

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEŞİTLİ AĞIR METAL İYONLARININ *Vicia faba*
L.'DE İNDÜKLEDİĞİ ANATOMİK DEĞİŞİMLERİN
VE TOLERANS MEKANİZMALARININ
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Büşra KORKMAZ
ORCID :
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : ../03/2021

Enstitü Anabilim Dalı : Biyoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Zafer TÜRKMEN
ORCID :

Şubat 2021
GİRESUN

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ AĞIR METAL İYONLARININ *VİCİA FAB*
L.'DE İNDÜKLEDİĞİ ANATOMİK DEĞİŞİMLERİN
VE TOLERANS MEKANİZMALARININ
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra KORKMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : Biyoloji Anabilim Dalı

Bu tez 25/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğretim Üyesi
Ali ACAR
Jüri Başkanı

Dr. Öğretim Üyesi
Fatih KUTLUER
Üye

Prof. Dr.
Zafer TÜRKMEN
Üye

Doç. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Büşra KORKMAZ

25/02/2021

TEŞEKKÜR

Çalışma fırsatı tanıyarak beni bu noktaya getiren beni bu süreçte destekleyen, yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Zafer TÜRKMEN'e teşekkürlerimi sunarım. Her zaman yanımda olan, bilgi ve deneyimleriyle yolumu aydınlatan, çalışkan kişiliğiyle, öğrencilerine verdiği emekle, bilime verdiği katkıyla örnek aldığım hocam; Prof. Dr. Emine YALÇIN'a minnettarlığımı sunarım. Öğrenim sürecimde maddi manevi desteklerini hissettiğim, fikirlerinden çalışmalarından ilham aldığım hocam; Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU'na saygılarımı sunarım.

Eğitimim sırasında bana güvenen ailem ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLOLAR LİSTESİ.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Ağır Metaller ve Etkileri.....	2
2.2. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerinde Etkisi.....	3
2.3. Bakır (Cu).....	4
2.4. Nikel (Ni).....	5
2.5. <i>Vicia faba L.</i>	6
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Test Materyali ve Kimyasalı.....	8
3.2. Deney Gruplarının Oluşturulması ve Uygulama.....	8
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	9
4.1. Mikronukleus.....	10
4.2. Korteks hücre çeperinde kalınlaşma.....	11
4.3. Yassılaşmış hücre çekirdeği.....	12
4.4. Korteks hücrelerinde madde birikimi.....	13
4.5. Belirgin olmayan iletim doku.....	14
BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	17
KAYNAKLAR.....	18
ÖZGEÇMİŞ.....	23

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

As	: Arsenik
Cd	: Kadmiyum
cm	: Santimetre
Cu	: Bakır
CuSO ₄	: Bakır sülfat
Co	: Kobalt
CrO ₃	: Kromik asit
DNA	: Deoksiribonükleik Asit
Fe	: Demir
Hg	: Cıva
Ppm	: Parts per million (Milyondabir)
Ni	: Nikel
NiCl ₂	: Nikel klorid
Kg	: Kilogram
L	: Litre
m	: Metre
Mg	: Miligram
MN	: Mikronukleus
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Pb	: Kurşun
Pb(NO ₃) ₂	: Kurşun (II) Nitrat
Zn	: Çinko
%	: Yüzde değeri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. <i>Vicia faba</i> 'da çimlenme süreci	7
Şekil 4.1. Kontrol grubu <i>Vicia faba</i> kök uçlarının anatomik görünümü	10
Şekil 4.2. <i>Vicia faba</i> kök uçlarında mikronukleus oluşumu	10
Şekil 4.3. <i>Vicia faba</i> kök uçlarında korteks hücre çeperinde kalınlaşma	12
Şekil 4.4. <i>Vicia faba</i> kök uçlarında yassılaşmış hücre çekirdeği	13
Şekil 4.5. <i>Vicia faba</i> kök uçlarında korteks hücrelerinde madde birikimi	15
Şekil 4.6. <i>Vicia faba</i> kök uçlarında belirgin olmayan iletim doku	16

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflaması	2
Tablo 2.2. Ağır metallerin bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri	4
Tablo 4.1. Cu ve Ni metal iyonlarının sebep olduğu meristematik hücre hasarları	18



ÇEŞİTLİ AĞIR METAL İYONLARININ *VİCİA FABA L.*'DE İNDÜKLEDİĞİ ANATOMİK DEĞİŞİMLERİN VE TOLERANS MEKANİZMALARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Gelişen teknolojiyle birlikte ağır metallerin doğada ki miktarları günden güne artmakta olup canlılar için büyük bir tehdittir. Bitkiler gelişimlerine göre ağır metalleri eser miktarda bünyelerine alma özelliğine sahiptirler. Gerektiğinden fazla ağır metale maruz bırakıldığında bitkiler kendilerini korumak için çeşitli tolerans mekanizmaları geliştirirler.

Bu çalışmada nikel ve bakır metallerinin *Vicia faba L.* bitkisinde meydana getirdiği anatomik hasarlar ve bitkinin oluşturduğu tolerans mekanizmaları araştırılmıştır. Toksisitenin belirlenmesi amacıyla *Vicia faba* tohumları üç gruba ayrılmıştır. Birinci grup çeşme suyunda muamele görmüş olup, ikinci grup CuSO_4 çözeltisinde 25 ppm, üçüncü gruptaki tohumlar NiCl_2 çözeltisinde 25ppm dozlarla 72 saat süresince çimlendirilmiştir.

DeneySEL işlemler sonucunda çeşme suyu ile muamele gören tohumlarda anatomik hasar gözlemlenmezken, Cu ve Ni metal iyonlarına maruz bırakılan *Vicia faba L.* bitkilerinde farkı oranlarda olmakla birlikte korteks hücre çeperinde kalınlaşma, belirgin olmayan iletim doku, korteks hücrelerinde madde birikimi, mikronukleus ve yassılaşmış hücre çekirdeği şeklinde anatomik hasarlar oluşmuştur. Bu uygulama da Ni iyonlarına maruz bırakılan üçüncü grup tohumlarında toksisite şiddetinin, anatomik hasarların, Cu iyonlarına maruz bırakılan gruba kıyasla çok daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağır metaller, Anatomik hasar, Bitki tolerans mekanizmaları, Toksisite.

