



**FARKLI AĞIR METAL UYGULAMALARININ MISIR
(*Zea mays* L.)’DA METAL BİRİKİMİ İLE,
MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ümit ELİK

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DUMLU GÜL
Yüksek Lisans Tezi
Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı**

2022

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

**FARKLI AĞIR METAL UYGULAMALARININ MISIR (*Zea mays* L.)’DA METAL
BİRİKİMİ İLE MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN
BELİRLENMESİ**

(Determination of the Effects of Different Heavy Metal Applications on Metal Depositing and
Morphological and Physiological Properties In Maize (*Zea mays* L.))

YÜKSEKLİSANS TEZİ

Ümit ELİK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DUMLU GÜL

Erzurum
Ağustos, 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Ümit ELİK tarafından hazırlanan “FARKLI AĞIR METAL UYGULAMALARININ MISIR (Zea mays L.)’DA METAL BİRİKİMİ İLE, MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı çalışması 17 / 08 / 2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Çayır Mera Yem Bitkileri Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Binali ÇOMAKLI Atatürk Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DURLU GÜL Atatürk Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Mustafa TAN Trakya Üniversitesi	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü
Aslı Islak İmzalıdır

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi (BAP) kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: FYL-2021-9360

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

	FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ Graduate School of Natural and Applied Sciences	
TEZ BENZERLİK ORANI BEYAN FORMU¹		
Öğrencinin Adı ve Soyadı	Ümit ELİK	
Öğrencinin Numarası	19042804003	
Ana Bilim Dalı	Tarla Bitkileri	
Bilim Dalı	Çayır Mera ve Yem Bitkileri	
Öğrencinin Kayıtlı Olduğu Program Türü	Yüksek Lisans	
Tezin Adı: FARKLI AĞIR METAL UYGULAMALARININ MISIR (<i>Zea mays L.</i>) BİTKİSİNDE AĞIR METAL BİRİKİMİ, MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ		
Yukarıda bilgileri verilen tezin intihal tespit yazılımıyla (Turnitin) yapılan tarama sonucunda elde edilen benzerlik oranları aşağıdaki gibidir. Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.		
Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	12	30
Kuramsal Temeller	10	30
Materyal ve Yöntem	27	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	9	20
Sonuçlar ve Öneriler	9	20
Tezin Geneli	15	25
Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.		
Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı	
Ümit ELİK	Dr.Öğretim Üyesi Zeynep GÜL	
2.8.2022	2.8.2022	
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır	
¹ Bu form bilgisayar ortamında doldurulmalı, çıktısı imzalanıp Tez Savunması Jüri Öneri Formu'yla birlikte Ana Bilim Dalı Başkanlığı aracılığıyla ÜBYS üzerinden Enstitüye iletilmelidir.		

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışman hocam olmayı kabul eden, bilgisini, desteğini, tecrübesini ve hoşgörüsünü esirgemeyen çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üy. Zeynep DUMLU GÜL'e, her zaman bilgilerine başvurduğum değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Mustafa TAN'a (Trakya Üniversitesi, Havsa Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü öğretim üyesi), Sayın Prof. Dr. Binali ÇOMAKLI'ya (Tarla Bitkileri Bölümü öğretim üyesi), Prof. Dr. Ertan YILDIRIM'a (Bahçe Bitkileri Bölümü öğretim üyesi) ve Prof. Dr. Melek EKİNCİ'ye (Bahçe Bitkileri Bölümü öğretim üyesi) teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimine (BAP)(Proje No: FYL-2021-9360) ve Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi çalışanlarına teşekkür ederim

Çalışmalarında her zaman yanımda olup bilgi ve desteklerini esirgemeyen Kahramanmaraş İl Tarım ve Orman Müdürlüğünde çalışmakta olan arkadaşım Ziraat Yüksek Mühendisi Mehmet SÜRME'ye teşekkür ederim

Bütün hayatım boyunca yanımda olan, bana inanıp güvenen sevgili babama, anneme ve tez yazım süresince bana moral veren eşim Şehriban ELİK'e, ayrıca motivasyon kaynağım kızım Beren ELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ümit ELİK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI AĞIR METAL UYGULAMALARININ MISIR (*Zea mays* L.)’DA METAL BİRİKİMİ İLE, MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Ümit ELİK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DURLU GÜL

Ağır metallerle kirlenmiş toprakların fiziksel ve kimyasal yollarla kirliliklerinin giderilmesi ekonomik olmamakla beraber uzun zaman almaktadır. Bunun yerine fitoremediasyon tekniği olarak bilinen, hiperakümülatör bitkilerin aracılığıyla kirliliğin giderilmesi yöntemi son yıllarda önem kazanmıştır. Bu konuda pek çok çalışma yapılarak bitkilerin ağır metal toleransları ve dokularındaki birikim kabiliyetleri araştırılmaktadır. Mısır bitkisinin diğer tahıllara göre endüstride kullanımının artış içinde olduğu bilinmektedir. Bunun yanında iyi bir besin kaynağı olması ve ağır metal birikimi konusunda yapılan çalışmaların az olması tercih sebebi olmasını sağlamıştır. Araştırma, 2021 yılında Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi uygulama seralarında saksılarda yürütülmüş ve denemede Dekalp 6442 mısır çeşidine ait tohumlar kullanılmıştır. Deneme; kadmiyum 3 doz ($\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (100, 200 ve 300 mg/kg), kurşun 3 doz (PbNO_3 (1000, 2000 ve 3000 mg/kg) ve 1 kontrol grubu (hiçbir uygulama yapılmayan) olmak üzere 7 uygulama, 3 tekrür ve her tekrürden 5 saksı olacak şekilde toplamda 105 ($7 \times 3 \times 5 = 105$) saksıda tesadüf parselleri deneme deseninde yürütülmüştür. Çalışma sonucunda ağır metal uygulamalarının bitki gelişimi (fide boyu, gövde çapı, taze ve kuru ağırlık vb.), fizyolojik özellikler (doku oransal su içeriği, doku elektrik iletkenliği) ve biyokimyasal (klorofil miktarı, süperoksit distumaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD) enzim aktiviteleri vb.) parametrelerini kontrol grubuna göre olumsuz etkilediği görülmüştür. Uygulanan en düşük kadmiyum dozunun, en yüksek kurşun dozlarından daha fazla bitkide toksisite oluşturduğu gözlenmiştir. Toprak, kök ve bitkinin toprak üstü aksamındaki ağır metal birikimi sonuçları ise mısırın kadmiyumu, kurşundan daha fazla bünyesine alıp biriktirdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mısır, Cd, Pb, Ağır Metal,

Ağustos 2022, 59 sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT HEAVY METAL APPLICATIONS ON METAL DEPOSITING AND MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PROPERTIES IN MAİZE (*Zea mays* L.)

Ümit ELİK

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DUMLU GÜL

Removal of heavy metal-contaminated soils by physical and chemical means is not economical, but takes a long time. Instead, the method of removing pollution by means of hyperaccumulator plants, known as phytoremediation technique, has gained importance in recent years. Many studies have been carried out on this subject and the heavy metal tolerance of plants and their accumulation ability in their tissues are being investigated. It is known that the use of corn plant in industry is increasing compared to other grains. In addition, the fact that it is a good food source and that there are few studies on heavy metal accumulation has made it the reason for preference. The research was carried out in pots in Atatürk University Crop Production Application and Research Center application greenhouses in 2021 and seeds of Dekalp 6442 corn (*Zea mays* L.) cultivar were used in the experiment. Attempt; cadmium 3 doses ($\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (100, 200 and 300 mg/kg), lead 3 doses (PbNO_3 (1000, 2000 and 3000 mg/kg), 1 control group (no application)) 7 applications, 3 replications and The study was carried out in a randomized plot design in 105 ($7 \times 3 \times 5 = 105$) pots, 5 pots from each replication. As a result of the study, plant growth (seedling height, stem diameter, fresh and dry weight, etc.), physiological characteristics (tissue proportional water content, tissue electrical conductivity) and biochemical (chlorophyll amount, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) enzyme activities, etc.) parameters were observed to adversely affect compared to the control group. The results of heavy metal accumulation in the soil, roots and above-ground parts of the plant showed that maize absorbs and accumulates cadmium more than lead.

Keywords: Corn, Cd, Pb, Heavy Metal,

August 2022, 59 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİN	x
GİRİŞ.....	1
Ağır Metaller.....	1
Kurşun (Pb).....	2
Kadmiyum (Cd)	3
Mısır (<i>Zea mays L.</i>).....	5
KURAMSAL TEMELLER.....	6
Kurşun ile İlgili Çalışmalar.....	8
Kadmiyum ile İlgili Çalışmalar.....	10
MATERYAL ve METOT	14
Materyal	14
Deneme yeri ve yılı	14
Denemede kullanılan mısır çeşidi	14
Yöntem.....	14
Denemenin kurulması	14
Ağır Metal Uygulamaları	14
Yaprak alanı (cm ² /bitki).....	15
Kök ve bitki analizleri.....	15
Toprak analizleri	15
Doku elektriği iletkenliği	16
Doku oransal su içeriği (DOSİ)	16
Katalaz (CAT) enzim aktivite analizi	16
Peroxidaz (POD) enzim aktivite analizi	17

Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivite analizi	17
Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) analizi (mmol/kg)	17
Malondialdehit (MDA) analizi.....	17
İstatistiksel Değerlendirme.....	18
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	19
Fide Boyu.....	19
Toprak üst aksam ve kök, yaş kuru ağırlıkları	20
Gövde çapı ve yaprak sayısı.....	23
Klorofil ve yaprak alanı	24
Eİ ve DOSİ.....	24
Toprak, kök ve bitki metal birikimi	25
Antioksidan Enzim Aktivitesi.....	29
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR.....	35

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Ağır Metallerin (Cd, Pb) Mısır Bitkisinde Fide boyu, Bitki Taze Ağırlığı, Bitki Kuru Ağırlığı, Kök Taze Ağırlığı, Kök Kuru Ağırlığı Değerlerine Ait Varyans Analizi Tablosu	19
Tablo 2. Pb ve Cd Uygulamalarının Mısır Bitkisinde Fide Boyu, Bitki Taze, Bitki Kuru, Kök Taze ve Kök Kuru Ağırlığı Üzerine Etkisi ¹	20
Tablo 3. Uygulamaların Mısır Bitkisinde Gövde Çapı, Yaprak sayısı, Klorofil Değeri, Yaprak Alanı, Elektriksel İletkenlik ve DOSİ Değerlerine Ait Varyans Analizi Tablosu.....	23
Tablo 4. Uygulamaların Mısır Bitkisinde Gövde Çapı (mm), Yaprak Sayısı (adet/bitki), Klorofil Değeri (SPAD) ve Yaprak Alanı (cm ² /bitki) Üzerine Etkisi ¹	24
Tablo 5. Uygulamaların Mısır Bitkisinde Elektriksel İletkenlik (%) ve DOSİ (%) Üzerine Etkisi	24
Tablo 6. Uygulamaların Toprakta, Bitkide ve Kökteki Birikim (ppm) Değerlerine Ait Varyans Analiz Tablosu.....	25
Tablo 7. Farklı Pb Dozlarının, Toprak, Bitki ve Kökteki Birikimlerine (ppm) Ait Ortalamalar.....	26
Tablo 8. Farklı Cd Dozlarının, Toprak, Bitki ve Kökteki Birikimlerine (ppm) Ait Ortalamalar ¹	28
Tablo 9. Türkiye Toprak Ağır Metal Sınır Değerleri (mg/kg).....	29
Tablo 10. FAO/WHO'nun Bitkilerde Kabul Ettiği Ağır Metal Sınır Değerleri (mg/kg)	29
Tablo 11. Cd ve Pb Uygulamalarının Mısırdaki Antioksidan Enzim Aktivitelerine (H ₂ O ₂ , CAT, POD ve SOD) Ait Varyans Analizi Tablosu	29
Tablo 12. Cd ve Pb Uygulamalarının Mısır Bitkisinde Antioksidan Enzim Aktiviteleri (CAT, POD ve SOD) Üzerine Etkisi	30
Tablo 13. Cd ve Pb Uygulamalarının Mısır bitkisinde Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) ve Lipid Peroksidasyon (MDA) İçeriği Üzerine Etkisi	31

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Mısırdan fide çıkışı	18
Şekil 2. Mısırdan Kurşun uygulaması	21
Şekil 3. Mısırdan Kadmiyum uygulaması.....	22
Şekil 4. Mısır bitkisinde toprak, kök ve bitkideki Kurşun konsantrasyonlarına ait değişim grafiği	27
Şekil 5. Mısır bitkisinde toprak, kök ve bitkideki Kadmiyum konsantrasyonlarına ait değişim grafiği.....	28



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİN

%	: Yüzde
ATSDR	: Toksik maddeler ve hastalık sicil dairesi
°C	: Santigrad derece
C17H20N4O6	: Riboflavin
C4H4N2O2S	: Tiyobarbitürik asit
C5H11NO2S	: Metiyonin
CAT	: Katalaz enzim aktivitesi
Cd	: Kadmiyum
cm ²	: Santimetrekare
COH	: Hidroksil
Cu	: Bakır
DHA	: Dehidroaskorbat
DHAR	: Dehidroaskorbat redüktaz
dk	: Dakika
EC	: Elektriksel iletkenlik
EDTA	: Etilen diamin tetraasetik asit
ETH	: Elektron taşıma hızı
Fe	: Demir
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
K	: Potasyum
KA	: Kuru ağırlık
kl	: Klorofil
MDA	: Malondialdehit
MDHA	: Monodehidroaskorbat
Mn	: Manganez
NADPH	: İndirgenmiş Nikotinamid adenin dinükleotid fosfat
NBT	: Nitrobluetetrazolyum
Ni	: Nikel
O ₂ ⁻	: Süperoksit radikali
OH.	: Hidroksil radikali
Pb	: Kurşun

POD	: Peroksidaz
SOD	: Süperoksit dismutaz
TA	: Taze ağırlık
Zn	: Çinko
μ	: Mikron
μL	: Mikrolitre
μM	: Mikromolar



GİRİŞ

Ağır metaller, çevresel dengeyi bozan, canlı büyüme ve gelişimini önemli düzeyde engelleyen ve çevreyi kirleten temel etkenlerden biridir (Ruis-Jiménez *et al.* 2003). Çevre ve doğal kaynakların kirlenmeye karşı korunması kadar mevcut kirlenmiş alanların temizlenmesi de çevre kirliliğini önlemede büyük önem taşımaktadır. Günümüzde pestisit ve kimyasalların bilinçsiz kullanımı, kentleşme, endüstri ve sanayi faaliyetlerinin artışı; çevresel kirliliği, beraberinde ağır metal birikimini getirmektedir. Toprağa, havaya ve suya karışan ağır metaller çeşitli yollarla canlılara ulaşarak, insan, hayvan ve bitki yaşamında tehdit unsuru oluşturmaktadır. Ağır metaller biyolojik olarak parçalanamadığından, toprakta oluşturdıkları kirliliğin giderilmesi oldukça güçtür. Toprak en değerli doğal kaynaklarımızdan birisidir. Ağır metaller su ve toprak içerisinde hem çözülmüş formlarda (bu durum omurgalıları dahil çok çeşitli organizmalar üzerinde toksik etkilere sahiptir) hem de partikül halinde bulunabilirler. Ağır metal konsantrasyonlarının kentsel veya endüstriyel alanlarda doğal ortamlara göre çok daha fazla olduğu büyük ölçüde kabul edilmiştir (Rawat *et al.* 2003; Breward 2003; Marcovecchio 2004). Bu sebeple kentsel veya endüstriyel alanlarda ağır metallerin içme suyuna, tarım arazilerine, sulama kanallarına veya trofik ağlara katılma olasılığı söz konusu olup insan popülasyonları üzerinde zararlı etkilerinin oluşması olasıdır (Obbard 2001; Quinn *et al.* 2003; Jha 2004). Ağır metaller, hem bitkilerde hem de diğer canlılarda doğal olarak belirli sınır değerlerde bulunurlar. Çünkü canlı metabolizmasında yapısal olarak çeşitli görevlere sahiptirler. Bu sebeple, eksikliklerinde canlı organizmalarda bir takım yapısal bozukluklar oluşabilmekte ve birçok fizyolojik sorun gelişebilmektedir. Buna ek olarak, ağır metaller aşırı dozda alındığında canlı organizmaların yaşam koşullarını tehdit edebilecek bir takım tepkimelerin gelişmesine neden olabilirler. Bu duruma genel olarak ağır metal zehirlenmesi veya toksisitesi denilmektedir (Sossé *et al.* 2004).

Ağır Metaller

Topraktaki ağır metal kirliliğinin dünya çapında yaklaşık 235 milyon hektar ekilebilir alanı etkilediği bilinmektedir (Bermudez *et al.* 2012). Her türlü kirlilikte görüldüğü gibi, ağır metal kirliliğinde de ekseri bitkiler etkilenmektedir (Yaldız ve Şekeroğlu 2013). Ağır metallerle kontamine topraklarda yetişen bitkilerin, trafik ve benzeri çevre kirliliği olan yerlerden uzak kontrollü yerlerde yetişen bitkilere kıyasla topraktan 3,3 kat daha fazla kadmiyum 4,3 kat fazla kurşun ve 2,3 kat daha fazla çinko'yu bünyesine aldığı tespit edilmiştir (Stancheva *et al.* 2011).

Her bitkinin, ağır metali bünyesine alım eğilimi farklılık göstermektedir. Literatürde ‘birikim, belirti ve hariç tutma’ olarak nitelendirilen bu içsel mekanizmalardan bitkinin hangisi ya da hangilerini kullanacağı, bitkilerin içsel savunma eğilimlerine göre değişmektedir (Yılmaz 2019). Bunun yanında yapılan birçok çalışma, bitkinin metali bünyesine alımında bir türün genotipleri arasında bile büyük farklılıklar olduğunu göstermiştir (Kabata-Pendias 2011). Bitkiler genellikle toprak bünyesinde iyon halinde yer alan ağır metalleri kökleri vasıtasıyla alırlar. Atmosferde bulunan ağır metalleri yaprakları vasıtasıyla bünyesine alabilen bitkilerde mevcuttur (Harrison and Laxen 1980; Marschner 1995). Bitkide ağır metal stresinin olumsuz etkisi yalnız metalin türü ve topraktaki konsantrasyonuna bağlı değildir. Değişik türlerin genetiğine bağlı olarak fizyolojik davranışlarıyla da oldukça ilgilidir (Yıldız 2001). Bu durum farklı bitki türlerinin ağır metal stresine karşı tolerans eşiklerinin farklı olduğunu göstermektedir. Araştırmacılar bazı bitki türlerinin metal içeriği yüksek topraklarda toksik bileşenleri tolere edebileceğini tespit etmişlerdir (Dahmani-Müller *et al.* 2000; Raskin and Ensley 2000).

