



T.C

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN *LACTUCA SATIVA* L.'DA
(MARUL) BİTKİ GELİŞİMİ VE KADMIYUM (Cd) BİRİKİMİ
ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem YÜCEL TARTAN

HAZİRAN

GİZEM YÜCEL TARTAN

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2023

**MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN *LACTUCA SATIVA* L.'DA (MARUL)
BİTKİ GELİŞİMİ VE KADMIYUM (Cd) BİRİKİMİ ÜZERİNE ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ**

Gizem YÜCEL TARTAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Doç. Dr. Neslihan KARAVİN

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2023

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Gizem YÜCEL TARTAN tarafından hazırlanan “Mikroplastik kirliliğinin *Lactuca sativa* L.’da (Marul) bitki gelişimi ve kadmiyum (Cd) birikimi üzerine etkisinin belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Neslihan KARAVİN

Biyoloji Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan : Prof. Dr. Arzu CANSARAN

Biyoloji Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Doç. Dr. Emire ELMAS

Biyoloji Anabilim Dalı, Sinop Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 15/06/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gizem YÜCEL TARTAN

15.06.2023

MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN *LACTUCA SATIVA* L.'DA
(MARUL) BİTKİ GELİŞİMİ VE KADMIYUM (Cd) BİRİKİMİ
ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Gizem YÜCEL TARTAN

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2023

ÖZET

Plastikler, doğada ayrışmaları güç olduğu ve çok uzun zaman gerektirdiği için önemli kirleticiler arasında yer almaktadırlar. Ayrışma, aşınma ve parçalanma gibi olaylar sonucunda plastikler daha küçük parçalara ayrılarak mikroplastik kirliliğine neden olurlar. Bu çalışmada, tarımda örtü materyali olarak kullanılan polietilenden üretilmiş malç kullanılarak elde edilen mikroplastiklerin, marulda (*Lactuca sativa* L.) bitki gelişimi ve kadmiyum (Cd) birikimi üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma; kontrol grubu, farklı konsantrasyonlarda (%1,5 ve %2,5) mikroplastik (MP) ilave edilen 2 deney grubu ve farklı konsantrasyonlarda MP ilave edilmiş ortama Cd eklenerek oluşturulan 2 deney grubu olmak üzere beş deney seti ile yürütülmüştür. Marul fidelerinde toprak üstü taze ağırlık (TA) ve toprak üstü kuru ağırlık (KA), toprak altı TA ve KA, toprak üstü uzunluk ve kök uzunluğu, toprak üstü su içeriği (TÜSİ) ve toprak altı su içeriği (TASİ) ve Cd konsantrasyonları ölçülmüş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda toprak üstü KA, toprak altı TA, toprak üstü uzunluk, TÜSİ ve TASİ değerlerinde deney setleri arasında önemli varyasyonlar olduğu belirlenmiştir. MP ilavesi bazı parametrelerde artışa neden olurken bazılarında azalmaya neden olmuştur. Mikroplastik bulunan ortama Cd ilavesi ise bitkinin mikroplastik maruziyetine karşı oluşturduğu cevabı pek çok parametrede değiştirmiştir. Toprağa ilave edilen mikroplastik miktarı arttıkça marul fidelerinin yapraklarındaki Cd konsantrasyonunun da arttığı belirlenmiştir. Sonuçlar bu iki kirleticinin birlikte var olduğu ortamlarda bitki gelişimi üzerinde farklı etkiler ortaya çıkabileceğini ve daha fazla Cd birikimine sebep olarak Cd toksisitesinin etkilerini artıracağını göstermektedir. Bu bulguların gerek bitki gelişimi ve verimi gerekse sağlıklı gıda temini, ekosistemlerin devamlılığı ve çevre sağlığı açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Sayfa Adedi : 50
Anahtar Kelimeler : Ağır metal, kadmiyum, *Lactuca sativa*, marul, mikroplastik, plastik.
Danışman : Doç. Dr. Neslihan KARAVİN

THE DETERMINATION OF THE EFFECT OF MICROPLASTIC POLLUTION
ON PLANT GROWTH AND CADMIUM (Cd) ACCUMULATION
IN *LACTUCA SATIVA* L. (LETTUCE)
(M. Sc. Thesis)

Gizem YÜCEL TARTAN

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2023

ABSTRACT

Plastics are one of the most important pollutants because decomposition of them is difficult in nature and requires a very long time. Plastics break down into smaller pieces through decomposition, abrasion and fragmentation, lead to microplastic (MP) pollution. In this study, it was tried to determine the effects of microplastics obtained by using mulch produced from polyethylene, which is used as a covering material in agriculture, on plant growth and cadmium (Cd) accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.). The study was carried out with five experimental sets, as the control group, 2 experimental groups with MP added at different concentrations (1,5 and 2,5%), and 2 experimental groups formed by adding Cd to the medium in which MP was added at different concentrations. Above ground fresh weight (TA) and dry weight (KA), below ground TA and KA, above ground length and root length, above and below ground water content and Cd concentrations were measured and statistically evaluated in lettuce seedlings. As a result, it was determined that there were significant variations between the experimental sets in the values of above-ground KA, below-ground TA, above-ground length, topsoil water content (TÜSİ) and subsoil water content (TASİ). The addition of MP caused an increase in some parameters and a decrease in others. The addition of Cd to the microplastic environment changed the plant's response to microplastic exposure in many parameters. It was determined that the Cd concentration in the leaves of lettuce seedlings increased as the amount of microplastic added to the soil increased. The results show that these two pollutants may have different effects on plant growth in environments where they coexist and increase the effects of Cd toxicity by causing more Cd accumulation. It is thought that these findings will be beneficial in terms of plant development and yield, healthy food supply, sustainability of ecosystems and environmental health.

Page number : 50

Key Words : Cadmium, heavy metal, *Lactuca sativa*, lettuce, microplastic, plastic.

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Neslihan KARAVİN

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca akademik anlamda bana çokça katkısı olan, tez konumu belirlememde yardımcı olan ve tez çalışmam boyunca tüm bilgilerinden ve imkanlarından faydalandığım, kendisini sadece bir danışman olarak değil örnek bir bilim insanı olarak gördüğüm ve öğrencisi olduğum için kendimi şanslı hissettiğim çok kıymetli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Neslihan KARAVİN' e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Tez çalışmamın laboratuvar çalışması ve büyüme değişkenlerinin analiz kısımlarında bana yardımcı olan Suluova Meslek Yüksekokulu Müdürü Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAVİN başta olmak üzere, laboratuvar ölçümlerinde desteğini esirgemeyen Büşra ÇİL'e çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında bana her konuda destek olan, hedeflerime ulaşma yolunda işlerimi kolaylaştırmayı sağlayan canım eşim Murat TARTAN ve tüm aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Çevre Kirliliği	3
2.2. Mikroplastik Kirliliği	4
2.3. Ağır Metal Kirliliği	11
2.4. Kadmiyum(Cd)'un Bitkiler Üzerine Etkileri	12
3. LİTERATÜR ÖZETİ	15
4. MATERYAL VE YÖNTEM	17
4.1. Materyal	17
4.2. Marulun (<i>Lactuca sativa</i> L.) Genel Özellikleri	17
4.3. Deney Seti	18
4.3.1. Mikroplastığın temini	18
4.3.2. Toprağın hazırlanması	19
4.3.3. Bitkilerin yetiştirilmesi	19
4.3.4. Kadmiyum çözeltisinin hazırlanması	20

Sayfa

4.4. Büyüme Değişkenlerinin Ölçümü	20
4.4.1. Bitki boyu ölçümleri	21
4.4.2. Taze ve kuru ağırlık ölçümü	21
4.4.3. Su içeriğinin belirlenmesi	25
4.4.4. Ağır metal analizi	25
4.4.5. İstatistiksel analizler	26
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
5.1. Toprak Üstü ve Toprak Altı Taze Ağırlık	27
5.2. Toprak Üstü ve Toprak Altı Kuru Ağırlık	30
5.3. Toprak Üstü ve Kök Uzunluğu	33
5.4. Toprak Üstü ve Toprak Altı Su İçeriği	36
5.5. Kadmiyum Konsantrasyonu	38
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Mikroplastiklerin fizikokimyasal özellikleri.....	5
Çizelge 2.2. Ülkelerin 2021 yılına ait plastik kirliliği sıralaması.....	6
Çizelge 4.1. Deney seti.....	18
Çizelge 5.1. Marulda toprak üstü ve toprak altı TA, toprak üstü ve toprak altı KA, toprak üstü uzunluk, kök uzunluk, TŪİ, TASİ parametrelerinde deney setleri arasında gözlenen varyasyonun önemlilik değerleri	27
Çizelge 5.2. İlave edilen mikroplastik oranına bağlı olarak marul yapraklarındaki Cd konsantrasyonunda gözlenen varyasyonun önemlilik değerleri	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Toprak üstü TA'nın deney setlerine göre değişimi.....	28
Şekil 5.2. Toprak altı TA'nın deney setlerine göre değişimi	29
Şekil 5.3. Toprak üstü KA'nın deney setlerine göre değişimi	31
Şekil 5.4. Toprak altı KA'nın deney setlerine göre değişimi.....	32
Şekil 5.5. Toprak üstü uzunluğun deney setlerine göre değişimi.....	34
Şekil 5.6. Kök uzunluğunun deney setlerine göre değişimi	35
Şekil 5.7. TŪİ değerlerinin deney setlerine göre değişimi.....	37
Şekil 5.8. TASİ değerlerinin deney setlerine göre değişimi.....	37
Şekil 5.9. İlave edilen mikroplastik oranına bağlı olarak marul yapraklarında bulunan Cd konsantrasyonu	40
Şekil 5.10. İlave edilen mikroplastik miktarı ile Cd konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren pozitif doğrusal regresyon eğrisi	41

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Mikroplastiklerin morfolojisi	5
Resim 2.2. Birincil mikroplastik kaynaklar, kozmetik ve diğer ürünlerde kullanılan simler (hegzagonal kesimli)	7
Resim 2.3. İkincil mikroplastik kaynaklar	7
Resim 2.4. Toprakta makroplastik kalıntısı olarak sulama borusu parçası (A), yonca tarlasında makroplastik kalıntıları: Balya ipleri (B, C) ve plastik şişe kapağı parçası (D).....	8
Resim 2.5. Toprakta malç uygulanması sonucu binoküler stereomikroskopta mikroplastik kalıntı görüntüleri (Leica S8AP0/1.0-8.0 X Zoom) (A) ve (B).....	9
Resim 2.6. Mikroplastiklerin mikroskop altındaki görüntüsü.....	9
Resim 2.7. Mikroplastiklerin topraktaki döngüsü	10
Resim 4.1. Simila çeşidi marul ve fide hali.....	18
Resim 4.2. Fide dikimi 1. Gün	20
Resim 4.3. Toprak üstü uzunluk ve kök uzunluğu ölçümü.....	21
Resim 4.4. Deney setinin taze ağırlık ölçümü hazırlık aşaması	22
Resim 4.5. Devamı	23
Resim 4.6. Fidelerin hassas terazide toprak üstü TA ölçümü	24
Resim 4.7. Fidelerin etüvde kurutulma aşaması	24
Resim 4.8. Fidelerin hassas terazide toprak üstü ve toprak altı KA ölçümü.....	25

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler	Açıklama
-----------------	-----------------

N	Azot
Cu	Bakır
Hg	Civa
Zn	Çinko
Fe	Demir
Cd	Kadmiyum
C	Karbon
Co	Kobalt
Cr	Krom
Pb	Kurşun
Mn	Mangan
Ni	Nikel
Se	Selenyum

Kısaltmalar	Açıklama
--------------------	-----------------

w/w	Ağırlıkça yüzde
DAP	Diamonyum fosfat
DDT	Diklorobifeniltrikolroethan
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
g	Gram

g/cm³	Gram/santimetreküp
KA	Kuru ağırlık
μM	Mikromolar
MP	Mikroplastik
ml	Mililitre
mm	Milimetre
RWC	Oransal su içeriği
ppm	Parts per million (milyonda bir)
PLA	Poliaktik asit (biyoplastik)
PA	Poliamid/naylon
PCB	Poliforlubifeniller
PP	Polipropilen
PVC	Polivinil klorür
pH	Hidrojen konsantrasyon gücü
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
TA	Taze ağırlık
TASİ	Toprak altı su içeriği
TÜSİ	Toprak üstü su içeriği
TSP	Triple süperfosfat
UV	Ultraviyole
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
%	Yüzde

1. GİRİŞ

Geçmişten bugüne canlı sağlığını ve doğayı tehdit eden en büyük problemlerden biri plastiklerdir. Plastikler yeryüzünde doğal olarak bulunmayan, belli bir sıcaklık ve basınç altında monomerlerin katalizörle tepkimeye girmesiyle elde edilen maddelerdir. Yani hayatımızın her alanında kullanmış olduğumuz plastik tamamen insan yapımı sentetik maddelerdir.

Dünyanın ilk tam sentetik plastiği 1907'de New York'ta Leo Hendrik Baekeland tarafından icat edilen bakalitir. Bu keşfin devamında birçok ürünün yapımında kullanılan kereste ve kauçuk gibi doğal hammaddelerin yerine bu tür sentetik maddeler üretilmiştir. Plastik kullanımının yaygınlaşmasında, plastiğin dayanıklı, işlenebilir, hafif ve düşük maliyetli olması özellikleri etkili olmuştur (Thompson, Moore, Vom Saal ve Swan, 2009). Çürüme ve bozunmaya karşı dirençli olması plastiğin dayanıklılığını arttırmakta; bu da kullanımının yaygınlaşmasında önemli bir sebep oluşturmaktadır. 1900'lü yıllardan bu yana plastik üretimi ve tüketimi sürekli artarak devam etmiştir. Plastik kullanımındaki küresel artış devam edecek olursa 2050 yılına kadar plastik üretiminin 1100 milyon tonun üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir.

Dünya çapında, çevrede özellikle son yıllarda giderek artan ve biriken atıkların büyük bir çoğunluğunu plastik materyaller oluşturmaktadır. Bu konu ile ilgili yapılmış olan araştırmalarda, insanların yaşam alanı olmayan kutuplardan ıssız adalara, hatta dünyanın en derin noktasına kadar birçok yerde plastik kalıntılarına rastlandığı ortaya çıkmıştır (Yurtsever, 2019). Plastik materyallere dünyanın birçok yerinde rastlanmasında, insanların tüketim alışkanlıklarının değişmesinin yanı sıra özellikle rüzgarlar ve akıntılar gibi doğal olayların da etkili olduğu belirtilmiştir (Eryılmaz ve Demirarslan, 2022).

Kullanımının çok çeşitli sektörlerle hitap etmesi nedeniyle 20. yüzyıldan bu yana egemen hale gelmiş olan plastiğin doğada ayrışmasının yavaş olması, nano ve mikro boyutlarda parçalanarak görünmez bir kirletici haline gelmesiyle birlikte, tüm canlıların sağlığı üzerinde büyük bir tehdit unsuru oluşturmaktadır. Mikroplastikler, karasal ve sucul ekosistemleri bozarak canlıların neslini tehdit ettiği gibi, toprak ve suların da fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek doğal işleyişi bozmaktadırlar (Yurtsever, 2019).

Çeşitli faaliyetler sonucu oluşan plastik kirliliği tarım ürünlerinin yetiştirilmesi sırasında da meydana gelmektedir. Çok küçük boyutlarda olan mikroplastikler toprakta kolay ayrışmadığı için tarım arazilerinde birikir, bitki kökleri plastik materyalleri delemedikleri için besin maddelerine ulaşamazlar. Böylelikle tarım bitkilerinin büyüme ve gelişme süreçleri uzar (Kılıçer, 2018). Ayrıca solunum, gıda ve su yoluyla canlıların vücuduna girerek metabolizmalarında olumsuz etkilere neden olmaktadır. Özellikle bağırsak, akciğer ve cilt yoluyla insanların vücuduna giren mikroplastikler, genlerin yapısını değiştirerek mutasyonlara sebep olmaktadır (Yurtsever, 2019).

Mikroplastikler kimyasal maddeleri ve ağır metalleri absorplayabilmeleri nedeniyle özellikle denizde yaşayan canlılar için kompleks bir kirleticidirler (Rochman, Hoh, Kurobe ve Teh, 2013). Örneğin; suda yaşayan canlıların plastik çöplere dolaşarak boğulabildiği, fiziksel yaralanmalara yol açtığı, av-avcı ilişkisinde kabiliyetini kaybedebildiği, mideyi doldurarak tokluk hissi vermesi sonucunda zayıflama ve hatta ölüme yol açabileceği belirlenmiştir (Yurtsever, 2019). Tespitlerinin kolay olması nedeniyle mikroplastiklere dair çalışmalar daha çok sucul ekosistemlerde gerçekleştirilmiştir. Karasal ekosistemlerde yaşayan canlılar ve toprak açısından mikroplastiklerin ne gibi etkileri olduğu ise yapılan çalışmaların sayısının yetersiz olması sebebiyle henüz tam olarak anlaşılabilmiş değildir.

Bu çalışmada, tarımda örtü materyali olarak kullanılan polietilenden üretilmiş malç kullanılarak elde edilen mikroplastiklerin, marul bitkisinde (*Lactuca sativa* L.) bitki gelişimi ve kadmiyum (Cd) birikimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çevre Kirliliği

Canlı hayatının devamlılığının sağlanması için doğal yaşam ortamlarının korunması ve ekosistemlerin dengesinin bozulmaması önemlidir. Ancak, günümüzde artan nüfusun etkisiyle küresel iklim değişikliği ve çevre sorunları gibi daha birçok sebeple tarımsal üretimin olumsuz etkilendiği ve verim kaybı olduğu bilinmektedir (Kalkınma Bakanlığı Raporu, 2018).