INVESTIGATION OF ANATOMIC CHANGES AND TOLERANCE MECHANISMS INDUCED BY VARIOUS HEAVY METAL IONS IN *VICIA FABA L.*

SUMMARY

With the developing technology, the amount of heavy metals in nature is increasing day by day and it is a great threat for living things. Plants have the ability to absorb heavy metals in trace amounts according to their development. When exposed to too much heavy metal, plants develop a variety of tolerance mechanisms to protect themselves.

In this study, the anatomical damages caused by nickel and copper metals in *Vicia faba L.* plant and the tolerance mechanisms in the plant were investigated. *Vicia faba* seeds were divided into 3 groups to determine toxicity. The 1st group was treated in tap water and the seeds of the 2nd group were germinated in 25 ppm CuSO₄ solution and the 3rd group seeds germinated in the 25 ppm NiCl₂ solution for 72 hours.

As a result of experimental processes, anatomical damage was not observed in seeds treated with tap water, while *Vicia faba L.* plants exposed to Cu and Ni metal ions had different rates of anatomical damages such as thickening of cortex cell wall, non-obvious conduction tissue, substance accumulation in cortex cells, micronucleus and flattened cell nucleus. It was observed that the toxicity and the anatomical damages in seeds exposed to Ni ions were much higher than the group exposed to Cu ions.

Keywords: Anatomical damage, Heavy metals, Plant tolerance mechanisms, Toxicity.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Metaller yer kabuğunda doğal olarak bulunur ve ortamdaki içerikleri farklı bölgeler arasında değişmektedir. Metallerin çevredeki dağılımı, metalin özelliklerine ve çevresel faktörlerin etkilerine bağlıdır. Doğal olarak oluşan 92 elementten yaklaşık 30'u insanlar için potansiyel olarak toksiktir. Ağır metaller, atom ağırlığı 40.04'ten daha yüksek olan metalik elementler için genel bir terimdir [1]. Ağır metallerin tam ve açık tanımlaması olmamakla birlikte yoğunluk, atomik sayı ya da atomik ağırlık, kimyasal özellikler ya da toksisite üzerine birçok tanımlama yapılmıştır. Genel olarak yapılan tanımlamada fiziksel yoğunluğu 5 g/cm^3 'ün üstünde olan metaller, ağır metal olarak sınıflandırılmaktadır [2]. Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni ve Zn gibi ağır metaller organizmalar için çok küçük miktarlarda gereklidir. Bu elementlerin aşırı miktarları organizmalar için zararlı hale gelebilir. Pb, Cd, Hg ve As gibi ağır metaller organizmalar üzerinde herhangi bir yararlı etkiye sahip değildir ve çok zararlı oldukları için de "ana tehdit" olarak kabul edilirler [3]. Ağır metaller çevreye doğal ve antropojenik yollarla girmektedir. Bu tür kaynaklar yer kabuğunun doğal ayrışması, madencilik, toprak erozyonu, endüstriyel deşarj, kentsel yüzey akışı, kanalizasyon atıkları, bitkilere uygulanan haşere veya hastalık kontrol ajanları, hava kirliliğini içermektedir [1,3]. Ağır metaller çevreye kontamine olduğunda canlılar üzerinde ciddi toksik etkilere neden olmaktadır. Özellikle toprağa kontamine olduğu durumlarda bitkilere kadar ulaşmakta ve besin zinciri yoluyla da diğer canlılara kadar ulaşmaktadır. Ağır metaller bitkilerin farklı dokularda çeşitli anormalliklere neden olmaktadır. Ekolojik gıda zincirinde metaller, birincil üretici düzeyinde alım ve ardından tüketici düzeyinde tüketim yoluyla birikir ve bitki kökleri, ağır metal iyonları için birincil temas bölgesidir. Su sistemlerinde ise daha çok bitki gövdesi ağır metale maruz kalmakta ve yaprak yüzeylerinde biriken partiküller nedeniyle ağır metaller doğrudan yapraklara ulaşmaktadır.

Bu çalışmada Cu ve Ni iyonlarının *Vicia faba* kök ucu hücrelerinde anatomik etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla bir kontrol ve iki uygulama olmak üzere üç grup oluşturulmuş ve her bir grubun anatomik yapısı ışık mikroskobu ile incelenmiştir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Ağır Metaller ve Etkileri

Metaller fiziksel olarak parçalanamadığı ve doğada varlığını uzun süre sürdürebildiği için çevredeki en tehlikeli kirleticilerdir [4]. Bazı ağır metaller ve ekolojik sınıflandırılması Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflaması [5]

Element	Özgül ağırlık	Bitki ve hayvan için gereklilik	Kirletici olup olmadığı
Gümüş	10.5	-	K
Kadmiyum	8.5	-	K
Krom	7.2	G	K
Kobalt	8.9	G	K
Bakır	8.9	G	K
Demir	7.9	G	K
Civa	13.6	-	K
Mangan	7.4	G	-
Kurşun	11.3	-	K
Molibden	10.2	G	K
Nikel	8.9	G	K
Platin	21.5	-	-
Çinko	7.1	G	K
Kalay	7.3	-	K
Uranyum	19.1	G	K

