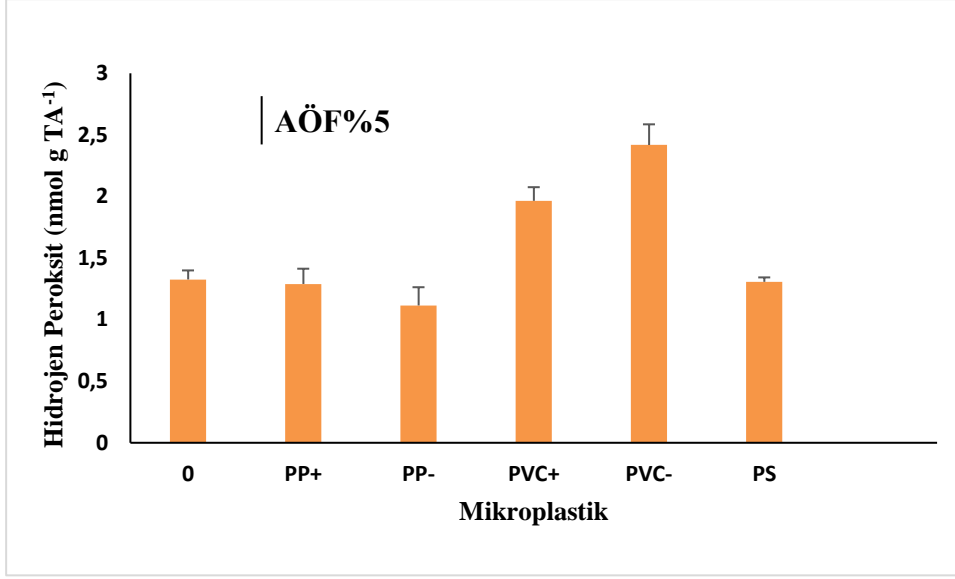


Şekil 3.59. *Chlorella vulgaris* 'in Pb²⁺ konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığıne bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ ürün miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris mikroalginin metal konsantrasyonlarına ve PS mikroplastığı maruziyeti sonucu oluşan H₂O₂ miktarı Şekil 3.59 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 0.5, 1 ve 2.5 mg/L metal konsantrasyonlarına sahip kültürün tamamında istatistiki olarak anlamlı artışlar tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

H₂O₂ miktarları bütün kültürlerde kıyaslandığında en fazla artış 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.64 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. H₂O₂ miktarındaki en fazla düşüş ise 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.23 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En yüksek H₂O₂ miktarına sahip olan 2.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürden sonra en yüksek değer 1 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde 1.56 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.60. *Chlorella vulgaris* 'in farklı tür ve boyuttaki mikroplastiklere maruziyetine bağlı olarak enzim aktiviteleri sonucu oluşan H₂O₂ miktarındaki değişimi.

Chlorella vulgaris 'in boyut olarak 100 µm altında ve üstünde PP ve PVC, 1 µm boyutlu PS mikroplastiklerine maruz bırakılmış ve oluşan H₂O₂ miktarındaki değişim Şekil 3.60 de verilmiştir.

İstatistiki olarak kontrol grubu ile kıyas yapıldığında 100 µm nin altında ve üstündeki PP mikroplastığı ve 1 µm çapına sahip PS mikroplastığı ilavesi yapılan kültürlerde anlamlı bir fark gözlemlenmezken ($p > 0.05$) 100 µm nin altında ve üstündeki PVC mikroplastığı ilavesi yapılan kültürlerde anlamlı artış tespiti yapılmıştır ($p < 0.05$).

H₂O₂ miktarlarındaki bütün artışlar kıyasladığında en fazla artış 100 µm nin altında çapa sahip PVC mikroplastığı ilavesi yapılmış kültürde 2.42 nmol g TA⁻¹ olarak tespit edilmiştir. En az artış miktarı ise 1.11 nmol g TA⁻¹ ile 100 µm nin altında çapa sahip PP mikroplastığı ilavesi yapılan kültürde meydana gelmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada *Chlorella vulgaris* yeşil alg'i ve *Microcystis aeruginosa*, *Arthrospira platensis* mavi-yeşil algleri bakır, kurşun ve kadmiyum ağır metallerinin farklı konsantrasyonlarına (0.5-1-2.5-5-10 mg/L) ve farklı tür ve çaptaki mikroplastiklerine (100 µm>PP >100 µm, 100 µm > PVC>100 µm, PS=1 µm) maruz bırakılmıştır. Metal ve mikroplastik ilavesi yapılan kültürler zamana bağlı olarak maruziyetin yarattığı toksisite miktarları ve bu toksisite ile mikroalgler'in büyüme ve gelişimi takip edilmiş olup toksisite, büyüme ve gelişim için optik yoğunluk (OD), askıda katı madde (AKM), klorofil-*a* ve hücre sayımları yapılmıştır. Toksisitenin yarattığı etkiyi daha iyi anlayabilmek için enzim aktivitesi sonucunda oluşan malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarları ölçülmüştür.

Mikroalglerde büyüme ve gelişmeyi takip etmek için optik yoğunluk ve klorofil-*a* değerlerini takip etmek, askıda katı madde miktarının artış oranlarını belirlemek ve kültürlerin sürekli olarak mikroskopta sayılması önemli parametrelerdir. Çalışma süresi boyunca (15 gün) 48 saatlik periyotlarda *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa* ve *Arthrospira platensis* ağır metaller ile mikroplastiklere maruz bırakılmış ve OD 560, klorofil-*a*, AKM ve hücre sayımı gibi ölçüm analizleri yapılmıştır. *Chlorella vulgaris* mikroalgi bakır ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılmış en yüksek konsantrasyona sahip (10 mg/L) kültürde alg büyümesinin yavaşladığı ve mikroskop incelemeleri sonucu hücre ölümlerinin gerçekleştiği tespit edilmiştir. *Chlorella vulgaris* yeşil alg'i kurşun ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılarak mikroalg hücrelerindeki büyüme ve gelişim takip edilmiş OD 560, klorofil-*a* ve AKM değerleri baz alındığında en yüksek konsantrasyona sahip 10 mg/L lik kültürde en fazla hücre kaybının yaşandığı, büyüme ve gelişimin durduğu hatta mikroskop sayımlarına göre hücre ölümlerinin yaşandığı tespit edilmiştir. *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis* ve *Microcystis aeruginosa* algleri kadmiyum ağır metalinin farklı konsantrasyonlarına (0.5-1-2.5-5-10 mg/L) maruz bırakılmış kıyaslama için saf kültürden oluşan kontrol grubu oluşturulmuştur. Kadmiyum ağır metalinin alg kültürleri üzerindeki toksik etkisinin varlığı, hücre gelişimine etkisi araştırılmıştır. Yapılan ölçümler ve