İnsanlar yaşamlarını sürdürürken yaptıkları faaliyetler sonucunda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Kirlilik boyutunun her geçen gün hızla artmasına sebep olan bu faaliyetler sanayileşme, teknolojinin gelişmesi, nüfus artışı, çarpık kentleşme, tüketimin artması ve doğal kaynakların bilinçsiz kullanılması olarak sayılabilir (İbadullayeva, Jumaniyazova, Azimzadeh, Canıgür ve Esen, 2019).

Çevre kirliliği, ekolojik dengeyi bozarak yeryüzü ekosisteminin değişmesine, erozyon ile verimli toprağın dolayısıyla besin kaynaklarının azalmasına ve kıtlığa, su kaynaklarının kirlenmesine ve tükenmesine, canlıların nesillerinin yok olması sonucu biyolojik çeşitliliğin azalmasına, atmosferde kirlenici gazların birikmesi nedeniyle sera etkisi ve asit yağmurlarına bunun sonucunda da küresel ısınma ve küresel iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Çevre kirliliğinin etkileri sadece toprakta değil havada ve suda da görülmektedir. Kentsel veya kırsal alanlarda doğal kaynaklarımız olan toprak, su ve havanın kirlenmesiyle organizmalar zarar görmekte ve besin zinciri yoluyla da insan sağlığını tehdit etmektedir (İbadullayeva ve diğerleri, 2019).

Toprak, canlıların hayatlarını devam ettirebilmeleri için gerekli olan besin kaynaklarının yetişmesini sağlayan en önemli unsurdur. Son yıllarda besin temini, nüfus artışı, küresel iklim değişikliği ve savaşlar gibi sebeplerle daha da önemli hale gelmiştir (Ölmez, 2022). Sanayileşme giderek hız kazanmakta ve bu da doğal kaynakların hızlı bir şekilde kirlenmesine ve tüketilmesine yol açmaktadır. Ayrıca, arazi kullanımındaki yanlışlar, çarpık kentleşme ve düzensiz turizm yatırımları da tarımsal üretim potansiyelini düşürmektedir (Güngör, Altuntaş ve Yılmaz, 2022). Tarımsal üretim konusunda probleme yol açan faktörlerin başında gelen

evre sorunlarının büyük bir kısmı, tarım sektöründeki faaliyetler sonucu oluşmaktadırdır. Araziye uygun ürünlerin ekilmemesi, zirai ilaçlar, yanlış sulama yöntemleri, kimyasal gübre kullanımı vb. sebepler neticesinde toprak kirliliği oluşmakta, bu durum bir yandan da gıda güvenliği sorununu ortaya çıkarmaktadır (Güngör ve diğerleri, 2022).

2.2. Mikroplastik Kirliliği

Günümüzde plastikleri hayatımızın her alanında (ambalaj, inşaat, kişisel bakım ürünleri, araba üretimi, tarım, evsel gereçler vb.) kullanıyor olmamız nedeniyle, yaşadığımız bu son yüzyılı ‘plastik ağı’ olarak adlandırabiliriz (Gabrys, Hawkins ve Michael, 2013). İlk plastiğin üretimiyle hayatımıza giren bu madde, önceleri ekonomik ve çevresel birçok fayda sağlamış ve insanların birçok alanda ihtiyaç duyduğu bir hammadde haline gelmiştir (Crespy, Bozonnet ve Meier, 2008; Akça ve Ok, 2021). Plastikler, dayanıklı, hafif ve ekonomik olmaları sebebiyle avantajlı göründüklerinden pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, doğada çok uzun sürede ve zor çözünüyor olmaları, doğal bileşenlerden oluşmamaları ve organizmalar için zararlı içeriklere sahip olmaları nedeniyle evre sağlığı ve ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından tehdit oluşturmakta ve temel kirleticiler arasında yer almaktadırlar.

Plastik bir malzeme bulunduğu ortamda parçalanarak milyonlarca mikroplastığe dönüşebilmektedir (Yurtsever, 2015). Bu mikroplastiklerin uzun yıllar boyunca doğada kaldığı ve farklı ekosistemlerde hatta organizmaların vücutlarına alınan MP’lerin, besin zinciri yoluyla bir canlıdan diğer bir canlıya artan miktarlarda biriktiği bilinmektedir (Jin ve diğerleri, 2018).

Mikroplastik (MP) kavramı ilk olarak Thompson ve arkadaşları tarafından 2004 yılında kullanılmıştır. Genel olarak, boyutu 5 mm’den küçük plastik parçacıkları mikroplastik olarak adlandırılmaktadır (Bouwmeester, Hollman ve Peters, 2015). Daha sonraki yıllarda ise, “mikroplastikler, birincil veya ikincil üretim kaynaklı, suda çözünmeyen, boyutları 1 mm ile 5 mm arasında değişebilen, şekil olarak düzenli veya düzensiz olabilen sentetik katı parçacıklar veya polimerik matrikslerdir” şeklinde daha geniş kapsamlı tanımı da yapılmıştır (Frias ve Nash, 2019; Arı ve  ğ t, 2021). Mikroplastiklerin, karakteristik birçok fiziksel ve kimyasal özellikleri vardır. Bunlar izelge 2.1’de özetlenmiştir (Hidalgo-Ruz, Gutow, Thompson ve Thiel, 2012; Wright, Thompson ve Galloway, 2013; Arı ve  ğ t, 2021).

Çizelge 2.1 Mikroplastiklerin fizikokimyasal özellikleri

Hidrofobik yüzeye sahip olması
Yüzebilme niteliği
Kirleticileri üzerinde taşıyabilmesi
Poliforlubifeniller (PCB) gibi kirletici maddeleri absorplayabilmesi
Diklorobifeniltrikolroethan (DDT) gibi kirleticileri absorplayabilmesi
UV foto-oksidatif bozulma niteliği
Termooksidatiflik özelliği
Biyoparçalanabilme ve termal parçalanabilme özelliği
Biyofilmlerde biyokütle üzerine bağlayıcı olması

Mikroplastikler, bulundukları ortamda kaldıkları süreye ve parçalanma tiplerine bağlı olarak çok farklı şekillerde olabilmektedirler (Doyle, Watson, Bowlin ve Sheavly, 2011). Resim 2.1’de çeşitli mikroplastik örnekleri görülmektedir.

Mikroplastikler bulunduğu ekosistemden bir başka ekosisteme çok küçük olmaları sebebiyle kolayca taşınabilmekte, yayılımlarının kolay olması ve kirletici etkilerinden dolayı dünya genelinde bir sorun haline gelmiştir (Thompson ve diğerleri, 2009).



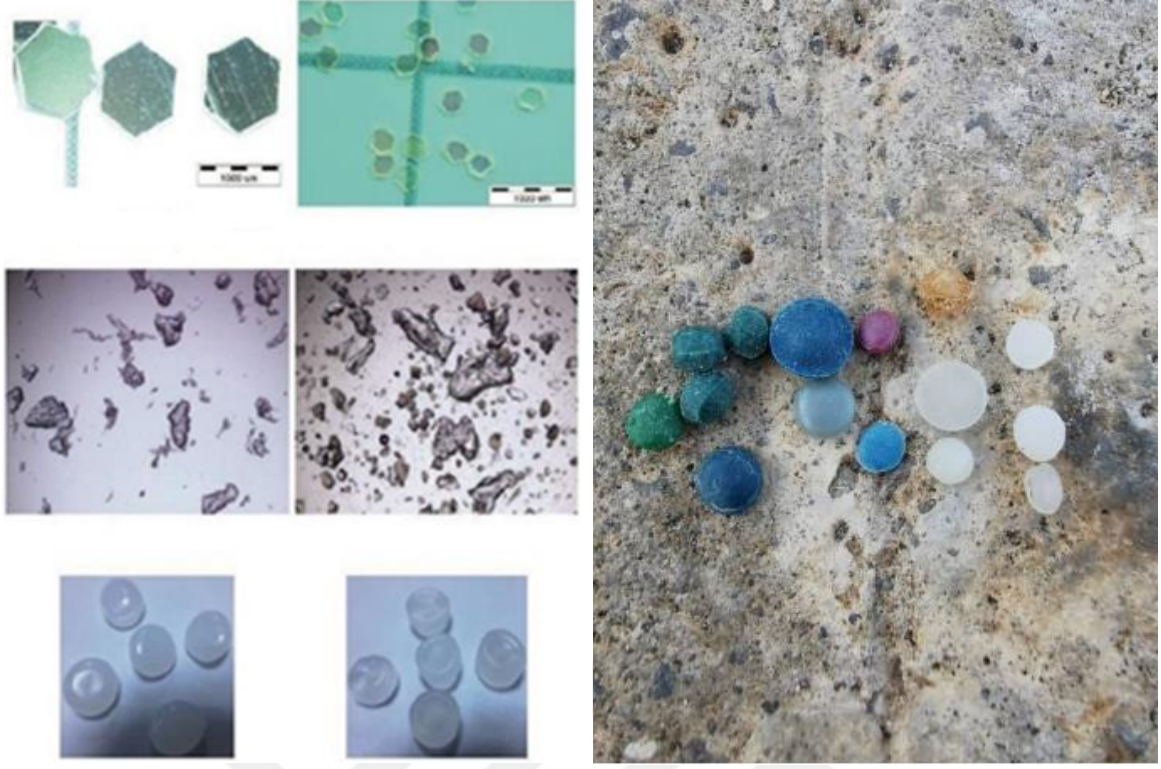
Resim 2.1. Mikroplastiklerin morfolojisi (Silva ve diğerleri, 2018; Arı ve Ögüt, 2021)

Günümüzde plastiğin her alanda kullanımı ile dünya çapında önemli bir plastik atık sorunu ortaya çıkmıştır. Bununla ilgili olarak, 2021 yılında yapılan plastik kirliliği sıralaması Çizelge 2.2’de sunulmuştur. Bu verilere göre, dünyada nüfusu en kalabalık ülke olan Çin plastik atık miktarı açısından 1. sırada iken, ülkemizin bu sıralamada ilk 10’da yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 2.2. Ülkelerin 2021 yılına ait plastik kirliliği sıralaması (URL 1)

Ülke sıralaması	Plastik atık miktarı (Ton)
1. Çin	59.079.741
2. Amerika Birleşik Devletleri	37.825.550
3. Almanya	14.476.561
4. Brezilya	11.852.055
5. Japonya	7.993.489
6. Pakistan	6.412.210
7. Nijerya	5.961.750
8. Rusya	5.839.685
9. Türkiye	5.596.657
10. Mısır	5.464.471

Mikroplastik kaynaklarının çoğunu sentetik tekstil lifleri, kozmetik ürünlerde (deterjan, diş macunu, yüz temizleyicileri, şampuan, duş jeli gibi) bulunan mikrobuncuklar, basınçlı hava yoluyla püskürtülen aşındırıcılar, el işi ve tekstil malzemelerin yapımında fazlaca kullanılan simler, ilaçlar için üretilen vektörler ve işlenmemiş plastik üretim peletleri oluşturur ki bunlar doğrudan oluşan mikroplastikler olup birincil mikroplastik kaynakları olarak adlandırılırlar (Resim 2.2). Ayrıca, zamanla büyük boyuttaki plastiklerin 5 mm'den küçük boyutlara parçalanmasıyla ortaya çıkan, plastik fabrikalarındaki faaliyetler sırasında oluşan kırpıntı, döküntü şeklindeki parçalar ve defolu ürünler, otomobil lastiklerinden kopan parçacıklar da ikincil mikroplastik kaynaklar olarak gruplandırılırlar (Resim 2.3) (Yurtsever, 2015).



Resim 2.2. Birincil mikroplastik kaynaklar, kozmetik ve diğer ürünlerde kullanılan simler (hegzagonal kesimli) (Rochman ve diğerleri, 2013; Arı ve Ögüt,2021; URL 2)



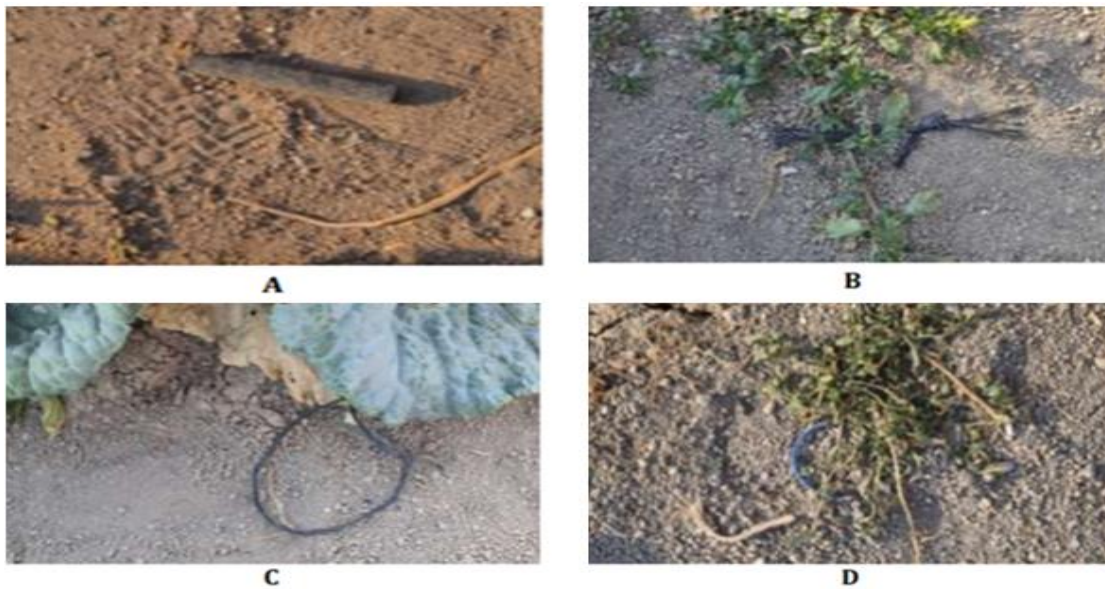
Resim 2.3. İkincil mikroplastik kaynaklar (Rochman ve diğerleri, 2013; Arı ve Ögüt,2021; URL 2)

Mikroplastik kirliliğinin zararlarını iki ana kategoride incelemek gerekmektedir. Birincisi canlıların plastik materyalleri yutmasıyla besin zincirine katılarak tüm canlıları etkilemesidir. İkincisi ise plastik materyallerin sahip oldukları özelliklerden dolayı canlı ve cansız çevrede yarattıkları etkidir.

Mikroplastikler çoğunlukla insan eliyle doğaya taşınabilmektedirler. Ancak insan elinin uzanmadığı buzullarda, okyanus diplerinde dahi mikroplastiklere rastlanması, mikroplastiklerin doğal süreçlerle de taşınabildiğini göstermektedir (Yurtsever ve Yurtsever, 2019; Guzzetti, Suredd, Tejada ve Faggio, 2018; Lu, Wan, Luo, Fu ve Jin, 2018).

Karasal ekosistemlerde fiziksel, kimyasal veya biyolojik faktörler nedeniyle mikro ve nanoplastiklere dönüşen plastik maddeler toprakta kirliliğe neden olmaktadır. Plastik birikimi toprağın yapısının bozulmasına yol açar. Bu ortamda yetişen tarım ürünleri, besin ağına katılarak insanların ve diğer organizmaların sağlığını olumsuz etkilemektedirler.

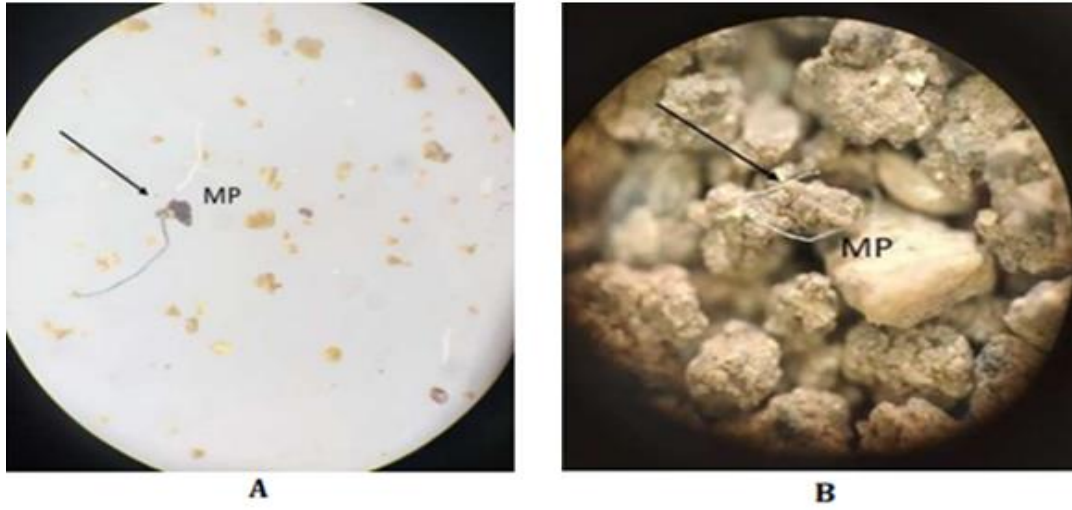
Son yıllarda tarımda özellikle üretim aşamasında (plastik malçlama materyalleri, serada kullanılan naylonlar, gübre kapsülleri, plastik sulama boruları, sulamada kullanılan şişe kapakları vb.) ve üretilen bitkilerin taşınması sırasında yapılan hatalar da toprakta önemli ölçüde plastik atığın oluşmasına neden olmaktadır (Resim 2.4) (Darı, 2022).