Ağır metaller yapıları gereği doğada bakır sülfat (CuSO_4), nikel klorid (NiCl_2) kromik asit (CrO_3) gibi bileşikler halinde bulunurlar. Ağır metallerin bazıları canlı vücudu için değişken miktarda gereklidir. Örneğin çinko, canlı vücudunda bağışıklık sisteminin güçlenmesi, hücre üretiminin sağlanması ve vücudun yenilenerek yaraların iyileşmesinde etkin rol oynadığından vücudumuzda gereklidir [6]. Bakır (Cu) alyuvar hücrelerinin üretim sürecine katılan bir metaldir ve insan ve hayvanlar besin yoluyla gerekli miktarda bakırı alırlar [7]. Nikel (Ni), insan vücuduna eser miktarda alınması gereken bir element

olmasına rağmen aşırı miktarlarda alındığında toksik etki yapacağından çeşitli deri hastalıkları, akciğer, gırtlak, prostat kanseri, solunum yetmezliği ve astım gibi ciddi sorunlara neden olmaktadır [8]. Fakat metallerin fazlası canlı organizmaya zarar verebilir. Ağır metallerin bazıları canlının yaşamsal faaliyeti için gerekli olduğu gibi bazı ağır metallerde toksik etki yaratmaktadır. Civa, kurşun, plütonyum gibi metallerin canlı üzerinde olumlu etkisi olmayan toksik metallerdir. Canlılar için gerekli olmayan bu metallerin eser miktarı bile sağlık problemlerine neden olabilir [9]. Ağır metaller ekosistemde tamamen yok edilemedikleri için sistemde birikime neden olurlar. Canlı vücudunda da miktarca arttığında toksik özellik göstermeye başlarlar. Bu da ekosisteme, canlı hayatına zarar verir. Belli bir konsantrasyondan sonra toksik özellik göstermelerinden dolayı canlılar için zararlıdır [10]. Önemli çevresel kirletici olan ağır metallerin düşük konsantrasyonları bile zehirlidir. Zehirli metallerle birlikte biyosferin kirlenmesi endüstriyel gelişimin başlamasıyla çarpıcı bir şekilde hızlanmıştır [11]. Ağır metallerin doğaya yayınımları dikkate alındığında çok çeşitli sektörlerden farklı işlem kademelerinden biyosfere ağır metal atılımı gerçekleştiği bilinmektedir. Bunlar ağır metal kullanan işletmeler, gübre sanayi, termik santraller, çöp ve atık çamur yakma tesisleri, ulaşım araçları, demir-çelik, çimento, cam üreten işletmeler ise üretimleri sonucu ortaya çıkardıkları ürünün atıklarını, hava yoluyla bitkilere, hayvanlara ve insanlara ulaştırmaktadır. Sonuçta ağır metal yayınımları farklı sektörlerden biyosfere aşırı bir şekilde yayılmaktadır [12].

2.2. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerinde Etkisi

Bütün bitkiler toprak ve sudan büyüme ve gelişmeleri için ihtiyaç duydukları miktar kadar ağır metalleri alma yeteneğine sahiptirler. Bu ağır metaller Cu, Ni, Zn, Mg, Fe, Mn ve Mo içermektedirler [13]. Bitkinin türüne göre bu ağır metallerin biriktirme ve tolere etme miktarları değişkenlik gösterebilir [14]. Ağır metaller bitkilerde farklı derecelerde toksik etki göstermektedir. Bu etkiler bitkinin dokusuna ve ağır metalin türüne göre değişmektedir. Tohum çimlenmesinde ve protein sentezinde azalma, enzim ve klorofil miktarında düşme, fotosentez inhibisyonu, tilakoid yüzey alanında azalma, membran hasarı bu toksik etkilerden bazılarıdır. Bazı ağır metaller ve bitkiler üzerindeki toksik etkileri Tablo 2.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Ağır metallerin bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri [15]

Metal	Etkileri
Nikel (Ni)	Tohum çimlenmesini ve protein üretimini azaltır, enzim ve klorofil miktarını azaltır. Serbest aminoasiti artırır.
Bakır (Cu)	Bitki gelişimini, fotosentezi ve üreme sürecini inhibe eder. Tilakoid yüzey alanını azaltır
Kurşun (Pb)	Klorofil üretimini ve bitki gelişimini azaltır.
Kadmiyum (Cd)	Tohum çimlenmesini, bitki gelişimini ve yağ içeriğini azaltır. Fitoşelatin üretimini uyarır.
Krom (Cr)	Bitki büyümesini ve enzim aktivitesini düşürür. Kök ve membran hasarlarına ve kloroz oluşumuna neden olur.
Çinko (Zn)	Nitoksisitesini ve tohum çimlenmesini azaltır.

Bitkiler bünyelerinde metal biriktirme oranlarına göre genel, metal almayan, biyoindikatörler ve hiperakümülatör bitkiler olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Genel bitkiler, çok düşük konsantrasyondaki metalleri biriktirebilirler. Fakat konsantrasyon arttığında toksik etkiden dolayı ölürler. Metali bünyesine almayanlar bitkiler, genel bitkilere göre ağır metal konsantrasyon sınırı daha yüksek olan dayanıklı bitkilerdir. Metallere karşı direnç gösteren regülasyon sistemleri vardır. Ancak metal konsantrasyonu biraz arttığında karşı koyamaz hale gelirler ve toksik etki sonucu ölürler. Biyoindikatör bitkiler diğer bitkilere göre daha yüksek konsantrasyondaki metalleri, toksik etki olmadan biriktirebilirler. Yaşam alanındaki metal miktarına göre bünyelerindeki birikim miktarı doğru orantılıdır. Metale karşı direncinin yüksek olmasından kaynaklı metal belirleme çalışmalarında sıkça kullanılan bitki türleridir. Hiperakümülatör bitkiler ise diğer üç gruptan daha fazla metale karşı direnç gösteren bitkilerdir. Diğer grup bitkilerinin öldürücü metal seviyesi bu grup bitkilerin yaşaması için alt limiti oluşturmaktadır. Yüksek miktarda ağır metalleri toksik oluşturmadan biriktirir.