incelemeler sonucunda OD 560, klorofil-*a*, AKM ve hücre sayımları dikkate alındığında en yüksek kadmiyum konsantrasyona sahip (10 mg/L) alg kültürlerinde büyüme ve gelişim aktivitelerinin durduğu ve mikroskop sayımlarında hücre ölümlerinin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bakır, kurşun ve kadmiyum ağır metallerinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis* ve *Microcystis aeruginosa* mikroalglerinde en düşük (0.5 mg/L) metal konsantrasyonun eklendiği kültürde kontrole göre kıyas edildiğinde gelişim yavaş olmuştur. Ancak Metal konsantrasyonları kendi aralarında kıyas edildiğinde en iyi büyüme ve gelişim 0.5 mg/L metal konsantrasyonunda gözlemlenmiştir. Yapılan bir çalışmada Wong ve Chang (1991) ağır metallerin (Ni, Cu, Cr) farklı dozlarını *Chlorella pyrenoidosa* mikroalgi kültürlerine ilave etmişler ve ağır metallerin algler için toksik etki yarattığını tespit etmişlerdir. Mamboya ve ark. (2001) yapmış olduğu başka bir çalışmada *Padina Bogesenmi* alg'i üzerindeki çalışmalarında bakır (Cu) ağır metalinin artan konsantrasyonlarına bağlı olarak alg kültürlerinde gelişim hızının düştüğü biyokütle miktarında ciddi azalışlar olduğunu tespit etmişlerdir. Piotrowska-Niczyporuk ve ark. (2012) yapmış olduğu çalışmasında *Chlorella vulgaris* mikroalgine kadmiyum, bakır ve kurşun ağır metallerinin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılmış olup bakır kurşun ve kadmiyum ağır metalinin mikroalg üzerinde toksik etkilere sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. En yüksek toksik etkiyi kadmiyum ağır metali vermiş olup klorofil-*a* miktarında düşüşler meydana getirmiştir. Cao ve ark. (2011) çalışma yaptığı diğer bir inceleme konusunda manganın farklı konsantrasyonları hazırlanmış *AmpHidinium* sp. alg'i üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Büyüme ve gelişimi takip edilen mikroalg *AmpHidinium* sp. de büyüme hızının mangan konsantrasyonuna bağlı olarak düştüğü tespit edilmiştir. Yaptığım çalışma ve incelenen çalışmalar sonucunda ağır metallerin artan konsantrasyonları mikroalgler için toksik etki barındırmakta olup metal konsantrasyonu ne kadar artarsa mikroalg üzerindeki toksisite de o derece artmaktadır. İncelenen çalışmalar yaptığım çalışmayı destekler nitelikte olup sonuçlar kıyaslandığında benzerlik göstermektedir.

Yürütülen çalışmada *Chlorella vulgaris* yeşilalg'i ağır metal konsantrasyonlarının yanı sıra bütün çevresel ekosistemlerde varlığını gösteren mikroplastiklere de maruz bırakılmıştır. PP, PVC ve PS mikroplastikleri nin farklı çap ve boyutları seçilmiştir. PP ve PVC<100 µm, PS ise 1µm çapında seçilmiştir. Ağır metallerin farklı

konsantrasyonlarının mikroplastikler ile aynı anda ilavesi yapılan kültür setlerinde çalışmalar yürütülmüş ve büyüme ve gelişim takibi için OD560, klorofil-*a*, AKM ve hücre sayımları deney süresi boyunca takip edilmiştir. *Chlorella vulgaris* farklı setlerde bakır ağır metalinin konsantrasyonlarına (0.5-1-2.5 mg/L) ve PP, PVC ve PS mikroplastiklerine maruz bırakılmış olup ağır metal ve mikroplastikler aynı kültür setlerine ilave edilerek metal maruziyetine mikroplastik etkisi araştırılmıştır. Bakır ağır metalinin mikroalg kültürleri üzerinde toksik etki barındırdığı yürüttüğüm çalışmada tespit edilmişti. Kültürler üzerinde oluşan bu toksik etkiye mikroplastik etkisinin hangi yönlü olacağı yürütülen bu çalışmada incelenmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde bakır ağır metalinin 2.5 mg/L konsantrasyonuna sahip ve PVC mikroplastığı ilavesi yapılan kültürde OD 560, klorofil-*a* ve askıda katı madde değerleri başlangıç seviyesinin altına düşerek mikroalg *Chlorella vulgaris* mikroalgi üzerinde toksik etkiye sebebiyet vermiştir. Büyüme ve gelişim yavaşlamış kültürlerde ölüm oranları artmıştır. Başlangıç klorofil-*a* değeri 0,90 mg/L olan 2.5 mg/l metal konsantrasyonu ve PVC mikroplastığı ilavesi yapılan kültürde deney süresi boyunca değişimler incelenmiş olup on üç günün sonunda klorofil-*a* değeri 0.138 mg/L olarak ölçülmüştür.

Yürüttüğüm çalışmada farklı setlerde kurşun ağır metalinin konsantrasyonları (0.5-1-2.5 mg/L) ve 100 µm den küçük çapa sahip PP ve PVC, 1 µm çapa eşit PS mikroplastikleri *Chlorella vulgaris* alg kültürlerine aynı anda ilave edilmiştir. Kurşun ağır metalinin mikroalgler üzerindeki toksisitesi yaptığım çalışma ile tespit edilmişti. Kurşun ağır metali varlığından kaynaklanan toksisiteye mikroplastik varlığı etkisinin yönü araştırılmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde bakır ağır metalinin 2.5 mg/L konsantrasyonuna sahip ve PVC mikroplastığı ilavesi yapılan kültürde OD 560, klorofil-*a* ve askıda katı madde değerleri başlangıç seviyesinin altına düşerek mikroalg *Chlorella vulgaris* mikroalgi üzerinde toksik etkiye sebebiyet vermiştir. Büyüme ve gelişim yavaşlamış kültürlerde ölüm oranları artmıştır. Başlangıç klorofil-*a* değeri 0,90 mg/L olan 2.5 mg/l metal konsantrasyonu ve PVC mikroplastığı ilavesi yapılan kültürde deney süresi boyunca değişimler incelenmiş olup on üç günün sonunda klorofil-*a* değeri 0.249 mg/L olarak ölçülmüştür. Kurşun ağır metalinin varlığına rağmen diğer mikroplastikler ile kıyaslandığında PS mikroplastığı gelişime daha çok müsaade etmiştir. OD 560 sonuçları incelendiğinde en fazla gelişim 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna ve PS mikroplastığına sahip kültürde meydana gelmiştir. Başlangıç