En önemli toprak kirleticileri olarak kabul edilen ağır metallerin mevcut ortamdan giderilmesi için uygulanan fiziksel ve kimyasal yöntemler ekonomik değillerdir ve çok zaman almaktadır. Bunun yerine doğal ve ekonomik alternatifler üzerinde durulmaktadır. İyileştirici ajan ya da yeşil ıslah olarak da tanımlanan fitoremediasyon yöntemi, hiperakümülatör bitkiler tarafından kirliliğin giderilmesi için yapılan bir uygulamadır. Farklı atıkların sebep olduğu kirlenmiş toprakların bitkiler yoluyla temizlenme fikri yeni değildir. Takribi 300 yıl öncesinde atık suların işlenmesinde bitkilerin kullanılması önerilmiştir (Hartman 1975). Hiperakümülatör bitkiler olarak isimlendirilen bitkiler bünyelerinde (yaprak dal ve gövdelerinde) toprakta varolan metal içeriğinden 50 ile 500 kat daha çok metal biriktirebilmektedirler (Clemens 2006). Başka bir deyişle, bu sınıfa giren bitkiler toprak üstü aksamalarında hiperakümülatör olmayan bitkilere göre 100 ile 1000 kat daha fazla organik maddeyi bulundurabilirler (Brooks 1998). Hiperakümülatör bitkilerin kök, yaprak ve gövdelerinde bu metalleri akümüle etme yapısına sahip olması, bitkinin hasat edilmesiyle toprağın metalden temizlenmesine olanak vermektedir. Bitkilerin ağır metal stresine karşı toleranslarının bitkinin türüne, ağır metale, stres altında kaldığı süreye göre değiştiği bilinmektedir. Dolayısıyla ağır metalin çeşidi ve konsantrasyonunun verdiği zararın etkisinin hangi dokuya zarar verip, hangi dokuda biriktiğinin bilinmesi bitkilerde hayatsal olaylar açısından çok önemlidir.

Kurşun (Pb)

Kurşun; hava, su ve toprak vasıtasıyla; besin zincirine, sonrasında biyolojik sistemlere dahil olan son derece zehirleyici özelliklere sahip, endüstride kullanımı yaygın olan metallerden

birisidir (Aslanhan 2012). Günümüzde madenlerden yıllık 4 milyon ton kurşun çıkarıldığı bilinmektedir (Nassouhi 2018). Kurşunun eritilmesi, inceltilmesi ve gayri resmi geri dönüşümü, kurşunlu benzin kullanımı, seramik sanayi, piller, boyalar, kurşunlu cam, askeri mühimmat, pestisitler, çatı kaplaması ve elektronik atıklar kurşun metalinin çevredeki oranını arttıran etmenlerin başında gelir. Bu faaliyetlerden kaynaklı çevrede kurşun metal seviyesinin son 30 yıl içinde 1000 katına kadar yükseldiği bilinmektedir (Sağlam ve Cihangir 1995; Çolak 2009). İnsan faaliyetleri kaynaklı, ekolojik sisteme ciddi zararlar veren ilk metal olma özelliği taşımaktadır (Çetinkaya 2011).

Toprak bünyesinde varolan kurşunun yüksek oranlarda olması özellikle tarla bitkilerinin büyüme ve gelişmesini etkileyerek, verimin azalmasına sebep olmuştur. (Wang *et al.* 2006; Zheljazkov *et al.* 2006). Bitki bünyesinde biriken bu metaller, besin zincirine dahil olup, diğer canlılara ulaşarak, insan sağlığına zarar verecek toksik düzeye ulaşmaktadır. İnsan beslenmesinde önemli bir yeri olan bitkilerin, metalleri ne kadar biriktirdikleri, nerde biriktirdikleri ve ne ölçüde hasar gördüklerinin tespiti sağlık açısından önemli bir yere sahiptir. Bitki çeşitlerinde farklılık göstermekle beraber, belli bir orandan sonra kurşun alınımlı, bitkilerde çeşitli zararlar meydana getirmektedir. Tohum çimlenmesindeki enzimatik reaksiyonları olumsuz etkileyerek, çimlenmeyi inhibe ettiği bilinmektedir (Morzek and Funicelli 1982; Dabas 1992; Çolak 2009). Bitki bünyesindeki klorofil miktarını azaltarak vejetatif büyümeyi yavaşlatmaktadır (Kahvecioğlu vd. 2003). Bunun yanında kök gelişimini olumsuz etkileyerek, bitkilerde kloroz ve bodur kalmaya sebep olup, bitkinin ölümüne dahi sebep olabilmektedir (Symeonidis *et al.* 1985, Kahvecioğlu vd. 2003, Doğan vd. 2018).

Kurşun toksisitesinin bitkideki etkisi metalin emilimine, taşınmasına ve hücrel lokalizasyona bağlı olarak değişmektedir (Çolak 2009). Kurşun içeriği yüksek ortamlarda yetişen, organlarında yüksek Pb'yi düzenleme yeteneğinde olan bitki türlerinin olduğu bilinmektedir (Johnson and Proctor 1977). *Casia tora* ve *C. Occidentalis* bitkileri, yol kenarlarında yetişmekte olup 300 mg/g kuru ağırlıkta Pb'yi doku ve organlarında biriktirebildiği rapor edilmiştir (Krishnayappa and Bedi 1986). Kurşun elementi bitki köklerinde, sürgünlere göre daha fazla birikmektedir. Biriktirilen kurşun miktarı mısır ve bezelye yapraklarında, Vigna kök nodüllerinde ve susam kök ve yapraklarında çevredeki metal artmasına bağlı olarak artmıştır (Dabas, 1992; Kumar *et al.* 1992; Bharti ve Singh 1993). Kök yüzeyine ve hücre duvarına bağlanma nedeniyle sürgünlere taşınımı genellikle sınırlıdır.

Kadmiyum (Cd)

Ağır metaller olarak adlandırılan çevresel kirleticiler arasında en önemli yere sahip olan ağır metallerden birisi kadmiyumdur. Kadmiyum, çinko üretiminin yan ürünü olarak bilinir.

Diğer metallere kıyasla suda çözünabilirliği ve hareketliliği daha fazla olduğu için havaya, bitkilere ve su kaynaklarına kolayca karışabilmektedir. Endüstride pil üretiminde, korozyona, denizel koşullara dayanıklı olması dolayısıyla gemi, boya ve elektronik sanayinde, çeliklerin kaplanması, PVC stabilizatörü olarak ve alaşımlarda kullanılmaktadır. Madencilik, fosil yakıt yakma, kanalizasyon çamuru bertaraf ve toprağa fosfat (P) gübre uygulaması gibi antropojenik faaliyetler, topraktaki Cd içeriğini yükseltmiştir (Stafford *et al.* 2018). Örneğin Danimarka'da yukarıda belirtilen yollarla Cd konsantrasyonu toprakta her yıl yaklaşık % 0,6'lık bir artış göstermektedir (Alloway 1995). Bitkilerde verimi azalttığı gibi, kalite ve ürün miktarını da olumsuz etkiler (Tüver 2021). Cd, esansiyel (belli miktarda alınması gereken) olmayan bir eser element olmasına rağmen bitki kökleri tarafından emilebilir ve hava kısımlarına taşınabilir (Senden and Wolterbeek 1990). Cd ile kontamine toprakta yetişen bitkilerin yenilebilir bitki dokularında Cd biriktirdiği durumlarda, eser element, gıda ve hayvan yeminin kontaminasyonu yoluyla insan ve hayvan sağlığını tehdit edebilir (Simmler *et al.* 2013).

Kadmiyumun bitkilerde oksidatif strese sebep olan toksik bir ağır metal olduğu bilinmektedir (Bahmani *et al.* 2012). Doğada kadmiyum, metallere, fosfat ve kaya mineralizasyon sürecinden serbest kalmaktadır (Nriagu and Pacyna 1988; Baker *et al.* 1990). Toprak-bitki alışverişinde bu metalin yüksek oranda hızlı olması bitkiye ve besin zincirine geçişini kolaylaştırmaktadır (Nogawa *et al.* 1987). Çevresel bir kirletici olarak bilinen Cd ile ilgili yapılan araştırma sayısının çok olduğu bilinmekle beraber, bitkideki toksik etkisinin mekanizması detaylı olarak anlaşılabilmiş değildir (Di Toppi and Gabrielli 1999). Yüksek oranlarda kadmiyum stresi altında kalan bitkilerde çok sayıda toksik etkiler oluşmaktadır. Büyümede gecikmeye, fotosentezin baskılanmasına (engellenmesine), bitki-su ilişkisinde değişikliğe (azalmaya), makro ve mikro besin maddelerinin alımı ve dağıtılmasında, stoma hareketlerinde aksaklığa, enzimatik aktivitelerde ve protein metabolizmasında olumsuzluklara sebep olmaktadır (Prasad 1995; Ramos 2002; Jali *et al.* 2016).

Son zamanlarda artan kurşun ve kadmiyum kirliliği, ülkemiz için de gittikçe önem kazanmaya başlamıştır. Özellikle tarım yapılan topraklarda bu metallerin birikimi insan beslenmesinde büyük yeri olan buğday, arpa ve mısır gibi bitkilerde önemli verim kayıpları meydana getirmektedir. Türkiye'de içinde olmak üzere birçok ülkede toprak kirliliği sorunu başlıca Pb, Cu ve Zn metalleri ile ilgilidir. Amerika'da Toksik Madde ve Hastalık Kayıt Ajansı (ATSDR) tarafından 2015'de yayınlanan bildiride 275 öncelikli tehlikeli kirleticiler içerisinde Pb, Cd sırasıyla 2. ve 7. sıralardadır (ATSDR 2017).

Mısır (*Zea mays L.*)

Amerika kıtasının yerli bitkisi olan mısır, günümüzde bütün dünyada en çok ekilen kültür bitkilerinden biri haline gelmiştir. Dünya üzerinde çoğunluğu ılıman kuşakta olmak üzere 196,982 bin ha ekim alanı vardır (FAO 2020). Üretimi yapılan mısırın %60'ı hayvan yemi, %20'si insan gıdası tüketimi, %10'u işlenmiş gıda ve %10'u diğer tüketimler ile tohumluk olarak kullanıldığı varsayılmaktadır (Bilgiç vd. 2012). Hayvan yemi olarak mısır tohumları tek mideli hayvanların ve kümes hayvanlarının beslenmesinde kullanılır. Bu amaçla üretilen sanayi yeminin en önemli ham maddelerinden birisidir. Yüksek verimli olması, yetiştiriciliğinin yaygın olarak yapılması, nakliye, depolama işlemlerinin sorunsuz ve ıslah yoluyla devamlı geliştirilmeye uygun olmasıyla endüstride kullanımı oldukça yaygındır ve gün geçtikçe artmaktadır.

Mısır üretiminde ilk üç sırada Amerika Birleşik Devletleri, Çin Halk Cumhuriyeti ve Brezilya (FAO 2020). Türkiye, Dünya mısır üretiminde 23. sırada yer almaktadır (FAO 2020). Dane mısırın, Türkiye'deki ekim alanı (6,9 milyon da) ve üretim miktarı (6,5 milyon ton) açısından en çok yetiştiriciliği yapılan ürünlerin başındadır (TÜİK 2021). Ana ürün ve ikinci ürün olarak ekilebilmesi ve diğer kültür bitkilerine göre daha az iş gücü gerektirmesi en önemli avantajları arasında yer almaktadır. Mısır, silaj (hayvan yemi), yağ, un, patlamış mısır, haşlanmış mısır ve tatlandırıcı olarak kullanılabilmesinin yanısıra ekonomik olarak da önemli bir kültür bitkisidir. Bu sebeplerle mısır üretimi ihtiyaç ve talebe bağlı olarak her yıl artış göstermektedir. Örneğin, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin yalnızca Diyarbakır, Mardin ve Şanlıurfa şehirlerinde sulama suyu imkânlarının geliştirilmesiyle mısıra ayrılan üretim alanları 15-20 yıl öncesine kıyasla yaklaşık 4-8 kat artış göstermiştir (TÜİK 2021).

Bu çalışmada, günümüz artan çevre kirliliğinin öne çıkan metallerinden ikisi olan kurşun ve kadmiyumun varlığında mısır bitkisinin fizyolojik ve morfolojik özelliklerinin nasıl etkileneceği, bu metalleri bitkinin bünyesine alma potansiyelini, kökünde yada toprak üstü aksamından hangisinde daha çok biriktirebildiğini belirlemek amaçlanmıştır.

KURAMSAL TEMELLER

Son yüzyılın başından itibaren insan aktiviteleri sonucu ağır metaller, tüm ekosistemi kirletmektedirler. Değişik yollarla havaya serbest bırakılan ağır metaller yağ ve kuru birikme ile sulara ve yeraltı sularına karışarak ekolojik dengeyi negatif yönde etkilemektedirler (Seven vd. 2018). Birleşmiş Milletlere göre 2050 yılına gelindiğinde dünya genelinde temiz su gereksinimi %40 oranında artış göstererek, dünya nüfusunun en az dörtte birlik kısmını içine alan "kronik" boyutta, tekrar eden temiz su sıkıntısıyla karşı karşıya bırakacaktır (Bütünoğlu 2018). Atmosfer ve sudaki kirlenme dolaylı olarak bitki ve toprak ekolojisinde de sorunlara yol açmaktadır (Seven vd. 2018).

İnsan faaliyetleri sonucu, toprağa bulaşan kimyasalların, toprağın özümleme kapasitesinden yüksek olmasına bağlı olarak, ortamda yaşayan canlılar, bitkiler ve bu bitkilerden beslenen canlıların zarar görmesi, toprağın verimliliğinin düşmesi, toprak kirliliğinin tanımı olarak verilebilir (Özbek 2010). Toprak yapısının bozulmasına neden olan kirleticilerin başında, ağır metaller, arıtma çamurları, atık sular, gübreler ve katı atıklar gelmektedir (Başçı 2009). Bitkilerde ağır metal toksitesinin büyüme hızında azalmaya, enzim aktivitesinde bozulmaya, kök büyümesini sınırlamaya, depolama faaliyetlerinde aksaklığa, fotosentez aktivitesinde gerilemeye sebep olduğu, bunun yanında diğer besin elementlerinin alımını da azaltma gibi pekçok olumsuz etkisi söz konusudur (Yağdı vd. 2000). Ağır metaller çevre sorunlarına yol açan en tehlikeli unsurların başında gelmektedir (Vanlı ve Yazgan 2008).

Fitoremediasyon, bitkiler yardımıyla kirlenmiş alanlardaki metallerin temizlenmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bitkiler kirleticileri ilk olarak köklerine alarak, sonra sırasıyla gövde ve yapraklarına ileterek, bu dokularda depolarlar. Bu yöntemle kirlenmiş alanlardaki bitkiler hasat edilmek suretiyle topraktan uzaklaştırılarak bu alanlar düzenlenmiş ve stabilize edilmiş olur (Esetlili and Anaç 2015). Diğer bir deyişle fitoremediasyon, hiperakümülatör bitkilerin kullanılmasıyla kirleticileri etkisiz hale getirir (Raskin *et al.* 1997). 1991 yılında ilk olarak yapay olan sulak alanlar ve petrol döküntü sahalarında kullanılmıştır (EPA 2000). Uygulama süresinin diğer yöntemlere göre kısa olması, ekonomik olması ve estetik olarak memnun edici olmasının yanında uygulama kolaylığı gibi avantajları da söz konusudur (Glass 1999). Ağır metalleri toprak üstü organlarında aşırı miktarda biriktiren (hiperakümülatör) bir bitki çok yüksek oranlarda ağır metal içeren topraklarda yaşayabilen ve bu ağır metalleri kökleri ile alarak diğer dokularına taşıyıp biriktirebilen bitkilerdir (Özbek 2015). Hiperakümülatör

özelliği olmayan türlerle karşılaştırıldığında, biriktirici bitkilere ait kökler topraktan ağır metalleri çok büyük oranlarda alır, gövdeye hızlıca iletir, gövde ve yapraklarda fazla miktarlarda biriktirirler (Rascio ve Navari-Izzo 2011). 450 bitki türü hiperakümülatör olarak ifade edilmiştir. (Baker ve Brooks 1989).

Bitkiler için metal toksisite eşiklerini belirlerken, toksisitenin çeşitli özelliklerini göz önünde bulundurmak önemlidir. Metalin miktarı ve türü, maruz kalma yolu, metalin hem topraktaki derinliği hem de ne kadar süre maruz kalındığı, dağılımı, hasarın türü ve ciddiyeti bu özelliklerin başında gelmektedir (Ross ve Kaye 1994; Paschke *et al.* 2005). Hiçbir müdahalede bulunulmaması halinde toprakta bulunan ağır metaller yüzyıllarca mevcudiyetlerini korurlar (Chaney *et al.* 1995).

Kromla (Cr) kontamine olmuş topraklarda mısırın fitoremediasyon yönteminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, elde edilen sonuçlar mısırın kök yapısında yüksek oranlarda krom metalinin olduğunu göstermiştir. Buna bağlı olarak araştırmacılar kromla kirlenmiş tarım alanlarının ıslahında mısırın hiperakümülatör bitki olarak kullanılabileceğini rapor etmişlerdir (Adiloğlu ve Göker 2021). Mısır çeşitlerinin bazı ağır metallere (bakır (Cu) ve çinko (Zn)) olan toleransının incelendiği başka bir araştırmadan elde edilen sonuçlar; bazı mısır çeşitlerinin bakırla kontamine olmuş alanlarda yetiştirilebileceğini, atık sulardan bakır ve çinko gibi ağır metallerin uzaklaştırılması için doğal atık olan mısır koçanlarının direkt ya da modifiye edilerek kullanılabileceğini göstermiştir (Ünalın 2006). Vanlı (2007) yapmış olduğu araştırmada Pb, Cd ve B elementleri ile akümüle olmuş toprakların fitoremediasyon yöntemi ile temizlenebilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla adı geçen metallerle kirlenmiş topraklarda, mısır, ayçiçeği ve kanola bitkileri yetiştirilmiş ve fitoremediasyon kabiliyetleri incelenmiştir. Kanolanın yaprak dousunda en çok Pb, Cd ve B metalleri depolayan bitki olduğu, mısırın ise köklerinde diğer bitkilerden daha yüksek oranlarda metal biriktirdiği belirlenmiştir. Bu durumun mısırın iyi gelişmiş saçak kök yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hinesley *et al.*(1972), artan dozlarda arıtma çamuru uygulamaları ile yaptıkları çalışma sonucunda, hektara 140 ton arıtma çamuru uygulanmasının mısır veriminde herhangi bir düşüşe sebep olmadığı gibi, topraktan ekstrakte edilebilir (ayrılabilir) çinko ve kadmiyum miktarlarının arttığını ve mısır bitkisinin taneleri ile yapraklarında yüksek düzeyde çinko ve kadmiyum depolandığı bildirilmiştir.