2.3. Bakır (Cu)

Periyodik tabloda 1B geçiş grubunda yer alan bakır (Cu) elementinin atom numarası 29'dur. Dünyanın hemen hemen her bölgesinde çıkarılır. Elektrik iletkenliği ve alaşım yapılma özelliğinden dolayı geniş bir kullanıma sahiptir. Canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi içinde eser miktarda bakır metalinin besinler yoluyla

alınması gerekir [16]. Bakır, solunum ve fotosentez olaylarında önemli rol oynar. Ayrıca demir metalinin fonksiyonları için aktivatördür. Bu nedenle bakır eksikliği demirin vücuttaki fonksiyonunu etkileyeceğinden anemi hastalığına neden olur. Hayvanlarda ve insanlarda bakır eksikliği durumunda deride pigmentasyon azalması, çeşitli eklem bozuklukları, Prematürite, solunum rahatsızlıklarının ortaya çıkmaktadır [12]. Bakır vücutta karaciğer ve dalak tarafından depolanır. Yetişkin bireylerde 80 mg bakır bulunur. Bakır yoğunluğuna göre organları sıralayacak olursak en çok karaciğer daha sonra sırasıyla beyin, kalp ve böbreklerde görülür. Fazla miktarda alınan bakır karaciğer ve mide rahatsızlıklarına yol açar. Yüksek bakır konsantrasyonları; talasemi, ağır kronik hastalık anemisi, wilson hastalıkları, karaciğer sirozu gibi hastalıklarda bulunur [17]. Bakır (Cu) bitkiler üzerinde fotosentez faaliyetlerinde eser miktarda gereklidir. Bitkilerdeki normal Cu seviyesi 5-20 mg/kg'dır. Bu miktarın üzerindeki değerler toksik etki gösterir. Ağır metallerden olan Bakır fazla alındığında metabolizmada toksik etki yapmaktadır. Yüksek miktarda Bakır bitkide; protein sentezi, enzim işlevleri, kromatin yapısı gibi önemli bir çok aşamada olumsuzluklara yol açar [18]. Bakır elementinin kanser hastalıkları üzerindeki rolüyle ilgili yapılan çalışmalara baktığımızda, kanser hastalarında bakır seviyesi yüksek bulunmuştur. Fakat bakır seviyesindeki artışın etkisiyle kanser hücrelerinin oluşması üzerine etkisi tam olarak açıklanamamıştır [19,20].

2.4. Nikel (Ni)

Nikel (Ni), proton sayısı 28 olan ve periyodik tabloda 8B grubunda yer alan metaldir. Esansiyel bir elementtir, ortamda fazla bulunmasına bağlı toksikolojik durumlar meydana gelmektedir. Nikelin doğada birçok formu (-1, +1, +2, +3, +4) vardır. Ancak en çok karşılaşılan Ni^{+2} formudur [8]. 1751 yılında A.F. Cronstedt tarafından bulunan nikel alaşım şeklinde birçok alanda kullanılmıştır [21]. Nikel yer kabuğunda % 0,008 oranında bulunan en yaygın metallerdendir. Nikel doğada oksit, sülfid ve silikat formunda bulunur. Yumuşak bir yapıda olduğu için kolaylıkla şekil verilebilir. Yüksek ve düşük sıcaklıklarda kararlılığını korur. Kimyasal tepkimelerde katalizör olarak, hidrokarbon düzenlenmesi, yağların hidrojenasyonu, gübre pestisit ve fungusit üretiminde kullanılmaktadır [22]. Nikel toprakta bulunduğu bitkiler tarafından kolaylıkla emilir ve yüksek konsantrasyonu toksik etki gösterir [23]. Bitkilerdeki normal Nikel konsantrasyonu 0,5-5 mg/kg'dır. Bunun üzerindeki değerler bitki için toksiktir [24].

Toprakta bitkiler için toksik etkisi olduğu gibi sularda da nikel konsantrasyonunun artışı su canlılarının vücutlarında toksik etki yapar. Sularda 6 mg/L Ni bulunması mikrobiyolojik olayları olumsuz etkilemektedir. Deniz suyunda NiS şeklinde bulunan Ni'nin balıklar için toksisite sınır değeri 1-5 mg/L, diğer küçük sucul canlılar için 3-4 mg/L'dir [25]. Doğadaki Nikel kaynağının nedeni metal işletmeleri ve foseptik atıklarıdır [26]. Tüm ekosistem için toksik etkisi olan bu ağır metal insan vücuduna besin zinciri ile girer. Ni bakımından zengin topraklarda yetişen sebzeler, katı yağlar ve kakaolu besinler Ni içermektedir [8]. Ni, IARC tarafından 1. sınıf kanserojen maddeler sınıfına, EPA tarafından ise en zehirli 14 metal arasına alınmıştır [27].

2.5. *Vicia faba* L.

Alem	: Plantae (Bitkiler)
Bölüm	: Magnoliophyta
Sınıf	: Magnoliopsida
Takım	: Fabales
Familya	: Fabaceae
Cins	: <i>Vicia</i>
Tür	: <i>Vicia faba</i>

Avrupa ve Asya kıtaları ana vatanı olan baklanın 5.000 yıl kadar önceleri Çin'de yetiştirildiği eski kaynaklarda gösterilmiştir. Ülkemizde de sıklıkla yetiştirilen ve tüketilen bakla, 60-100 cm boylanabilen bir yıllık otsu bitkidir. Bakla tanelerinde büyük oranda protein bulunmaktadır. Taze ve kuru olarak tüketilebilen bir bitkidir. Bakla yemeklik tane baklagiller içinde mercimek, nohut ve kuru fasulyeden sonra dördüncü sırada yer alır. Akdeniz'den Karadeniz'e kadar bütün sahil kesiminde yetiştirme özelliğindedir [28]. Bakla (*Vicia faba* L.) ülkemizde önemli bir besin olup, gıda ve konserve sanayinde de kullanılmaktadır. *Vicia faba* bitkisi yetiştiriciliği ekonomik olan bir bitki türüdür. İlkbaharda erken ürün verdiğinden ekim nöbetinde ön bitki olarak kullanılır. Azot fiksasyonu yüksek olan baklanın yeşil gübre olarak toprak verimliliğinin artırılmasında büyük önemi vardır [29]. Bakla bitkisi ılıman iklim bitkisi olduğu için börülce, bezelye ve fasulyeye kıyasla soğuklara daha dayanıklıdır [30].