değeri 0.456 nm olan 0.5 mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültür deney süresi sonunda 0.702 nm olarak ölçülmüştür. Klorofil-*a* miktarı incelendiğinde en iyi gelişim kurşun ağır metalinin 0.5 mg/l konsantrasyonuna ve PS mikroplastığına sahip kültürde başlangıç klorofil-*a* değeri 0,91 mg/L ve deney süresi sonunda ölçülen değer 1,55 mg/L olarak tespit edilmiştir. Kullanılan iki farklı ağır metal (Cu, Pb) kendi aralarında kıyaslandığında bakır ağır metalinin kurşun ağır metaline göre çok daha fazla toksik etki barındırdığı tespit edilmiştir. Kültürler üzerinde oluşan bu toksik etki klorofil-*a* miktarındaki azalma, optik yoğunluk (OD 560) seviyelerinde düşüş askıda katı madde (AKM) ve hücre sayımlarındaki anormallikler ile tespit edilmiştir.

Yürütülen çalışmada farklı setlerde *Chlorella vulgaris* mikroalginin mikroplastik maruziyeti sonucu büyüme ve gelişimi izlenmiş olup mikroplastiklerin mikroalgler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan deney setleri *Chlorella vulgaris* mikroalg 'ini ve farklı boyutlarda seçilen PP, PVC ve PS mikroplastiklerini içermektedir. Seçilen mikroplastikler 100 µm<PP, PVC ve PP, PVC<100 µm, PS=1 µm dir. Deney süresi boyunca mikroplastik maruziyetine bırakılan kültürlerin OD560, klorofil-*a*, AKM ve hücre sayımları yapılmış olup en yüksek OD560 değeri PS mikroplastığı bulunan kültürde tespit edilmiştir. Başlangıç değeri 0.45 nm iken deney süresi sonunda OD560 değeri 2.11 nm olarak tespit edilmiştir. Klorofil-*a* miktarları incelendiğinde bütün kültürlerin canlı biyokütlesi artmıştır. Ancak mikroplastik maruziyetine tabi tutulan kültürler arasında kıyaslama yapıldığında PS mikroplastığı içeren kültür en çok gelişimi gösteren set olmuştur. Başlangıç değeri 0,96 mg/L olan kültürün deney süresi sonunda klorofil-*a* miktarı 1,72 mg/L olarak tespit edilmiştir. Kontrol ile kıyaslandığında bütün kültürlerde büyüme ve gelişim yönünden gerileme mevcuttur. Mikroalgler'in büyümesi ve gelişmesi için ihtiyaç duyduğu temel unsur ışığın mikroplastik varlığından etkilendiği düşünülmektedir. Mikroplastik ilavesinin hazırlanan kültürler içerisinde saydamlığı bozarak ışık geçirgenliğini azaltmış olup gölgeleme etkisiyle mikroalgler'in büyümelerini yavaşlatmıştır.

Enzim aktiviteleri sonucu oluşan ürünlerden malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarları incelenmiş olup mikroalgler'in metal ve mikroplastik maruziyetinin büyüme ve gelişmeye etkisinin araştırıldığı her bir farklı set için bu ürünler incelenmiştir.

H₂O₂ miktarının artması Haber-Weis reaksiyonu ile OH●- radikalini oluşturur ve lipid peroksidasyonunda artmaya sebep olur(Bowler ve ark., 1992; Goel ve Sheoran,

2003). Bir deney setinde toksisite kaynaklı hücrede gelişim yavaşlayıp ölümler olduğunda ve hücre membranında yıkımlar olmaya başladığında enzim aktiviteleri sonucu oluşan MDA ve H₂O₂ miktarlarında artmalar meydana gelir. Yürüttüğüm çalışmalar incelendiğinde Bakır, kurşun ve kadmiyum ağır metallerinin mikroalg kültürlerine ilavesi sonrasında oluşan toksisite sonucu klorofil-*a* miktarlarında düşüşler görülmüş ve en yüksek düşüş 10mg/L lik konsantrasyonda olmuştur. Oluşan bu toksisite ile hücre membranlarında yıkım artmış ve hidrojen peroksit oluşumunda ve miktarlarında artışlar tespit edilmiştir. Hidrojen peroksit miktarı en fazla ağır metal konsantrasyonlarının eklendiği kültürler kıyas edildiğinde 10mg/L metal konsantrasyonuna sahip kültürde tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak hücrelerdeki MDA miktarlarında artışlar bulunmuştur. Qian ve ark. (2010), yapmış olduğu çalışmalarında *Microcystis aeruginosa* mavi-yeşil algine bakır ağır metali ilavesi yapmış ve hücrelerdeki hidrojen peroksit miktarının zamana bağlı olarak arttığını eş zamanlı olarak da kültürde klorofil-*a* miktarının gerilediğini tespit etmiştir. Mikroplastik ve ağır metallerin aynı anda kültürlere ilavesinde ağır metal konsantrasyonlarına bağlı olarak azalan klorofil-*a* miktarındaki değişim sonucu hidrojen peroksit ve MDA miktarlarında artma tespit edilmiştir. En yüksek hidrojen peroksit ve MDA miktarı bakır (2.5 mg/L) ağır metali ve PVC mikroplastığı nin aynı anda ilave edildiği kültürde tespit edilmiştir. Eş zamanlı olarak bakıldığında en az klorofil-*a* miktarı bakır (2.5 mg/L) ve PVC mikroplastığı 'nin bulunduğu kültürde tespit edilmiştir. Li ve ark. (2006), yürüttüğü çalışmada bakır konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Pavlova Viridis* de artan bakır konsantrasyonlarında bağlı olarak MDA miktarında artmalar tespit edilmiştir. Mehta ve Gaur (1999), yürüttüğü çalışmasında *Chlorella vulgaris* algine bakır konsantrasyonlarını ilave etmiş ve zamana bağlı olarak MDA ve hidrojen peroksit miktarlarında artmalar tespit etmiştir. *Chlorella vulgaris* algi mikroplastiklerin farklı tür ve boyutlarına maruz bırakılmış bu maruziyet sonucu oluşan MDA ve H₂O₂ miktarları analiz edilmiştir. En fazla MDA miktarı klorofil-*a* seviyesinin en çok azaldığı kültür olan 100 µm çapından büyük PVC mikroplastığı ilavesi yapılan kültürde ölçülmüştür. En az MDA ve H₂O₂ miktarı ise 1 µm çapında ilave edilen kültürde tespit edilmiştir. MDA ve hidrojen peroksit miktarının en az tespit edildiği kültür olan PS ilavesi yapılan kültürde klorofil-*a* değeri kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek değere sahiptir.