Çinko, bakır, kurşun ve kadmiyumla (Zn, Cu, Pb ve Cd) orta derecede kontamine olan toprakta yetiştirilen mısır ve ayçiçeği bitkilerine araştırma konusu metallerin etkileri incelenmiştir. Araştırmada fitoremediasyon etkinlikleri, yüksek verimleri, hızlı büyümeleri, büyük biyokütleleri, hasat kolaylıkları ve bir dizi ağır metalin sürgünlerinde birikmesi gibi

özelliklerinden dolayı bu iki bitkinin seçildiğinin altı çizilmiştir (He *et al.* 2005). Araştırma sonucunda kontrol toprağı ile karşılaştırıldığında, metal uygulamalarının her iki bitkinin de büyümesini baskıladığı, ayçiçeğı bitkisinin kök ve sürgünlerinin kuru maddesinin önemli ölçüde azaldığı, ancak mısır bitkisine ait kök ve sürgünleri önemli ölçüde etkilemediği sonucuna varılmıştır (Usman and Mohamed 2009).

Ağır metallerin mısır bünyesindeki birikiminin incelendiğı; 21 tarla denemesi, 8 parsel denemesi ve 4 saksı denemesine ait sonuçların derlendiğı bir çalışmada, mısır tanelerinde ki birikim oranları aşağıdaki gibi sıralanmıştır. $Pb < Cr < Zn < As < Cu < Cd < Hg$ (Wang *et al.* 2017). Metaller içerisinde bitkilerde As, Cu, Cd ve Hg'nin transferi ve birikiminin Pb, Cr ve Zn'ye kıyasla daha kolay olduğu ve Pb transferinin nispeten daha düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bitki bünyesindeki birikimin; Ağır metallerin kimyasal formları, toprağın pH'sı, topraktaki organik madde içeriğı, bitki türleri, iklim koşulları ve kirli su ile sulama gibi etkenlerle değışen karmaşık bir süreçten oluştuğunun altı çizilmiştir (Yang *et al.* 2005; Bali *et al.* 2010; Chen 2011; Bennedsen *et al.* 2012; Gall and Rajakaruna 2013; Neilson and Rajakaruna 2014). Yapılan başka bir çalışmada toprak pH'sının bitkinin Cd alımını kontrol edebilen en önemli faktör olduğunu ve düşük pH'nın, mısır tanesinde Cd birikimini daha elverişli hale getirdiğı tespit edilmiştir (Yang *et al.* 2013).

Kurşun ile İlgili Çalışmalar

Yapılan çok sayıda çalışma farklı dokularında yüksek oranlarda kurşun biriktirebilen çok sayıda bitki olduğunu göstermiştir. Brassica juncea, kirli topraklarda metal toplayıcı (fitoremediator) olarak oldukça etkili olan bir bitkidir. Ayçiçeğı ve mısırın 16,000 mg/kg'a kadar Pb konsantrasyonu olan topraklarda yetiştirilebildiğı araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir (Spirochova *et al.* 2003). Salt *et al.* (1998) mısır ve ayçiçeğı bitkilerinin yüksek düzeyde Pb depolayabildiklerini, mısır ve ayçiçeğı yetiştiriciliğı ile her yıl 180-539 kg/ha kurşunun topraktan uzaklaştırıldığını ve 2500 mg/kg'a kadar kurşunla kontamine olan toprakların, 10 yılın sonunda ağır metalden temizlendiğini tespit etmişlerdir.

Mercimek (*Lens culinaris*) tohumlarına klor tuzu olarak uygulanan kurşunun fidelerin yaş ve kuru ağırlıklarını önemli oranda düşürdüğü ve fidelerde solgunluk, kloroz ve nekroza sebep olduğu rapor edilmiştir (Kıran ve Munzuroğlu 2004). Tek yıllık çimde (*Lolium multiflorum*) yapılan bir çalışmada, kurşunun artan konsantrasyonlarının bitkide klorofil ve yaprak alanında düşüşe sebep olduğu gözlenmiştir (Gül ve Yazıcı 2021). Verma and Dubey (2003), tarafından çeltik bitkisi üzerine yapılan araştırmada 500 ve 1000 μM kurşun nitrat uygulanmasının kök gelişimini % 22-42 ve sürgün gelişimini % 25 oranında azalttığı, kökler tarafından alınan kurşunun sürgünlerden 1,7-3,3 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir.

Zengin ve Munzuroğlu (2004), Pb ve Cu (1,5, 2, 2,5 mM) uygulamalarının fasulyede bitki gelişimi üzerine etkilerini belirlemek için yaptıkları araştırmada sonucunda; Ağır metal uygulamalarının fasulyede kök, gövde ve yaprak gelişimini baskıladığını, metale maruz kalma süresinin uzamasıyla gövde, kök ve yaprak büyümesindeki olumsuz etkinin daha fazla olduğunu tespit etmiştir.

Farklı konsantrasyonlardaki Cd, Pb, Cu, Mn ve Zn ile akümüle olan topraklarda marul, havuç, turp ve ıspanak bitkilerinin yetiştirildiği çalışmada, bitkilerde Cd, Cu, Mn ve Zn alımının, toprak kirliliğinin artması ile arttığı, Pb'nin alımının daha düşük olduğu ve topraktan bitkiye ağır metal taşınımının Mn > Zn > Cd > Cu > Pb olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında bitkiler arasındaki metal birikim potansiyellerinde büyük ölçüde farklılıklar olduğu, ıspanağın Mn ve Zn birikimini yüksek oranlarda yaparken, Cu ve Pb metallerinin alımını düşük oranlarda yapabildiği belirtilmiştir (Intawongse and Dean 2006).

Kıran ve Şahin (2005), farklı konsantrasyonlardaki (0,125, 0,250, 0,500 ve 1,000 mM) kurşun uygulamalarının mercimek (*Lens culinaris* Medik.) tohumlarının çimlenmesi ve kök büyümesine olan etkilerini araştırmışlardır. Düşük Pb konsantrasyonlarının çimlenmeye herhangi bir etkisi olmazken, kirletici miktarının artması tohum çimlenme oranını düşürmüştür. Ayrıca uygulanan tüm konsantrasyonlarda, kök büyümesi kontrol grubuna göre baskılanmıştır.

Zambak bitkisinde tüp büyümesi ve polen çimlenmesi üzerine Pb, Cd, Cu ve Hg ağır metallerinin etkisi araştırılmış ve araştırma konusu tüm metallerin tüp büyümesi ve polen çimlenmesini farklı oranlarda baskıladığı belirlenmiştir. Kurşun en az etkileyen metal olurken, kadmiyum ise yüksek oranda toksisiteye sebep olmuştur (Topdemir vd. 2004).

Hashem *et al.* (2013) domates, turp ve marul ile yürüttükleri çalışmada, üç bitkinin de kök ve gövde yapılarında fazla dozlarda ağır metal biriktirebildiğini (Pb, Cd, Ni, Co), yaprak alanı, kök ve gövdenin yaş ve kuru kütle ağırlıklarının kontrol grubuna göre azalış gösterdiğini, fotosentetik pigment içeriklerinin azaldığını ve hücre zarlarında hasar meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Hung *et al.* (2014) tarafından kurşun uygulamasının bamya (*Abelmoschus esculentus* L.) bitkisinin gelişmesi, verimi ve farklı dokularında birikimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, topraktaki 16,13–35 ppm aralığındaki Pb uygulamaların bamya bitkisinin boyunu ve verimini pozitif etkileyebileceğini, kurşun birikimini kök > yaprak > meyve sıralamasında yaptığını tespit etmişlerdir.

Mısırın saksılı yada arazi ortamında saksı olmadan kurşunla kontamine toprakta yetiştirildiği bir çalışmada, kurşun konsantrasyonunun artışıyla bitkideki kurşun birikiminin artış

gösterdiği gözlenmiştir. Bunu yanında saksı olmayan ortamdaki bitkilerin topraktan daha yüksek miktarda kurşunu uzaklaştırdığı belirlenmiştir. Çalışmada bitki büyümesinin ilerleyen dönemlerinde (on ikinci hafta ve sonrası) kurşun alımının, ozmotik reaksiyonlarının azalması nedeniyle ilk dönemlere kıyasla çok düştüğü ve mısırın kurşun için toleranslı bir bitki olabileceği rapor edilmiştir (Chiwetalu *et al.* 2020).

Tarım topraklarında kurşun ve çinko metallerinin mısırdaki birikimini inceleyen birçok çalışmayı derleyen bir araştırmanın sonuçlarına göre Pb ve Zn birikimi en yüksek Namibya (3015 mg/kg) ve Çin’de (1140mg/kg) tespit edilmiştir. Mısır kök, sürgün ve tanelerinde ise Pb birikimi sırayla 27870, 4180 ve 245 mg/kg’ye ulaşmıştır. Çalışmada alçı ve kireç uygulamanın özellikle asidik topraklarda Pb ve Zn hareketlilik ve mevcudiyetini azaltmak için etkin yöntemler olduğu, biyokömür, biyoremediasyon ile iyileştirmenin topraklarda Pb ve Zn alımını azaltmada büyük rol oynayacağı belirtilmiştir (Rodríguez-Jordá *et al.* 2010; Abedi *et al.* 2022).

Kadmiyum ile İlgili Çalışmalar

Kadmiyum, kurşuna göre daha hızlı yayılır, hareketli ve toksiktir, kurşun ise bölgesel bir kirlenici olarak bilinir (Thomas *et al.* 1984; Wong *et al.* 1984). Chitra *et al.* (2011), kadmiyumun üç farklı dozunu serada kontrollü şartlarda tütün, mısır ve buğday bitkilerinde denemişlerdir. Çalışma sonucunda tütün, buğday ve mısır bitkilerinin kök ve gövdelerindeki kadmiyum konsantrasyonlarının uygulanan kirleniciyle orantılı olarak artış gösterdiğini ve tütün bitkisi dışında kadmiyum konsantrasyonunun gövdeden ziyade köklerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Kitagishi ve Yamane (1981) isimli araştırmacılar kadmiyum kirliliğinin azaltılmasında, en iyi ve güvenilir yollardan birinin toprak üzerine kirlenmemiş toprağın 30 cm kalınlığında serilmesi olduğunu belirtmişlerdir.

Das *et al.* (1997) kadmiyum toksisitesinin bitkideki semptomlarının sararma ve kısa boylu kalma şeklinde görüldüğü, sararmanın, yaprak dokusundaki demir içeriği ile dolaylı veya doğrudan etkileşimi sonucu meydana geldiğini belirtmişlerdir. Li *et al.* (1994), ayçiçeği tohumlarındaki kadmiyum içeriğini tespit etmeye yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Kontrol bitkilerinden elde edilen tohumlarda 0,41 mg/kg Cd olduğunu ve Cd ile zenginleştirilen alanlarda elde edilen tohumlarda ise 1,12 mg/kg Cd olduğunu tespit etmişlerdir.

Zhang ve Yang (1994) tarafından yapılan çalışmada, artan kadmiyum konsantrasyonlarıyla kök büyümesi ve hücre bölünmesinin baskılandığı belirlenmiştir. Siedlecka and Krupa (1999), tarafından yapılan çalışmada kadmiyumun bitkiler üzerindeki negatif etkisinin, bitkinin hangi büyüme devresinde olmasıyla büyük ölçüde değiştiğini tespit

etmiştir. Gelişim dönemlerinin başlarında kadmiyuma maruz kalan bitkide ki hasarın büyümede yavaşlamalara sebep olduğu, daha sonraki dönemlerde ise bitkinin yaşlanma sürecini hızlandırdığı bildirilmiştir.

Rellan-Alvarez *et al.* (2006), mısır bitkisinin kadmiyum (Cd) ve civa (Hg) stresi altında sürgün ve kök taze ağırlıklıklarının kontrole göre düşüş gösterdiğini, metallerin köklerdeki birikiminin sürgünlerden daha yüksek olduğunu ve civa (Hg) metalinin mısır üzerinde kadmiyumdan daha toksik olduğunu rapor etmişlerdir. Farklı bitkilerin kadmiyum toksisitesine olan toleranslarının araştırıldığı bir çalışmada aynı Cd seviyesiyle kirletilen topraklarda bitkiler arasındaki Cd alımındaki farkın 100 katını aştığını tespit edilmiştir. Bu türler arasında en düşük Cd alımı yonca, çeltik ve sudan otunda en yüksek Cd alımı ise şalgam ve ıspanakda tespit edilmiştir (Chaney and Hornick 1977). Lijben ve Sauerbeck (1991), yazlık buğdayın metal toleranslarını belirlemek için yaptıkları çalışmada Cd birikiminin bitkinin vejetatif organlarında, generatif organlarından daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Kadmiyumun yoğunluğu tane < kabuk < sap < kök şeklinde gerçekleşmiştir. Stigliani (1995), toprakta biriken kadmiyumun, topraktaki potansiyel hidrojenin azalması halinde, besin zincirine transferini önemli düzeyde artırdığını bildirmiştir. Kadmiyumun bitki bünyesi içindeki dağılımının oldukça değişken olduğu, köklerden sap ve yapraklara çabuk taşındığı bilinmektedir.

Narenciyein köksaplarında yapılan bir çalışmada, kadmiyumun sebep olduğu oksidatif stresin etkilerini belirlemek amacıyla, fidanlar toprak olmasızın su içinde 7 gün boyunca Cd konsantrasyonlarına maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak, Cd konsantrasyonuna maruz kalan köklerde oksidatif strese bağlı olarak; MDA ve hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarında artışlar meydana gelmiştir. Cd uygulamasından antioksidan enzimler; CAT, SOD aktivitesi ve gayakol tipi peroksidaz (G-POD) artış göstermiştir (Jouili 2004).

Sgherri *et al.* (2002), tarafından yapılan çalışmada kadmiyum'un bitki dokularındaki birikiminin biyokimyasal ve fizyolojik süreçlerde aksaklıklara sebep olarak, bitki büyümesi ve morfolojisini baskılayarak olumsuz şekilde etkilediği bildirilmektedir.

Stolt *et al.* (2003), ekmeklik ve makarnalık buğday üzerindeki yaptıkları araştırmada, kadmiyum yüksek konsantrasyonlarının her iki bitkinin de bitki büyümesini kısıtladığını, gövdeye kıyasla kök yapısında daha fazla Cd birikimine rastlandığını ve makarnalık buğdayın bünyesinde daha yüksek oranlarda Cd biriktirdiğini bildirmişlerdir. Syed *et al.* (2007) nohut bitkisi üzerine yürüttükleri bir çalışmada, kök uzunluğu, bitki-kök yaş ve kuru ağırlıklarının ortamdaki Cd konsantrasyonlarının artmasına bağlı olarak azaldığını ve kök büyümesinin baskılandığını tespit etmişlerdir.

İki patates çeşidinde (Wilwash ve Kennebec) kadmiyum etkilerinin incelendiği bir sera çalışmasında, toplam Cd alımında çeşitler arasında bir fark olmamakla beraber, Kennebec çeşidinde bitkideki toplam kadmiyumun % 75'i yumrularında birikmişken, Wilwash çeşidinde ise yumrulara % 43 Cd birikimi tespit edilmiştir. Araştırmacılar çeşitler arasındaki bu farklılığın kadmiyumdan kaynaklandığını, diğer besin elementlerinde böyle bir değişkenliğin gözlemlenmediğini rapor etmişlerdir (Dunbar et al. 2003)

Çin'de çinko eritme alanlarına yakın, ağır metal bakımından önemli ölçüde kirli olduğu bilinen bir lokasyonda mısır yetiştiriciliği yapılmış, bitkinin Pb ve Cd metallerini hem kirli topraklardan hem de atmosferden alma kapasitesi incelenmiştir. Sonuçlar, mısır yaprakları ve tanelerindeki kurşunun atmosferik girdilerden kaynaklandığını, bitkideki kadmiyumun ise esas olarak topraktan elde edildiğini göstermiştir (Bi et al. 2009).

Chaudhary and Sharma, (2009) mısırdaki yaptıkları çalışmalarında; Kadmiyum (Cd) metalinin yüksek konsantrasyonlarında, çimlenme oranı, taze ağırlık ve kuru ağırlığın baskılandığını, katalaz enzimi artarken, peroksidaz enziminin azaldığını tespit etmişlerdir.

Zhao (2011) toprak kullanılmadan su içinde yetiştirilen mısır fidelerine farklı konsantrasyonlarda kadmiyum (Cd) uygulamış, Cd uygulamalarının artışıyla klorofil miktarı ve süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesinde azalmalar olduğunu, sürgün ve köklerde depolanan Cd miktarının arttığını, buna benzer olarak MDA, prolin miktarı, katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) aktivitesinde de artış görüldüğünü ve yüksek Cd seviyelerinin mısır bitkisinde büyümeyi negatif şekilde etkilediğini tespit etmiştir.

Kadmiyumun bitkideki dağılımı hızlı ve değişkendir. Köklerden toprak üstü aksamaya özellikle yapraklara hızlı taşındığı bilinmektedir. 15 mg/kg Cd içeren toprakta yetişen mısır bitkisinde Cd bitkideki birikim dağılımı yaprak > kök > boğum > sürgün > gövde > çiçek şeklinde tespit edilmiştir (Kabata-Pendias 2011).

Li et al. (2014) tarafından yapılan çalışmada, artan kadmiyum uygulamaları ile bitki bünyesindeki Cd konsantrasyonunun da arttığını, yaprak alanı ve bitki su içeriği düşerken, artan Cd ile demir (Fe) konsantrasyonunun da artış gösterdiği, köklerin bitkinin diğer organlarına kıyasla daha çok Cd depoladığını, kontrol bitkisine ait köklerin renginin beyaz, uygulama yapılan bitkilere ait kök renklerinin ise kahverengi veya siyah olduğunu tespit etmişlerdir.