Vicia faba'da kök sistemi kazık kök şeklindedir ve kazık kök derinlere indiğinde yan kökler çıkmaya başlar. Yan kökler üzerinde saçak kökler oluşur. Kazık kök 100- 150 cm derinliğe inmekle beraber yan kökler de toprak verimliliğe bağlı olarak kazık kök kadar uzayabilir. Yan köklerin çevreye dağılması 40 – 50 cm'lik bir yarıçap içinde olur (Şekil 2.1). Kökler belirli olgunluğa ulaştığı zaman kök üzerinde nodozite bakterilerinin sebep olduğu nodüller meydana gelir. Baklanın gövdesi otsudur. Gövde 1-2 cm kalınlığında dört köşeli yapıda olup içi boştur. Bakla çeşidine göre gövde boyu 60- 80 cm' den başlayıp 1-2 metreye kadar ulaşabilir. İri tohumlu olanlar genelde daha fazla boylanırlar. Bazı çeşitleri hafif tüylü olmasına rağmen genelde gövde düz ve çıplaktır. Gövde 28 cm'lik boğum aralarından meydana gelir ve boğumlardan yapraklar filizlenir. Sıcaklığın düşük olduğu koşullarda gövdenin alt yapraklarının koltuklarından yan dallar oluşur. Bu yan dallar 2-12 hatta daha fazla meydana gelebilir. Bu olaya kardeşlenme denir [31,32].



Şekil 2. 1. *Vicia faba*'da çimlenme süreci [32]

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Test Materyali ve Kimyasalı

Bu çalışmada, test materyali olarak *Vicia faba* (n=12) tohumları ve test kimyasalı olarak ise Sigma Aldrich ürünü olan bakır sülfat (CuSO_4) (CAS Number: 7758-98-7) ve Nikel klorid (NiCl_2) (CAS number 7718-54-4) kullanılmıştır.

3.2. Deney Gruplarının Oluşturulması ve Uygulama

Vicia faba tohumları her grupta 20 tohum olacak şekilde üç gruba ayrılmıştır. Her bir tohum denyesel işlemler öncesinde sodyum hipoklorid ile steril edilmiştir.

Grup 1: Kontrol

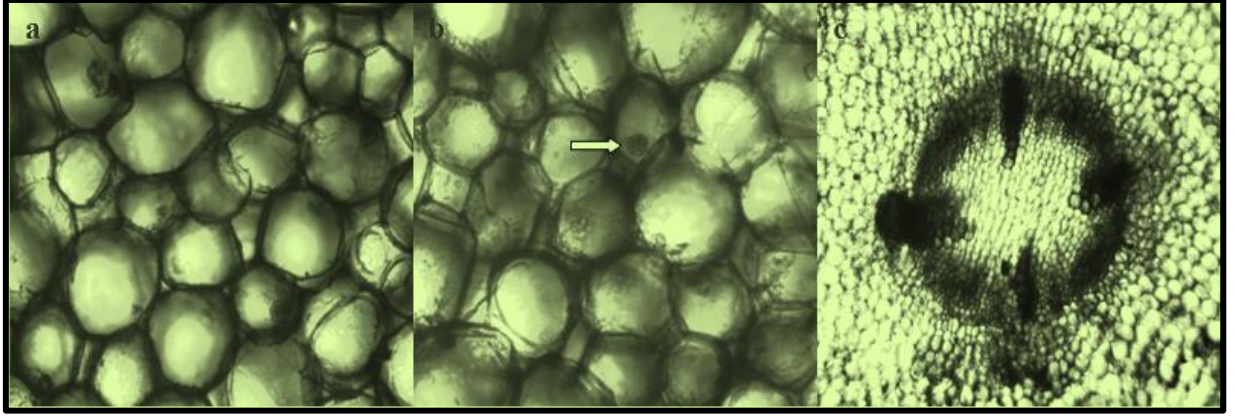
Grup 2: 25 ppm CuSO_4

Grup 3: 25 ppm NiCl_2

Kontrol grubu çeşme suyu ve uygulama grupları ise Cu ve Ni'nin 25 ppm'lik dozları ile 72 saat süresince çimlendirilmiştir. Çimlenme süresinin sonunda kök uçları distile su ile yıkanmış, enine kesitleri alınmış, %5'lik Giemsa ile 5 dakika boyanmış ve IRMECO model IM-450 TI marka araştırma mikroskopunda incelenerek, anatomik hasarlar tespit edilmiştir [33].

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Cu ve Ni metal iyonlarının *V. faba* kök ucu meristematik hücrelerinde sebep olduğu anatomik değişimler araştırılmıştır. Kontrol grubu kök uçlarının meristematik hücrelerinde mikroskopik seviyede herhangi bir hasar gözlenmezken (Şekil 4.1), Cu ve Ni metal iyonları ile muamele edilen gruplarda şiddeti değişmekle birlikte korteks hücre çeperinde kalınlaşma, korteks hücrelerinde madde birikimi, mikronukleus, belirgin olmayan iletim doku ve yassılaştırmış hücre çekirdeği şeklinde anatomik hasarlar gözlenmiştir. Gözlenen bu hasarların şiddetinin Ni uygulanan grupta Cu uygulanan gruba göre daha fazla olduğu da belirlenmiştir. Literatürde *V. faba* ile olmasa da, *Allium cepa* kök ucu hücrelerinin anatomisi üzerine farklı ağır metal iyonlarının etkisini araştıran bazı çalışmalar mevcuttur.



Şekil 4.1. Kontrol grubu *Vicia faba* kök uçlarının anatomik görünümü

[a: korteks hücrelerinin normal görünümü, b: hücre çekirdeğinin normal görünümü (oval), c: iletim dokunun normal görünümü]

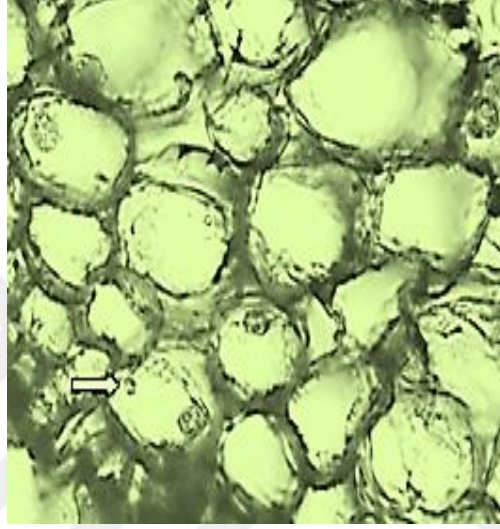
4.1. Mikronukleus

Ni ve Cu uygulanan gruplarda kök ucu hücrelerinde gözlenen anatomik hasarlardan biri mikronukleus oluşumudur (Şekil 4.2). Kontrol grubuna ait kök ucu hücrelerinde MN oluşumu gözlenmemiştir. Hem Ni hem de Cu uygulanan grupta MN oluşumları

gözlenmiş, bu oluşumlar toksisiteye işaret etmektedir. Nikel uygulanan grupta gözlenen MN oluşumunun Cu uygulanan gruba kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.2).