Yürüttüğüm çalışmamda *Chlorella vulgaris* yeşil alg'i ve *Microcystis aeruginosa*, *Arthrospira platensis* mavi-yeşil algleri incelenmiş olup incelenen mikroalgler'in ağır metallere ve mikroplastiklere gösterdiği tepkiler araştırılmıştır. Ağır metallerin incelenen alglere toksik etki ettiği ve mikroalgler'in büyüme ve gelişimini yavaşlattığı, hücre ölümlerine sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Enzim aktiviteleri sonucu ortaya çıkan hidrojen peroksit ve malondialdehit ürünlerinin varlığı ve ağır metal konsantrasyonuna bağlı olarak artış göstermesi de bakır, kurşun ve kadmiyum ağır metallerinin hücre içindeki metabolik dengeyi etkilediğinin bir göstergesidir. *Chlorella vulgaris* algine uygulanan mikroplastik etkisi incelendiğinde ağır metallere kıyasla daha az etki etmiş olsa da uzun süreli maruziyet sonucu canlı yaşamı için son derece tehlike arz etmektedir.

Ağır metal kaynakları incelendiğinde olası bir kaza ve tehlike anında çevreye yayılan ağır metal kirliliği ekosistemlere geri dönüşü olamayan zararlar verir. Ağır metallerin çevresel ekosistemlerde yaşayan organizmalara direkt etki edip besin zincirinde toksikliğini artırarak yukarı çıkmaktadır. Mikroplastik kaynakları incelendiğinde sınırsız üretim yapan ülkeler başta olmak üzere bütün ülkelerin bu kirlilikte payı olmakla beraber artan tüketim ile birlikte hiçbir önlem alınmamaktadır. Küresel çapta bütün dünyada yayılım gösteren mikroplastikler uzun süreli maruziyette canlı yaşamını tehdit eder ve çevresel ekosistemlerin doğal dengelerini bozar. Besin zinciri yoluyla üst katmanlara çıkan mikroplastikler canlı vücudunda birikerek risk oluşturmaktadır. Atıkların kontrol altına alınması, sınırsız üretim anlayışının durdurulması, atık takiplerinin kontrollü ve uygun bir şekilde yapılması sucül ekosistemlere verilen zararı azaltacaktır. Ağır metal ve mikroplastik kaynaklı çevresel kirlenme tespitinde tek hücreli bu organizmaların kullanılması hızlı ve güvenilir göstergeler olarak gelecek çalışmalara ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

- Abbasi, S., Amiranipour, S., Karimi, J., Mohsenzadeh, S., ve Turner, A. (2023). Impacts of polyethylene microplastics on the microalga, *Arthrospira platensis* (*Arthrospira platensis*). *Environmental Pollution*, 327, 121611. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2023.121611>
- Abed, S. A., Abed Alasady, R. K., ve Jazie, A. A. (2021). Microplastics effect on the pHysochemical parameters and interaction with *Arthrospira platensis* microalgae in Al-Dalmaj Marsh, Iraq. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2251-2258. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.12.312>
- Adegoke, K. A., Adu, F. A., Oyebamiji, A. K., Bamisaye, A., Adigun, R. A., Olasoji, S. O., ve 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>
- Agrawal, S. C. (2012). Factors controlling induction of reproduction in algae-review: The text. *Folia Microbiologica*, 57(5), 387-407. <https://doi.org/10.1007/S12223-012-0147-0/METRICS>
- Ağırman Nur. (2015). *Chlorella vulgaris* ve *Scenedesmus acutus* 'un Gelişimi, Pigment Oluşumu, Lipit ve Protein İçeriği Üzerine Farklı Stres Faktörlerinin Etkileri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat üniversitesi.
- Ahmed, R. S., Abuarab, M. E., Ibrahim, M. M., Baioumy, M., ve Mokhtar, A. (2023). Assessment of environmental and toxicity impacts and potential health hazards of heavy metals pollution of agricultural drainage adjacent to industrial zones in Egypt. *Chemosphere*, 318, 137872. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.137872>
- Ain Bhutto, S. U., ve You, X. (2022). Spatial distribution of microplastics in Chinese freshwater ecosystem and impacts on food webs. *Environmental Pollution*, 293, 118494. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.118494>
- Akgül, G., Varol, M., & Erdem, A. (2022). Co2 Derişiminin Ve Azot Stresinin *Chlorella Vulgaris* Mikroalg Kültürünün Co2 Tutma Verimine Etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(2), 698-721. <https://doi.org/10.21923/jesd.1023024>
- Akıncı, F. N., & Günal, A. Ç. (2022). *Fluorene-9-Bisphenol* ve *Canlılar Üzerindeki Etkileri*. *Environmental Toxicology and Ecology*.
- Allen, S., Allen, D., Moss, K., Le Roux, G., PHoenix, V. R., ve Sonke, J. E. (2020). Examination of the ocean as a source for atmospHeric microplastics. *PLOS ONE*, 15(5), e0232746. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0232746>
- Al-Maliki, S., ve Breesam, H. (2020). Changes in soil carbon mineralization, soil microbes, roots density and soil structure following the application of the arbuscular mycorrhizal fungi and green algae in the arid saline soil. *RhizospHere*, 14, 100203. <https://doi.org/10.1016/J.RHISPH.2020.100203>