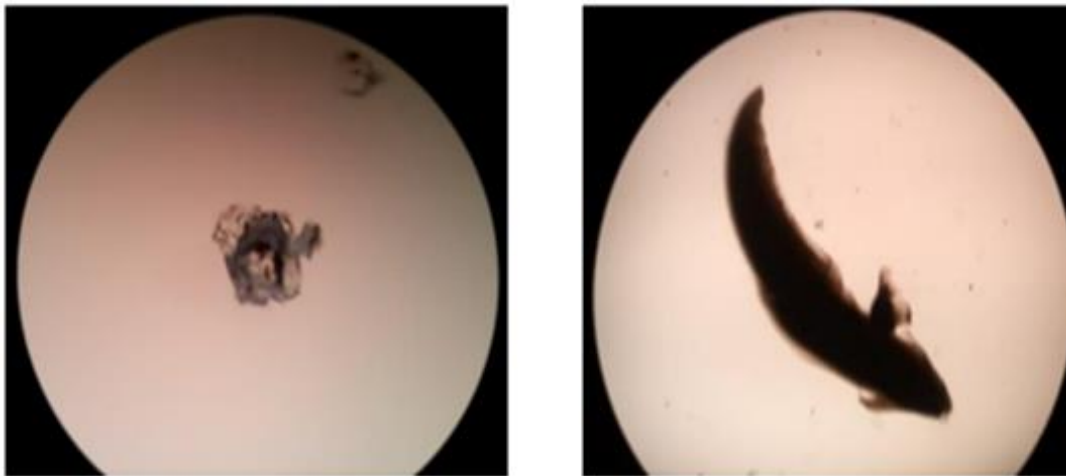
Resim 2.4. Toprakta makroplastik kalıntısı olarak sulama borusu parçası (A), yonca tarlasında makroplastik kalıntıları: Balya ipleri (B, C) ve plastik şişe kapağı parçası (D) (Akça ve Ok, 2021)

Tarımda çokça kullanılan malç naylonu, toprakta kullanımı sonrası ciddi anlamda kalıntı oluşturarak gözle görülemeyecek düzeyde parçalanma sonucunda mikroplastik kirliliği oluşturmaktadır (Resim 2.5-2.6). Topraktaki mikroplastikler, su iletimine etki edebilir, bitki verimini düşürebilir, topraktaki kirleticilerin etkilerini arttırabilirler (Akça ve Ok, 2021).

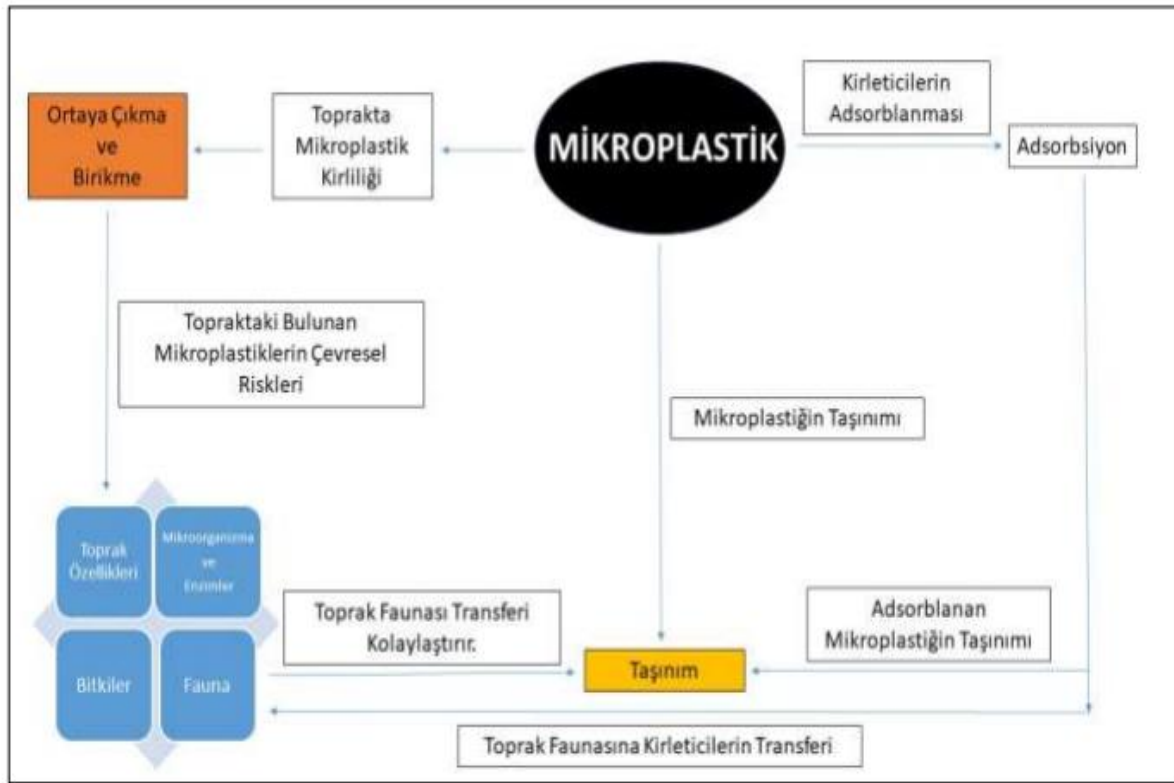
Tarımsal faaliyetlerdeki hataların yanı sıra, günlük hayatımızda hemen hemen her alanda kullandığımız plastikler gerek evsel, işletme, sanayi ya da tıbbi atıklar yoluyla gerekse kullanım sırasında aşınarak bir şekilde en sonunda yine doğaya dönmektedirler (Resim 2.7). Ancak bu dönüşüm süresinin çok uzun yıllar sürmesi plastiklerin doğada ayrışmaması nedeniyle kalıcı çevre kirliliğine neden olmaktadır.



Resim 2.5. Toprakta malç uygulanması sonucu binoküler stereomikroskopta mikroplastik kalıntı görüntüleri (Leica S8AP0/1.0-8.0 X Zoom) (A) ve (B) (Foto A, B: Akça ve Ok, 2021)



Resim 2.6. Mikroplastiklerin mikroskop altındaki görüntüsü (Esmeray ve Armutçu, 2020)



Resim 2.7. Mikroplastiklerin topraktaki döngüsü (Xu ve diğerleri, 2020)

Yapılan çalışmalarda, plastik materyallerden çeşitli şekillerde koparak oluşan mikroplastiklerin organoklorlu pestisitler, antibiyotik, hormon bozucular gibi zehirli organik kimyasal maddeleri ve ağır metalleri absorplayabildiği belirlenmiştir (Rochman ve diğerleri, 2013). Ayrıca, plastik üretiminde plastiğe dayanıklılık ve esneklik sağlamak amacıyla katılan kimyasal maddeler sebebiyle de mikroplastikler tehlike saçmakta, canlı vücuduna ulaşarak canlıların sağlığını tehdit etmektedirler (Esmeray ve Armutçu, 2020). Özellikle sucul ortamlarda mikroplastik kirliliği ile ilgili yapılan araştırmalar sonucu, canlıların mikroplastikleri yuttuğu ve bundan dolayı iç organlarının ve sindirim sistemlerinin olumsuz şekilde etkilendiği, balıkların karaciğerlerinde mikroplastiğe rastlanıldığı, bağırsaklarında biriken mikroplastığın dolaşım sistemine karışabildiği, besin zinciri yoluyla birbirleri ile beslenen canlıların vücutlarına da geçebildiği ve bu şekilde insanlara da ulaşabildiği gibi sonuçlara ulaşılmıştır (Esmeray ve Armutçu, 2020).

Sharma ve Chatterjee (2017), insanlarda yaptıkları çalışmada mikroplastığın vücuda alımının kromozomlarda bozulmalara sebep olduğu; kısırlık, obezite ve kanser gibi ciddi hastalıklara yol açtığını tespit etmişlerdir. İnsan vücuduna alınan mikroplastikler mikroplar için tutunma yüzeyi oluşturarak zararlı bakteri olarak etki etmektedirler (Sharma ve Chatterjee, 2017).

Bununla birlikte, havada bulunan mikroplastiklere maruz kalmanın sonucunda kalp hastalığı, astım, alerji ve otoimmün hastalıklar ortaya çıkabilmektedir (Dris ve diğerleri, 2015).

Mikroplastikler ayrıca havada bulunan kirli gazları atmosferden yoğunlaştırarak, solunum yoluyla yüksek dozlarda ciğerlerimize kadar ulaştırabilmektedir. Kirletici monomerler gibi sızıntı sularına karışan mikroplastiklerin solunum sisteminde iltihaplanmalara da sebep olduğu görülmektedir (Pauly ve diğerleri, 1998).

Sağlık ile ilgili olumsuz etkilerinin dışında, mikroplastikler güneş ışınlarının saçılmasına yol açarak ve bulut oluşumunu engelleyerek iklimi de etkilemektedirler (Besseling, Wegner, Foekema, van den Heuvel-Greve ve Koelmans, 2013).

2.3. Ağır Metal Kirliliği

Ağır metaller, metaller içerisinde yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten fazla olan, atom numarası 20'den büyük olan grup olarak sınıflandırılırlar (Apaydın, 2005). Bu gruba örnek olarak bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn), kurşun (Pb), civa (Hg), kobalt (Co), mangan (Mn), krom (Cr), selenyum (Se), nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) metalleri sayılabilir (Akyıldız ve Karataş, 2018). Doğada bulunan bu ağır metaller az miktarlarda canlı yaşamı için gerekli oldukları halde yüksek konsantrasyonlarda toksik etki gösterebilirler. Ağır metallerin suda ve topraktaki miktarları oldukça düşük olmasına rağmen; jeolojik ve volkanik faaliyetler, erozyon, yangınlar gibi doğal kaynaklar; maden arama, işleme, evsel atıklar, tarımsal işlemler ve sanayi atıkları gibi insan faaliyetleri sonucunda konsantrasyonları artar (Akyıldız ve Karataş, 2018). Ağır metallerin çevre kirliliğinde payı büyüktür. Ağır metaller insanlar tarafından oluşturulmadıkları gibi, yok da edilemediğinden diğer toksik maddelerden farklıdırlar. Bu nedenle özellikle suda ve toprakta birikerek canlı hayatını tehdit edecek düzeylere ulaşmaktadırlar (Seven, Can, Darende ve Ocak, 2018). Ağır metallerin topraktaki miktarının artması sadece toprak verimliliğini etkilemez; bitkilerin fotosentez, solunum, büyüme ve gelişme gibi metabolik faaliyetlerini de etkileyerek bitkilerin ve bitkilerden beslenen canlıların sağlığını da önemli ölçüde etkilemektedir (Asri ve Sönmez, 2006).

Tarımda üretimi ve verimi yükseltmek amacıyla toprağa uygulanan diamonyum fosfat (DAP), triple süperfosfat (TSP) ve diğer fosforlu gübrelerin bilinçsiz bir şekilde yüksek dozda kullanılması, toprağın üst tabakasında başta kadmiyum olmak üzere bazı ağır metallerin

birikmesine yol açar (Seven ve diğerleri, 2018). Ayrıca, bitki hastalıkları ve zararlılarına karşı yoğun pestisit kullanımı, kirli suların arıtım yapılmadan bitki sulama suyu olarak kullanılması, ağır metal içeren endüstriyel atıkların arıtılmadan dış ortama boşaltılması veya depolanması ve maden işletmelerindeki ağır metal içeren atıklar nedeniyle topraklar ağır metaller ile kirlenmektedir (Akıncı, Yüksek ve Demirel, 2016). Topraktaki ağır metal kirliliğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Çünkü toprak tüm ekosistemlerin temel bileşeni olduğundan bütün canlıları doğrudan ve dolaylı olarak etkiler. Bitki gelişimi için gerekli olan makro ve mikro besin elementlerinin alımını etkileyen ağır metaller ayrıca toprağın verimini de düşürerek tarıma elverişli tarım alanlarımızın da günden güne azalmasına neden olmaktadır (Ölmez, 2022). Kirlilik sebebiyle kısıtlı alanlarda yapılan tarım ekonomik olarak olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Çeşitli şekillerde tarım topraklarının kirlenmesiyle sulara karışan ağır metaller, hem suların kirlenmesine hem de ağır metallerle kontamine olmuş bu sularla sulanan tarım topraklarının yeniden ağır metale maruz kalmasına neden olurlar; böylelikle kirlilik daha da artar (Özyiğit, 2021).

Bitkiler yüksek dozda ağır metale maruz kaldıklarında bu metalleri bünyelerinde biriktirebilir ve hücre metabolizması hasar görüp geri dönüşümsüz olarak etkilenebilir (Van Assche ve Clijters, 1990). Yapılan çalışmalar sonucunda ağır metalin dozu arttıkça bitkide çimlenmenin olumsuz etkilendiği, kök ve gövde gelişiminin önemli ölçüde engellendiği belirlenmiştir. Özellikle Cr, Cd ve Pb gibi bitki için esansiyel olmayan ağır metallerin topraktaki oranı arttıkça toksik etkileri de artmakta ve bitkiler için stres kaynağı olmaktadır (Muşlu, 2010). Bitkilerde meydana gelen yüksek seviyelerdeki ağır metal kirliliği, gıda güvenliğini ve insan sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşmaktadır (Ölmez, 2022).

2.4. Kadmiyum (Cd)'un Bitkiler Üzerine Etkileri

Doğada hemen hemen her canlı için toksik etkisi olan kadmiyumun doğal kaynakları volkanik faaliyetler ve çeşitli sebeplerle kayaların aşınmasıdır. İnsan kökenli olan kaynakları ise metal madenciliği, fotoğrafçılık, kimyasal gübreler, kömür ve kanalizasyon çamurlarının yıkanması, pil üretimi, plastik üretimi, cam endüstrisi, seramik yapımı, kaplama maddelerin üretimi, boya üretimi, taşıt lastikleri, tarım aletleri, uçak parçaları, cıvata, vida, somun ve çivi gibi bazı endüstriyel ve evsel gereçlerin üretimidir (Özyiğit, 2021).

Canlı yaşamını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları ise özellikle sigara dumanı, işlenmiş hazır gıdalar, su tesisat boruları, kahve, çay, kömür yakılması, kabuklu deniz ürünleri, tohum aşamasında kullanılan kimyasal gübreler ve endüstriyel üretim sırasında oluşan fabrika baca gazlarıdır. Kadmiyum özellikle elektronik aletlerin yeniden şarj edilebilen bataryalarında ve alışverişlerde kullanılmaktadır (Seven ve diğerleri, 2018).

Bitkiler az miktarda maruz kaldıkları kadmiyumu bünyelerinde tolere etseler de aşırı miktarda kadmiyum bitkiler üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Özyiğit ve diğerleri, 2021). Kadmiyum toprakta hareketli bir elementtir. Serbest iyon haline geçerek taban suyuna kolayca karışır ve suyun yapısını bozar, mikroorganizmalara zarar verir, besin zincirine katılarak diğer canlılara da dolaylı yoldan ulaşır. Ayrıca hücrelerin yapısının bozulması, protein yapının bozulması, oksijen kullanımının engellenmesi gibi birçok olumsuz etkileri de vardır (Köleli ve Kantar, 2005; Okçu, Tozlu, Kumlay ve Pehlivan, 2009).

Kadmiyum bitkilerin çeşitli metabolik faaliyetlerini bozarak, hücrenin büyümesinin engellenmesine ve ölmesine neden olur. Doğrudan ve dolaylı olarak fotosentetik olayların işleyişini de bozarak bitkinin besin üretimini azaltır. Kök büyümesini engelleyerek bitkinin topraktan su ve mineralleri almasına engel olur (Saklı, 2011).

Yapılan birçok araştırmada kadmiyumun; tohum çimlenmesinde ve hücre bölünmesinde inhibisyon, kök gövde uzunluğunda, ağırlıkta, pigment sayısında ve fotosentetik faaliyetlerde azalma, enzim aktivitelerinde, hücre zarı yapısında ve geçirgenliğinde, minerallerin alımında ve kullanımında değişiklik, aktif oksijen türlerinde artma gibi olumsuzluklara neden olduğu belirlenmiştir (Ayhan, Ekmekçi ve Tanyolaç, 2007).

Kadmiyum diğer ağır metallere kıyasla suda çözünme özelliği açısından suda en hızlı çözünebilen ağır metallerden biridir. Bu nedenle de toprakta ve çevrede hızlı bir şekilde yayılım gösterir. Canlı yaşamı için gerekli bir ağır metal olmamasına rağmen suda çözünme özelliğinden dolayı kolayca bitkiler tarafından alınıp bitkide toksik etkilere sebep olmaktadır (Seven ve diğerleri, 2018).

Kadmiyum bitki bünyesine girdiğinde bitki için yararlı olan besin elementlerinin alınımını önemli ölçüde azaltarak temel besin elementlerinin eksikliğine sebep olur. Bu durum kök, gövde ve yapraklar gibi bitkinin temel organlarında büyüme ve gelişmede olumsuzluklara yol

açar. Yüksek kadmiyuma maruz kalan bitkilerde hücre çekirdeği zarar görür ve bunun sonucunda kromozomal parçalanma ve kromozom bozuklukları ortaya çıkar. Cd etkisi ile mitokondrilerin yapıları da bozularak bitkilerin solunum olayı engellenir. Tüm bu sebeplerden dolayı özellikle tarla bitkilerinde kadmiyum, verim ve kalitenin azalmasına neden olmaktadır (Özyiğit, 2021).



3. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu çalışmada mikroplastik kirliliğinin marul bitkisinde bitki gelişimini ve Cd birikimini nasıl etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde mikroplastik kirliliğinin etkileri konusunda daha çok insan ve suda yaşayan canlılar üzerinde yoğunlaşıldığı görülmektedir. Mikroplastiklerin bitki gelişimi üzerine etkileri konusunda yapılmış olan çalışmalar oldukça az sayıda olmasına rağmen, ağır metal kirliliğinin bitki gelişimi üzerindeki etkisini araştıran çalışmalar oldukça fazla sayıdadır. Bununla birlikte, literatürde mikroplastiklerin bitkilerde ağır metal birikimini nasıl etkilediğine dair çok az sayıda çalışma bulunmaktadır ve yeni bir araştırma alanı olan bu konuda bilgiler oldukça yetersizdir. Dolayısıyla, bu tez çalışması mikroplastiklerin bitkiler üzerine etkileri konusunda özgün ve öncü bir araştırma niteliğindedir. Aşağıda mikroplastiklerin bitkiler üzerine etkileri konusunda yapılmış olan çalışmalara dair örnekler sunulmuştur.

Boots, Russell ve Green (2019) yaptıkları çalışmada çim tohumlarına mikroplastik uygulaması ile fide gelişiminin engellendiğini, toprak üstü uzunlukların ve kuru biyokütlenin azaldığını ve az miktarda bile mikroplastığın tohumlarda çimlenme oranını azalttığını belirtmişlerdir. Qi ve diğerleri (2018) mikroplastığın buğday bitkisinin bitki boyu ve kardeş sayısını azalttığını benzer şekilde, yaprak sayısı, yaprak alan büyüklüğü, gövde çapı ve klorofil içeriği gibi vejetatif parametrelerin mikroplastik ilavesiyle değiştiğini bildirmişlerdir. De Souza Machado ve diğerleri (2019) taze soğanda mikroplastik ilavesi ile yaptığı çalışmada ise mikroplastik ilavesinin kök ve meyve biyokütlesini azalttığını ve ayrıca MP uygulamasıyla bitkide değişiklik gösteren diğer vejetatif parametrelerin, yaprak azot içeriği ve C/N oranı gibi yaprak özellikleri olduğunu tespit etmişlerdir. Eryılmaz ve Demirarslan (2022) toprağa farklı oranlarda mikroplastik ekleyerek biber tohumları yetiştirmişlerdir. Az oranda mikroplastik toprağın havalanmasını sağlamışken; daha az miktarda biber oluşumuna neden olmuş hatta mikroplastik oranının daha çok olduğu toprakta ise hiç biber oluşmadığı gözlenmiştir. Jalil, Mian ve Muhammad (2013)'in yaptıkları çalışmada ise bitkinin kökleriyle topraktan besin maddelerini almak için hareket ettiğini ancak toprakta mikroplastik kirliliği olduğunda bitki köklerinin çok ince olmasına rağmen plastiği delemmediğini ve besin maddesine ulaşamadığını belirtmişlerdir. Bir başka çalışmada ise mikroplastiklerin Cd kombinasyonu altında bitki büyümesini inhibe ettiği, mikroplastiklerin ayrıca sürgünlerde ve köklerde Cd birikimini önemli ölçüde arttırdığı yani topraktan Cd alımını desteklediği ifade edilmiştir (Huang ve

diğerleri, 2023). Wang ve diğerleri (2020b)'nin tarım topraklarında yetiştirilen mısır bitkilerinde mikroplastik uygulaması ile elde ettikleri sonuçlar, Cd ilavesinin bitki büyümesini engellediğini ve bitki dokularında yüksek Cd birikimine neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca MP'lerin, Cd biyoyararlanımını, bitki performansını ve toprak özelliklerini değiştirebildiğini belirtmişlerdir. Bitki büyümesi ve Cd birikimi üzerindeki etkilerin, MP tipi ve dozu ile değişebileceğini ifade etmişlerdir. Wang ve diğerleri (2021)'nin yapmış oldukları bir başka çalışmada da MP'lerin mısır bitkisinde yapraktaki klorofil içeriği ile kök biyokütlesini azalttığını, toprak pH'ında ve Cd konsantrasyonunda artışa neden olduğunu, ancak bitkinin dokularında Cd birikiminde önemli bir değişiklik olmadığını tespit etmişlerdir. Li, Yu, Yu ve Xu (2022)'nin MP'lerin yüksek bitkiler üzerindeki etkilerini incelemek üzere yaptıkları çalışmada MP'lerin yüksek yapılı bitkiler üzerinde doğrudan engelleyici mekanizmalarını incelediklerinde yaprak gözeneklerinde ve ışık yararlanımında azalma olduğunu, köklerde hasar bıraktığını, genlerin işleyişini engellediğini; dolaylı engelleyici mekanizmaları incelediklerinde ise toprağın özelliklerinin değiştiğini tespit etmişlerdir. Manjate, Ramos ve Almeida (2020), kamış (*Phragmites australis*) bitkisini MP ve Cd'a maruz bıraktıktan sonra yaptıkları ölçümlerde bitkinin toprak altı dokularında önemli miktarda metal biriktirdiğini bulmuşlardır. Yingying ve diğerleri (2023) MP'lerin, toprak özelliklerini, besin alımını ve kök mikoriza topluluklarını değiştirerek pirinç performansına ve Cd birikimine aracılık edebileceğini ve çevre dostu olduğu düşünülen biyolojik olarak parçalanabilen PLA MP'lerinin, geleneksel MP'lerden daha yüksek fitotoksiste sergileyebileceğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde yine Meng ve diğerleri (2023) MP'ler ve kadmiyumdan kaynaklanan kirliliğin, bitki büyümesini ve gelişimini ve Cd mobilizasyonunu değiştirerek toprak ortamını ve toprak biyotasını etkileyebileceğini böylelikle bitkinin büyüme ve gelişmesinde olumsuz etkilerinin olduğunu bildirmişlerdir. Pinto-Poblete ve diğerleri (2022)'nin, çilek bitkisi ile MP ve Cd kombinasyonu ile yapmış oldukları çalışmada, MP'lerin bitki büyümesini, bitki biyokütlesini, meyve sayısını, kök özelliklerini, köklerde ve toprakta Cd birikimini arttırdığını gösterilmiştir. Mikroplastik varlığından dolayı Cd'un bitkide artan birikiminin, toprak özellikleri ve çilek bitkilerinin performansı üzerinde gözlenen olumsuz etkileri açıklayabileceğini ifade etmişlerdir. Chen ve diğerleri (2023) hem ayrı ayrı hem de karışık kombinasyonlarda toprak-buğday sistemlerini nasıl etkilediklerini belirlemek için Cd ile iki tür MP üzerinde çalışarak buğday yapraklarındaki klorofil konsantrasyonunun artan MP oranına göre belirgin bir şekilde azalış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca MP oranı düşük olduğunda bitkinin toprak üstü biyokütlesinde artış gözlemlendiğini, ancak MP oranı arttıkça toprak üstü biyokütlenin azaldığını belirtmişlerdir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak, hızlı büyüme özelliği, sulu ve gevrek yapısından dolayı Simila çeşidi marul fidesi kullanılmıştır. Marul fideleri, Alp Fide (Amasya/Merkez) tarafından sertifikalı tohumlardan üretilmiştir.

4.2. Marulun (*Lactuca sativa* L.) Genel Özellikleri

Araştırmada materyal olarak kullanılan Simila çeşidi marulun genel olarak özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

- Yeni nesil kıvrıkcık bir marul çeşididir,
- Taze tüketime ve endüstriyel işlemeye uygundur,
- Geç sapa kalkar,
- Hızlı gelişir ve yüksek hacimlidir,
- Yaprakları orta yeşil renktedir,
- Yaprak kırılabilirliği düşük ve raf ömrü uzundur,
- Baş yapısı dairesel ve homojendir; yaprakları sulu, kalın ve gevrek; yaprak uçları ise ince ve kıvrıkcıktır,
- Uygun iklim ve yetiştirme koşullarında ortalama baş ağırlığı 850–1.100 gramdır,
- Ilıman sahil bölgelerinde sonbahar, erken kış, ilkbahar yetiştiriciliğine, karasal ve serin bölgelerde ise geç ilkbahar, erken yaz ve sonbahar yetiştiriciliğine uygundur,
- Olgunluk süresi yetiştirme dönemi ve iklim koşullarına bağlı olarak sıcak dönemlerde 42–46 gün, soğuk dönemlerde 56–72 gündür,
- Özellikle iklimsel stres koşullarına bağlı olarak ilkbahar aylarında yoğun olarak gözlenen göbek oluşumuna karşı dirençlidir,
- Marul mildiyösünün 16-32,34 ırklarına, marul yaprak bitine, marul mozaik virüsüne dayanıklıdır (URL 3).



Resim 4.1. Simila çeşidi marul ve fide hali (URL 3)

4.3. Deney Seti

Mikroplastiklerin marulda bitki gelişimine etkisini ve Cd birikimini nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla Çizelge 4.1’de gösterilen şekilde deney seti kurulmuştur. Her saksıda 2’şer marul fidesi olmak üzere toplam 30 saksı kullanılarak deney seti oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1. Deney seti

Kontrol grubu	%1,5 mikroplastik	%2,5 mikroplastik	%1,5 MP + 200 ppm Cd	%2,5 MP + 200 ppm Cd
6 tekrar	6 tekrar	6 tekrar	6 tekrar	6 tekrar

4.3.1. Mikroplastığın temini

Mikroplastikler, tarım alanlarında üretim yapılırken örtü materyali olarak kullanılan polietilen materyalden üretilmiş malç naylonu 2,5 mm-4 mm ebatlarında kesilerek elde edilmiştir.

4.3.2. Toprağın hazırlanması

Marul fidelerini yetiştirmek için, 1'er litrelik plastik yetiştirme saksıları kullanılmıştır. Bahçe toprağı 0-25 cm derinlikten alınarak 4 mm'lik elekten geçirilmiş ve hava kurusu haline getirilmiştir. Saksılara organik bir toprak düzenleyicisi olan ve köklerin etrafındaki toprağın hava ve nemliliğini düzenleyerek ideal bir büyüme ortamı sağlayan torf eklemesi de yapılmıştır. Hacim olarak 400 ml toprağa 400 ml torf, 360 gram toprağa, 200 gram torf eklenerek 1 hafta süreyle toprak-torf karışımı hava kurusu hale getirilmiştir. Kontrol grubu saksılar için 560 g toprak-torf karışımı, %1,5 mikroplastik içeren saksılar için 8,4 g mikroplastik ve 551,6 g toprak-torf karışımı, %2,5 mikroplastik içeren saksılar için 14 g mikroplastik ve 546 g toprak-torf karışımı kullanılmıştır. Saksılar bir hafta inkübasyona bırakılarak gün aşırı sulanmıştır.

4.3.3. Bitkilerin yetiştirilmesi

1 litrelik plastik yetiştirme saksılarının her birine 2'şer adet olmak üzere Simila cinsi marul fideleri dikilmiştir. İlk dikimden itibaren gün aşırı 10 ml çeşme suyu ile sulanmıştır. Bitkilerin dikilmesinden hasat edilmesine kadar geçen süreçte deney setinin bulunduğu ortamda sıcaklık ortalama 15,3 °C ve nem ortalama %55,4 olarak ölçülmüştür. Fidelerin dikilmesinden yaklaşık 3 hafta sonra mikroplastiklerin Cd alımı üzerine etkisini belirlemek amacıyla %1,5'luk ve %2,5'luk mikroplastik içeren 6'şar saksıya 3 kez gün aşırı olmak üzere 10 ml 200 ppm'lik Cd çözeltisi ilavesi yapılmıştır ve diğer saksılar ise 10 ml çeşme suyu ile sulanmıştır. Marul fideleri dikiminden 27 gün sonra hasat edilmiştir.



Resim 4.2. Fide dikimi 1. Gün

4.3.4. Kadmiyum çözeltisinin hazırlanması

Deney setinde kadmiyum eklenecek olan saksılar için cadmium chloride kullanılarak 200 ppm'lik Cd çözeltisi hazırlanmıştır.

4.4. Büyüme Değişkenlerinin Ölçümü

Tüm deney setlerinde üretilen bitkilerin toprak üstü ve toprak altı taze ağırlık (TA), toprak üstü ve toprak altı kuru ağırlık (KA), toprak üstü uzunluk, kök uzunluk, toprak üstü su içeriği (TÜSİ) ve toprak altı su içeriği (TASİ) ölçümleri Amasya Üniversitesi Suluova Meslek Yüksek Okulu Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

4.4.1. Bitki boyu ölçümleri

27. gün sonunda bitkiler hasat edilmiş ve saf suyla yıkanarak topraktan arındırılmıştır. Her gruptaki bitkilerin toprak üstü ve toprak altı boy uzunlukları cetvel yardımıyla ölçülerek kaydedilmiştir.



Resim 4.3. Toprak üstü uzunluk ve kök uzunluğu ölçümü

4.4.2. Taze ve kuru ağırlık ölçümü

Her bir deney setinde marul fidelerinin toprak üstü ve toprak altı taze ağırlıklarının belirlenmesi için fidelerin toprak üstü ve toprak altı kısımları dikkatle ayrılarak hemen hasat sonrası hassas terazi yardımıyla ölçülüp taze ağırlıkları kaydedilmiştir (Şekil 4.4.-4.5.). Taze ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra toprak üstü ve toprak altı kısımlar hazırlanan kese kağıtlarına konarak kuru ağırlık ölçümü için sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde 65 °C'de kurutulmuştur (Şekil 4.6). Kurutulan bitki numuneleri hassas terazi ile ölçülüp kuru ağırlıklar kaydedilmiştir (Şekil 4.7).



Resim 4.4. Deney setinin taze ağırlık ölçümü hazırlık aşaması



Resim 4.5. Devamı



Resim 4.6. Fidelerin hassas terazide toprak üstü TA ölçümü



Resim 4.7. Fidelerin etüvde kurutulma aşaması



Resim 4.8. Fidelerin hassas terazide toprak üstü ve toprak altı KA ölçümü

4.4.3. Su içeriğinin belirlenmesi

Marul fidelerinin toprak üstü ve toprak altı su içerikleri taze ve kuru ağırlıkları belirlendikten sonra aşağıda verilen matematiksel işlem formül 1 ile hesaplanmıştır (Marengo, Antezana-Vera ve Nascimento, 2009).

$$\text{Su İçeriği (\%)} = (\text{Taze Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık} / \text{Taze Ağırlık}) \times 100$$

1

4.4.4. Ağır metal analizi

Marul fideleri kurutulduktan sonra bitki öğütme değirmeni ile öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Cd analizi Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde hizmet alımı yoluyla yapılmıştır. Bitki örnekleri mikrodalga ile yakma işlemi uygulanarak çözelti haline getirilmiştir. Cd konsantrasyonları ppm olarak ICP-OES cihazı ile belirlenmiştir.

4.4.5. İstatistiksel analizler

Elde edilen bulgular IBM SPSS 20 software kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Verilerin normal dağılım yönünden değerlendirilmesi yapıldıktan sonra deney grupları arasında ölçülen parametrelerde gözlenen varyasyonun önemlilik analizi Tek Yönlü Varyans Analizi (One-way ANOVA) testi kullanılarak belirlenmiştir. Varyansların homojenliğinin araştırılması için Levene testi kullanılmış ve varyansları homojen dağılım gösteren parametreler için Post-hoc Tukey HSD testi, homojen dağılım göstermeyenler için ise Thamhane's T2 testi uygulanmıştır. İlave edilen mikroplastik oranına bağlı olarak marul yapraklarında bulunan Cd konsantrasyonundaki değişim ise Bağımsız Örneklem T- Testi ile analiz edilmiştir. MP miktarı ile Cd içeriği arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

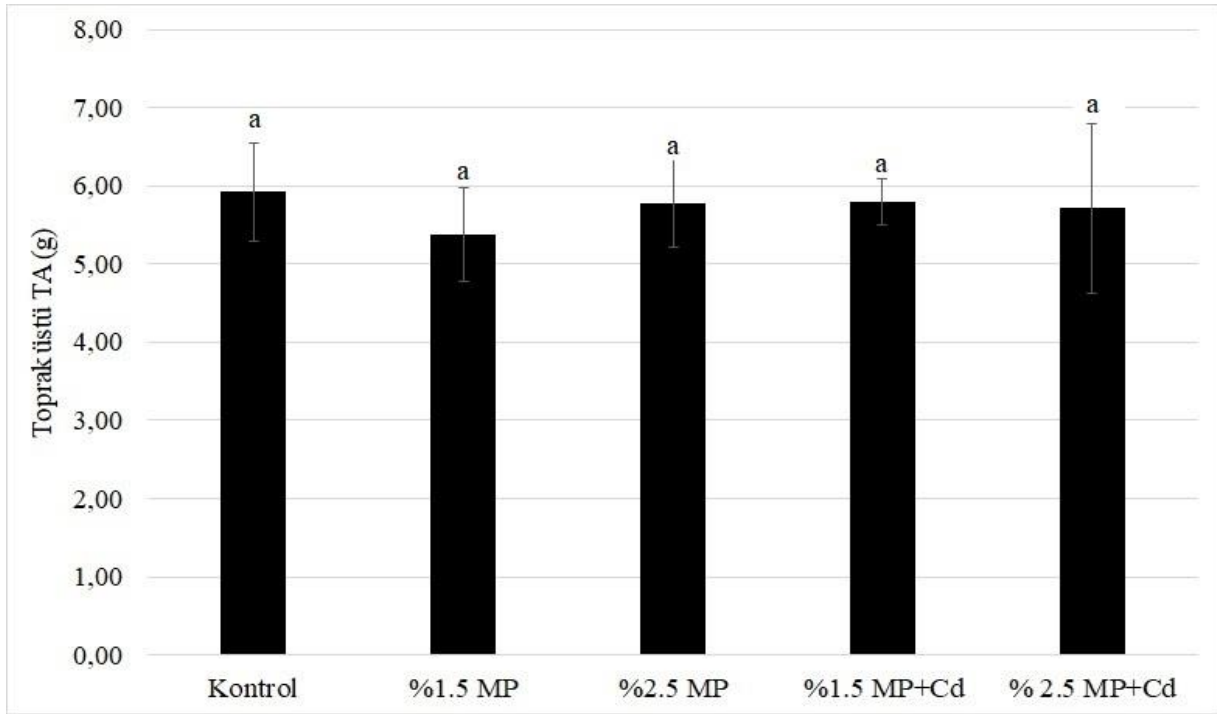
Marulda toprak üstü ve altı TA, toprak üstü ve altı KA, toprak üstü uzunluk, kök uzunluk, TÜSİ, TASİ parametrelerinin deney setleri arasındaki değişiminin önemlilik değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Buna göre, toprak üstü KA, toprak altı TA, toprak üstü uzunluk, TÜSİ ve TASİ değerlerinde deney setleri arasında gözlenen varyasyon istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 5.1. Marulda toprak üstü ve toprak altı TA, toprak üstü ve toprak altı KA, toprak üstü uzunluk, kök uzunluk, TÜSİ, TASİ parametrelerinde deney setleri arasında gözlenen varyasyonun önemlilik değerleri