Howell ve Jolly'nin kedilerden ve sıçanlardan alınan kan hücrelerinde küçük lekeler saptamasıyla mikronukleus varlığı ilk kez 19. yüzyılın sonunda rapor edilmiştir. Howell-Jolly cismi adı verilen bu küçük inklüzyonlar, şiddetli anemi hastalarından alınan periferik kanın eritrositlerinde de gözlenmiş ve mikronukleus çalışmaları hız kazanmıştır [34]. Evans ve arkadaşları gama ışınlarının barbunya fasulyesinin kök uçlarında mikronukleus oluşturduğunu bildirmişler ve kromozomal aberasyonunun değerlendirilmesinde mikronukleus sıklığını kullanmışlardır [35]. Boller ve Schmid ise güçlü bir alkileyici ajan olan trenimon ile tedavi edilen Çin Hamsterinin kemik iliği ve periferik kan hücrelerini kullanarak, hematopoez sırasında kendi çekirdeklerinden yoksun normal eritrositler arasında mikronukleuslu eritrositlerin sıklığını değerlendirmek için bir test yöntemi geliştirmiş ve bu test Mikronukleus testi olarak literatürde yerini almıştır [36]. Fenech ve Moley tarafından ileri yıllarda sitokalsinin kullanıldığı modifiye MN testi geliştirilmiş ve genotoksisite testlerinde MN testi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [37]. MN'ler hücre bölünmesi sırasında anafazda geride kalan ve ana nukleusta yer almayan kromozom fragmanlarından veya tam kromozomlardan kaynaklanmaktadır. Mitoz bölünmenin telofaz aşamasında, geciken kromozomlar ve fragmanlar etrafında bir nükleer zarf oluşmakta, ana çekirdeğe benzer fakat daha küçük boyutlarda MN yapıları oluşmaktadır. Bir hücrede oluşan MN, kromozomal fragmanlardan, çift sarmallı DNA kırıklarından, tek sarmallı kırıklardan ya da DNA sentezindeki inhibisyonlardan kaynaklanmaktadır. MN sıklığı hücrelerin maruz kaldığı kimyasalların toksisitenin değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir. Bir kimyasal hücrede kromozomlara, iğ iplikliklerine, sentromer ya da kinetokor bölgelerine hasar verdiği zaman mitotik döngüde bozulmalar oluşmakta ve kromozom kırıkları yada kutuplara çekilmelerde anormallikler yaşanmakta ve MN'ler ortaya çıkmaktadır. MN sıklığının artması toksisitenin artması ile ilişkilendirilebilmektedir [38,39,40]. Literatürde de bitkilerde ağır metallerin neden olduğu toksisite üzerine benzer çalışmalar mevcuttur. Knasmüller ve arkadaşları ağır metallerin farklı bitkilerde neden olduğu genotoksisiteyi MN testi ile değerlendirmiş ve *V. faba*'da en toksik etkinin Pb ağır metalinden kaynaklandığını ve Pb'ye maruz kalan bitkide yoğun MN oluşumunu rapor etmişlerdir [41]. Benzer şekilde Macar ve arkadaşları yaptığı çalışmada ağır metale

maruz kalan kök ucu hücrelerinde MN oluşumlarını rapor etmişlerdir [42]. *Vicia faba*'da fenol'ün farklı konsantrasyonlarda sitotoksik etkilerinin araştırıldığı başka çalışmada deney grubuna 25, 50 ve 75 ppm şeklinde 3 farklı doz fenol 7 gün süreyle verilmiştir. Çalışmanın sonucunda *Vicia faba* kök ucu hücrelerinde MN oranında artış ve bir çok anormallik tespit edilmiştir [43]. Bir başka çalışmada Dithane fungusitinin soğan bitkisine MN oranında artışa neden olduğu belirtilmiştir [44].

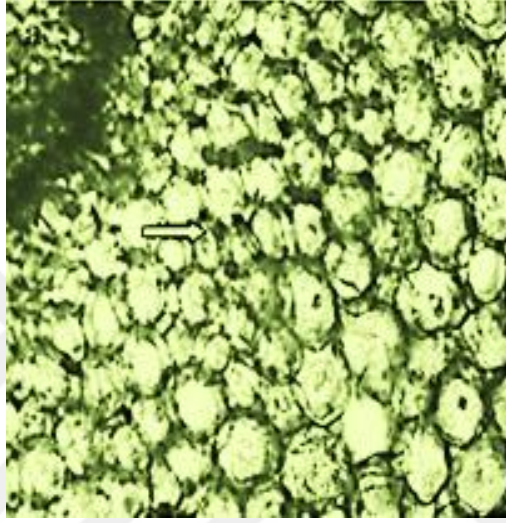


Şekil 4.2. *Vicia faba* kök uçlarında mikronukleus oluşumu

4.2. Korteks hücre çeperinde kalınlaşma

Ağır metal uygulamasının kök anatomisinde oluşturduğu değişikliklerden biri de korteks dokusunda kalınlaşmış hücre duvarlarıdır (Şekil 4.3). Bitkide korteks duvarının kalınlaşması ağır metallerin bitki korteks hücrelerine girişini engellemekte ve bitkinin diğer kısımlarına taşınmasını önlemektedir. Bitki bu yolla ağır metal toksisitesinden diğer dokuları koruyarak ayakta kalmakta ve ağır metale karşı tolerans göstermektedir [45]. Literatürde de ağır metal uygulaması sonucunda farklı bitki türlerinde korteks kalınlaşması rapor edilmektedir. Örneğin; Çavuşoğlu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Civil dere suyunda bulunan ağır metal iyonlarının *Allium cepa* bitkisinde meydana getirdiği anatomik hasarlar incelenmiştir. Araştırmada kontrol grubuna çeşme suyu ile müdahale edilirken deney grubuna dere suyu verilmiştir. Kontrol grubunda anatomik olarak herhangi bir hasar gözlemlenmezken dere suyu kullanılan grupta kromozomal