- Amal Raj, A. R., Mylsamy, P., Sivasankar, V., Kumar, B. S., Omine, K., ve Sunitha, T. G. (2023). Heavy metal pollution of river water and eco-friendly remediation using potent microalgal species. *Water Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1016/J.WSE.2023.04.001>
- Amato-Lourenço, L. F., dos Santos Galvão, L., de Weger, L. A., Hiemstra, P. S., Vijver, M. G., ve Mauad, T. (2020). An emerging class of air pollutants: Potential effects of microplastics to respiratory human health? *Science of The Total Environment*, 749, 141676. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141676>
- Andersen R A. (2005). *Algal Culturing Techniques, Elsevier Academic Press*.
- Apha A. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association*.
- Atamanalp, M., & Yanik Telat. (2001). Pestisitlerin Cyprinidae'lere Toksik Etkileri. *E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 18(4), 555-563. <https://jfas.ege.edu.tr/Derleme/Review>
- Azeez, P. A., ve Banerjee, D. K. (1987). Influence of light on chlorophyll, a content of blue-green algae treated with heavy metals. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 38(6), 1062-1069. <https://doi.org/10.1007/BF01609096/METRICS>
- Bajguz, A. (2000). Blockade of heavy metals accumulation in *Chlorella vulgaris* cells by 24-epibrassinolide. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38(10), 797-801. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(00\)01185-2](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(00)01185-2)
- Bank, M. S., Hansson, S. V, Bank, M. S., ve Hansson, S. V. (2022). *The Microplastic Cycle: An Introduction to a Complex Issue*. 1-16. http://doi.org/10.1007/978-3-030-78627-4_1
- Bayır İ. (2022). *Ağır Metal Kirliliği Üzerine Bir Araştırma*", Giresun Üniversitesi.
- Benas, K., & Ak, İ. (2022). Farklı LED Işık Kaynaklarının *Dunaliella salina* Teodoresco (Chlorophyceae) Büyüme ve Pigment İçeriğine Etkisi. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries*, 5(1), 19-25. <https://doi.org/10.46384/jmsf.1023978>
- Benzer F, & Ozan S. (2002). *Fasciola hepaticae* Enfekte Koyunlarda Lipid Peroksidasyonu, Antioksidant Enzimler ve Nitrik Oksit Düzeyleri.
- Bläsing, M., ve Amelung, W. (2018). Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Science of The Total Environment*, 612, 422-435. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.08.086>
- Brown, E., MacDonald, A., Allen, S., ve 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>
- Carino, J. D., ve Vital, P. G. (2023). Characterization of isolated UV-C-irradiated mutants of microalga *Chlorella vulgaris* for future biofuel application. *Environment, Development and Sustainability*, 25(2), 1258-1275. <https://doi.org/10.1007/S10668-021-02091-8/FIGURES/7>

- Carr, S. A., Liu, J., ve 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>
- Cepoi, L., Zinicovscaia, I., Rudi, L., Chiriac, T., Miscu, V., Djur, S., Strelkova, L., Vergel, K., ve Nekhoroshkov, P. (2020). Growth and heavy metals accumulation by *Arthrospira platensis* biomass from multicomponent copper containing synthetic effluents during repeated cultivation cycles. *Ecological Engineering*, 142, 105637. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2019.105637>
- Chakravorty, M., Nanda, M., Bisht, B., Sharma, R., Kumar, S., Mishra, A., Vlaskin, M. S., Chauhan, P. K., ve Kumar, V. (2023). Heavy metal tolerance in microalgae: Detoxification mechanisms and applications. *Aquatic Toxicology*, 260, 106555. <https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2023.106555>
- Chang, H.-X., Huang, Y., Fu, Q., Liao, Q., & Zhu, X. (2016). Kinetic characteristics and modeling of microalgae *Chlorella vulgaris* growth and CO₂ biofixation considering the coupled effects of light intensity and dissolved inorganic carbon. *Bioresource Technology*, 206, 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.087>
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
- Citterich, F., Lo Giudice, A., ve 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>
- Conti, I., Simioni, C., Varano, G., Brenna, C., Costanzi, E., ve Neri, L. M. (2021). Legislation to limit the environmental plastic and microplastic pollution and their influence on human exposure. *Environmental Pollution*, 288, 117708. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.117708>
- Cui, J., Xie, Y., Sun, T., Chen, L., ve Zhang, W. (2021). Deciphering and engineering photosynthetic cyanobacteria for heavy metal bioremediation. *Science of The Total Environment*, 761, 144111. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.144111>
- Cüce, H., Kalıpcı, E., Taş, B., & Yılmaz, M. (2020). Rakım Farklılığı Nedeniyle Oluşan Meteorolojik Değişimlerin Su Kalitesine Olan Etkilerinin CBS İle Değerlendirilmesi: Morfolojik Olarak Farklı İki Göl İçin Bir Karşılaştırma. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 1-26. <https://doi.org/10.31466/Kfbd.649297>
- Çağlayan H, & Aytan Ü. (2020). Mikroplastiklerin Deniz Çevresinde Neden Olduğu Etkiler. *Sudaki Yaşam*, 44-45.
- Dalvand, M., ve Hamidian, A. H. (2023). Occurrence and distribution of microplastics in wetlands. *Science of The Total Environment*, 862, 160740. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.160740>
- Derin, P., Demir Y, A., Yeşilnacar, M. İ., & Yapıcıoğlu, P. (2020). GAP'ın En Büyük Sulama Sahasında Jeotermal Sulardan Kaynaklanan Potansiyel Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni / Geological Bulletin of Turkey*, 1-12. <https://doi.org/10.25288/tjb.626743>

- Durmaz, A. (2019). *Sığ Göllerde Ağır Metal Kirliliği Ve Kaynaklarının Değerlendirilmesi*.
- DÜBÜŞ Ş. (2022). *Türkiye’de Çevre Kirliliğinin Belirleyicileri: Eşbütünleşme Ve Nedensellik Analizleri (1980 - 2017)*.
- El-Sheekh, M. M., Gheda, S. F., El-Sayed, A. E. K. B., Abo Shady, A. M., El-Sheikh, M. E., ve Schagerl, M. (2019). Outdoor cultivation of the green microalga *Chlorella vulgaris* under stress conditions as a feedstock for biofuel. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18), 18520-18532. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-05108-Y/TABLES/6>
- Er, Ş. (2019). *İki Farklı Herbisitini Arthrospira Platensis Gomont Ve Chlorella Vulgarisbeyerinck (Bejerinck) Alglerinin Gelişimi Ve Antioksidan Parametrelerinin Üzerine Etkisi*.
- Esensoy Fb, Şentürk Y, & Aytan Ü. (2020). *Güneydoğu Karadeniz’de Plastikler Üzerinde Mikrobiyal Biyofilm*. 268-286.
- Esmeray, E., & Armutcu, C. (2020). Mikroplastikler, Çevre-İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri Ve Analiz Yöntemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 839-868. <https://doi.org/10.29130/DUBITED.586453>
- Fei, Y., Huang, S., Zhang, H., Tong, Y., Wen, D., Xia, X., Wang, H., Luo, Y., ve Barceló, D. (2020). Response of soil enzyme activities and bacterial communities to the accumulation of microplastics in an acid croPPed soil. *Science of The Total Environment*, 707, 135634. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.135634>
- Francesconi, K. A., Hunter, D. A., Bachmann, B., Raber, G., & Goessler, W. (1999). Uptake And Transformation Of Arsenosugars İn The Shrimp Crangon Crangon. *Applied Organometallic Chemistry*, 13(10), 669-679. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0739\(199910\)13:10<669::A1dAoc910>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0739(199910)13:10<669::A1dAoc910>3.0.CO;2-E)
- Garcés-Ordóñez, O., Saldarriaga-Vélez, J. F., Espinosa-Díaz, L. F., Canals, M., Sánchez-Vidal, A., ve Thiel, M. (2022). A systematic review on microplastic pollution in water, sediments, and organisms from 50 coastal lagoons across the globe. *Environmental Pollution*, 315, 120366. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2022.120366>
- Geravand, F., Momenpour, M., Houreh, M. D., ve Kamsari, S. A. H. (2017). Investigating the effects of heavy metals in the waste leachate on the groundwater quality near the landfill (case study: Landfill of Saravan, Rasht). *Journal of Fundamental and APPLIED Sciences*, 9(1S), 484-499. <https://doi.org/10.4314/jfas.v9i1S>.
- Gezici, M., Eliçin, K., & Gürhan, R. (2012). Biyoyakıt Amaçlı Mikroalg Üretimi İçin Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi. *Journal Of Agricultural Machinery Science*, 2012(2), 223-231.
- Gezici Mustafa. (2012). *Biyodizel Üretimine Uygun Mikroalglerin Gelişimine Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Etkisinin Belirlenmesi*.