Tütün (*Nicotiana tabacum* L.) ve domateste (*Lycopersicon esculentum* Mill.) kadmiyum (Cd) etkilerinin incelendiği bir çalışmada, Cd konsantrasyonunun artışına bağlı olarak tohumların çimlenme yüzdelerinin, kök ve hipokotil gelişimlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Araştırmacılar fidelerde iyon birikimi ve olumsuz etkilenen diğer özelliklerde genotip faktörünün Cd toksisitesini belirlemede büyük rol oynadığını ifade etmişlerdir (Çatak vd. 2016).

İki farklı mısır çeşidinde kadmiyum toksisitesinin incelendiği bir çalışmada, çeşitler arasında büyük varyasyonlar olduğu tespit edilmiştir. Çeşitlerden birinde Cd en çok köklerde, sonra sırasıyla yaprak ve tanelerde birikmiştir. Diğer çeşitte ise tanelerdeki Cd oranı diğerine göre oldukça yüksektir. Her iki çeşitte de birikim en çok köklerde görülmüştür. Antioksidan enzim aktivitelerinin en yüksek olduğu dönemin mısırın vejetatif dönemi olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar çeşitler arasındaki farklılıkların anlaşılmasında, farklı büyüme aşamalarında moleküler düzeyde araştırmaların yapılmasının gerekli olduğunu belirtmişlerdir (Anjum *et al.* 2015).

Tatlı su (Nil Nehri suyu ve yeraltı suyu) ve düşük kaliteli su (lağım suyu ve endüstriyel atık su ile kirlenmiş) ile sulanan deneme alanlarında mısır yetiştiriciliği yapılmış ve Pb, Cd içeriği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar toprak ve mısır tanelerindeki Pb ve Cd düzeylerinin sulama suyundan önemli ölçüde etkilendiğini, düşük kaliteli su ile sulanan mısır tanelerindeki Pb ve Cd seviyelerinin, tatlı su ile sulanan mısır tanelerinininkinden 19-30 kat daha fazla olduğunu göstermiştir. Çalışma sonunda mısır tanelerindeki Pb ve Cd konsantrasyonlarının izin verilen sınırların üzerinde olmasına rağmen, mısır taneleri güvenli kabul edilip, potansiyel bir sağlık riski oluşturmayacağı belirtilmiştir (El-Hassanin *et al.* 2020)

MATERYAL ve METOT

Materyal

Deneme yeri ve yılı

Araştırma, 2021 yılında Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi (BÜAM) uygulama seralarında saksı çalışması olarak gerçekleştirilmiştir.

Denemede kullanılan mısır çeşidi

Çalışmada bitkisel materyal olarak mısır bitkisinin ‘Dekalp 6442’ çeşidinin tohumları kullanılmıştır.

Yöntem

Denemenin kurulması

Tohumlar 2 litre hacminde saksılara; bahçe toprağı, torf ve kum karışımı ile doldurularak 2-3 cm derinliğe her bir saksıya 7 tohum olacak şekilde ekimi yapılmıştır. Çıkışından sonra her bir saksıda dört bitki kalacak şekilde seyreltme işlemi yapılmıştır (Şekil.1).

Ağır Metal Uygulamaları

Deneme; Kadmiyum 3 doz ($\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (100, 200 ve 300 mg/kg), kurşun 3 doz (PbNO_3 (1000, 2000 ve 3000 mg/kg), 1 kontrol grubu (hiçbir uygulama yapılmayan), olmak üzere 7 uygulama, 3 tekerrür ve her tekerrürden 5 saksı olacak şekilde toplamda 105 ($7 \times 3 \times 5 = 105$) saksıda tesadüf parselleri deneme deseninde yürütülmüştür.

Toprağı kirletmek için değişik dozlarda kadmiyum (0, 100, 200 ve 300 mg/kg) ve kurşun (0, 1000, 2000 ve 3000 mg/kg) ortama karıştırılıp sulandıktan sonra 3 hafta inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresinin sonucunda mısır tohumları ekimi yapılmıştır. Çalışma 50 günde tamamlanmış ve deneme sonucunda bitkiler saksılardayken veya saksılardan alındıktan sonra aşağıda belirtilen uygulamalar yapılmıştır.

Fide boyu (cm)

Cetvel ile cm olarak ölçüm yapılmıştır (Güllap *et al.* 2022).

Toprak üstü taze ağırlık (g/bitki)

Bitkinin toprak üstü kısmının koparılacak suretiyle, hassas terazide her bir bitkinin tartılıp ortalamasının alınmasıyla hesaplanmıştır (Güllap *et al.* 2022)

Toprak üstü kuru ağırlık (g/bitki)

Etüvde 68°C’de 48 saat kurutularak hesaplanmıştır (Güllap *et al.* 2022).

Kök taze ağırlık (g/bitki)

Köklerin toprak içerisinde çıkarılarak yıkanıp toprak parçacıklarından temizlenmesi sağlanmış, sonrasında kurutma kağıtlarıyla suyu alınmıştır. Hassas terazide tartılarak ağırlığı belirlenmiştir (Güllap *et al.* 2022).

Kök Kuru Ağırlık (g/bitki)

Etüvde 68°C’de 48 saat kurutularak ölçüm yapılmıştır (Güllap *et al.* 2022).

Gövde Çapı (mm)

Hasat aşamasına gelen bitkilerin toprak üstü aksamındaki gövde (sap) kısmı dijital kumpas kullanılarak mm cinsinden ölçülmüştür (Güllap *et al.* 2022)

Yaprak sayısı (adet/bitki)

Her saksıdaki, her bitkide yaprak sayıları adet olarak alınıp ortalaması hesaplanmıştır (Güllap *et al.* 2022).

Klorofil miktarı (Klorofil metre ile SPAD değeri olarak)

Bitki yapraklarının klorofil içerikleri, (SPAD-502, Konica Minolta Sensing, Inc., Japan marka) SPAD-502 metre cihazı ile belirlenmiştir (Lichtenthaler and Wellburn 1983).

Yaprak alanı (cm² /bitki)

Her bir ağır metal uygulamasındaki bitkilere ait yaprak alanları, yaprak alan ölçer cihazı (LICOR, Model: LI-3100, Lincoln, ABD) ile tespit edilmiştir (Güllap *et al.* 2022).

Kök ve bitki analizleri

Hasat edilen kurutulup öğütülen mısır bitkisi örneklerinde Cd ve Pb ağır metali içeriklerini belirlemek için nitrik perklorik asit karışımı ilave edilerek yaş yakma işlemi yapılmıştır. Sonrasında ICP-OES cihazında kök ve toprak üstü aksamı ağır metal içerik oranları belirlenmiştir (Kacar ve İnal 2010).

Toprak analizleri

Uygulamalardan alınıp elenen toprak örnekleri, Lindsay ve Norvell’in (1978) önerdiği DTPA yöntemi esaslarına göre yapılmıştır. Topraklardan çözeltiye geçen Cd ve Pb içerikleri ICP-OES cihazında belirlenmiştir.

Doku elektriği iletkenliği

Bitkide oluşan stresin yaprak dokusunda ve hücre zarlarında oluşturduğu zararın belirtisi yaş yaprak dokularında yapılan elektrik iletkenlik ölçümleridir. Bu nedenle her bir tekerrürden tesadüfi olarak seçilen 2 bitkinin en son gelişmiş gerçek yapraklarından alınan diskler (1 cm çapında) 20 ml saf su içeren cam şişelerin içine konarak çalkalayıcıda 24 saat çalkalanmış ve ardından ıslatma suyunun elektriksel iletkenliği Kaya vd. (2003)'de belirtilen metoda göre ölçülerek, hücre zarlarının geçirgenliği (zarar görme oranı) belirlenmiştir (EC1). Örnekler otoklavda 121°C'de 20 dakika bekletilerek hücre ve dokuların tamamen parçalanması sağlanmış ve ardından ikinci ölçüm yapılmıştır (EC2). EC1/ EC2 arasındaki oran hesaplanarak göreceli elektriksel iletkenlik değeri tespit edilmiştir (Kaya *et al.* 2003).

Doku oransal su içeriği (DOSİ)

Yaşamını devam ettiren bitkiler arasında rastgele seçilen 2 bitkiden alınan yaprak diskleri (1 cm çapında) hemen tartılmış ve böylece taze ağırlıkları alınmıştır (TA). Tartımı yapıldıktan sonra diskler içerisinde biraz saf su bulunan petri kaplarının içerisine konularak 5 saat bekletilmiş ve sonra disklerin üzerinde bulunan fazla su kurutma kâğıdıyla silinerek tekrar tartılıp ve turgorlu ağırlıkları bulunmuştur (TU). Bu diskler, petrilerin içerisine konularak 72°C'ye ayarlanmış olan etüvde 48 saat süresince kurutulduktan sonra tartılıp kuru ağırlıkları alınmıştır (KA). Doku su içeriği Kaya vd. (2003)'de belirtilen aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Kaya *et al.* 2003).

$$DOSİ = [(TA - KA) / (TU - KA)]$$

Katalaz (CAT) enzim aktivite analizi

Abedi and Pakniyat (2010)'ın rapor ettiği metoda göre, hidrojen peroksit (H₂O₂)'in su (H₂O) ve oksijen (O₂)'e dönüşümü esnasında oluşan reaksiyon karışımındaki absorbans azalmasının 240 nm dalgaboyunda izlenmesine dayanılarak yapılmıştır. Tepkime karışımı, 50 mM fosfat tamponu (KH₂PO₄, pH:7,0), 10 mM H₂O₂ ve 100 µL enzim ekstraktının birleşiminden oluşturulmuştur. Spektrofotometrede 240 nm dalga boyundaki absorbans azalışı 3 dk süresince 1'er dk aralıklarla köre karşı okunmuş ve elde edilen sonuçlarda absorbansın lineer azalış gösterdiği aralıktan “absorbans azalması/dk” değeri hesaplanmıştır. 25°C'de 1dk süre zarfında 1 µM absorbans azalması meydana getiren enzim miktarları 1 enzim ünitesi (eu) olarak şekilde kabul edilerek sonuçlar “eu/g yaprak” biriminde hesaplanmıştır (Havir and Mchale 1987).

Peroksidaz (POD) enzim aktivite analizi

Angelini *et al.* (1990)'ın rapor ettiği metoda göre, guaikol H_2O_2 'in substrat olduğu reaksiyon ürünü olan renkli bileşiğin sebep olduğu absorbans artışının 450 nm dalga boyunda gözlenmesi esasına dayanılarak yapılmıştır. Reaksiyon karışımı, 50 mM monosodyum fosfat tamponu (NaH_2PO_4), 10 mM guaikol H_2O_2 substrat c zeltisi ve 50 μL enzim ekstraktının birleşiminden oluşturulmuştur. Spektrofotometrede 450 nm dalga boyundaki absorbans artışı 5 dk boyunca 1'er dk aralıklarla k re karşı okunmuş ve elde edilen sonuçlarda absorbansın lineer artış gösterdiği aralıktan "absorbans azalması/dk" değerleri hesaplanmıştır. 25 C'de 1dk süre zarfında 0,01 μM absorbans azalması meydana getiren enzim miktarı 1 enzim  nitesi (eu) olarak kabul edilerek sonuçlar "eu/g yaprak" biriminde hesaplanmıştır.

Süperoksid dismutaz (SOD) enzim aktivite analizi

Abedi and Pakniyat (2010)'ın yöntemine göre, 560 nm dalgaboyunda nitroblue tetrazoliumun (NBT) fotokimyasal indirgenmesindeki inhibisyonun belirlenmesi esasına dayanılarak yapılmıştır. Toplam SOD aktivitesi, p-nitro-blue tetrazolium klorür (NBT)' n azalmasının önlenmesi spektrofotometrik olarak izlenerek belirlenmiştir. 200 μL reaksiyon karışımı (50 mM fosfat tamponu (KH_2PO_4 , pH:7,8), 0,1 mM EDTA, 63 μM NBT, 50 μM riboflavin ($C_{17}H_{20}N_4O_6$), 13 mM metiyonin ($C_5H_{11}NO_2S$) ve 50 μL enzim ekstraktını içerir) 40 W'lık güce sahip beyaz ışık yayan bir flüoresans lamba altında 96 oyuklu bir mikropilaya kuyularına yerleştirilmiştir. 8 dk'lık aydınlatılmadan sonra reaksiyon sonlandırılmıştır ve absorbans 560 nm dalga boyunda köre karşı okunmuştur. Aynı işlem aydınlatılmamış bir reaksiyon karışımı için de yapılmış ve sonuç referans değer olarak kullanılmıştır. SOD aktivitesinin bir  nitesi, 560 nm dalga boyunda NBT indirgenmesinin %50 inhibisyonuna neden olan enzim miktarı 1 enzim  nitesi (eu) olarak kabul edilerek sonuçlar "eu/g yaprak" biriminde hesaplanmıştır (Agarwal and Pandey 2004; Yordanova *et al.* 2004).

Hidrojen peroksit (H_2O_2) analizi (mmol/kg)

Hidrojen peroksit (H_2O_2) analizleri, Velikova *et al.* (2000)'nın rapor ettiği yönteme göre yapılmıştır ve H_2O_2 içerikleri ise H_2O_2 'in farklı konsantrasyonları kullanılarak önceden yapılmış standart bir kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmıştır.

Malondialdehit (MDA) analizi

Tiyobarbitürik asit ($C_4H_4N_2O_2S$)-reaktif maddeler (Thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS)) bir lipid peroksidasyonunun yan ürünü (yani yağların bozunma ürünleri) olarak oluşturulur. Bu nedenle, TBARS değerleri lipidin parçalanmış bir ürünü olan ve lipid

peroksidasyonunu belirleyen Malondialdehit (MDA) olarak ölçülmüştür. Lipid peroksidasyon analizi, Sahin *et al.* (2018)'de rapor edilen işlem basamakları esas alınarak yapılmıştır. MDA konsantrasyonu ise 155 mmol/L.cm'lik bir yok olma katsayısı kullanılarak absorbans eğrisinden belirlenmiştir.

İstatistiksel Değerlendirme

Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışma bitiminde elde edilen tüm veriler SPSS 18 paket programı ile varyans analiz testine tabi tutulmuş, ortalamaların karşılaştırılması ise Duncan çoklu karşılaştırma testine göre yapılmıştır (Yıldız ve Bircan 1991).



Şekil 1. Mısırdaki fide çıkışı

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Sera koşullarında bazı ağır metal (Pb, Cd) uygulamalarının mısır bitkisindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada parametreler üzerinde metal uygulamalarının %1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Bu parametrelere ait (fide boyu (cm), bitki taze ve bitki kuru ağırlığı (g), kök taze ve kök kuru ağırlığı (g)) F değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ağır Metallerin (Cd, Pb) Mısır Bitkisinde Fide boyu, Bitki Taze Ağırlığı, Bitki Kuru Ağırlığı, Kök Taze Ağırlığı, Kök Kuru Ağırlığı Değerlerine Ait Varyans Analizi Tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Fide Boyu	Bitki taze ağı.	Bitki kuru ağı.	Kök taze ağı.	Kök kuru ağı.
Uygulama	6	46,982**	23,886**	22,347**	9,247**	16,276**
Hata	14					
Toplam	20					

** işaretli F değerleri 0.01 ihtimal sınırlarında önemlidir.

Fide Boyu

Ağır metal uygulamalarının mısır bitkisindeki etkilerini görmek amacıyla yapılan bu çalışmada, fide boyu (cm) değerleri Tablo.2’de sunulmuştur. Hiçbir uygulama yapılmayan (kontrol) saksılardaki bitkilere ait boy ortalaması 54,96 cm olarak tespit edilmiştir (Tablo.2). Kurşun uygulamalarındaki metal konsantrasyonunun artışı fide boyunu baskılamış olup, Pb1000, Pb2000 ve Pb3000 uygulamalarında sırasıyla 53,60 cm, 49,33 ve 43,80 cm olarak ölçülmüştür. Bitkiler en çok Pb2000 ve Pb3000 uygulamaları arasında boy kaybına uğramıştır (5,53 cm). Kontrol uygulamasıyla Pb3000 uygulamaları arasında %20’lik bir boy kaybı söz konusudur (Tablo.2). Kadmiyum uygulamalarında en yüksek boy kaybı kontrol grubuyla Cd100 uygulaması arasında gerçekleşmiştir (15,7 cm). Cd 200 ve Cd 300 uygulamalarında bu boy kaybı 4,4 cm ve 2,93 cm’ye kadar gerilemiştir. Kontrol grubuyla Cd300 uygulaması arasındaki boy kaybı %42 olarak hesaplanmış olup, bu değer kurşun metalindeki boy kaybının iki katıdır. Stres şartları altında bitkinin boyunda ve ağırlığındaki kayıplar beklenen bir durumdur. Sera şartlarında kadmiyum (Cd), bakır (Cu) ve çinkonun (Zn) ayçiçeği üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada bakır bitki boyuna önemli düzeyde etki etmezken, kadmiyum ve çinko uygulamaları bitkide %25,92 ve %18,03’lük bir boy kaybına sebep olmuşlardır (Chaves *et al.* 2011). Ayçiçeğinde yapılan başka bir çalışmada ise Cd uygulaması yapılan bitkiler kontrol grubuna kıyasla %77 daha kısa olarak belirlenmiştir (Gopal and Khurana 2011).

Tablo 2. Pb ve Cd Uygulamalarının Mısır Bitkisinde Fide Boyu, Bitki Taze, Bitki Kuru, Kök Taze ve Kök Kuru Ağırlığı Üzerine Etkisi¹

Uygulamalar	Fide Boyu (cm)	Bitki taze ağı. (g)	Bitki kuru ağı. (g)	Kök taze ağı. (g)	Kök kuru ağı. (g)
Kontrol	54,96±1,017 a	17,27±0,754 a	4,91±0,046 a	13,49±1,679 a	1,28±0,089 a
Pb 1000	53,60±2,354 a	16,05±0,173 a	4,82±0,069 a	13,35±1,441 a	1,25±0,124 a
Pb 2000	49,33±1,212 b	15,65±1,224 a	3,83±0,321 b	11,81±1,247 a	1,22±0,029 a
Pb 3000	43,80±0,953 c	14,60±0,678 a	3,68±0,131 b	11,18±0,580 a	1,15±0,816 a
Cd 100	39,26±0,3712 d	9,83±0,985 b	3,13±0,550 b	7,21±0,765 b	0,77±0,531 b
Cd 200	34,86±1,185 e	8,19±1,364 bc	2,12±0,221 c	7,11±0,556 b	0,73±0,047 b
Cd 300	31,93±1,313 e	6,28±0,416 c	1,61±0,121 c	5,92±0,003 b	0,60±0,011 b

¹ Farklı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden istatistiksel olarak farklıdır.