anormalliklerin olduğu hücre çeperinin kalınlaştığı mikronukleus sıklığında önemli değişmeler olduğu rapor edilmiştir [46]. Bir başka çalışmayı örnek verecek olursak, *Brachiaria decumbens* Stapf. bitkisi üzerinde yapılan çalışmada Zn, Cd, Cu, Pb gibi ağır metallerin neden olduğu anatomik değişiklikler incelenmiş olup yüksek konsantrasyondaki metallere maruz bırakılan grupta korteks hücre duvarında kalınlaşma ve çeşitli anatomik hasarlar gözlemlenmiştir [47].

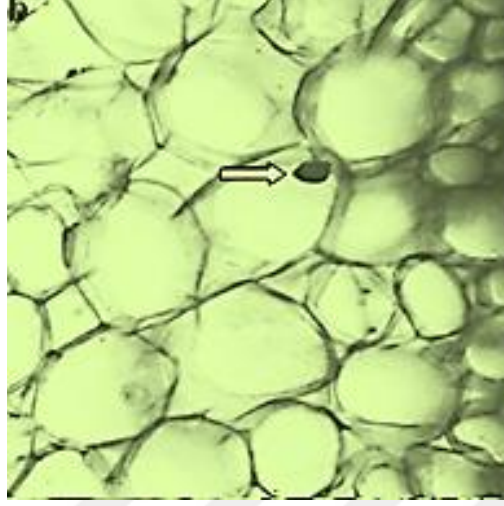


Şekil 4.3. *Vicia faba* kök uçlarında korteks hücre çeperinde kalınlaşma

4.3. Yassılaştırmış hücre çekirdeği

Cu ve Ni uygulanmış *Vicia faba* kök ucu hücrelerinde gözlenen anatomik anormalliklerden biri olan yassılaştırmış hücre çekirdeği toksik etkilerin kümülatif bir sonucu olarak ortaya çıkabilmektedir. Ni ve Cu uygulamasının *V. faba* kök ucu hücrelerinde yassılaştırmış hücre çekirdeğine sebep olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). Hücre çekirdeği normal şartlarda küresel ya da elips şeklindedir fakat stres koşullarında, fiziksel ve kimyasal değişimler varlığında özellikle hücre içi basınç değişimlerinde morfolojik olarak farklılaşabilmektedir. Nukleus şeklindeki hacimsel ya da morfolojik değişimler, nükleer protein konsantrasyonunda ya da DNA heliks hacmindeki değişimlerle ilişkilendirilebilmektedir [35,36]. Literatürde de çeşitli kimyasal maruziyeti ya da stres koşulları altında bitki kök ucu hücrelerinde yassılaştırmış hücre çekirdeği varlığı rapor edilmektedir. Literatürdeki benzer çalışmalara örnek verecek olursak; *Allium cepa*

bitkisinin Vanadyum (V) elementine maruz kalması sonucunda bitkilerin kök ucu hücrelerinin çekirdeklerinde yassılaşıma, nukleus hacminde artış ve çeşitli hasarlar gözlemlenmiştir [48].

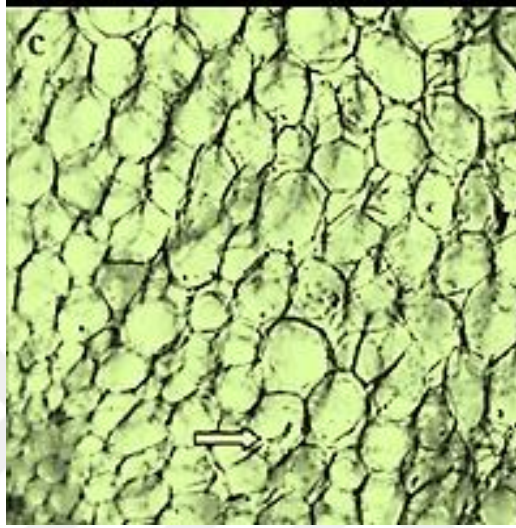


Şekil 4.4. *Vicia faba* kök uçlarında yassılaşmış hücre çekirdeği

4.4. Korteks hücrelerinde madde birikimi

Vicia faba kök ucu hücrelerinde Cu ve Ni uygulamasının kortekste madde birikimine neden olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.5). Bitkilerin ağır metallere karşı gösterdikleri tolerans mekanizmalarından biri de metabolik aktivitelerin yaşanmadığı kısımlarda ağır metalleri biriktirmektir. Bu birikimin amacı toksisiteyi önlemek, ağır metalleri içeri almamaktır. Bu birikim bölgelerden biri de korteks hücre duvarıdır. Korteks hücreleri katyon değişim bölgesi olup bir miktar ağır metal biriktirebilirler ve farklı oranlarda metalleri dışarı atabilirler [49-50]. Çoğu bitkide Ni metali histidine bağlanarak vakuollerde depolanmakta ve toksik etkisi nötralize edilmektedir. Bu sayede Ni ağır metalinin DNA, protein ve lipid gibi hücresel moleküllere de zararı önlenabilmektedir. Bazı ağır metaller korteks hücrelerinde karbonat, malat, fitat ve oksalat gibi düşük molekül ağırlıklı organik bileşiklere bağlanmaktadır. Oluşan bu kompleksler anatomik incelemelerde madde birikimi olarak değerlendirilmektedir [37]. Pek çok araştırma bitkilerin yüksek konsantrasyonlu ağır metallere maruziyete direnerek korteks hücrelerinde madde biriktirdiğini göstermektedir [51,52]. Literatüre baktığımızda benzer bir çalışmada Acar ve ark. civa ağır metal iyonunun *Allium cepa* L. bitkisinde kök ucu hücrelerinde korteks hücre duvarında kalınlaşma ve madde birikimi, hücre çekirdeğinde

yassılaşma, kromozomal anormallikler gibi çeşitli hasarlara neden olduğu rapor edilmiştir [53]. Bir başka araştırmada ise besin katkı maddesi olan tartrazinin *Allium cepa* bitkisinde meydana getirdiği fizyolojik sitogenetik ve anatomik hasarlar incelenmiştir. Uygulama grubunda bitkiler farklı dozlarda 72 saat süre ile tartrazin maddesine maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda bitki kök ucu hücre duvarında kalınlaşma, madde birikimi, çekirdekte yassılaşma gibi anatomik hasarlar gözlemlenmiştir [54].