- Gichner, T., Patková, Z., Száková, J., ve Demnerová, K. (2006). Toxicity and DNA damage in tobacco and potato plants growing on soil polluted with heavy metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 65(3), 420-426. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2005.08.006>
- Gul, M., Küçükuysal, C., Ve Masud, A. (2023). Kumsal Sedimanlarının Mikroplastik İçeriklerinin ve Sediman Tanelerinin Karakterizasyonu: Muğla Kıyılarından (GB Türkiye) Örnek Çalışma. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 14(1), 123-134. <https://doi.org/10.24012/DUMF.1212109>
- Gümüş, N. E. (2021). Akarçay Akarsuyu (Afyonkarahisar) Su Kalitesi ve Ağır Metal Kirliliği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(1), 120-127. <https://doi.org/10.35229/JAES.839147>
- Han, X., Lu, X., ve Vogt, R. D. (2019). An optimized density-based aPProach for extracting microplastics from soil and sediment samples. *Environmental Pollution*, 254, 113009. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.113009>
- Hee, C. W., Shing, W. L., ve Chi, C. K. (2021). Effect of Lead (Pb) exposure towards green microalgae (*Chlorella vulgaris*) on the changes of pHysicochemical parameters in water. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37, 252-255. <https://doi.org/10.1016/J.SAJCE.2021.04.002>
- Hemachandra, S. C. S. M., ve Sewwandi, B. G. N. (2023). APPLication of water pollution and heavy metal pollution indices to evaluate the water quality in St. Sebastian Canal, Colombo, Sri Lanka. *Environmental Nanotechnology, Monitoring ve Management*, 20, 100790. <https://doi.org/10.1016/J.ENMM.2023.100790>
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., ThomPson, R. C., ve Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science and Technology*, 46(6), 3060-3075. https://doi.org/10.1021/ES2031505/ASSET/IMAGES/MEDIUM/ES-2011-031505_0006.GIF
- Hu, Q. (2013). Environmental Effects On Cell Composition. İçinde *Handbook Of Microalgal Culture* (Ss. 114-122). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118567166.Ch7>
- Iheanacho, S., Ogbu, M., Bhuyan, M. S., ve 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>
- Islam, T., Li, Y., Rob, M. M., ve Cheng, H. (2022). Microplastic pollution in Bangladesh: Research and management needs. *Environmental Pollution*, 308, 119697. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2022.119697>
- İlkay Y. (2019). *Chlorella Vulgaris Kullanılarak Cu(Iı) Ve Pb(Iı) Ağır Metallerinin Biyosorpsiyonu*.
- Jahan İbadullayeva, Klara Jumaniyazova, Sina Azimzadeh, Selim Canıgür, ve Ferhan Esen. (2018). Çevre Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri. *Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Dergisi*, 52-58. <https://dergipve.ark.org.tr/en/download/article-file/965961>

- Jannat, J. N., Mia, M. Y., Jion, M. M. M. F., Islam, M. S., Ali, M. M., Siddique, M. A. B., Rakib, M. R. J., Ibrahim, S. M., Pal, S. C., Costache, R., Malafaia, G., ve Islam, A. R. M. T. (2023a). Pollution trends and ecological risks of heavy metal(loid)s in coastal zones of Bangladesh: A chemometric review. *Marine Pollution Bulletin*, 191, 114960. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2023.114960>
- Kaçar, H. (2021). *Meriç-Ergene Nehir Havzası Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti*.
- Kalıpcı, E., Cüce, H., & Toprak, S. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) Kullanılarak Mamasın Barajı YüzeY Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 351-361. <https://doi.org/10.28948/Ngumuh.341144>
- Kanlı, İ. B., ve Kurt, Y. (2019). Türkiye'nin Çevre Politikaları Kapsamında Mikroplastik Kirlilik Üzerine Bir Değerlendirme Mahalle Kooperatifleri View project Mahalle Büyüklüğünün Optimizasyonu ve Şehir Yönetimlerinin Sürdürülebilirliğine Etkisinin Değerlendirilmesi View project. *Article in Journal of International Scientific Researches*. <https://doi.org/10.21733/ibadjournal.585043>
- Kara T., (2012). *Farklı Besğn Ortamlarının (Chlorella vulgaris, Scenedesmus acutus, Saccharomyces cerevisiae) Chironomidae Türlerinin (Chironomus plumosus(L., 1758), Chironomus anthracinus Zett., 1860 ve Halocladus(H.) fucicola(Edw., 1926)) Gelişim Süresi Ve Biyokimyasal Özelliklerine Etkisi*.
- Kargin, H., Mahitap, Y., & Duru, D. (2011). Syanobakteri Spirulina platensis'in Besin Kimyası ve Mikrobiyolojisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 4(1), 31-43.
- Kaya E. (2019). *Batman Yöresindeki Yüzeysel Ve Atık Sularda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması Ekrem Kaya Yüksek Lisans Tezi*.
- Kayan, A., Ayşe, *, ve ** K. (2020). Plastik Kirliliğın Çevresel Zararları ve Çözüm Önerileri. İçinde *Ankara Hacı Bayram Veli University Journal of the Faculty of Economics and Administrative Sciences* (C. 22, Sayı 2, ss. 403-427). Ankara Hacı Bayram Veli University. <https://dergipveark.org.tr/en/pub/ahbvuibfd/issue/56396/659700>
- Kiliç, H. E. (2017). Çinko Ağır Metalinin *scenedesmus Ellipsoideuschodat* Alginin Gelişimi Ve Antioksidan Enzimlerin Aktivitesi Üzerine Etkisi.
- Kurhan Şebnem. (2012). Fulvik Ve Humik Asidin *Chlorella Vulgaris* Ve *Spirulina Platensis* Gelişimine Etkisinin Belirlenmesi.
- Kumar, V., Rout, C., Singh, J., Saharan, Y., Goyat, R., Umar, A., Akbar, S., ve Baskoutas, S. (2023). A review on the clean-up technologies for heavy metal ions contaminated soil samples. *Heliyon*, 9(5), e15472. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E15472>
- Li, X., Pan, J. F., Lu, Z., Wei, M., Gao, Z., ve Yan, Z. (2021). Arsenate toxicity to the marine microalga *Chlorella vulgaris* increases under pHosphorus-limited condition. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 50908-50918. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-14318-2/FIGURES/5>