	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	P
Toprak üstü TA (g)	0,995	4	0,249	0,537	0,710
Toprak üstü KA (g)	0,017	4	0,004	3,883	0,014
Toprak altı TA (g)	0,100	4	0,025	3,354	0,025
Toprak altı KA (g)	0,000	4	0,000	1,149	0,357
Toprak üstü uzunluk (cm)	7,977	4	1,994	5,688	0,002
Kök uzunluğu (cm)	13,888	4	3,472	2,209	0,097
TÜSİ (%)	2,904	4	0,726	10,722	0,000
TASİ (%)	38,123	4	9,531	11,117	0,000

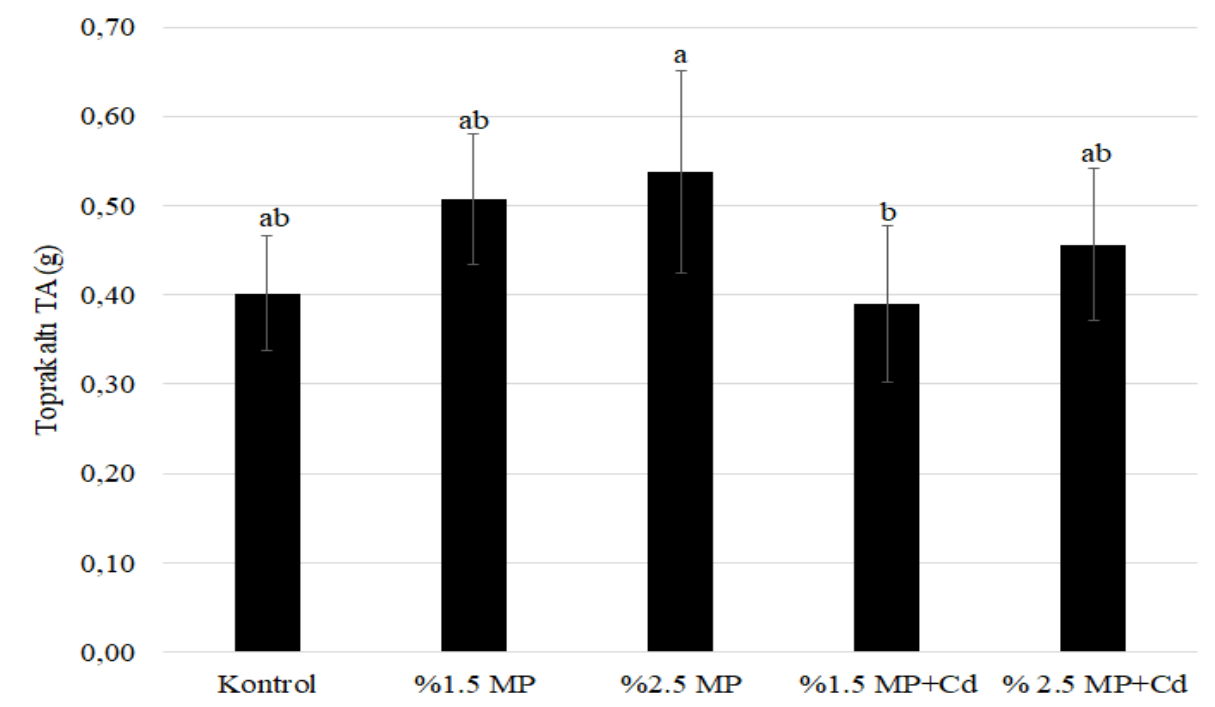
5.1. Toprak Üstü ve Toprak Altı Taze Ağırlık

Deney setindeki bitki gruplarının toprak üstü taze ağırlık değerlerine bakıldığında en yüksek toprak üstü TA değeri kontrol grubunda, en düşük toprak üstü TA değeri ise %1,5 MP ilave edilen grupta ölçülmüştür. Bu değerler arasındaki varyasyon istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bu bulgular, yetiştirme ortamına mikroplastik ilavesinin ve mikroplastik ile Cd’un birlikte ilavesinin marulda toprak üstü TA değerini önemli ölçüde değiştirmedığını ifade etmektedir.



Şekil 5.1. Toprak üstü TA'nın deney setlerine göre değişimi

En yüksek toprak altı TA değeri %2,5 MP varlığında yetiştirilen bitkilerde, en düşük toprak altı TA değeri ise %1,5 MP ve Cd çözeltisinin birlikte ilave edildiği grupta bulunmuştur. Toprağa ilave edilen MP miktarı ile doğru orantılı olarak bitkinin toprak altı kısımlarının taze ağırlığında önemli bir artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, MP içeren toprağa Cd ilavesi marul fidelerinin toprak altı TA değerlerinde gerçekleşen bu artışı önemli oranda azaltmıştır. Bu önemli düşüş, Cd'un, toprak altı TA değeri üzerinde oldukça önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, toprağa MP ilavesinin toprak altı TA üzerinde pozitif bir etkisinin olduğunu; bunun aksine Cd'un ise negatif yönde etkisinin olduğunu belirtmektedir. MP varlığında gözlenen bu artışın, mikropplastiklerin toprakta boşluklar oluşturarak daha iyi havalanma sağlamış olmasına bağlı olarak bitkinin daha fazla su alımı gerçekleştirebilmiş olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.2. Toprak altı TA'nın deney setlerine göre değişimi

Mikroplastiklerin, bitki gelişimi üzerine etkileri konusunda az sayıda çalışma yapılmış ve bazı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar genel olarak MP'lerin bitki gelişimini azalttığını bildirmektedir (Qi ve diğerleri, 2018, 2020). Bununla birlikte bizim çalışmamızda olduğu gibi, Lian ve diğerleri (2022) tarafından *Glycine max* (soya fasulye) ile yapılan çalışmada hem polietilen MP hem de polilaktik asit MP ilave edilen gruplarda sürgün taze ağırlığında önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Wang ve diğerleri (2021) *Vallisneria natans* (Lour.) ile yapmış oldukları çalışmada sadece PVC mikroplastik ya da Cd varlığında taze ağırlığın kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde azaldığını, bunun yanı sıra ikisi birlikte uygulandığında ise önemli bir fark yaratmadığını bildirmişlerdir. Ayrıca, PVC-MP ilavesinin, bitkilerin taze ağırlıklarını önemli ölçüde azalttığı da belirlenmiştir. Bu TA azaltıcı etkinin bitki köklerinin mikroplastığa temas etmesi sebebiyle iyi gelişememesi ve mikroplastik varlığı nedeniyle besin elementlerini yeterli oranda alamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. PVC-MP ilavesi Cd olmadığında *V. natans*'ın taze ağırlığında %20 oranında; 5 ve 15 mg Cd maruziyetinde ise sırasıyla %26,7 ve %28,4 oranında düşüşe neden olmuştur.

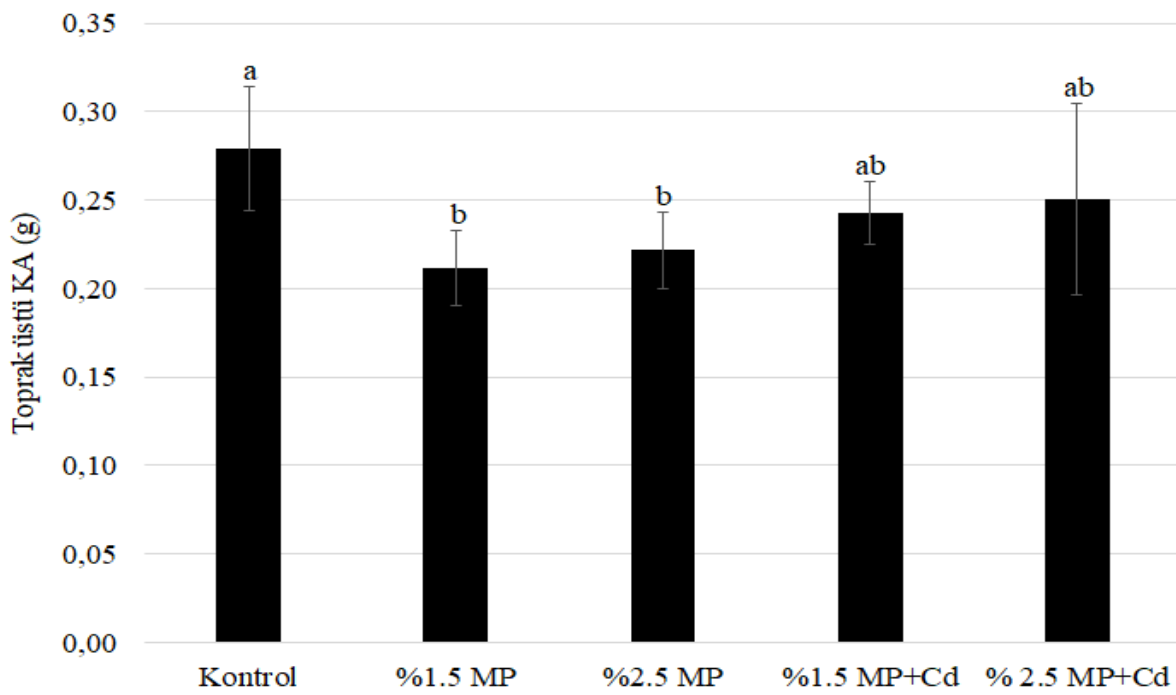
De Souza Machado ve diğerlerinin (2019) *Allium fistulosum*'a (taze soğan) polipropilen (PP), poliamid/naylon (PA) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) partiküllerinin ilavesi ile yapmış oldukları araştırmada, mikroplastik ilavesinin bizim bulgularımızın aksine toprak altı

TA'yı azalttığını belirtmişlerdir. İki çalışmanın sonuçlarında gözlenen bu farklılığın bitki türlerinin farklı yanıt oluşturmamasından çok; kullanılan mikroplastığın hammaddesinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde farklı plastik materyallerden elde edilen mikroplastiklerin aynı bitkide farklı sonuçlar ortaya koyduğunu gösteren çalışmalar bu düşüncüyü doğrulamaktadır (Qi ve diğerleri, 2018; Wang ve diğerleri, 2020a).

Muşlu (2010), Cd ilavesinin toprak altı taze ağırlığı azalttığını ve ağır metallerin toksik etkisinin özellikle kökte meydana geldiğini belirtmiştir. Moral ve diğerleri (1994), Bayçu (1997) ve Çatak ve diğerleri (2000) Cd oranının artışı ile toprak altı taze ağırlığın da doğru orantılı olarak azaldığını ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar bizim elde ettiğimiz sonuçları doğrulamaktadır. Cd uygulanan toprakta mikroplastik miktarının artışına bağlı olarak toprak altı TA'nın arttığı; yani Cd'un olumsuz etkisini mikroplastığın azalttığı görülmektedir.

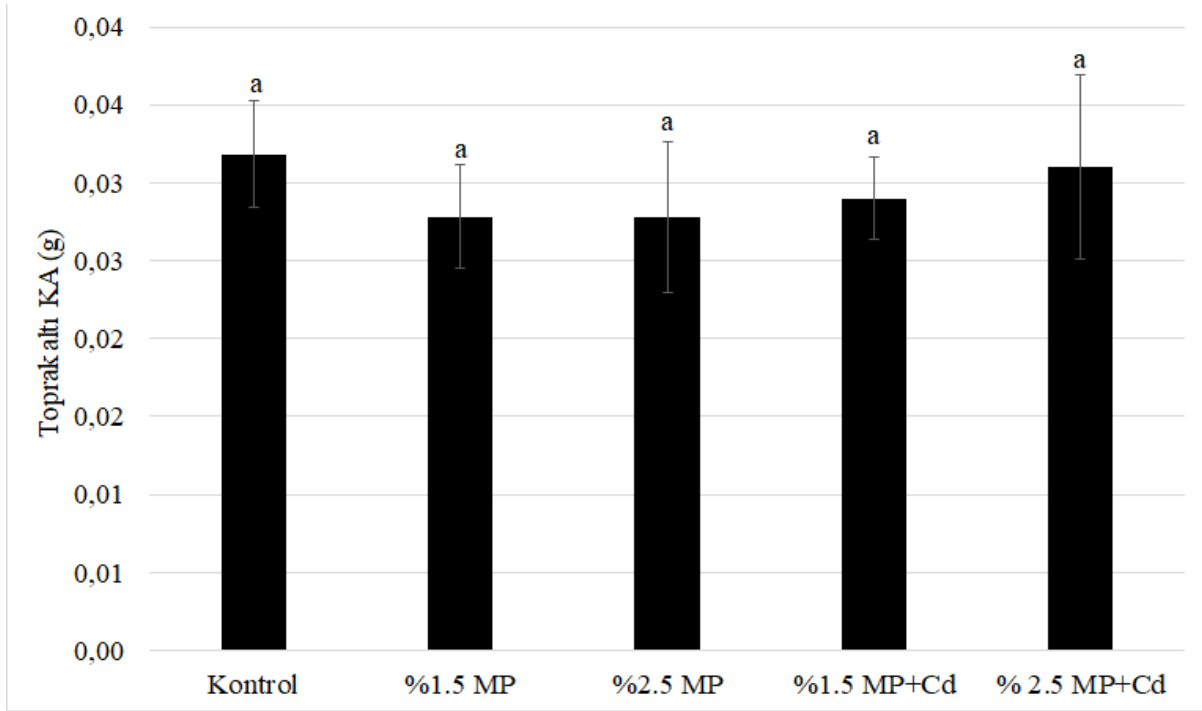
5.2. Toprak Üstü ve Toprak Altı Kuru Ağırlık

Marul fidelerinin toprak üstü KA değerlerinde deney setleri arasında önemli bir varyasyon olduğu belirlenmiştir. En yüksek toprak üstü KA değeri kontrol grubunda, en düşük değer ise %1,5 MP ilave edilen grupta bulunmuştur. Toprağa MP ilavesi toprak üstü kuru ağırlığı bariz biçimde azaltmıştır. %1,5 ve %2,5 MP ilave edilen gruplar arasında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla, bu oranda MP artışı farklı bir yanıt oluşturmamıştır. Toprağa Cd ilavesi, toprak üstü KA değerlerinde bir miktar artış sağlasa da kontrol grubu ve MP ilave edilen gruplarda ölçülen değerlerin arasında ve onlara benzer değişim göstermiştir. Cd konsantrasyonunun yükseltilmesi durumunda bu artışın daha belirgin hale gelebileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.3. Toprak üstü KA'nın deney setlerine göre değişimi

Marul fidelerinde en yüksek toprak altı KA değeri kontrol grubunda, en düşük değer ise %1,5 MP ilave edilen grupta ölçülmüştür. Mikroplastik ilavesi toprak altı KA değerini kontrol grubuna kıyasla azaltmıştır. MP içeren toprağa Cd uygulaması ise toprak altı KA değerini bir miktar artırmıştır. Her ne kadar deney setleri arasında artış ve azalışlar belirlense de marul fidelerinin toprak altı KA değerlerinde deney setleri arasında gözlenen değişimin istatistiksel anlamda önemli olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.4. Toprak altı KA'nın deney setlerine göre değişimi

Wang, Wang ve Song (2021) Cd ile kontamine olmuş topraklarda marul ile yapmış oldukları farklı bir çalışmada, % 0,1 ve %1 oranlarında fark oluşmazken; %10 polietilen MP ilavesinin hem toprak üstü hem de toprak altı biyoması önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Boots ve diğerleri (2019) tarafından yapılan benzer bir çalışmada *Lolium perenne* bitkisinde, toprağa farklı türlerde MP ilavesinin sürgün kuru ağırlığında önemli bir değişime neden olmadığını, bunun yanı sıra kök kuru ağırlığında mikroplastik uygulamaları arasında önemli bir varyasyonun olduğunu bildirmişlerdir. HDPE ilave edilen topraklarda yetişen *L. perenne* bireylerinin kök biyomaslarının, biyoçözünür poliaktik asit (PLA) eklenen ortamda yetişenlerden %45 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada, De Souza Machado ve diğerleri (2019) *Allium fistulosum*'un (taze soğan) farklı mikroplastik türlerine farklı yanıtlar verdiğini ve kök biyokütlesinin poliestir lifler ve polistiren ilavesi ile önemli ölçüde arttığını, HDPE ilavesi durumunda önemli bir farklılığın olmadığını, polimerin şekline veya türüne göre farklı tepkiler ortaya çıktığını ifade etmişlerdir. Qi ve diğerleri (2018) biyolojik olarak parçalanabilen makro ve mikroplastik kalıntılara (polietilen tereftalat ve polibütilen tereftalat) maruz kalan *Triticum aestivum* bireylerinde sürgün biyokütlesinin azaldığını bildirmişlerdir.