Toprak üst aksam ve kök, yaş kuru ağırlıkları

Ağır metal uygulamalarının bitki ve kök ağırlıklarına olan etkilerine ait değerler Tablo.2’de sunulmuştur. Metal uygulanmayan kontrol grubundaki bitkilerin taze ağırlık ortalaması 17,27 g olarak belirlenmiştir. Her iki metal (Pb, Cd) uygulamasında da en düşük ağırlık kaybı (1,22 g, 7,44 g) kontrolle en düşük metal uygulaması (Pb1000, Cd100) arasında gerçekleşmiştir. Kurşunun en yüksek dozunda (Pb3000) kontrole göre %15, kadmiyumun en yüksek dozundaysa (Cd300) kontrole göre %63’lük bir ağırlık kaybı belirlenmiştir. Bitki taze ağırlığı, kök taze ve kuru ağırlıklarında kurşun uygulamaları kontrolle aynı istatistiki grupta yer alarak bitkiye kadmiyum kadar tesir etmemişlerdir. Araştırmacılar biyokütledeki azalmayı yüksek ağır metal konsantrasyonlarının protein oluşumunu dolayısıyla fotosentezi baskılamasına ve bitkideki karbonhidrat taşınımını engellemesine bağlamaktadır (Manivasagaperumal *et al.* 2011). Marshner (2012), kadmiyumun hücre duvarı genişlemesi ve hücre bölünmesini etkileyerek bitkilerde büyümeyi engellediğini bildirmiştir. Kurşun metali bitkinin kök ve sürgün kuru ağırlığını ve çimlenme oranını düşürmektedir (Sharma ve Dubey 2005).



Şekil 2. Mısırdaki Kurşun uygulaması



Şekil 3. Mısırdaki Kadmiyum uygulaması

Pb ve Cd ağır metal uygulamalarının mısırdaki gövde çapı (mm), yaprak sayısı (adet/bitki), klorofil değeri (SPAD) ve yaprak alanı (cm^2/bitki) üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 3’de, ortalamalara ait farklılıklar ise Tablo 4’de sunulmuştur. Tablo 3 incelendiğinde metal uygulamalarına ait farklı konsantrasyonların, tablodaki parametreleri önemli (%1 düzeyinde) seviyede etkilediği görülmektedir.

Tablo 3. Uygulamaların Mısır Bitkisinde Gövde Çapı, Yaprak sayısı, Klorofil Değeri, Yaprak Alanı, Elektriksel İletkenlik ve DOSİ Değerlerine Ait Varyans Analizi Tablosu

F değerleri							
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi	Gövde çapı	Yaprak sayısı	Klorofil	Yaprak alanı	Elektriksel iletkenlik	DOSİ
Uygulama	6	29,408**	7,990**	89,425**	8,604**	5,703**	40,251**
Hata	14						
Toplam	20						

** işaretli F değerleri 0.01 ihtimal sınırlarında önemlidir.

Gövde çapı ve yaprak sayısı

Farklı metal konsantrasyonlarının uygulandığı bitkilere ait gövde çapı değerleri Tablo.4’de sunulmuştur. Kurşun ve Kadmiyum toksisitesi bitkilerde gövde saplarının zayıflamasına sebep olmuştur. Kontrol uygulamasında 8,12 mm olan gövde çapı kurşun uygulamalarında (Pb3000) 6,11 mm’ye kadar gerilemiştir. Bu değer gövde çapında %25’lik bir incelmeye olduğunu göstermiştir. Kadmiyum uygulamaları da gövde sapının zayıflayıp incelmeye sebep olmuştur. Cd (100) uygulamasında dahi 2,72 mm gövde çapı azalmıştır. En yüksek uygulamadaki (Cd300) bitkilerde ise kontrol grubundaki bitkilerden %52 daha zayıf gövde sapları gözlenmiştir (Tablo.4). Artan ağır metal birikiminin gövdedeki iletim demetlerinin kalınlığında önemli değişikliklere sebep olduğu bilinmektedir (Barcelo *et al.* 1988). Sera koşullarında yapılan çalışmada Pb ve Cd uygulamaları yaprak sayısı ortalamalarını baskılayıcı etkide bulunmuştur. Metal uygulaması yapılmayan bitkilerdeki yaprak sayısı ortalaması 6,66 adet/bitki’dir. Kurşunun ilk iki dozunda (Pb1000,2000) ortalamalar düşüş gösterse de aynı değerde kalmıştır (6,26 adet/bitki). Pb (3000) uygulamasında ise 6,06 adet/bitki’ye gerilemiştir. Bu değer kontrol grubundaki bitkilerden %9’luk bir yaprak kaybı olduğunu göstermiştir. Kadmiyum dozlarındaki yaprak kaybı ilk uygulamadan (Cd100) itibaren çok daha yüksektir. En yüksek Cd uygulamasındaki (Cd300) bitkilere ait yaprak sayısı, kontrol uygulamasından %20 daha az sayıdadır. Araştırmacılar, yaprak sayısındaki azalmanın metallerin su kullanım etkinliğini olumsuz etkilemesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir (Shrama and Sharma 1993).

Tablo 4. Uygulamaların Mısır Bitkisinde Gövde Çapı (mm), Yaprak Sayısı (adet/bitki), Klorofil Değeri (SPAD) ve Yaprak Alanı (cm²/bitki) Üzerine Etkisi¹

Uygulamalar	Gövde çapı (mm)	Yaprak sayısı (adet/bitki)	Klorofil (SPAD)	Yaprak alanı (cm ² /bitki)
Kontrol	8,12±0,448 a	6,66±0,0667 a	46,28±0,227 a	285,19±2,777 a
Pb 1000	6,34±0,246 b	6,26±0,0667 ab	46,14±0,682 a	304,28±49,023 a
Pb 2000	6,27±0,202 b	6,26±0,0667 ab	45,01±0,724 ab	258,57±14,929 a
Pb 3000	6,11±0,096 bc	6,06±0,0667 b	43,76±0,283 b	249,27±19,837 a
Cd 100	5,40±0,178cd	5,93±0,0667 b	38,97±0,377 c	230,82±20,141 a
Cd 200	4,79±0,119 d	5,86±0,133 b	37,04±0,203 d	148,63±20,005 b
Cd 300	3,92±0,258e	5,33±0,333 c	36,09±0,456 d	116,15±11,787 b

¹ Farklı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden istatistiksel olarak farklıdır.

Klorofil ve yaprak alanı

Klorofil, bitkilerin büyümesi, yeşil ve sağlıklı halinin devamını sağlamada önemli bir rolü olan pigment olarak tanımlanabilir. Metal toksisitesinde bitkilerin klorofil içeriğinin hasar gördüğü bilinmektedir. Çalışmamızdaki metal uygulamalarının her ikisinde klorofil değerlerini azaltıcı etkide bulunmuş olsa da kadmiyum daha baskılayıcı olmuştur. Kurşun konsantrasyonlarında ki (Pb3000) en düşük klorofil değeri 43,76 (SPAD) iken, kadmiyum uygulamalarındaki (Cd300) en düşük klorofil değeri 36,09 (SPAD) olarak ölçülmüştür. Ağır metallerin (özellikle Cd) klorofil sentezinde aktif olan enzimleri baskılayarak enzim aktivitesini azalttığı daha önce yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Ouzounidou 1995). Ayrıca metalin türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak klorofil kaybı ve yaprak alanı küçülmesi, ağır metallerin bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerinin arasında yer almaktadır (Benavides *et al.* 2005; Lombardi and Sebastiani 2005). Kontrol uygulaması ve araştırma konusu metallerin saksılardaki yaprak alanı ortalamasına etkisine ait değerler Tablo.4’de paylaşılmıştır. Kurşun uygulamalarının tamamı, kontrol uygulamasıyla aynı istatistik grup içerisinde yer almıştır. En yüksek kurşun uygulamasında (Pb3000) %13 oranında bir yaprak alanı kaybı yaşanmıştır. Kadmiyum uygulamalarında ise yaprak alanı kaybı Cd (300) uygulamasında %59 olarak hesaplanmıştır.

Eİ ve DOSİ

Tablo 5. Uygulamaların Mısır Bitkisinde Elektriksel İletkenlik (%) ve DOSİ (%) Üzerine Etkisi¹

Uygulamalar	Elektriksel iletkenlik (%)	DOSİ (%)
Kontrol	10,76±0,509 c	81,48±0,239 a
Pb 1000	12,58±0,737 c	70,58±0,398 c
Pb 2000	14,80±0,655 bc	65,05±1,544 de
Pb 3000	15,22±0,052 bc	62,32±0,516 e
Cd 100	17,51±3,291 ab	75,40±1,076 b
Cd 200	18,64±0,192 ab	72,68±0,664 bc
Cd 300	20,93±1,761 a	66,41±1,772 d

¹ Farklı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden istatistiksel olarak farklıdır.

Mısır bitkisinde bazı ağır metal uygulamalarının Elektriksel iletkenlik (%) ve DOSİ (%) üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 3’de, ortalamalara ait farklılıklar ise Tablo 5’de sunulmuştur. Tablo.3 incelendiğinde metal uygulamalarının parametreleri önemli seviyede ($P<0,01$) etkilediği görülmektedir.

Elektriksel iletkenlik (EC) (%) değerleri araştırma konusu metallerin etkisiyle artış göstermiştir. Kontrol grubu EC değeri %10,76 iken, kurşun uygulamalarında %15,22’ye, kadmiyum uygulamalarında ise %20,93’e kadar artmıştır. DOSİ değerleri metal uygulamalarının etkisiyle kontrol grubuna göre azalış göstermiştir. Kontrol uygulaması DOSİ değeri %81,48 olarak hesaplanmıştır Kurşun uygulamasında (Pb1000) en yüksek değer %70,58, en düşük değer ise (Pb3000) %62,32 olarak tespit edilmiştir. Kadmiyum uygulamalarında ise en yüksek değer (Cd100) %75,40, en düşük değer ise (Cd300) %66,41 olarak belirlenmiştir. Yıldırım vd. (2019), kadmiyumun düşük dozlarının bitki üzerinde, kurşunun yüksek dozlarından daha etkili stres oluşturduğunu belirtmişlerdir. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerin su ve iyon alımının azalmasının en önemli nedeni kök büyüme ve gelişmesini engellemesidir (Yerli vd. 2020). Elektriksel iletkenlik ağır metal uygulamalarıyla artış göstermiş, DOSİ ise azalmıştır. DOSİ değerlerinin azalması hidrolik iletkenlikte ağır metal toksisitesine bağlı azalmalardan kaynaklanabilir (Ehlert *et al.* 2009). Rokada kadmiyum ve kurşun uygulamalarının elektriksel iletkenlik ve DOSİ üzerindeki etkileri çalışmamızla uyum içerisinde (Yıldırım vd. 2019).

Toprak, kök ve bitki metal birikimi

Farklı metal (Pb, Cd) dozlarının, Mısır bitkisinde toprak, kök ve bitkideki birikim değerlerine ait varyans analizi sonuçları Tablo 6’da, uygulamalara ait farklılıklar Tablo 7 ve 8’de, değişim grafiği ise Şekil 4 ve 5’de sunulmuştur. Tablo 6. incelendiğinde metal uygulamalarına ait farklı konsantrasyonların, tablodaki parametreleri önemli (%1 düzeyinde) seviyede etkilediği görülmektedir.

Tablo 6. Uygulamaların Toprakta, Bitkide ve Kökteki Birikim (ppm) Değerlerine Ait Varyans Analiz Tablosu

F değerleri							
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi	Toprakta cd	Kökte cd	Bitkide cd	Toprakta pb	Kökte pb	Bitkide pb
Uygulama	6	174,805**	805,166**	85,275**	90,455**	116,485**	82,330**
Hata	14						
Toplam	20						

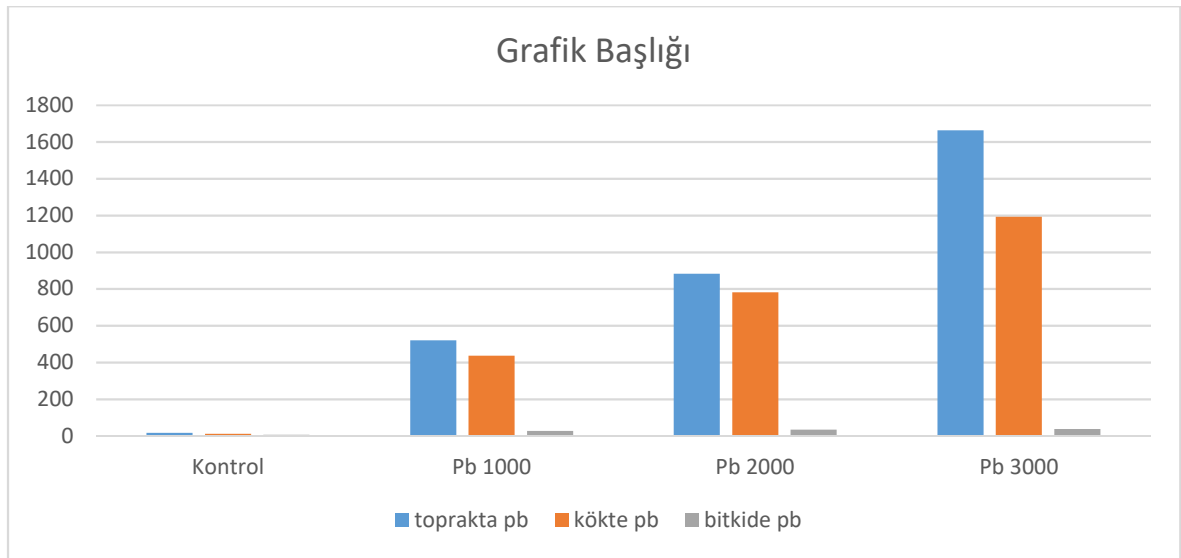
** işaretli F değerleri 0.01 ihtimal sınırlarında önemlidir.

Farklı kurşun uygulamalarının toprak, kök ve bitkideki birikimlerinin olduğu Tablo 7’de kadmiyum birikimlerine ait değerlerde paylaşılmıştır. Kurşun uygulaması yapılan saksılara hiçbir kadmiyum uygulaması yapılmamış olmakla beraber elde edilen değerler kullanılan toprağın doğal içeriğinden kaynaklanmıştır. Şekil 4’den de görüldüğü üzere Mısır bitkisi kurşun metalini bitki<kök<toprak sıralamasında bünyesinde biriktirmiştir. Zimdahl and Skogerboe (1977) isimli araştırmacılar yaptıkları birçok çalışmada toprakların, kurşun elementini immobil hale getirmek için büyük bir potansiyele sahip olduklarını belirtmişlerdir. Metalin (Pb) karbonatlar şeklinde çökelerek, organik madde tarafından fikse edilerek ve sulu oksitler tarafından tutularak toprakta hareketlerinin kısıtlandığı tespit edilmiştir. Bitki bünyesine köklerden metali alarak diğer dokularına taşımaktadır. Kurşunun kök yüzeyine ve hücre duvarına bağlanması nedeniyle filizlere taşınımı genellikle sınırlıdır. Nitekim çalışmamızda da toprağa uygulanan konsantrasyonların önemli bir kısmı toprak içerisinde kalmış, metalin bir bölümü bitki kök yapısında akümüle olmuş ancak sürgünlere taşınımı düşük bir oranda kalmıştır. Domates, biber, patlıcan ve mısır bitkilerinde kurşun metalinin kök, gövde ve yapraktaki birikimlerinin incelendiği bir çalışmada, tüm bitkilerde kurşun birikiminin en yüksek oranda kök yapısında akümüle olduğu tespit edilmiştir (Kafadar ve Saygıdeğer 2010).

Tablo 7. Farklı Pb Dozlarının, Toprak, Bitki ve Kökteki Birikimlerine (ppm) Ait Ortalamalar¹

Uygulamalar	Toprakta Pb (ppm)	Kökte Pb (ppm)	Bitkide Pb (ppm)
Kontrol	16,66±2,622 d	11,60±0,378 d	5,71±1,382 c
Pb 1000	519,52±104,425 c	436,11±59,395 c	26,13±3,980 b
Pb 2000	882,14±87,982 b	781,12±101,194 b	33,29±1,549 a
Pb 3000	1663,46±114,208a	1192,37±4,604 a	38,00±0,679a
Cd 100	0,433±0,0732 d	4,50±0,295 d	3,13±0,172 c
Cd 200	0,400±0,0512 d	4,35±1,834 d	3,72±0,0572 c
Cd 300	0,517±0,0464 d	2,15±0,395 d	3,11±0,488 c

¹Farklı harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır.