- Liu, K., Wang, X., Fang, T., Xu, P., Zhu, L., ve Li, D. (2019). Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. *Science of The Total Environment*, 675, 462-471. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.04.110>
- Manavoğlu Doğançan. (2021). *Microcystis Aeruginosa(KÜTZING) Kützing 1846 Gelişimi Üzerine Ampisilin, Gentamisin Ve Siprofloksasin Antibiyotiklerinin Etkileri*.
- Malli, A., Corella-Puertas, E., Hajjar, C., ve Boulay, A. M. (2022). Transport mechanisms and fate of microplastics in estuarine compartments: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 177, 113553. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2022.113553>
- Mammo, F. K., Amoah, I. D., Gani, K. M., Pillay, L., Ratha, S. K., Bux, F., ve Kumari, S. (2020). Microplastics in the environment: Interactions with microbes and chemical contaminants. *Science of The Total Environment*, 743, 140518. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140518>
- Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Löder, M. G. J., Primpke, S., ve Gerdt, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research*, 108, 365-372. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2016.11.015>
- Mosallaei, S., Abbasi, S., Jalalian, E., Amiri, H., ve Hoseini, M. (2023). Heavy metals in edible red soil of the rainbow island in the Persian gulf: Concentration and health risk assessment. *Chemosphere*, 331, 138778. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.138778>
- Musah, B. I., Wan, P., Xu, Y., Liang, C., ve Peng, L. (2022). Contrastive analysis of nickel (II), iron (II), copper (II), and chromium (VI) removal using modified *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis* platensis: Characterization and recovery studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108422. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2022.108422>
- Naddafi, K., Mesdaghinia, A., Abtahi, M., Hassanvand, M. S., Beiki, A., Shaghghi, G., Shamsipour, M., Mohammadi, F., ve Saedi, R. (2022). Assessment of burden of disease induced by exposure to heavy metals through drinking water at national and subnational levels in Iran, 2019. *Environmental Research*, 204, 112057. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.112057>
- O'Brien, S., Rauert, C., Ribeiro, F., Okoffo, E. D., Burrows, S. D., O'Brien, J. W., Wang, X., Wright, S. L., ve Thomas, K. V. (2023). There's something in the air: A review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere. *Science of The Total Environment*, 874, 162193. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.162193>
- Okewale, I. A., ve Grobler, H. (2023). Assessment of heavy metals in tailings and their implications on human health. *Geosystems and Geoenvironment*, 2(4), 100203. <https://doi.org/10.1016/J.GEOGEO.2023.100203>

- Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P. S., Wu, Y. S., Nagandran, S., Batumalaie, K., Gopinath, S. C. B., John, O. D., Sekar, M., Saikia, T., Karunanithi, P., Hatta, M. H. M., ve Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. *Environmental Chemistry Letters* 2023, 1-41. <https://doi.org/10.1007/S10311-023-01593-3>
- Oukarroum, A., Perreault, F., ve Popovic, R. (2012). Interactive effects of temperature and coPPER on pPhotosystem II pPhotochemistry in *Chlorella vulgaris*. *Journal of PPhotochemistry and PPhotobiology B: Biology*, 110, 9-14. <https://doi.org/10.1016/J.JPHOTOBIOLOG.2012.02.003>
- Önem B. (2016). *Çinko, Civavekalay Toksisitesininarthrospiraplatensisgomont Alginin Gelişimi Ve Antioksidan Enzimlerinin Üzerine Etkisi*.
- Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution*, 234, 115-126. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2017.11.043>
- Qian, H., Li, J., Sun, L., Chen, W., Sheng, G. D., Liu, W., ve Fu, Z. (2009). Combined effect of coPPER and cadmium on *Chlorella vulgaris* growth and pPhotosynthesis-related gene transcription. *Aquatic Toxicology*, 94(1), 56-61. <https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2009.05.014>
- Rahman, M., Rima, S. A., Saha, S. K., Saima, J., Hossain, M. S., Tanni, T. N., Bakar, M. A., ve Siddique, M. A. M. (2022). Pollution evaluation and health risk assessment of heavy metals in the surface water of a remote island Nijhum Dweep, northern Bay of Bengal. *Environmental Nanotechnology, Monitoring ve Management*, 18, 100706. <https://doi.org/10.1016/J.ENMM.2022.100706>
- Ramesh, B., Saravanan, A., Senthil Kumar, P., Yaashikaa, P. R., Thamarai, P., Shaji, A., ve Rangasamy, G. (2023). A review on algae biosorption for the removal of hazardous pollutants from wastewater: Limiting factors, prospects and recommendations. *Environmental Pollution*, 327, 121572. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2023.121572>
- Richmond Amos. (2004). Light: the major factor in growth and productivity. İçinde *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology* (ss. 125-177).
- Sadri, S. S., ve ThomPson, R. C. (2014). On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 55-60. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2014.02.020>
- Seda , Z., & Böke Özkoç, H. (2007). *Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği*.
- Sarker, A., Masud, M. A. Al, Deepo, D. M., Das, K., Nandi, R., Ansary, M. W. R., Islam, A. R. M. T., ve Islam, T. (2023). Biological and green remediation of heavy metal contaminated water and soils: A state-of-the-art review. *Chemosphere*, 332, 138861. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.138861>