Wang ve diğerleri (2020a) tarafından *Zea mays* L. var. *wannuoyihao* ile yapılan çalışmada hem sürgün hem de kök kuru ağırlıklarının MP tipi, dozu ve Cd ilavesinden önemli ölçüde

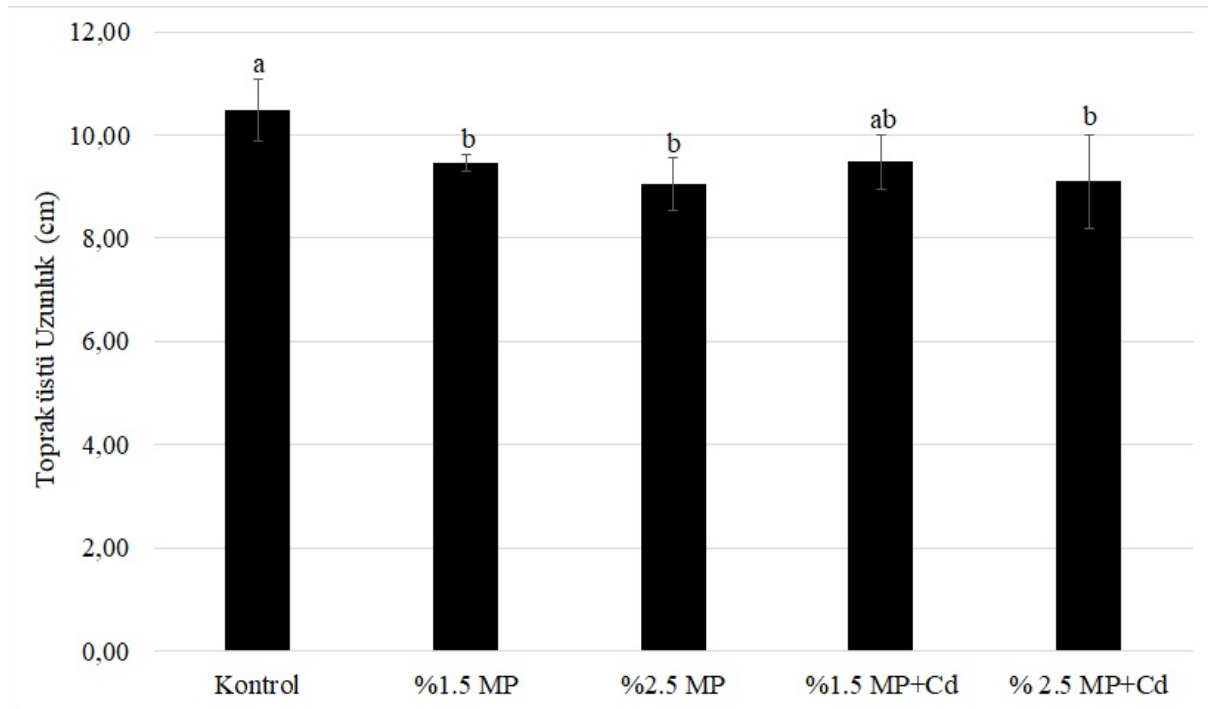
etkilendiği belirlenmiştir. Cd eklenmediğinde, yüksek konsantrasyonda polietilen (PE) bitki biyokütlesini azaltmazken, biyoçözünür polilaktik asit (PLA) %10'luk dozda bitki büyümesini büyük ölçüde inhibe etmiştir, ancak %0,1 ve %1'de önemli bir etki göstermemiştir. Bu sonuçlar, MP'lerin fitotoksitesinin yüksek oranda MP'lerin tipine ve dozuna bağlı olduğunu doğrulamaktadır. Yani, PE belirgin bir fitotoksite göstermezken, PLA %10 dozda yüksek bir fitotoksite sergilemiştir. Bu çalışmada küçük boyutta (100-154 µm) ve daha yüksek dozda (%10) PE MP'e maruziyetin kök biyokütlesi üzerinde hiçbir negatif ya da pozitif etkiye neden olmadığı ortaya konmuştur. Meng ve diğerleri (2021)'nin *Phaseolus vulgaris* (fasulye) ile yapmış oldukları çalışmada düşük yoğunluklu polietilenin sürgün ve kök biyomasını etkilemediği ve biyolojik olarak parçalanabilen MP'in ise sürgün ve kök biyomasını azalttığı belirlenmiştir.

Liu ve diğerleri (2023) tarafından pirinçte yapılan çalışmada, MP tipinin sürgün ve kök biyoması üzerinde etkili olduğu, MP dozunun sadece kök biyomasında önemli değişime neden olduğu, yalnız Cd ilavesinin ise sürgün ve kök biyomasını etkilemediği belirlenmiştir. Ayrıca, Altıntaş (2022) ise hardal bitkisi üzerine farklı konsantrasyonlarda Cd uygulamasının bitkinin kuru ağırlığında azalmaya yol açtığını belirtmiştir. Balcı (2019) ve Alım (2020) yaptıkları çalışmada Cd oranının artması ile toprak üstü KA'nın azaldığını bildirmişlerdir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bitkide mikropplastik ve Cd'a karşı oluşturulan yanıtın Cd konsantrasyonuna, mikropplastik türüne, şekline, miktarına ve bitki türüne bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

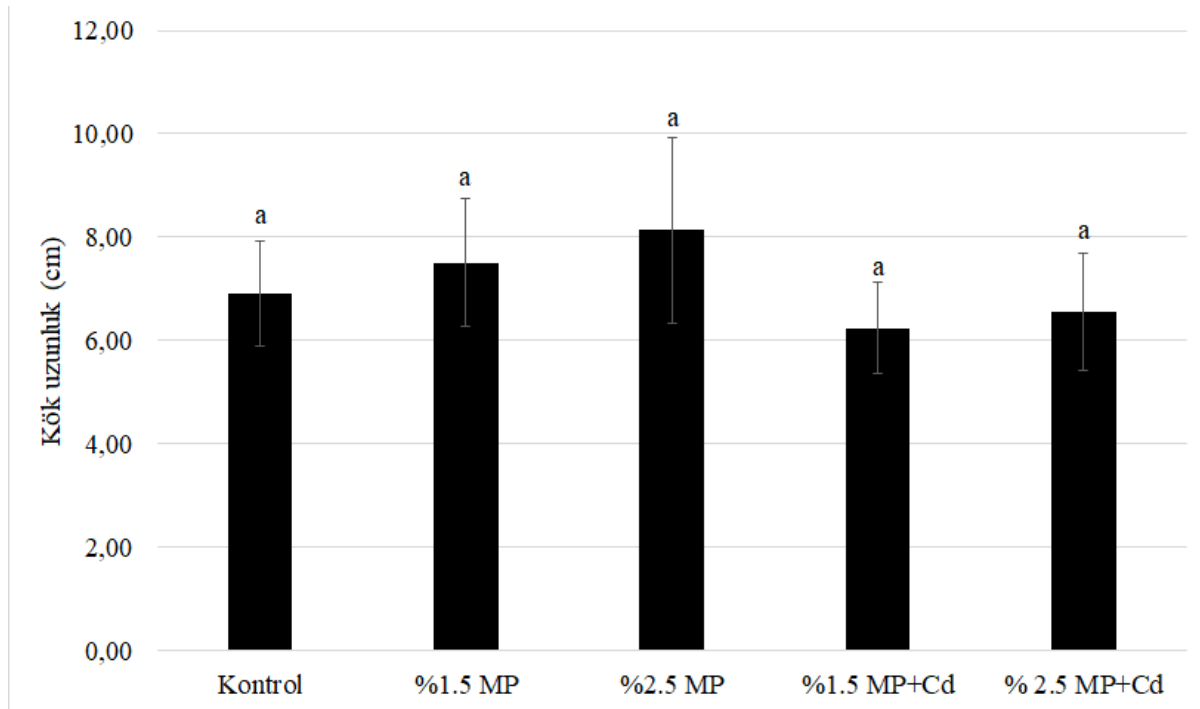
5.3. Toprak Üstü ve Kök Uzunluğu

Marul fidelerinde en yüksek toprak üstü uzunluk değeri kontrol grubunda, en düşük değer ise %2,5 MP uygulanan grupta elde edilmiştir. Deney setleri arasında toprak üstü uzunluk değerlerinde gözlenen varyasyon istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Toprağa MP ilavesi ve ilave edilen doz ile doğru orantılı olarak toprak üstü boy uzunluğunun kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde azaldığı, MP içeren toprağa Cd ilavesinin ise önemli bir değişime neden olmadığı belirlenmiştir. Marul fidelerinin toprak üstü uzunluğunda gözlenen bu azalmanın, toprakta MP varlığına bağlı olarak bitkinin besin elementine ulaşımı ve alımında meydana gelen olumsuz etkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.5. Toprak üstü uzunluğun deney setlerine göre değişimi

Kök uzunluğunda deney setleri arasında istatistiki anlamda önemli farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Kök uzunluğunda en yüksek değer %2,5 MP ilave edilen marul bireylerinde, en düşük değer ise %1,5 MP+Cd ilave edilen bireylerde ölçülmüştür. Toprağa MP ilavesi konsantrasyona paralel olarak kök uzunluğunda bir miktar artışa neden olmakla beraber bu artış istatistiksel olarak anlamlı değildir. MP bulunan ortama Cd ilave edildiğinde ise kök uzunluğunda bir düşüş gözlenmiş ancak bu da istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.



Şekil 5.6. Kök uzunluğunun deney setlerine göre değişimi

Boots ve diğerlerinin (2019) toprağa farklı mikroplastikler uygulayarak *Lolium perenne* ile yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir. PLA ilave edilen grupta %19 oranında sürgün uzunluğunda azalma olduğunu bildirmişlerdir. Qi ve diğerleri (2018) *Triticum aestivum* (buğday) bitkisine kumlu toprakta nişasta bazlı biyolojik olarak parçalanabilen LDPE MP uygulamasının, toprak üstü uzunluğu azalttığını ifade etmişlerdir. Wu ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışmada polistiren (PS) MP uygulamasının *Oryza sativa*'da (pirinç) sürgün uzunluğunu etkilemediğini, kök uzunluğunu ise artırdığını tespit etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar PS'nin bitki büyümesi sırasında besin gereksinimlerini karşılamak için yan kök büyümesini destekleyebileceğini göstermiştir. Lian ve diğerleri (2022) kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, *Glycine max*'nın (soya fasulye) sürgün uzunluğunun %0,1 oranında polietilen MP ilavesinde ve %1 oranında polilaktik asit MP ilavesinde önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, polietilen MP ilavesi kök uzunluğunda herhangi bir değişikliğe neden olmazken; polilaktik asit MP ilavesi kök uzunluğunun önemli ölçüde azalmasına neden olmuştur. Polietilen MP kullandığımız bu tez çalışmasından elde ettiğimiz sonuçlarda da kök uzunluğunda önemli bir değişiklik söz konusu olmamıştır ve bu sonuçları doğrulamaktadır. De Souza Machado ve diğerleri (2019) *Allium fistulosum*'da uygulanan tüm mikroplastik çeşitlerine bağlı olarak kök uzunluğunun önemli ölçüde arttığını tespit etmişlerdir. Bizim çalışmamızda da artış olmuş ancak istatistiksel olarak önemli

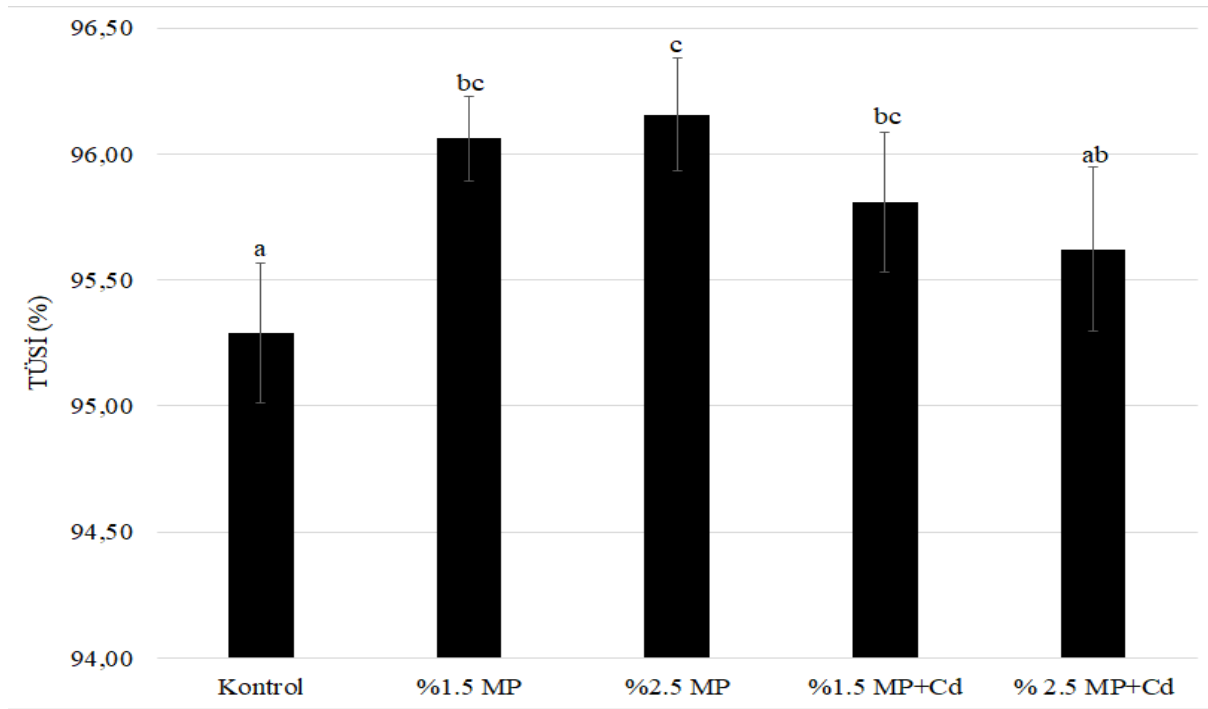
bulunmamıştır. Meng ve diğerleri (2021) *Phaseolus vulgaris*'de (fasulye) biyolojik olarak parçalanabilen MP'in spesifik kök uzunluğunu artırdığını bildirmişlerdir.

Ayhan ve diğerleri (2007) Cd konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak mısır çeşitlerinin büyüme ve gelişmesinin yüksek oranda inhibe edildiğini belirtmişlerdir. Altıntaş (2022)'nin yaptığı çalışmada kadmiyum stresi altındaki hardal bitkilerinin toprak üstü uzunluğunda azalmalar olduğunu belirtmişlerdir. Bizim tez çalışmamızda da MP bulunan ortama Cd ilavesi toprak üstü ve kök uzunluğunu bir miktar azaltmakla birlikte, önemli ölçüde bir değişikliğe yol açmamıştır.

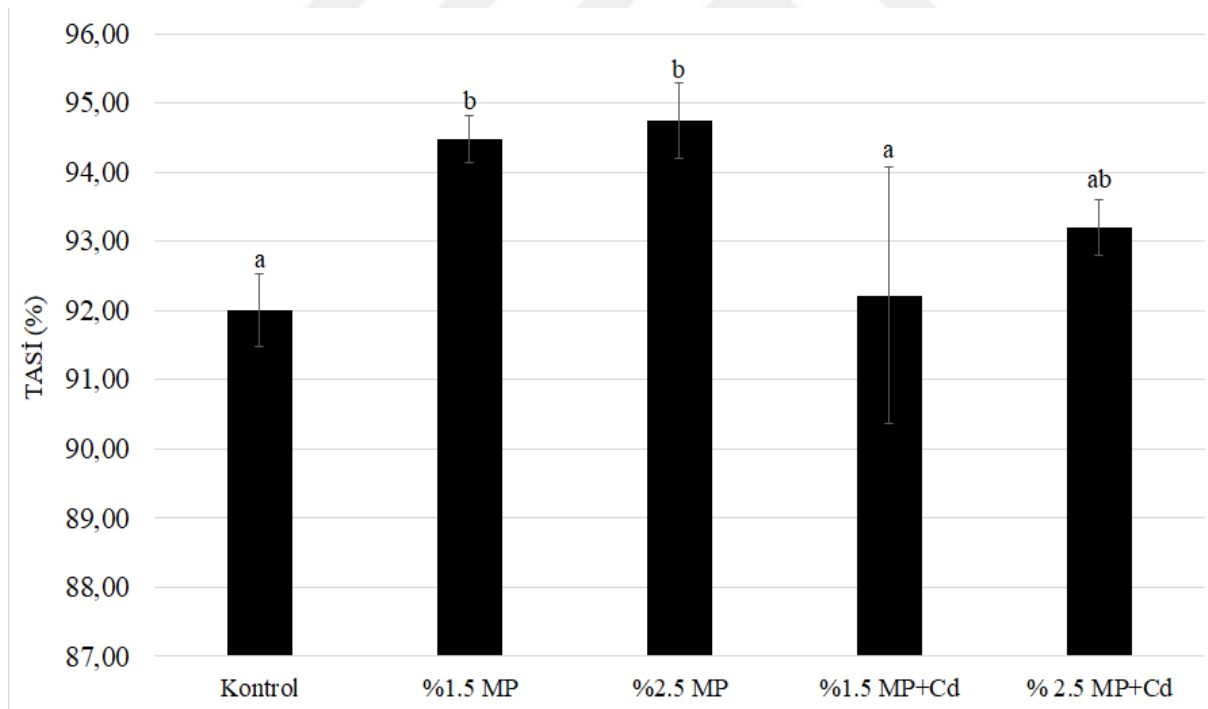
5.4. Toprak Üstü ve Toprak Altı Su İçeriği

Marul fidelerinde hem toprak üstü hem de toprak altı su içeriği (TÜSİ, TASİ) için maksimum değer %2,5 mikroplastik içeren topraklarda yetişen bireylerde, en düşük değer ise kontrol grubunda tespit edilmiştir. Su içeriğinin MP konsantrasyonundaki artışa paralel olarak arttığı belirlenmiştir. Mikroplastik bulunan ortama Cd ilavesinin hem toprak üstü hem de toprak altı kısımlarda su içeriğini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda MP kirliliğinin, nispeten düşük MP konsantrasyonlarında bile, su tutma kapasitesini ve buharlaşmayı değiştirebileceği bildirilmiştir (Jazaei, Chy ve Salehi, 2022). Mikroplastiklerin, toprağın gözenek yapısını, sıcaklığını ve buharlaşma kapasitesini etkileyerek bitki gelişimi ve su içeriği üzerinde rol oynadığı düşünülmektedir. Mikroplastiklerin etkileri mikroplastiklerin çeşidine ve büyüklüğüne göre de farklılık göstermektedir. Jazaei ve diğerleri (2022) iplik, lif ve pelet şeklindeki mikroplastiklerin kumlu toprakta kum tanelerinin arasındaki bulunuş şekline bağlı olarak ya makroporları azaltıp mikroporları artırarak ya da tam tersini yaparak etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Killi topraklarda plastik film ve mikrofiberlerin suyun hareketini kolaylaştıran kanallar oluşturarak suyun buharlaşmasını önemli ölçüde artırabileceği ifade edilmiştir. MP'lerin kumlu toprakların kütle yoğunluğunu, gözenekliliğini, doymuş hidrolik iletkenliğini, tarla kapasitesini ve su geçirmezliğini önemli ölçüde değiştirirken, pH, elektrik iletkenliği ve toplam kararlılık özelliklerini önemli ölçüde değiştirmediği bildirilmiştir (Browne ve diğerleri, 2011; Jazaei ve diğerleri, 2022). Toprak özelliklerindeki bu değişim bitkilerdeki su dinamikleri üzerinde de doğrudan veya dolaylı olarak etkili olmakta ve bitkilerin su içeriğini değiştirmektedir.