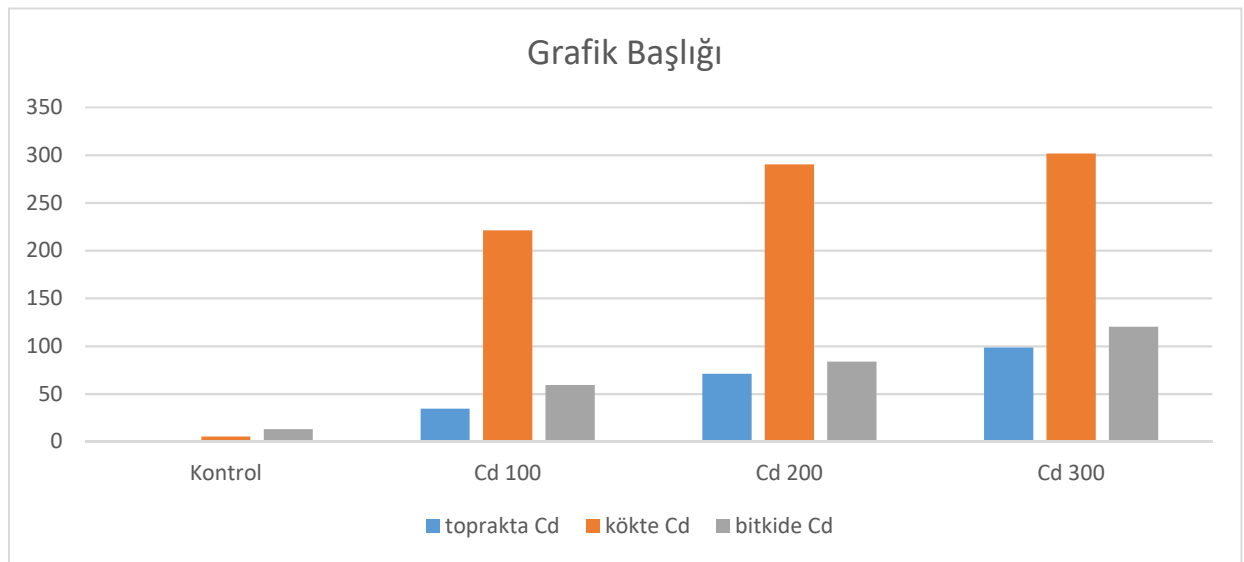
Şekil 4. Mısır bitkisinde toprak, kök ve bitkideki Kurşun konsantrasyonlarına ait değişim grafiği

Farklı kadmiyum uygulamalarının toprak, kök ve bitkideki birikimlerinin olduğu Tablo 8’de kurşun birikimlerine ait değerlerde paylaşılmıştır. Kadmiyum uygulaması yapılan saksılara hiçbir kurşun uygulaması yapılmamış olmakla beraber elde edilen değerler kullanılan toprağın doğal içeriğinden kaynaklanmıştır. Şekil.5’de daha iyi anlaşılacağı üzere Mısır bitkisi kadmiyum metalini toprak<bitki<kök sıralamasıyla bünyesinde biriktirmiştir. Kadmiyum metalinin diğer metallere kıyasla hareketliliğinin fazla olması bitki tarafından alınabilirliğini kolaylaştırmaktadır (Kabata-Pendias 2011). Kadmiyum stresi altında farklı gelişme dönemlerindeki (fide ve olgun dönem) sorgum bitkisinin ayrı ayrı incelendiği bir çalışmada Cd birikimi her iki bitkide de en yüksek köklerde tespit edilmiştir (Jia *et al.* 2016) . Buğday bitkisinde yapılan başka bir çalışmada ise Cd birikimi tane<kabuk<sap<kök sıralamasıyla gerçekleşmiştir (Lijbben and Sauerbeck 1991). Marulda yapılan benzer bir çalışmada farklı dozlarda toprağa uygulanan kadmiyumun bitki gelişimi ve verimi baskıladığı, metal birikim seviyesinin ise bitki için izin verilen seviyeden daha yüksek olup, kabul edilebilir sınırı aştığı belirlenmiştir (Loi *et al.* 2018; Pereira *et al.* 2011). Benzer olarak, John *et al.* (2009) hardal otu (*Brassica juncea* L.) bitkisinde köklerde sürgünlerinden daha fazla Cd ve Pb biriktiğini, ayrıca kadmiyumun kurşundan daha fazla akümüle olduğunu tespit etmişlerdir.

Tablo 8. Farklı Cd Dozlarının, Toprak, Bitki ve Kökteki Birikimlerine (ppm) Ait Ortalamalar¹

Uygulamalar	Toprakta Cd (ppm)	Kökte Cd (ppm)	Bitkide Cd (ppm)
Kontrol	0,442±0,110 e	5,50±0,907 c	12,99±0,434 d
Pb 1000	16,59±2,659 d	5,49±0,142 c	13,54±0,559 d
Pb 2000	11,07±0,175 d	4,67±0,244 c	15,36±0,351 d
Pb 3000	15,06±0,534 d	4,19±0,426 c	14,05±0,430 d
Cd 100	34,34±1,161 c	221,03±9,514 b	59,39±7,955 c
Cd 200	71,13±6,563 b	290,34±4,549 a	83,87±3,198 b
Cd 300	98,60±0,774 a	301,47±8,301 a	120,45±8,927 a

¹Farklı harfle işaretlenen ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır.



Şekil 5. Mısır bitkisinde toprak, kök ve bitkideki Kadmiyum konsantrasyonlarına ait değişim grafiği

Yönetmelikte verilen ülkemiz toprakları ağır metal sınır değerleri Tablo.9’da sunulmuştur. Araştırmada kullanılan toprak materyaline ait pH değeri 7,1’dir (Ekinci vd. 2021). Buna göre çalışmamızdaki toprak kurşun içerikleri en düşük dozda (Pb1000) dahil, sınır değerinin çok üstündedir (519,52 ppm=mg/kg). Kontrol (hiçbir uygulama yapılmayan) toprak materyalindeki Pb değeri ise 16,66 mg/kg ile sınır değerlerinin çok altında bir değere sahiptir. Kadmiyum içeriği kontrol uygulamasında, kurşunda olduğu gibi sınır değerinin çok altındadır (0,442 ppm=mg/kg). Cd dozlarının toprağa muamelesi sonucu elde edilen birikim değerleri sınır değerlerinin çok üstünde yer almakta olup, en düşük dozda dahi sınır değerinin 11 katından daha fazla bir değere sahiptir (34,34 ppm=mg/kg).

Tablo 9. Türkiye Toprak Ağır Metal Sınır Değerleri (mg/kg) (Anonim 2005)

Ağır Metal	pH 5-6 (mg/kg kuru toprak)	pH>6 (mg/kg kuru toprak)
Pb	50	300
Cd	1	3

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) bitkilerde kabul ettiği ağır metal sınır değerleri Tablo 10.'da sunulmuştur. Kurşun metali sınır değeri 300 mg/kg, kadmiyum metali ise 3 mg/kg'dır. Çalışmamızdan elde edilen değerler kontrol uygulamalarındaki bitki içeriklerinin kurşunda sınırın altında olduğunu, kadmiyumda ise sınırı aşan bir içeriğe sahip olduğunu göstermiştir. Daha önce yapılan çalışmalar hem bitki, hem de toprak örneklerinde Pb, Cd ve Ni metallerine ait birikim değerlerinin karayoluna yakın yerlerde yüksek, karayolundan uzaklaştıkça daha düşük olarak tespit edildiğini rapor etmiştir (Özkan 2017). Elde edilen değerlerin çalışmamızda kullanılan toprak, kum, torf karışımındaki içerikten kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 10. FAO/WHO'nun Bitkilerde Kabul Ettiği Ağır Metal Sınır Değerleri (mg/kg) (FAO 2003)

Ağır Metal	Sınır Değer (mg/kg)
Pb	300
Cd	3

Antioksidan Enzim Aktivitesi

Farklı metal (Pb, Cd) dozlarının, Mısır bitkisinde Antioksidan Enzim Aktivitelerine (H₂O₂, CAT, POD ve SOD) ait varyans analizi sonuçları Tablo 11'de, uygulamalara ait farklılıklar Tablo 12 ve 13'de sunulmuştur. Tablo 11 incelendiğinde metal uygulamalarına ait farklı konsantrasyonların, tablodaki parametreleri önemli (%1 düzeyinde) seviyede etkilediği görülmektedir.

Tablo 11. Cd ve Pb Uygulamalarının Mısırdaki Antioksidan Enzim Aktivitelerine (H₂O₂, CAT, POD ve SOD) Ait Varyans Analizi Tablosu

		F değerleri				
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi	H ₂ O ₂ - (mmol/kg)	MDA- (nmol/g)	CAT- (EU/gTA)	POD- (EU/gTA)	SOD- (EU/gTA)
Uygulama	6	118,175**	906,449**	14,161**	175,932**	10,195**
Hata	14					
Toplam	20					

** : P<0.01

Tablo 12. Cd ve Pb Uygulamalarının Mısır Bitkisinde Antioksidan Enzim Aktiviteleri (CAT, POD ve SOD) Üzerine Etkisi

Uygulamalar	CAT-(EU/gTA)	POD-(EU/gTA)	SOD-(EU/gTA)
Kontrol	0,02±0,001 b	8,21±0,001 d	76,72±0,341 c
Pb 1000	0,02±0,002 b	7,34±0,016 e	82,56±0,828 b
Pb 2000	0,008±0,000 c	10,98±0,179 b	82,76±2,146 b
Pb 3000	0,017±0,001 b	7,36±0,084 e	82,13±1,815 b
Cd 100	0,013±0,001 bc	14,06±0,414 a	87,00±0,716 a
Cd 200	0,015±0,002 b	8,86±0,126 c	80,53±0,249 bc
Cd 300	0,032±0,002 a	7,13±0,093 e	89,70±1,735 a

¹ Farklı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden istatistiksel olarak farklıdır.

Bitkiler, kendilerini zararlı etkilere karşı koruyan bir dizi antioksidan moleküle ve enzime sahiptir. Stres şartlarında bitkilerde oluşan reaktif oksijen türleri (ROS) olarak bilinen toksik ve reaktif moleküller bitkide oksidatif stresin oluşmasını sağlar (Ak ve Yücel 2011). Antioksidan enzimlerde (süperoksit dismutaz, SOD; katalaz, CAT; askorbat peroksidaz, APX; glutatyon redüktaz, GR vb.) hücrel zararını sınırlandırmak için faaliyete geçerler. Bitki hasarı, antioksidan süreçlerin mekanizmalarının kapasitesi azaldığında meydana gelir (Bhaduri and Fulekar 2012). Pb ve Cd ağır metallerinin mısır bitkisi bünyesindeki antioksidan enzim aktiviteleri Tablo.12’de görülmektedir. Kurşun uygulamalarında CAT aktivitesi yükselmekle beraber Pb1000 ve Pb3000 arasında önemli bir fark bulunmazken Pb2000 uygulamasında ise CAT aktivitesinin azaldığı saptanmıştır. Kadmiyum uygulamalarında ise tüm dozlar CAT aktivitesini artırıcı etkiye bulunmuştur. Tereye uygulanan kadmiyum metali dozlarında da benzer şekilde CAT aktivitesi artış göstermiştir (Alım 2020). Yapılan çok sayıda çalışmada farklı bitki türleri ve farklı metal uygulamalarının katalaz (CAT) enziminin metali düşük konsantrasyonlarında arttığını ancak belli bir konsantrasyon sonrasında azalışa geçtiğini rapor etmiştir (Sinha and Saxena 2006; Mishra *et al.* 2006; Razinger *et al.* 2008).

Peroksidaz (POD) enzim aktivitesinde kontrol uygulaması değeri 8,21 EU/gTA olarak hesaplanmıştır (Tablo 12). Pb1000 ve Pb3000 uygulamalarında POD aktivelerinde azalma meydana gelmiştir ve istatistik olarak aynı grupta yer almışlardır. Pb2000 uygulamasında ise artış görülmüştür (10,98 EU/gTA). Kadmiyum uygulamalarında ise Cd100 uygulamasında POD değeri kontrol grubuna göre yükselmiş, sonraki uygulamalarda (Cd200,300) ise tekrar azalışa geçmiştir. Hücrelerdeki süperoksit radikalini bitirmekten sorumlu olan SOD enzimi aktivitesi ağır metali türüne, dozuna, maruz kalma süresine ve bitkinin çeşit ve genotipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Dixit *et al.* 2001). Çalışmamızda kurşun uygulamalarının SOD aktivitesi kontrol grubuna göre artış göstereceği tüm değerler aynı

istatistik grup içerisinde yer almıştır (Tablo.12). Kadmiyum uygulamalarında ise Cd100 dozunda dahi 10,28 EU/gTA'lık bir artış söz konusudur. Cd200 uygulamasında bir düşüş görülsede, SOD değeri kontrol uygulamasından yüksektir. Cd300 uygulamasında ise tüm uygulamalar içerisindeki en yüksek SOD aktivite değeri elde edilmiştir (89,70 EU/gTA). Kurşun uygulamalarına göre kadmiyum uygulamalarının SOD değerlerinin daha yüksek olması ağır metal stresine, daha fazla tolerans gösterdiği şeklinde açıklanabilir (Ak ve Yücel 2011). Kadmiyum metalinin bitkilerde oksidatif strese sebep olması, bitki çeşidi ve çevre şartlarına bağlı olarak antioksidan enzim aktivitelerinde değişikliğe sebep olmaktadır (Hegedüs *et al.* 2001). Araştırmacılar ağır metallerin bitkide oluşturduğu toksisitenin neden olduğu antioksidan enzim faaliyetlerinde meydana gelen artışların fitoremediasyon yöntemlerin gelişimi için önemli bir faktör olduğunu belirtmiştir (Kranter and Colvill 2011).

Tablo 13. Cd ve Pb Uygulamalarının Mısır bitkisinde Hidrojen Peroksit (H₂O₂) ve Lipid Peroksidasyon (MDA) İçeriği Üzerine Etkisi

Uygulamalar	H ₂ O ₂ (mmol/kg)	MDA-(nmol/g)
Kontrol	98,69±1,008 e	1,75±0,033 f
Pb 1000	146,66±1,118 b	1,90±0,086 f
Pb 2000	147,29±0,454 ab	2,20±0,036 e
Pb 3000	152,57±0,238 a	2,46±0,040 d
Cd 100	115,82±2,788 d	5,68±0,136 c
Cd 200	118,25±0,158 d	6,11±0,073 b
Cd 300	125,68±3,682 c	6,46±0,019 a

¹ Farklı harfle işaretlenen ortalamalar birbirinden istatistiksel olarak farklıdır.

SOD enziminin faaliyeti sonucu oluşan hidrojen peroksit (H₂O₂) katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz gibi enzimlerin faaliyetleri ile ortamdan uzaklaştırılır (Dixit *et al.* 2001). Tablo 13 incelendiğinde, Pb ve Cd kirliliğinin H₂O₂ ve MDA içeriğini artırıcı yönde etkilediği saptanmıştır. Kontrol grubuna ait 98,69 (mmol/kg) hidrojen peroksit değeri, kurşun ve kadmiyum uygulamalarıyla yükselmiş olup en yüksek değer Pb3000 uygulamasında tespit edilmiştir (152,57 mmol/kg). Malondialdehit (MDA) stres kaynağının türüne ve şiddetine bağlı olarak değişim gösteren bir değer olarak tanımlanmaktadır (Tunçtürk vd. 2021). MDA aktivitesinin ölçülmesi lipid peroksit seviyesini belirlemek için sıklıkla kullanılmaktadır (Ohkawa *et al.* 1979). Lipid peroksit ise bitki hücreleri için kullanılan bir stres indikatörü olarak bilinir (Taulavuori *et al.* 2001). Çalışmamızda kontrol grubundaki MDA değeri 1,75 nmol/g'dır. Pb 3000 uygulamasında 2,46 olan MDA değeri, Cd300 uygulamasında 6,46 nmol/g'dır. *Saccharomyces cerevisiae*'nın gelişme ortamına uygulanan ağır metallerin (Mn, Mg, Cd, Fe) bitkideki MDA enzim aktivitesine etkisinin ölçüldüğü bir çalışmada tüm metallerin

MDA değerini yükselttiği, en yüksek MDA değerinin Cd uygulamasından alındığı rapor edilmiştir. Araştırıcılar bu durumu ağır metal uygulamasının hücrelerde ciddi hasara sebep olmasına bağlamıştır (Kireğci 2017).



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mısır bitkisinde farklı ağır metal (Pb, Cd) doz ve uygulamaları sonucunda meydana gelen etkiler; bitki gelişimi (fide boyu, gövde çapı, taze ve kuru ağırlık vb.), fizyolojik özellikler (doku oransal su içeriği, doku elektrik iletkenliği) ve biyokimyasal (klorofil miktarı, süperoksit distumaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD) enzim aktiviteleri vb.) gibi parametrelerin yanı sıra bitkinin kök ve toprak üstü aksamındaki metal birikimi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Kurşun stresi altında fide boyu, bitki taze ve kuru ağırlıkları, kök taze ve kuru ağırlıkları artan doz miktarıyla birlikte azalma gözlenmiştir. Özellikle Pb2000 ve üzeri dozlarda morfolojik özelliklere ait gözlemler olumsuz etkilenmiştir. Kadmiyumun aynı parametrelere olumsuz etkisi kurşundan çok daha yüksektir. Fide boyundaki boy kaybı kurşun metalinde (Pb3000) %20 iken, kadmiyum metalinde (Cd300) bu oran %42'dir. Bitki ve kök, yaş ve kuru kütlelerinde de kadmiyum çok daha baskılayıcı bir etki göstermiştir.

2- Bitkilere ait gövde kalınlığı metal dozuyla ters orantılı olarak, metal yoğunluğu arttıkça azalış göstermiştir. Aynı şey yaprak sayısı, klorofil değeri ve yaprak alanı içinde geçerlidir. Kadmiyumun en düşük dozlarının kurşunun en yüksek dozlarından bitkiler için daha toksik olduğu yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Balcı 2019).

3- Elektriksel iletkenlik (Eİ) ve Doku Oransal Su İçeriği (DOSİ) değerleri metal muamelesine bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Elektriksel iletkenliğin stres koşullarında arttığı, DOSİ değerinin ise azaldığı bilinmektedir. Metallerin bitkide fotosentez, stomaların kapanması, yaprak alanlarını etkilemesinden kaynaklı olarak stres oluşturması yaprak dokusundaki oransal su kapsamını azaltmaktadır (Jones ve Turner 1978, Chaves, 1991). Kadmiyumun bitkideki toksisitesinin daha yüksek olması bu değerleri de kurşun metalinden daha fazla etkilemiştir.

4- Her iki metalin aynı koşullarda aynı bitkiye uygulandığı çalışmada metallerin toprak, kök ve bitkideki birikim miktarları farklı olarak tespit edilmiştir. Mısır bitkisi bünyesindeki kurşun metali birikimi bitki<kök<toprak sıralamasında olurken, kadmiyum metali toprak<bitki<kök sıralamasında bitkide akümüle olmuştur. Buradan yola çıkarak bitkinin sera şartlarında fide aşamasına geldiği dönemde topraktaki ağır metalin (Pb) bitkideki (kök+gövde) konsantrasyondan daha yüksek olduğu söylenebilir. Bitki kurşunun belli bir miktarını kökleri

vasıtasıyla almış ancak toprak üst aksamına çok düşük konsantrasyonlarda taşımıştır. Kadmiyum metalinin diğer metallerden daha fazla suda çözünabilirliğe ve hareketliliğe sahip olduğu için bitki tarafından alınabilirliğinin fazla olduğu bilinmektedir (Kabata-Pendias 2011). Nitekim çalışmamızda da metal birikim değerlerinde en düşük değer tüm konsantrasyonlarda toprak içeriğinde tespit edilmiştir. Buradan yola çıkarak kadmiyum bulaşık alanlarda yetiştirilen mısırların verim ve tüketim amaçlı yetiştirilmesinin uygun olmadığı söylenebilir. Kurşun bulaşık alanlarda ise toprak üstü aksamındaki metal akümüasyonu çalışmamız sonuçlarına göre oldukça düşüktür.