- Seeruttun, L. D., Raghbor, P., ve APPadoo, C. (2023). Mangrove and microplastic pollution: A case study from a small island (Mauritius). *Regional Studies in Marine Science*, 62, 102906. <https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2023.102906>
- Sharma, S., ve Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research* 2017 24:27, 24(27), 21530-21547. <https://doi.org/10.1007/S11356-017-9910-8>
- Sharma, S., Sharma, V., ve Chatterjee, S. (2023). Contribution of plastic and microplastic to global climate change and their conjoining impacts on the environment - A review. *Science of The Total Environment*, 875, 162627. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.162627>
- Sınmaz G., (2022). *Kanathı Hayvan Kesimhanesi Biyolojik Arıtma Suyunda Biyodizel Üretimi İçin Mikroalg Kültürünün Geliştirilmesi*.
- Siddiqui, S. (2015). DNA damage in Cicer plant grown on soil polluted with heavy metals. *Journal of King Saud University - Science*, 27(3), 217-223. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2015.02.004>
- Singh, S. P., ve Singh, P. (2015). Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 431-444. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.05.024>
- Song, W., Xiong, H., Qi, R., Wang, S., ve Yang, Y. (2021). Effect of salinity and algae biomass on mercury cycling genes and bacterial communities in sediments under mercury contamination: Implications of the mercury cycle in arid regions. *Environmental Pollution*, 269, 116141. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.116141>
- Song, X., Zhuang, W., Cui, H., Liu, M., Gao, T., Li, A., ve Gao, Z. (2022). Interactions of microplastics with organic, inorganic and bio-pollutants and the ecotoxicological effects on terrestrial and aquatic organisms. *Science of The Total Environment*, 838, 156068. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.156068>
- Sun, Y., Ji, J., Tao, J., Yang, Y., Wu, D., Han, L., Li, S., ve Wang, J. (2023). Current advances in interactions between microplastics and dissolved organic matters in aquatic and terrestrial ecosystems. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 158, 116882. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2022.116882>
- Syafiuddin, A., ve Boopathy, R. (2021). Effect of Algal Cells on Water Pollution Control. *Current Pollution Reports* 2021 7:2, 7(2), 213-226. <https://doi.org/10.1007/S40726-021-00185-5>
- Şaş E. (2023). *Potasyum Sorbatın Arthrospira Platensis Gomont Gelişimi Ve Antioksidan Parametreleri Üzerine Etkisi*.
- Talukdar, A., Bhattacharya, S., Bandyopadhyay, A., ve 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>
- Tong, Y., Lin, L., Tao, Y., Huang, Y., ve 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>

- Trainic, M., Flores, J. M., Pinkas, I., Pedrotti, M. L., Lombard, F., Bourdin, G., Gorsky, G., Boss, E., Rudich, Y., Vardi, A., ve Koren, I. (2020). Airborne microplastic particles detected in the remote marine atmosphere. *Communications Earth ve Environment* 2020 1:1, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00061-y>
- Tutoğlu N. (2019). *Sucul Ortamdaki Mikroplastiklerin İnsan Sağlığına Etkisine Arıtma Yöntemlerinin Araştırılması*.
- Ugochukwu, U. C., Chukwuone, N., Jidere, C., Ezeudu, B., Ikpo, C., ve Ozor, J. (2022). Heavy metal contamination of soil, sediment and water due to galena mining in Ebonyi State Nigeria: Economic costs of pollution based on exposure health risks. *Journal of Environmental Management*, 321, 115864. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115864>
- Uslu, L. (2021). Farkli Tuzluluk Ve Işık Şiddetinin Porphyridium Cruentum'un Büyümesine Etkisi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural ve Medical Sciences*, 8(18), 71-77. <http://doi.org/10.38065/EUROASIAORG.760>
- Üçüncü T, E., Üniversitesi, H., ve Tıp Bilimleri Bölümü, D. (2020). Sources, Adsorption and Toxicity of Global Threat Microplastics Küresel Tehdit Mikroplastiklerin Kaynakları, Adsorpsiyonu ve Toksikitesi Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi Cilt: 6 Sayı: 2 (2020) 120-136. *Review Article Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 2, 120-136.
- Yavuz E. (2018). *Kızılcahamam Yüzeysel Su Kaynaklarının Ağır Metal Kirliliği Yönünden İncelenmesi*.
- Yurtsever, M. (t.y.). *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Mikroplastikler'e Genel Bir Bakış (MICROPLASTICS: AN OVERVIEW)*.
- Zhang X. (2015). *Microalgae removal of CO2 from flue gas*.
- Wang, Y., Zhou, B., Chen, H., Yuan, R., ve Wang, F. (2022). Distribution, biological effects and biofilms of microplastics in freshwater systems - A review. *Chemosphere*, 299, 134370. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134370>
- Wang, Z., Luo, P., Zha, X., Xu, C., Kang, S., Zhou, M., Nover, D., ve Wang, Y. (2022). Overview assessment of risk evaluation and treatment technologies for heavy metal pollution of water and soil. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134043. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.134043>
- Xiao, X., Li, W., Jin, M., Zhang, L., Qin, L., ve Geng, W. (2023). Responses and tolerance mechanisms of microalgae to heavy metal stress: A review. *Marine Environmental Research*, 183, 105805. <https://doi.org/10.1016/J.MARENVRES.2022.105805>
- Xu, S., Ma, J., Ji, R., Pan, K., ve Miao, A. J. (2020). Microplastics in aquatic environments: Occurrence, accumulation, and biological effects. *Science of The Total Environment*, 703, 134699. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134699>

- Zeng, J., ve Wang, W. X. (2011). Temperature and irradiance influences on cadmium and zinc uptake and toxicity in a freshwater cyanobacterium, *Microcystis aeruginosa*. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3), 922-929. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2011.04.009>
- Zhang, G. S., ve Liu, Y. F. (2018). The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Science of The Total Environment*, 642, 12-20. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.06.004>
- Zhang, K., Chang, S., Zhang, Q., Bai, Y., Wang, E., Zhang, M., Fu, Q., Wei, L., ve Yu, Y. (2023). Heavy metals in influent and effluent from 146 drinking water treatment plants across China: Occurrence, explanatory factors, probabilistic health risk, and removal efficiency. *Journal of Hazardous Materials*, 450, 131003. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2023.131003>
- Zhang, K., Shi, H., Peng, J., Wang, Y., Xiong, X., Wu, C., ve Lam, P. K. S. (2018). Microplastic pollution in China's inland water systems: A review of findings, methods, characteristics, effects, and management. *Science of The Total Environment*, 630, 1641-1653. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.02.300>
- Zhou, L., Li, S., ve Li, F. (2022). Damage and elimination of soil and water antibiotic and heavy metal pollution caused by livestock husbandry. *Environmental Research*, 215, 114188. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2022.114188>
- Zhou, Y., Liu, X., ve Wang, J. (2019). Characterization of microplastics and the association of heavy metals with microplastics in suburban soil of central China. *Science of The Total Environment*, 694, 133798. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.133798>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyadı : Abdullah ÜNVANLI

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Karabük Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2020 yılından beri Devlet Demiryollarında Çevre Mühendisi olarak görev yapmaktayım.