Şekil 5.7. TUSİ değerlerinin deney setlerine göre değişimi



Şekil 5.8. TASI değerlerinin deney setlerine göre değişimi

De Souza Machado ve diğerleri (2019) mikroplastik uygulamasının taze soğanda terlemeyi artırdığını bildirmişlerdir. Buharlaştırmadaki artışlar, su tutma kapasitesindeki artışlardan daha küçük olduğu için mikroplastik bulunan topraklarda su mevcudiyeti genellikle daha yüksektir.

Poliamid ilavesinde soğanların su içeriği iki kat artmıştır, diğer mikroplastik uygulamalarında ise azalmıştır. Toprak üstü dokularının su içeriğinin mikroplastiklere karşı daha duyarlı olduğu bulunmuştur.

Ren, Tang, Wang ve Liu (2021) tarafından yapılan çalışmada polistiren boncuk ilavesinin *Brassica rapa* syn. *Campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee'de su içeriğinde önemli bir etkiye neden olmadığı belirlenmiştir. Rucińska-Sobkowiak (2016) tarafından yapılan çalışmada ağır metale yüksek dozda maruz kalan bitkilerin köklerinin oldukça kısa kaldığı ve saçak kök sayısında azalma olduğu ifade edilmiştir. Ağır metal stresinin bitkide ilk etapta köklerde etki bıraktığını, bitkinin topraktan su alımında olumsuz bir etkinin olduğunu bildirmiştir. Zengin (2019), Cd stresinin buğday bitkisinde nispi su içeriği (RWC) üzerine olumsuz bir etki gösterdiğini bildirmiştir. Kadmiyum konsantrasyonu artış gösterirken, RWC değeri azalmıştır. Benzer şekilde Al Mahmud, Hasanuzzaman, Nahar, Rahman ve Fujita (2017)'nin yapmış oldukları çalışmada, iki farklı dozda Cd stresine (0,25 ve 0,5 μM CdCl_2) maruz kalan üç *Brassica* türünün (*B. napus*, *B. campestris* ve *B. juncea*) RWC sonuçları değerlendirildiğinde her üç *Brassica* türünde Cd konsantrasyonun artması ile RWC değerlerinin azalış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Literatürde yer alan çalışmaların pek çoğu bu tez çalışmasından elde ettiğimiz bulguları doğrulamaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, MP ilavesi nedeniyle topraktaki gözenekliliğin ve buna bağlı olarak su tutma kapasitesinin artmış olabileceği, böylece hem toprak üstü hem de toprak altı su içeriğinin kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde yükseldiği düşünülmektedir.

5.5. Kadmiyum Konsantrasyonu

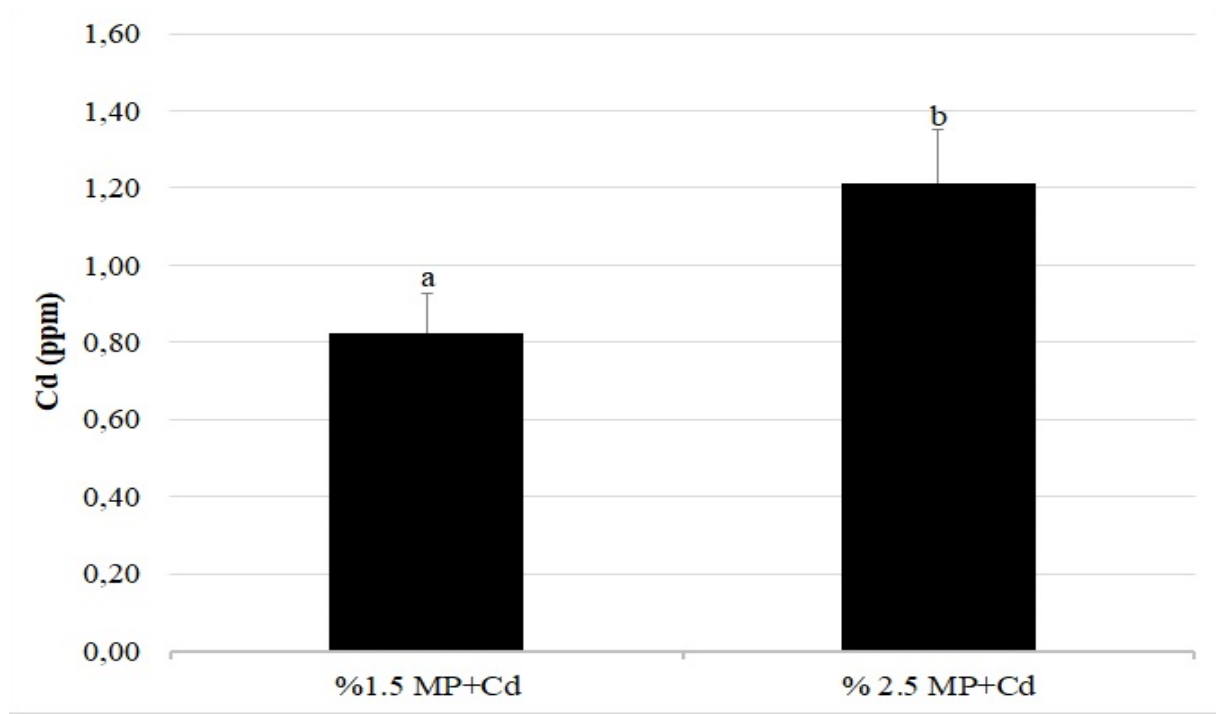
Farklı oranlarda mikroplastik ilave edilen topraklarda yetiştirilen marul fidelerine kadmiyum çözeltisi verildiğinde, marul yapraklarındaki Cd konsantrasyonunun mikroplastik konsantrasyonundaki artışa paralel olarak önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. MP konsantrasyonu %1,5'den %2,5'e çıkarıldığında (%67'lik artış) Cd konsantrasyonunda yaklaşık %48 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

Wang ve diğerlerinin (2020b), farklı dozlarda (%0, %0,1, %1 ve %10) iki tip MP'in [yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polistiren (PS)] Cd alımı ve etkileri üzerindeki rolünü

araştırdıkları çalışmada, 5 mg/kg Cd ilavesinin tarım topraklarında yetiştirilen mısır bitkilerinde bitki büyümesinin engellenmesine ve bitki dokularında yüksek miktarda Cd birikimine neden olduğunu göstermiştir. Polietilen tek başına önemli bir fitotoksik etki göstermezken, yüksek dozda HDPE (%10) Cd fitotoksitesini artırmıştır. Polistiren mısır büyümesini olumsuz etkilemiş ve Cd varlığında fitoksik etki daha da artmıştır. Hem HDPE hem de PS, toprak dietilentriaminpentaasetik asit (DTPA) ile ekstrakte edilebilir Cd konsantrasyonlarının artmasına neden olmuş, ancak bitki dokularındaki Cd alımını önemli ölçüde etkilememiştir. Genel olarak, bitki büyümesi ve Cd birikimi üzerindeki etkiler, MP tipi ve dozu ile ilişkili olarak değişiklik göstermiştir. PS, önemli ölçüde fitotoksositeye neden olmuştur. MP ve Cd'un bir arada bulunması, Cd biyoyararlanımını, bitki performansını ve toprak özelliklerini değiştirebilir sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile uyum içerisindedir ve çalışmamızın sonuçları bu fikri desteklemektedir. Wang ve diğerlerinin (2021) marulda Cd ile kontamine olmuş topraklarda yapmış oldukları çalışmada, topraklardaki polietilen MP seviyeleri %0,1'den %10'a yükseltildiğinde, sürgün ve kök Cd konsantrasyonları kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %9,50–%62,0 ve %9,61–%61,4 oranında önemli ölçüde artmıştır. Bitkilerdeki Cd konsantrasyonlarının, Cd ve MP seviyelerine bağlı olarak varyasyon gösterdiği bildirilmiştir. Wang ve diğerlerinin (2023) *Ceratophyllum demersum* ile yapmış oldukları çalışmada polistiren nanoplastiklerin (PSNP) bitkisel dokularda biriken Cd miktarını sınırladığı bildirilmiştir. Ayrıca, bitkilerin Cd ve PSNP'lere birlikte maruz kalması durumunda karbonhidrat ve amino asit metabolizmasının bozulduğu, pentoz fosfat metabolizmasını üst seviyede düzenlediği belirlenmiştir. PSNP'lerin *C. demersum*'da Cd'un bitki büyümesi üzerindeki inhibisyonunu arttırdığını (%35,54 azalma), klorofil sentezini azalttığını (%15,84 azalma) ve antioksidan enzim sistemini bozduğunu (%25,07 SOD aktivitesinde azalma) göstermiştir. Bu sonuçlar Cd ve MP'lerin toprakta birlikte bulunması durumunda bitki gelişimi üzerinde daha etkili olacağı ve bitkilerde daha fazla zarar oluşturacağını göstermektedir. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar da topraktaki mikropplastik seviyesi arttıkça bitkideki Cd konsantrasyonun da arttığını ve dolayısıyla Cd'un bitki dokularında daha fazla birikmesine bağlı olarak zararlı etkilerinin de daha fazla olacağını düşündürmektedir.

Zhang ve diğerlerinin (2022) *Brassica chinensis* ile yapmış oldukları çalışmada, su ortamında polistiren ve Cd'a birlikte maruz kalan bitkiler üzerindeki gözlenen olumsuz etkiler, polistirenin tek başına etkisinden daha yüksek olmasına rağmen, MP'lerin eklenmesi, tek başına Cd uygulamasına kıyasla, Cd'un bitkiler üzerindeki toksik etkilerini ve bitkiler

tarafından Cd alımını ve birikimini azaltmıştır. Polistiren ve Cd'un birlikte uygulanması durumunda, toprak organik karbonu ve sükras aktivitesinin sırasıyla bitki sürgünleri ve kökleri tarafından Cd alımını etkileyen anahtar değişkenler olduğu belirlenmiştir. Polistirenin toprağın fizikokimyasal özelliklerini, Cd konsantrasyonunu ve enzim aktivitesini önemli ölçüde etkileyerek Cd'un *B. chinensis* tarafından alımını dolaylı olarak etkilediği gösterilmiştir.



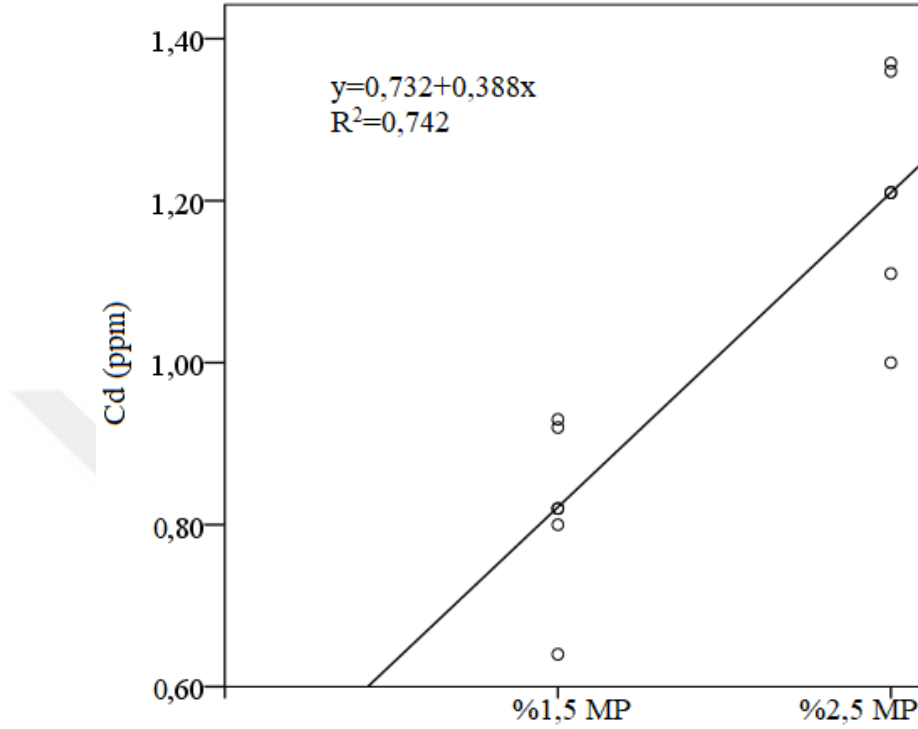
Şekil 5.9. İlave edilen mikroplastik oranına bağlı olarak marul yapraklarında bulunan Cd konsantrasyonu

Çizelge 5.2. İlave edilen mikroplastik oranına bağlı olarak marul yapraklarındaki Cd konsantrasyonunda gözlenen varyasyonun önemlilik değerleri

	N	t	sd	P
Cd (ppm)	6	-5,367	10	0,000

Yapılan regresyon analizinde toprağa ilave edilen mikroplastik miktarı ile marul fidelerinin yapraklarındaki Cd konsantrasyonu arasında pozitif doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu analiz sonuçları, topraktaki MP konsantrasyonu arttıkça marulda bitki dokularında biriken

Cd miktarının da arttığını açıkça göstermektedir. Bu, hem bitki gelişimi ve verimi açısından hem sağlıklı gıda temini açısından hem de ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve çevre sağlığı açısından önem arz etmektedir.



Şekil 5.10. İlave edilen mikroplastik miktarı ile Cd konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi gösteren pozitif doğrusal regresyon eğrisi

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, polietilenden üretilmiş malç olarak bilinen ve tarımda örtü materyali olarak kullanılan malzemeden elde edilen mikroplastiklerin, marul (*Lactuca sativa* L.) fidelerinde bitki gelişimi ve yapraklarda Cd birikimi üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada sadece mikroplastik uygulaması ve mikroplastikler ile Cd'a birlikte maruziyet durumunda marul fidelerinde bitki gelişimin nasıl etkilendiği de araştırılmıştır. Araştırmadan elde edilen sonuçlar, toprağa MP ve MP+Cd ilavesinin toprak üstü KA, toprak altı TA, toprak üstü uzunluk, TŪSİ ve TASİ değerlerini önemli ölçüde değiştirdiğini göstermiştir. MP ilavesi bazı parametrelerde artışa neden olurken bazılarında azalmaya neden olmuştur. Mikroplastik bulunan ortama Cd ilavesi ise bitkinin mikroplastik maruziyetine karşı oluşturduğu cevabı pek çok parametrede değiştirmiştir. Yapılan çalışma ile mikroplastiklerin marulda bitki gelişimi ve Cd birikimi üzerine etkileri çok net ortaya konmuştur. Toprağa ilave edilen mikroplastik miktarı arttıkça marul fidelerinin yapraklarında biriken Cd miktarının da arttığı belirlenmiştir. Bu durum, MP ve Cd'un birlikte var olduğu ortamlarda bitki gelişimi üzerinde farklı etkilere neden olabileceğini ve daha fazla Cd birikimine yol açarak Cd toksisitesinin etkilerini artırabileceğini göstermektedir. Sonuçlar gerek bitki gelişimi ve verimi gerekse sağlıklı gıda temini, ekosistemlerin devamlılığı ve çevre sağlığı açısından oldukça önemli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışma maddi olarak herhangi bir kuruluş tarafından desteklenmeyip, araştırmacının maddi imkanları ve üniversitenin mevcut laboratuvar olanakları dahilinde yapıldığı için daha fazla genişletilememiştir.