5- Ağır metallerin özellikle kadmiyumun en belirgin etkisinin değişen enzim değerleri olduğu belirtilmiştir (Balcı 2018; Asri vd. 2007). Nitekim çalışmamızda da enzim aktiviteleri kontrol grubu bitkilerine kıyasla kurşun ve kadmiyum metallerinin etkisiyle artmış ve azalmıştır. Yapılan çok sayıda çalışma enzim aktivitesinin çalışma prensibinin, stres şartlarının türü, bitkideki işleyişi, bitkinin türü gibi parametrelerden oluşan bir kombinasyona bağlı olarak değiştiğini rapor etmiştir (Bhaduri and Fulekar 2012).

Toprak-bitki sistemlerinde ağır metallerin transferi ve birikimi birçok faktörden etkilenmektedir. Fitoremediasyon yönteminde kullanılan hiperakümülatör bitkilerden istenen özelliklerin başında; toksik düzeylerde kirlilik parametresi olmasına rağmen bundan etkilenmeyen, kuvvetli bir kök yapısı, toprak üstü aksamında yüksek konsantrasyonda metal biriktirebilen, çabuk büyüyen ve bol vejetatif aksam geliştirebilen bitkiler olması gelmektedir. Hiper biriktiriciler pek çok bitkiye zarar verecek belirli metallerin topraktaki çözünürlüklerinde büyüeyebilen bitkilerdir (Watanabe 1997, Reeves ve Baker 2000). Bu araştırma mısır bitkilerinin köklerinde önemli miktarlarda Pb ve Cd ağır metalini biriktirdiğini saptamıştır. Bu bulgulara bağlı olarak verim ve kullanıma yönelik amaçlarla kurşun kontamine toprakta mısır yetiştiriciliği yapılabileceği söylenebilir (topraüstü aksam değerlendirileceği için). Kadmiyumla kontamine olan tarım topraklarında ise mısır ıslah amaçlı tercih edilebilir. Ancak mevcut birikim kapasitesi nedeniyle yetiştirilen mahsullerin tarladan uzaklaştırılıp kurutulup yakılması ve tüketimden kaçınılması gerekmektedir. Bu çalışma mısırın ağır metal uygulamalarına olan toleransı ve birikim kapasitesini belirli parametreler üzerinden anlamaya yönelik yapılmıştır. Ancak ağır metal birikim denklemini etkileyen çok sayıda faktör söz konusudur ve bu karmaşık yapının anlaşılabilmesi için çok sayıda araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Abedi, T., Pakniyat, H., 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech J. Genet. Plant Breed, 46, 27–34.
- Abedi, T., Gavanji, S., Mojiri, A. 2022. Lead and zinc uptake and toxicity in maize and their management. Plants, 11(15), 1922.
- Adiloğlu, G., Göker, M., 2021. Phytoremediation: elimination of hexavalent chromium heavy metal using corn (*Zea mays* L.). Cereal Research Communications, 49:65–72.
- Agarwal, S., Pandey, V., 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. Biologia Plantarum, 48(4), 555-560.
- Ak, A., Yücel, E. 2011. Ecotoxicological effects of heavy metal stress on antioxidant enzyme levels of triticum aestivum cv. Alpu, Biological Diversity and Conservation, 4(3), 19-24 .
- Alım, Z., 2020. Hüyük Asit Uygulamalarının Ağır Metal Stresi Altında Yetiştirilen Terede Bitki Gelişimi ile Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı.
- Alloway, B.J., 1995. Cadmium. In: Heavy Metals in Soils. B.J. Alloway (ed). Blackie Academic & Professional, London, 122-151.
- Angelini, R., Manes, F., Federico, R., 1990. Spatial and functional correlation between daimine-oxidase and peroxidase activities and their dependence upon deetilation and wounding in chick-pea. Planta, 182, 89–96.
- Anjum, S.A., Tanveer, M., Hussain, S., Bao, M., Wang, L., Khan, I., Shahzad, B., 2015. Cadmium toxicity in Maize (*Zea mays* L.): consequences on antioxidative systems, reactive oxygen species and cadmium accumulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(21), 17022-17030.
- Anonim, 2005. Resmi Gazete. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. Sayı: 25831, Tarih: 31.05.2005.
- Aslanhan, E., 2012. Çevresel Kirliliklerin Takibinde Kullanılacak Yeni Biyomonitör Bitkiler. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ahi Evran Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı.
- Asri, F. Ö., Sönmez, S., Çıtak, S., 2007. Kadmiyumun Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. Derim, 24(1), 32-39.
- ATSDR (2017) <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html>, Erişim Tarihi: 25.03.2018, Konu: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)'s Substance Priority List.
- Bahmani, R., Bihamta, M. R., Habibi, D., Forozesh, P. and Ahmadvand, S., 2012. Effect of Cadmium Chloride on Growth Parameters of Different Bean Genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.), ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 7, 35–40
- Baker, A.J.M., Brooks, R.R., 1989. Terrestrial Higher Plants Which Hyperaccumulate Metallic Elements—A Review of Their Distribution, Ecology and Phytochemistry. Biorecovery 1: 81-126.

- Baker, A.J.M., Ewart, K., Hendry, G.A.F., Thrope, P.C., and Walker, P.L., 1990. The evolutionary basis of cadmium tolerance in higher plants, In: 4th International Conference on Environmental Contamination, Barcelona, 23–29p.
- Balcı, G. (2018). 24–Epibrassinosteroidin Kadmiyum Stresi Koşullarında Çilek Fidelerinin Vejetatif Büyüme Kriterleri Üzerine Etkisi. *Bahçe*, 47(2), 33-38.
- Balcı, T., 2019. Ağır Metal Stresinin Roka (*Eruca sativa* L.)’da Bitki Gelişimi ve Fizyolojisi Üzerine Etkisi. Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi Tarla Bitkileri Anabilim Dalı.
- Bali, R., Siegele, R., Harris, A.T., 2010. Phytoextraction of Au: uptake, accumulation and cellular distribution in *Medicago sativa* and *Brassica juncea*. *Chem Eng J* 156:286–297
- Barcelo, J., Vasquez, M.D., Poschenrieder, C.: Structural and ultrastructural disorders in cadmium-treated bush bean plants. *New Phytol.* 108:37 - 49, 1988.
- Başcı, N., 2009. Cr (VI) İyonunun Süs Bitkileri Kullanılarak Toprakta Gideriminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Benavides MP, Gallego SM, Tomaro ML, 2005. Cadmium Toxicity in Plants. *Brazilian journal of plant physiology* 17(1): 21-34.
- Bennedsen, L.R., Krischker, A., Jørgensen, T.H., Søgaard, E.G., 2012. Mobilization of metals during treatment of contaminated soils by modified Fenton’s reagent using different chelating agents. *J Hazard Mater* 199-200:128–134
- Bermudez, G.M.A., Jasan, R., Pla, R., Pignata, M.L., 2012. Heavy metals and trace elements in atmospheric fall-out: Their relationship with topsoil and wheat element composition. *Journal of Hazardous Materials* 213-214: 447-456.
- Bhaduri, A.M., Fulekar, M.H., 2012. Antioxidant Enzyme Responses Of Plants To Heavy Metal Stress. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology* 11: 55–69.
- Bharti, N. ve Singh, R.P., 1993. Growth And Nitrate Reduction By *Sesamum indicum* cv PB-1 Respond Differentially To Lead. *Phytochemistry*, 33, 531-534.
- Bi, X., Feng, X., Yang, Y., Li, X., Shin, G., Li, F., Qiu, G., Li, G., Liu, T. and Fu, Z., 2009. Allocation and Source Attribution Of Lead and Cadmium In Maize (*Zea mays* L.) Impacted By Smelting Emissions. *Environmental Pollution*, 157, 834–839.
- Bilgiç, Ş., Sade, B., Soylu, S., Bilgiçli, N., Cerit, İ., Öz, A., Cengiz, R., Özkan İ., 2012. Mısır raporu. Ulusal Hububat Konseyi. Ankara.
- Breward, N., 2003. Heavy-metal contaminated soils associated with drained fenland in Lancashire, England, UK, revealed by BGS Soil Geochemical Survey. *Applied Geochemistry*, 18(11), 1663–1670.
- Brooks, R.R., (Ed.), 1998. Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining, CAB International, New York, 380.
- Bütünoğlu, A., 2018. Su kaynaklarında yüzer sulak alan ve sucul bitkiler ile nütrient gideriminin değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Chaney, R.L., Hornick, S.B., 1977. Accumulation and effects of cadmium on crops, paper presented at Int. Cadmium Conf. San Francisco, January 31, .125.

- Chaney, W.R., Pope, P.E., Byrnes, W.R., 1995. Tree survival and growth after twelve years on mined land reclaimed in accord with the 1977 surface mining control and reclamation act. *J Environ Qual* 24: 630-634.
- Chaudhary, S. and Sharma, Y.K., 2009. Interactive studies of potassium and copper with cadmium on seed germination and early seedling growth in maize (*Zea mays* L.), *Journal of Environmental Biology*, 30, 427–432.
- Chaves, L.H.G., Estrela MA, Sena de Souza R., 2011. Effect on plant growth and heavy metal accumulation by sunflower. *J Phytol* 3(12):04–09.
- Chaves, M.M., 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, 42: 1–16.
- Chen, L.X., 2011. Geochemistry characteristics of heavy metals in soilcrop system in typical area of Yangtze River Delta. Nanjing University, Dissertation.
- Chitra, K., Sharavanan, S., Vijayaragavan, M., 2011. Tobacco, corn and wheat for phytoremediation of cadmium polluted soil. *Resent Research in Science Technology*, 3 (2): 148-151.
- Chiwetalu, U.J., Mbajiorgu, C.C., Ogbuagu, N. J., 2020. Remedial ability of maize (zea-mays) on lead contamination under potted condition and non-potted field soil condition. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(1), 51-59.
- Clemens, S., 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants, *Biochimie*, 88(11), 1707-1719.
- Çatak, E., Çolak, G., Tokur, S., Bilgiç, O., 2016. Bazı domates ve tütün genotiplerinde kadmiyum etkilerini inceleyen istatistiksel bir çalışma. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 13-41.
- Çetinkaya, U., 2011. *Platanus Occidentalis* L. (*Platanaceae*) Gövde Kabuklarının Biomonitor Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı.
- Çolak, U., 2009. Gaziantep ilinde Ekimi Yapılan Ekmeklik Buğday Çeşitlerinde (Tosunbey, Ceyhan 99) Kurşun Stresinin Fizyolojik ve Morfolojik Etkileri ile Kurşuna Tolerans Düzeylerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı.
- Dabas, S., 1992. To study the effect of lead on efficiency of nitrogen fixation and nitrogen assimilation in *Vigna radiata* (L.) Wilczek. Ph.D. Thesis, M.D. University, Rohtak.
- Dahmani-Muller, H., Oort, F., Gelie, B., Blabene, M., 2000. Strategies Of Heavy Metal Uptake By Three Plants Species Growing Near A Metal Smelter. *Environ. Pollut.* 109: 231-238.
- Das, P., Samantaray, S., Rout, G.R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants. *Environmental Pollution*, 98:29-36.
- Di Toppi, L.S. and Gabrielli, R., 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environ, Exp. Bot.* 41,105–130.
- Dixit, V., Pandey, V., Shyam, R., 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad). *Journal of Experimental Botany*. 52/358. 1101-1109.
- Doğan, M., Karataş, M., Aasim, M., 2018. Kadmiyum, Krom ve Kurşunun *Ceratophyllum demersum* L. ve *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze Üzerine Fitotoksisitesinin Değerlendirilmesi. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 8(2), 543-550.

- Dunbar, K.R., McLaughlin, M.J., Reid, R.J., 2003. The Uptake and Partitioning of Cadmium in Two Cultivars of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Exp. Botany* 54(381): 349-354.
- Ehlert, C., Maurel, C., Tardieu, F., Simonneau, T., 2009. Aquaporin-Mediated Reduction in Maize Root Hydraulic Conductivity Impacts Cell Turgor and Leaf Elongation even without Changing Transpiration. *Plant Physiol.*, 150(2): 1093-1104.
- Ekinci, M., Yildirim, E., Turan, M., 2021. Ameliorating effects of hydrogen sulfide on growth, physiological and biochemical characteristics of eggplant seedlings under salt stress. *South Afr J Bot* 143:79–89.
- El-Hassanin, A.S., Samak, M.R., Abdel-Rahman, G.N., Abu-Sree, Y.H., Saleh, E.M., 2020. Risk assessment of human exposure to lead and cadmium in maize grains cultivated in soils irrigated either with low-quality water or freshwater. *Toxicology reports*, 7, 10-15.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2000. Introduction to Phytoremediation, EPA/600/R-99/107, National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268, USA
- Esetlili, B.Ç., Anaç, D., 2015. <http://apelasyon.com/Yazi/263-agir-metal-kirliligi-ve-fitoremediasyon>.
- FAO, 2016. FAOSTAT, www.faostat.org cited in Basic Crops Statistics 2016.
- FAO, 2020. Crop Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/> (26.07.2022).
- FAO/WHO Codex Alimentarius International Food Standards Codex Stan -179, 2003. Codex Alimentarius commission.
- Gall, J.E., Rajakaruna, N., 2013. The physiology, functional genomics, and applied ecology of heavy metal-tolerant Brassicaceae. In: Minglin L (ed) *Brassicaceae: characterization, functional genomics and health benefits*. Nova, Hauppauge, pp 121–148
- Glass, D.J., 1999. Economic potential of phytoremediation, *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment*, (Raskin I., Ensley B.D., Eds.), John Wiley&Sons, New York, 15-31.
- Gopal, R. and Khurana, N., 2011. Effect of heavy metal pollutants on sunflower. *African J. of Plant Sci.* 5(9): 531-536.
- Gullap, M.K., Severoglu, S., Karabacak, T., Yazici, A., Ekinci, M., Turan, M. and Yildirim, E. 2022. Biochar derived from hazelnut shells mitigates the impact of drought stress on soybean seedlings. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 1-19.
- Gül, Z., Yazıcı, A., 2021. Farklı Ağır Metal Uygulamalarının Tek Yıllık Çim (*Lolium multiflorum*) Bitki Gelişimi ve Fizyolojisi Üzerine Etkisi. *MAS Journal of Applied Sciences*, 6(5), 1110-1117.
- Harrison, R.M., Laxen, D.P.H., 1980. *Lead Pollution Causes And Control*, Chapman And Hall Ltd, London.
- Hartman, Wj. Jr., 1975. *An Evaluation Of Land Treatment Of Municipal Wastewater And Physical Siting Of Facility Installations*. Us Department Of Army, Washington, Dc.
- Hashem, H.A., Hassanein, R.A., El-Deep, M.H., Shouman, A.I. 2013. Irrigation with industrial waste water activates antioxidant system and osmoprotectant accumulation in lettuce, turnip and tomato plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 95: 144–152.
- Havir, E. A., McHale, N. A., 1987. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalese in tobacco leaves. *Plant physiology*, 84(2), 450-455.

- He, Z.L., Yang, X.E., Stoffella, P.J., 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 19, 125–140.
- Hegedüs, A., Erdei, S., Horváth, G., 2001. Comparative studies of H₂O₂ detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress. *Plant Science*, 160(6), 1085-1093.
- Hinesley, T.D., Jonesand, R.L., Zigler, E.L., 1972. Effects on Corn by Applications of Heated Anaerobical Digested Sludge. *Compost. Sci.* 13: 26.
- Hung, N. M., Hiep, N. V., Dung, B. N. and Hai, N. X., 2014. Lead Accumulation In Different Parts Of Okra Plant (*Abelmoschus esculentus*), *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 9 (6): 190 – 194.
- Intawongse, M., Dean, J.R., 2006. Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract. *Food additives and contaminants*, 23(1), 36-48.
- Jali, P., Pradhan, C., Das, A.B., 2016. Effects of cadmium toxicity in plants: A Review Article. *Sch. Acad. J. Biosci.*, 4(12), 1074-1081.
- Jha, A.N., 2004. Genotoxicological studies in aquatic organisms: An overview. *mutation research-fundamental and molecular mechanisms of mutagenesis*, 552(1–2), 1–17.
- Jia, W., Lv, S., Feng, J., Li, J., Li, Y., Li, S., 2016. Morphophysiological characteristic analysis demonstrated the potential of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the phytoremediation of cadmium-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research* 23: 18823–18831.
- John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., Sharma, S., 2009. Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. *International Journal of Plant Production*, 3 (3), 65-76.
- Johnson, W.R., Proctor, J.A., 1977. Comparative study of metal leaves in plants from two contrasting lead mine sites. *Plant Soil*, 46, 251-257.
- Jones, M.M., Turner, N.C., 1978. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. *Plant Physiology*, 61: 122-126.
- Jouili, H. and El Ferjani, E., 2004. Effects of copper excess on superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in sunflower seedlings (*Helianthus annuus* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 26, 29–35.
- Kabata-Pendias, A., 2011. Trace elements in soils and plants, 4th edn. CRC Press, Boca Raton.
- Kacar, B., İnal, A., 2010. Bitki Analizleri, Nobel Yayınları No:1241.
- Kafadar, F., Saygıdeğer, S., 2010. Gaziantep İlinde Organize Sanayi Bölgesi Atık Suları İle Sulanan Bazı Tarım Bitkilerinde Kurşun Miktarlarının Belirlenmesi. *Ekoloji*. 75:41-48.
- Kahvecioğlu,Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2003. Metallerin Çevresel Etkileri –I. http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (30/07/2022).
- Kaya, C., Higgs, D., Ince, F., Amador, B.M., Cakir, A., Sakar, E., 2003. Ameliorative effects of potassium phosphate on salt-stressed pepper and cucumber. *J. Plant Nutrition*, 26, 807-820.
- Kıran, Y., Şahin, A., 2005. “The effects of the lead on the seed germination, root growth, and root tip cell mitotic divisions of *Lens culinaris* Medik.,” *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 18, (1), 17-25.