Farklı bitki, MP ve ağır metal türleri ile yapılacak olan daha ayrıntılı çalışmalar ile toprakta MP ve ağır metallerin tek tek ve birlikte bulunması durumunda bitkilerde ne gibi değişikliklerin ortaya çıkacağı konusunda genel kanıya varmanın mümkün olabileceği, aynı zamanda bu etkilere neden olan fizyolojik mekanizmaların da aydınlatılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akça M.O. ve Ok S.S. (2021). ‘Toprak ekosistemi üzerine mikroplastiklerin etkileri’, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2), 72-84.
- Akıncı C.Y., Yüksek T. ve Demirel Ö. (2016). ‘Ağır Metaller ile Kirlenmiş Toprağın İyileştirilmesinde Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* (Linn.) nash) ve Solucanların Kullanılması’, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi*, Araştırma makalesi, MBUD 1(1):1- 11. e-ISSN: 2548-0170.
- Akyıldız M. ve Karataş B. (2018). ‘Adana Şehir Merkezindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması’, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 199-214.
- Alım Z. (2020). ‘Hümk Asit Uygulamalarının Ağır Metal Stresi Altında Yetiştirilen Terede Bitki gelişimi ile Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkileri’, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı.
- Al Mahmud, J., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Rahman, A. and Fujita, M. (2017). ‘Relative tolerance of different species of *Brassica* to cadmium toxicity: Coordinated role of antioxidant defense and glyoxalase systems’, *Plant Omics*, 10(2), 107-117.
- Altıntaş R. (2022). ‘Hardal (*Brassica juncea* L.) Bitkisinin Kadmiyum Stresi Altında Fizyolojik, Biyokimyasal ve Fitoekstraksiyon Etkilerinin İncelenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Anabilim Dalı, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Apaydın A. (2005). ‘Sanayiden Kaynaklanan Toprak Kirliliğinin Araştırılması: Samsun-Tekkeköy Bölgesi’, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arı M. ve Öğüt S. (2021). ‘Mikroplastikler ve Çevresel Etkileri’, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 864-877.
- Asri F. Ö. ve Sönmez S. (2006). ‘Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri’. *Derim*, 23(2), 36-45.
- Ayhan B. , Ekmekçi Y. ve Tanyolaç D. (2007) . ‘Erken fide evresindeki bazı mısır çeşitlerinin ağır metal (kadmiyum ve kurşun) stresine karşı dayanıklılığının araştırılması’, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Araştırma Makalesi, Cilt:8-Sayı: 2, 411-422.
- Balcı T. (2019). ‘Ağır Metal Stresinin Roka (*Eruca sativa* L.)’da Bitki Gelişimi ve Fizyolojisi Üzerine Etkisi’, Yüksek Lisans Tezi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Sebze Yetiştirme ve Islahı Bilim Dalı, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayçu, G. (1997). ‘*Picea abies*’te Kadmiyum Toksisitesi ve Köklerde Kadmiyum Birikimi’ XIII. Ulusal Biyoloji Kongresi 17-20 Eylül 1996, *İstanbul Kongre Kitapçığı*, Cilt:III, s:433-442.

- Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E.M., van den Heuvel-Greve, M.J. and Koelmans, A.A. (2013). 'Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm, *Arenicola marina* (L.)', *Environmental Science and Technology*, 47, 593-600.
- Boots B., Russell CW. and Green DS. (2019). 'Effects of microplastics in soil ecosystems: above and below ground', *Environmental Science and Technology*, 53(19):11496–11506.
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C. and Peters, R. J. (2015). 'Potential health impact of environmentally released micro-and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology', *Environmental Science and Technology*, 49(15), 8932-8947.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., et all (2011). 'Accumulation of microplastic on shorelines woldwide: Sources and sinks', *Environmental Science and Technology*, 45, 9175–9179.
- Çatak E., Çolak G., Tokur Süleyman ve Bilgiç O. (2000). 'Bazı Domates ve Tütün Genotiplerinde Kadmiyum Etkilerini İnceleyen İstatistiksel Bir Çalışma', *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 13-41.
- Chen, S., Feng, T., Lin, X., Hou, Z., Chao, L., Zhang, X., et all (2023). 'Effects of microplastics and cadmium on the soil-wheat system as single and combined contaminants', *Plant Physiology and Biochemistry*.
- Crespy, D., Bozonnet, M. and Meier, M. (2008). '100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses', *Angewandte Chemie International Edition*, 47(18), 3322-3328.
- Darı A.B. (2022). 'Covid-19 Pandemisi Döneminde Plastik Atık Temelli Çevre Kirliliğini Konu Alan Kamu Spotları', *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitü Dergisi*, Yıl: 2022 Cilt: 0 Sayı: 40 Sayfa: 281 – 308.
- De Souza Machado AA, Lau CW, Kloas W, Bergmann J, Bachelier JB, Faltin E, et all (2019). 'Microplastics can change soil properties and affect plant performance', *Environmental Science and Technology*, 53(10), 6044–6052.
- Doyle, M. J., Watson, W., Bowlin, N. M. and Sheavly, S. B. (2011). 'Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific ocean', *Marine Environmental Research*, 71(1), 41-52.
- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N. and Tassin, B. (2015). 'Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris', *Environmental Chemistry*, 12(5), 592-599.
- Eryılmaz E. ve Demirarslan K.U. (2022). 'Plastik Kirliliğine Karşı Yeni ve Ön Bir Uyum Çalışması: Plastik Atık ve Toprak Karışımında Biber Bitkisinin Yetiştirilmesi', *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Araştırma Makalesi, Sayı 5(2), 74-83, Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Artvin Çoruh Üniversitesi.

- Esmeray E. ve Armutçu C. (2020). 'Mikroplastikler, Çevre-İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri ve Analiz Yöntemleri', *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 839-868.
- Frias, J. P. and Nash, R. (2019). 'Microplastics: Finding a consensus on the definition', *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145-147.
- Gabrys J, Hawkins G and Michael M. (Ed.), (2013). '11. International Pellet Watch: Studies of the Magnitude and Spatial Variation of Chemical Risks Associated with Environmental Plastics, in Accumulation: The Material Politics of Plastic, Oxon', UK: Routledge, 184-207.
- Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S. and Faggio, C. (2018). 'Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects', *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 64, 164-171.
- Güngör, S.S., Altuntaş, E.Ç. ve Yılmaz, M. (2022). 'Çevre Kirliliğinin Tarımsal Üretime Etkilerine İlişkin Öğretmen Adayı Görüşlerinin İncelenmesi', *International Journal of Contemporary Educational Studies (IntJCES)*, Araştırma Makalesi, 8(1), 88-105.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C. and 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.
- Huang, F., Hu, J., Chen, L., Wang, Z., Sun, S., Zhang, W., et al (2023). 'Microplastics may increase the environmental risks of Cd via promoting Cd uptake by plants: A meta-analysis', *Journal of Hazardous Materials*, 448, 130887.
- İbadullayeva J., Jumaniyazova K., Azimzadeh S., Canıgür S. ve Esen F. (2019). 'Çevre Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri', *Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Dergisi*, 1(3), 52-58.
- Jalil A., Mian R.N. and Muhammad K. (2013). 'Using Plastic Bags and Its Damaging Impact on Environment and Agriculture: An Alternative Proposal', *International Journal of Learning and Development*, 3(4), 1-14.
- Jazaei, F., Chy, T. J. and Salehi, M. (2022). 'Can Microplastic Pollution Change Soil-Water Dynamics? Results from Controlled Laboratory Experiments', *Water*, 14(21), 3430.
- Jin, Y., Xia, J., Pan, Z., Yang, J., Wang, W. and Fu, Z. (2018). 'Polystyrene microplastics induce microbiota dysbiosis and inflammation in the gut of adult zebrafish', *Environmental Pollution*, 235, 322-329.
- Kalkınma Bakanlığı Raporu (2018). 'On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)', Tarım Ve Gıdada Rekabetçi Üretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 1-3.
- Kılıçer, E. (2018). 'Plastik Poşet Vergisi ve Örnek Ülke Uygulamaları', *Vergi Sorunları Dergisi*, 357, 55-67.
- Köleli, N. ve Kantar, Ç. (2005). 'Fosfat Kayası, Fosforik Asit ve Fosforlu Gübrelerdeki Toksik Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, As) Konsantrasyonu', *Ekoloji Dergisi*, 14(55), 1-5.

- Li, J., Yu, S., Yu, Y. and Xu, M. (2022). 'Effects of microplastics on higher plants: a review', *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 109(2), 241-265.
- Lian, Y., Liu, W., Shi, R., Zeb, A., Wang, Q., Li, J., et al (2022). 'Effects of polyethylene and polylactic acid microplastics on plant growth and bacterial community in the soil', *Journal of Hazardous Materials*, 435, 129057.
- Liu, Y., Cui, W., Li, W., Xu, S., Sun, Y., Xu, G., et al (2023). 'Effects of microplastics on cadmium accumulation by rice and arbuscular mycorrhizal fungal communities in cadmium-contaminated soil', *Journal of Hazardous Materials*, 442, 130102.
- Lu, L., Wan, Z., Luo, T., Fu, Z. and Jin, Y. (2018). 'Polystyrene microplastics induce gut microbiota dysbiosis and hepatic lipid metabolism disorder in mice', *Science of the Total Environment*, 631, 449-458.
- Manjate, E., Ramos, S. and Almeida, C. M. R. (2020). 'Potential interferences of microplastics in the phytoremediation of Cd and Cu by the salt marsh plant *Phragmites australis*', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103658.
- Marenco, R. A., Antezana-Vera, S. A. and Nascimento, H. C. S. (2009). 'Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species', *Photosynthetica*, 47, 184-190.
- Meng, F., Yang, X., Riksen, M., Xu, M. and Geissen, V. (2021). 'Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth to soil contaminated with microplastics', *Science of the Total Environment*, 755, 142516.
- Meng Zhao, Li Xu, Xuexia Wang, Congping Li, Yujie Zhao, Bing Cao, et al (2023). 'Microplastics promoted cadmium accumulation in maize plants by improving active cadmium and amino acid synthesis', *Journal of Hazardous Materials*, 447, 130788.
- Moral, R., Gomez, I., Navarro Pedreno, J. and Mataix, J. (1994). 'Effects of Cadmium on Nutrient Distribution, Yield and Growth of Tomato Grown in Soilless Culture', *Journal of Plant Nutrition*, 17(6), 953-962.
- Muşlu, A. (2010). 'Buğday (*triticum aestivum* l.) fidelerinde sıcaklık – ağır metal etkileşimlerinin bitki büyümesi ve çözünür protein miktarı üzerine etkileri', Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı.
- Okçu, Tozlu, Kumlay ve Pehlivan (2009). 'Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri', *Alın Teri Dergisi*, Derleme Makalesi, 17(2), 14-26.
- Ölmez, Z.R.D. (2022). 'Ankara'da Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirlilik Düzeylerinin Belirlenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sürdürülebilir Tarım ve Tabii Bitki Kaynakları Ana Bilim Dalı.

- Özyiğit İ.İ. (2021). 'Tarım Topraklarında Ağır Metaller; Kökenleri, Yayılışları ve Etkileri' *Necmettin Erbakan Üniversitesi Ereğli Tarım Bilimleri Dergisi*, Araştırma Makalesi, 1(1), 46-72.
- Özyiğit, İ. İ., Abakirova, A., Hocaoglu-Özyiğit, A., Kurmanbekova, G., Chekirov, K., Yalçın, B., et al (2021). 'Cadmium stress in barley seedlings: Accumulation, growth, anatomy and physiology', *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(2), 204-223.
- Pauly, J. L., Stegmeier, S. J., Allaart, H. A., Cheney, R. T., Zhang, P. J., Mayer, A. G., et al (1998). 'Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue', *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention: a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 7(5), 419-428.
- Pinto-Poblete, Andrés, Jorge Retamal-Salgado, María Dolores López, Nelson Zapata, Angela Sierra-Almeida, et al (2022). 'Combined Effect of Microplastics and Cd Alters the Enzymatic Activity of Soil and the Productivity of Strawberry Plants', *Plants*, 11(4), 536.
- Qi Y, Yang X, Pelaez AM, Lwanga EH, Beriot N, Gertsen H, et al (2018). 'Macro-andmicro-plastics in soilplant system: effects of plasticmulch film residues on wheat (*Triticum aestivum*) growth', *Science of The Total Environment*, 645, 1048–1056.
- Qi, Y., Ossowicki, A., Yang, X., Lwanga, E. H., Dini-Andreote, F., Geissen, V., et al (2020). 'Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties', *Journal of Hazardous Materials*, 387, 121711.
- Ren, X., Tang, J., Wang, L. and Liu, Q. (2021). 'Microplastics in soil-plant system: effects of nano/microplastics on plant photosynthesis, rhizosphere microbes and soil properties in soil with different residues', *Plant and Soil*, 462, 561-576.
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T. and Teh, S. J. (2013). 'Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress', *Scientific reports*, 3(1), 1-7.
- Rucińska-Sobkowiak, R. (2016). 'Water relations in plants subjected to heavy metal stresses', *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-13.
- Saklı M. (2011). 'Ağır Metal Stresine Bitki Cevabında Nitrik Oksidin (NO) Koruyucu Rolünün Araştırılması', Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı.
- Seven T., Can B. , Darende B. N. ve Ocak S. (2018). 'Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği' *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Derleme Makale, Sayı 1(2): 91-103, Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Sharma, S. and Chatterjee, S. (2017). 'Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review', *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 21530-21547.

- Silva, A. B., Bastos, A. S., Justino, C. I., da Costa, J. P., Duarte, A. C. and Rocha-Santos, T. A. (2018). 'Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry-A review', *Analytica chimica acta*, 1017, 1-19.
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S. and Swan, S. H. (2009). 'Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends', *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 364(1526), 2153-2166.
- Van Assche, F. and Clijters, H. (1990). 'Effects of Metals on Enzyme Activity in Plants', *Plants Cell Environmental*, 13, 195-206.
- Wang, F., Zhang, X., Zhang, S., Zhang, S. and Sun, Y. (2020a). 'Interactions of microplastics and cadmium on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in an agricultural soil', *Chemosphere*, 254, 126791.
- Wang, F., Zhang, X., Zhang, S., Zhang, S., Adams, C. A. and Sun, Y. (2020b). 'Effects of co-contamination of microplastics and Cd on plant growth and Cd accumulation' *Toxics*, 8(2), 36.
- Wang, F., Wang, X. and Song, N. (2021). 'Polyethylene microplastics increase cadmium uptake in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by altering the soil microenvironment. *Science of the Total Environment*, 784, 147133.
- Wang, L., Gao, Y., Jiang, W., Chen, J., Chen, Y., Zhang, X., et al (2021). 'Microplastics with cadmium inhibit the growth of *Vallisneria natans* (Lour.) Hara rather than reduce cadmium toxicity', *Chemosphere*, 266, 128979.
- Wang, Q., Meng, L., Liu, W., Zeb, A., Shi, R., Lian, Y., et al (2023). 'Single and combined effects of polystyrene nanoplastics and Cd on submerged plants *Ceratophyllum demersum* L.', *Science of The Total Environment*, 872, 162291.
- Wright, S. L., Thompson, R. C. and Galloway, T. S. (2013). 'The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review', *Environmental Pollution*, 178, 483-492.
- Wu, J., Liu, W., Zeb, A., Lian, J., Sun, Y. and Sun, H. (2021). 'Polystyrene microplastic interaction with *Oryza sativa*: toxicity and metabolic mechanism', *Environmental Science: Nano*, 8(12), 3699-3710
- Xu B, Liu F, Cryder Z, Huang D, Lu Z, He Y, et al (2020). 'Microplastics in the soil environment: occurrence, risks, interactions and fate—a review', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(21), 2175-2222.
- Yingying Liu, Wenzhi Cui, Wenguang Li, Shuang Xu, Yuhuan Sun, Guangjian Xu, et al (2023). 'Effects of microplastics on cadmium accumulation by rice and arbuscular mycorrhizal fungal communities in cadmium-contaminated soil', *Journal of Hazardous Materials*, 442, 130102.
- Yurtsever, M. (2015). 'Mikroplastikler'e Genel Bir Bakış', *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17(50), 68-83.

- Yurtsever, M. (2019). ‘Nano-ve mikroplastik’lerin insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki olası etkileri’, *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 5(2), 17-24.
- Yurtsever, M. ve Yurtsever, U. (2019). ‘Use of a convolutional neural network for the classification of microbeads in urban wastewater’, *Chemosphere*, 216, 271-280.
- Zengin, Büşra (2019). ‘Kadmiyum Stresi Altında Yetiştirilen Buğdayda Ekzojen Molibden Uygulamasının Tolerans, Büyüme ve Kloroplastik Antioksidanlar Üzerindeki Etkileri’, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı.
- Zhang, Z., Li, Y., Qiu, T., Duan, C., Chen, L., Zhao, S., et all (2022). ‘Microplastics addition reduced the toxicity and uptake of cadmium to Brassica chinensis L.’, *Science of the Total Environment*, 852, 158353.
- URL1:<https://worldpopulationreview.com/country-rankings/plastic-pollution-by-country> (erişim tarihi: 23.04.2023)
- URL2: <https://mikroplastik.org/mikroplastik-nedir> (erişim tarihi: 23.04.2023)
- URL3: <https://www.tarimtedarik.com/simila-marul-tohumu> (erişim tarihi: 22.01.2023)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Gizem YÜCEL TARTAN

Bilimsel Faaliyetler

1. TÜBİTAK 4004 Doğa Eğitimi ve Bilim Okulları Destekleme Programı, Samsun Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Kampı, Öğretmen Kampı, Samsun (2021, 17-20 Aralık)