- Kıran, Y., ve Munzuroglu, Ö., 2004. Mercimek (*Lens culinaris* Medik.) Tohumlarının Çimlenmesi ve Fide Büyümesi Üzerine Kursunun Etkileri, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16, 1-9.
- Kirecci, O.A., 2017. *Saccharomyces Cerevisiae*'nın Gelişme Ortamına İlave Edilen Ağır Metallerin (Mn, Mg, Cd, Fe) Bazı Biyokimyasal Parametrelere Etkileri. KSU Doğa Bilimleri Dergisi, 20(3): 175- 184.
- Kitagishi, K., Yamane, I., 1981. Heavy Metal Pollution in Soils of Japan, Japan Science Society Press, Tokyo, s. 302.
- Kranner, I., Colville, L., 2011. Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. *Environmental and Experimental Botany*. 72. 93–105.
- Krishnayappa, N.S.R., Bedi S.J., 1986. Effect of automobile lead pollution of *Cassia tora* and *Cassia occidentalis* L., *Environ. Pollut*, 40, 221-226.
- Kumar, G., Singh, R.P., Sushila, 1992. Nitrate assimilation and biomass production in *Seasamum indicum* (L.) seedlings in lead enriched environment. *Wat Soil Pollu* 215:124–215.
- Li, S., Wang, F., Ru, M., Ni, W. 2014. Cadmium tolerance and accumulation of *elsholtzia argyi* originating from a zinc/lead mining site – a hydroponics experiment. *International Journal of Phytoremediation*, 16: 1257–1267.
- Li, Y.M., Chaney, R.L., Schnitzer, R.L., 1994. Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels, *Plant Soil* 167: 275.
- Lichtenthaler, H., Wellburn, A.R., 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 11(5):591–593.
- Lijbben, S., Sauerbeck, D., 1991. The Uptake and Distribution of Heavy Metals by Spring Wheat. *Water, Air, and Soil Pollution* 57(58): 239-247.
- Lindsay, W.L., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Scienc Society America Journal*, 42: 421- 428.
- Loi, N. N., Sanzharova, N. I., Shchagina, N. I., & Mironova, M. P., 2018. The effect of cadmium toxicity on the development of Lettuce plants on contaminated sod-podzolic soil. *Russian Agricultural Sciences*, 44(1), 49-52.
- Lombardi, L., Sebastiani, L., 2005. Copper Toxicity in *Prunus cerasifera*: Growth and Antioxidant Enzymes Responses of In vitro Grown Plants. *Plant Science* 168: 797-802.
- Manivasagaperumal, R., Vijayarangan, P., Balamurugan, S., Thiagarajan, G., 2011. Effect of copper on growth, dry matter yield and nutrient content of *vigna radiata* (l.) Wilczek. *J. Phytology* 3(3): 53-62.
- Marcovecchio, J.E., 2004. The use of *Micropogonias furnieri* and *Mugil liza* as biological indicators of heavy metals pollution in La Plata River estuary (Argentina). *Science of the Total Environment*, 323(1–3), 219–226.
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press International, San Diego, CA, USA.
- Marshner, P., 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third ed. Academic Press; London, UK.
- Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R.D., Kumar, R., Seth, C.S., Gupta, D.K., 2006. Lead detoxification by coontail (*Ceratophyllum demersum* L.) involves induction of

- phytochelatins and antioxidant system in response to its accumulation. *Chem.* 65. 1027-1039.
- Morzek, E., J.r, Funicelli, N.A., 1982. Effect of lead and on germination of *Spartina alterniflora* Losiel seeds at various salinities. *Environ Exp Bot* 22:23–32.
- Nassouhi, D., 2018. Kadmiyum, Kurşun ve Kadmiyum-Kurşun Karışımına Maruz Bırakılan *Pistia Stratiotes* l. Sucul Bitkisinin Fitoremediasyon Potansiyelinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı.
- Neilson, S., Rajakaruna, N., 2014. Phytoremediation of agricultural soils: using plants to clean metal-contaminated arable lands, In A. A. Ansari, S. S. Gill, G. R. Lanza (Eds.), *Phytoremediation: Management of environmental contaminants* 159–168.
- Nogawa, G., Honda, R., Kiod, T., Tsuritani, I., Yamanda, Y., 1987. Limits to protect people eating cadmium in rice, based on epidemiological studies. *Trace Subst. Environ Health*, 21, 431–439.
- Nriagu, J.O. and Pacyna, J.M., 1988. Quantitative assesment of worldwide contramination of air, water and soil with trace metals. *Nature*, 333, 134–139.
- Obbard, J.P., 2001. Ecotoxicological assessment of heavy metals in sewage sludge amended soils. *Applied Geochemistry*, 16(11–12), 1405-1411.
- Ohkawa, H., Ohishi, N., Yagi, Y., 1979. Assay of lipid peroxides in animal tissue by thiobarbituric acid reaction, *Anal. Biochem.*, 95, 351-358.
- Ouzounidou, G., 1995. Cu-ions mediated changes in growth, chlorophyll and other ion contents in a Cu-tolerant *Koeleria splendens*. *Biologia Plantarum* 37: 71-79.
- Özbek, K., 2015. Hiperakümülayon Ve Türkiye Florasındaki Hiperakümülatör Türler Kürşad Özbek. *Toprak Bilimi Ve Bitki Besleme Dergisi*, 3(1), 37-43.
- Özbek, Z., 2010. Topraktaki Ağır Metaller İçin Sınır Değerlerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Bilimleri Anabilim Dalı.
- Özkan, A., 2017. Antakya-Cilvegözü karayolu etrafındaki tarım arazilerinde ve bitkilerdeki ağır metal kirliliği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 9–18.
- Paschke, M.W., Valdecantos, A., Redente, E.F., 2005. Manganese toxicity thresholds for restoration grass species. *Environmental Pollution* 135: 313-322.
- Pereira, B.F.F., Rozane, D.E., Araújo, S.R., Barth, G., Queiroz, R.J.B., Nogueira, T.A.R., & Malavolta, E. (2011). Cadmium availability and accumulation by lettuce and rice. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(2), 645-654.
- Prasad, M.N.V., 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environmental and Experimental Botany*, 35, 525–545.
- Quinn, M.R., Feng, X., Folt, C.L., Chamberlain, C.P., 2003. Analyzing trophic transfer of metals in stream food webs using nitrogen isotopes. *Science of the Total Environment*, 317(1–3), 73-89.
- Ramos, I., Esteban E., Lucena J.J. and Garate A., 2002. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants os *Lactuca sp.* Cd- Mn Interaction. *Plant Science*, 162, 761– 767.
- Rascioa, N. , and F. Navari-Izzo, 2011. “Heavy metal hyperaccumulating plants,” *Plant Science*, 180, 169–181.

- Raskin, I, Ensley, Bd., 2000. *Phytoremediation Of Toxic Metals: Using Plants To Clean Up Tthe Enviroment*. John Wiley And Sons, Newyork, 304.
- Raskin, I., Smith, R.D., Salt, D.E., 1997. Phytoremediation of metals using plants to remove pollutants from the environment, *Curr. Opin. Birstechnol*, 8, 221-226.
- Rawat, M., Moturi, M.C.Z., Subramanian, V., 2003. Inventory compilation and distribution of heavy metals in wastewater from small-scale industrial areas of Delhi, India. *Journal of Environment Monitoring*, 5(6), 906-912.
- Razinger, J., Dermastia, M., Koce, J.D., Zrimec, A. 2008. Oxidative stress in Duckweed (*Lemna minor* L.) caused by short-term cadmium exposure. *Environ. Pollut.* 153. 687-694.
- Reeves, R.D., Baker, A.J.M., 2000. Metal–Accumulating Plants. (In: Raskin I. and Ensley BD Eds.) *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean–Up the Environment*. New York, John Wiley and Sons, p. 193–230.
- Rellán-Alvarez, R., Ortega-Villasante, C., Alvarez-Fernandez, A., Campo, F.F., Hernandez, L.E., 2006. Stress responses of Zea mays to cadmium and mercury. *Plant Soil* 279: 41–50.
- Rodríguez-Jordá, M.P., Garrido, F., García-González, M.T., 2010. Potential use of gypsum and lime rich industrial by-products for induced reduction of Pb, Zn and Ni leachability in an acid soil. *J. Hazard. Mater.* 2010;175:762–769. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.10.074.
- Ross, S.M., Kaye, K.J., 1994. The meaning of metal toxicity in soil-plant systems Ross S.M. (Ed.), *The meaning of metal toxicity in soil-plant systems*, John Wiley & Sons, Chichester. pp. 27-61.
- Ruis-Jiménez, J., Luque-Garcia, J.L., Luque de Castro, M.D., 2003. Dynamic ultrasound-assisted extraction of cadmium and lead from plants prior to electrothermal atomic absorption spectrometry. *Anal. Chim. Acta*, 480: 231-237.
- Sağlam, N., Cihangir, N., 1995. Ağır Metallerin Biyolojik Süreçlerle Biyosorbsiyonu Çalışmaları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11; 157-161.
- Sahin, U., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Yildiz, S., Yildirim, E., 2018. Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Scientia Horticulturae*, 240, 196-204.
- Salt, D.E., Smith, R.D, Raskin, L., 1998. Phtoremediation. *Annu. Rev. Plant physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 643-668.
- Senden, M.H.M.N., Wolterbeek, H.T., 1990. Effect of citricacid on the transport of cadmium through xylem vesselsof excised tomato stem-leaf systems, *Acta Bot. Neerl.* 39,297 – 303.
- Seven, T., Can, B., Darende, B., Ocak, S., 2018. Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1 (2): 91-103.
- Sgherri, C., Quartacci, M.F., Izzo, R., Navari-Izzo, F. 2002. Relation between lipoic acid and cell redox status in wheat grown in excess copper. *Plant Physiol. Biochem.* 40:591-597.
- Sharma, D.C., Sharma, C.P., 1993. Chromium Uptake and Its Effects on Growth and Biological Yield of Wheat. *Cereal Res. Commun.* 21: 317-321.
- Sharma, P and Dubey, R.S., 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1):35-52.
- Siedlecka, A., Krupa, Z., 1999. Cd/Fe interaction in higher plants. Its consequence for the photosynthetic apparatus. *Photosynthetica*, 36(3):321-331.

- Simmler, M., Ciadamidaro, L., Schulin, R., Madejon, P., Reiser, R., Clucas, L., Weber, P., Robinson, B., 2013. Lignite reduces the solubility and plant uptake of cadmium in pasturelands. *Environ. Sci. Technol.* 47 (9), 4497e4504. <https://doi.org/10.1021/es303118a>.
- Sinha, S., Saxena, R. 2006. Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and non-enzymatic antioxidants and Bacoside-a content in medicinal plant *Bacopa monnieri* L. *Chem.* 62. 1340–1350.
- Sossé, B.A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L.M., Epron, D., Badot, P.M., 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*, 166, 1213-1218.
- Spirochova, I.K., Puncocharova, J., Kafka, Z., Kubal, M., Soudek, P., Vanek, T., 2003. 'Accumulation of heavy elements by in vitro cultures of plants', *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 3, 269-276.
- Stafford, A.D., Palmer, A.S., Jeyakumar, P., Hedley, M.J., Anderson, C.W., 2018. Soil cadmium and New Zealand dairy farms: impact of whole-farm contaminant variability on environmental management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 254, 282e291. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.033>
- Stancheva, M., Rangel-Buitrago, N., Anfuso, G., Palazov, A., Stanchev, H., Correa, I., 2011. Expanding level of coastal armouring: case studies from different countries. *Journal of Coastal Research*, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), Szczecin, Poland, ISSN 0749-0208.
- Stigliani, W.M., 1995. Global perspectives and risk assessment. *Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments*, Salomons W, Stigliani WM, eds., Springer, Berlin, s. 331.
- Stolt, J.P., Sneller, F.E.C., Bryngelsson, T., Lundborg, T., ve Schat, H., 2003. Phytochelatins and cadmium accumulation in wheat. *Environ. Exp. Bot.* 49, 21-28.
- Syed, A.H., Barkat, A., Shamsul, H., Aqil, A., 2007. Cadmium-induced changes in the growth and carbonic anhydrase activity of chickpea. *Turk J Biol.*, 31: 137-140.
- Symeonidis, L, McNeilly, T., Bradshaw, A.D., 1985. Differential tolerance of three cultivars of *Agrostis capillaris* L. to cadmium, copper, lead, nickel and zinc. *New Phytologist* 101: 309–315.
- Taulavuori, E., Hellström, E-K., Taulavuori, K. and Laine, K., 2001. Comparison of two methods used to analyse lipid peroxidation from *Vaccinium myrtillus* L. during snow removal, reacclimation and cold acclimation, *Journal of Experimental Botany*, 52(365), 2375-2380.
- Thomas, M., Petit, D. and Lamberts, L., 1984. Pound sediments as historical record of heavy metals fallout. *Water, Air and Soil Pollut.*, 23: 51-59.
- Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Gür, N., Çobanoğlu, D., 2004. Ağır Metal İyonlarının (Cu⁺⁺, Pb⁺⁺, Hg⁺⁺, Cd⁺⁺) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *FÜ Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 177-182.
- Tunçtürk, R., Tunçtürk, M., Oral, E., 2021. Kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen soya fasulyesinin (*Glycine max* L.) bazı fizyolojik özellikleri üzerine rizobakterium (PGPR) uygulamalarının etkisi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 359-368. DOI: 10.33202/comuagri.881226.

- TÜİK, 2021. Türkiye yıllara göre tahıl ekiliş alanları ve üretim miktarları. Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, Merkezi Dağıtım Sistemi. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> (15.04.2021)
- Tüver, G., 2021. Farklı Sulama Seviyesi Koşullarında Kadmiyumun Fındık Turpunda (*raphanus sativus* L.) Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı.
- Usman, A.R.A., Mohamed, H.M., 2009. Effect of microbial inoculation and EDTA on the up-take and translocation of heavy metal by corn and sunflower. *Chemosphere* 76, 893–899.
- Ünal, Ş., 2006. Ağır metal stresi altındaki mısır bitkisinde antioksidant enzim savunma sisteminin davranışı ve mısırın ağır metal kirliliğinin giderilmesinde kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Vanlı, Ö., 2007. Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Vanlı, Ö., Yazgan, M., 2008. Ağır metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Tekniği. <http://www.tarimsal.com>. (05.04.2016).
- Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A., 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant science*, 151(1), 59-66.
- Verma, S. ve Dubey, R.S., 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants, *Plant Sci.*, 164, 645-655.4.
- Wang, G., Su, M.Y., Chen, Y.H., Lin, F.F., Luo, D., Gao, S.F., 2006. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern. *China Environ. Pollut.* 144(1), 127-35.
- Wang, S., Wu, W., Liu, F., Liao, R., and Hu, Y., 2017. Accumulation of heavy metals in soil-crop systems: a review for wheat and corn, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 18, pp. 15209–15225.
- Watanabe, M.E., 1997. Phytoremediation on the Brink of Commercialization. *Environmental Science and Technology*, 31: 182-186.
- Wong, M.K., Chuah, G.K., Koh, L.L., Ang, K.P. and Hew, C.S., 1984. The uptake of Cd by brassica chinensis and its effect on plant Zn and Fe distribution: *Env. Exp. Bot.* 24: 189-195.
- Yağdı K., Kaçar O., Azkan N., 2000. Topraklardaki Ağır Metal Kirliliği ve Tarımsal Etkileri”, *On Dokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 15, (2): 109–115.
- Yaldız, G., Şekeroğlu N., 2013. Tıbbi ve aromatik bitkilerin bazı ağır metallere tepkisi, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1), 80- 84.
- Yang, X.E., Jin, X.F., Feng, Y., Islam, E., 2005. Molecular mechanisms and genetic basis of heavy metal tolerance/hyper accumulation in plants. *J Integr Plant Biol* 47:1025–1035.
- Yang, H., Li, Z.J., Lu, L., Long, J.L.Y.C., 2013. Cross-species extrapolation of prediction models for cadmium transfer from soil to corn grain. *PLoS One* 8(12):1–10.
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Şahin, Ü., Tüfenkçi, Ş., 2020. Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Bingöl Üniversitesi, Türk Doğa ve Fen Dergisi*,; 9 (özel sayı): 103-114.

- Yıldırım, E., Ekinci, M., Turan, M., Ağar, G., Örs, S., Dursun, A., Kul, R., Balcı, T., 2019. Impact of Cadmium and Lead Heavy Metal Stress on Plant Growth and Physiology of Rocket (*Eruca sativa* L.). *KSU J. Agric Nat*; 22(6): 843-850.
- Yıldız, N., Bircan, H., 1991. Araştırma ve deneme metotları. Atatürk Üniversitesi Yayınları.
- Yıldız, N., 2001. Toprak Kirletici Bazı Ağır Metallerin (Zn, Cu, Cd, Pb, Co ve Ni) Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 32 (2): 207-213 Erzurum.
- Yılmaz, H.Ş., 2019. Farklı ağır metal uygulamalarının tane sorgum çeşitlerinde ağır metal birikimi, morfolojik ve yem kalite özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl Üniversitesi Tarla Bitkileri Anabilim Dalı.
- Yordanova, R. Y., Christov, K. N., Popova, L.P., 2004. Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding. *Environmental and experimental botany*, 51(2), 93-101.
- Zengin, F.,K., Munzuroğlu, Ö., 2004. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus Vulgaris* L.) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine kurşun (Pb++) ve bakır (Cu++)'ın etkileri. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 17: 1-10.
- Zhang, Y., Yang, X., 1994. "The toxic effects of cadmium on cell division and chromosomal morphology of *Hordeum vulgare*," *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects* 312, (2): 121- 126.
- Zhao, Y.,2011. Cadmium Accumulation And Antioxidative Defenses In Leaves Of *Triticum aestivum* L. and *Zea mays* L.. *African Journal of Biotechnology*, 10, 2936–2943.
- Zheljaskov, V.D., Craker, L.E., Xing, B., 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents.
- Zimdahl, R.L., Skogerboe, R.K., 1977. Behavior of lead in soils. *Environmental Science and Technology* 11,1202-1207.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Ümit ELİK
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Selahattin Akbilek Anadolu Lisesi- Ankara (2009)
Lisans:	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü (2014)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	
Görev Yaptığı Kurum ve Kuruluşlar	