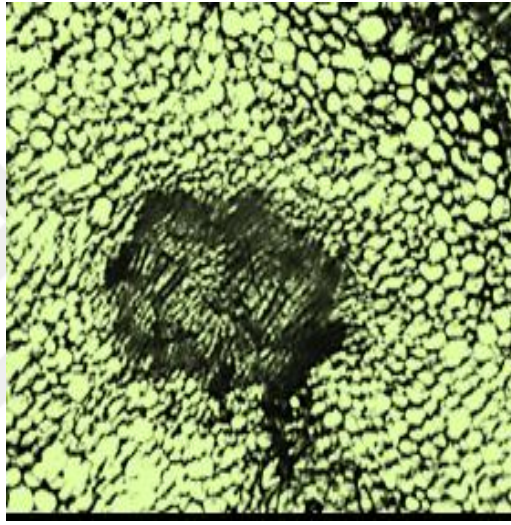


şekil 4.5. *Vicia faba* kök uçlarında korteks hücrelerinde madde birikimi

4.5. Belirgin olmayan iletim doku

Bitkilerde iletim demeti suyun ve besinlerin iletimini sağlamaktadır. Karasal bitkilerin çoğunda topraktan kökler aracılığıyla alınan su ve mineraller ksilemden geçerek yapraklara kadar taşınmakta; yapraklarda oluşan besin maddeleri özellikle fotosentez ürünleri ise floem ile bitkinin diğer organlarına iletilmektedir. Kısaca bitkinin hayatta kalabilmesi için iletim demeti sağlıklı olmalıdır. Ağır metale maruz kalan bitkilerde iletim demeti yoluyla ağır metal bitkinin diğer kısımlarına da taşınabilir. Bu nedenle ağır metalin iletim demetine kadar ulaşmaması için bitki çeşitli önlemler geliştirmektedir. Vakuollerde hapsetme, hücre çeperini kalınlaştırma, atılımını artırma, alımını azaltama gibi pek çok mekanizma ağır metalin iletim demetine ulaşmasını önlemek için geliştirilmiştir. Buna rağmen özellikle yüksek dozda ağır metal maruziyeti iletim dokunun da hasar görmesine neden olmaktadır. Özellikle iletim demeti hücrelerinde gözlenen nekroz, çeperlerde ve sitoplazmada madde birikimi, çeperlerde hasar ve parçalanma gibi anormallikler iletim dokusunun belirgin ve düzenli yapısında

bozulmalara neden olabilmektedir [38,39]. Pek çok kimyasal maddenin yüksek dozda iletim demetine kadar ulaştığı ve iletim demetinde hasara neden olduğu benzer çalışmalarda da gözlenmiştir. Örneğin; bir çalışmada kimyasal uygulanan *Vicia faba* kök ucu hücrelerinde belirgin olmayan iletim doku, hücre ölümü ve çeşitli anatomik hasarlar gözlemlenmiştir [55]. Başka bir çalışmada ise kurşunun *Allium cepa* bitkisinde sebep olduğu fizyolojik, sitogenetik ve anatomik hasarlar araştırılmıştır. Deneyin sonucunda bitki kök ucu hücrelerinde belirgin olmayan iletim doku gibi anatomik hasarlar ve kromozomal hasarlar gözlemlenmiştir [56].



Şekil 4.6. *Vicia faba* kök uçlarında belirgin olmayan iletim doku

Bu çalışma ile Cu ve Ni metallerinin *V. faba* kök ucu hücrelerinde ciddi anatomik değişimlere ve hasarlara neden olduğu saptanmıştır. Özellikle Ni uygulanan grupta hasar oranlarının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç Ni metalinin Cu metale kıyasla daha toksik ve zararlı olduğunu göstermektedir. Hasarlar düzeyinde bakıldığında ise korteks hücre çeperinde kalınlaşma, yassılaşmış hücre çekirdeği ve belirgin olmayan iletim doku hasarlarının diğer anormalliklere kıyasla daha yüksek sıklıkla olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Cu ve Ni metal iyonlarının sebep olduğu meristematik hücre hasarları

Hasarlar	Grup 1	Grup 2	Grup 3
Korteks hücre çeperinde kalınlaşma	-	++	+++
Korteks hücrelerinde madde birikimi	-	+	++
Mikronukleus	-	+	++
Belirgin olmayan iletim doku	-	++	+++
Yassılaşmış hücre çekirdeği	-	++	+++

*Grup 1: kontrol, Grup 2: 25 ppm CuSO₄, Grup 3: 25 ppm NiCl₂. (-): hasar yok, (+): az hasar, (++) : orta hasar, (+++) : şiddetli hasar

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitkiler ağır metallerle kontamine olduğunda anatomik yapılarında, fizyolojik ve biyokimyasal aktivitelerinde değişiklikler meydana gelmekte ve gelişmeleri sınırlanmaktadır.

Bitkiler ve ağır metallerin etkileşiminin iki yönü bulunmaktadır. Ağır metaller bitkiler üzerinde olumsuz etkiler gösterebilmekte ve bitki tolerans mekanizmaları ile bu strese rağmen yaşamına devam edebilmektedir. Toksik etki ve tolerans mekanizmasında ağır metalin konsantrasyonu da oldukça önemlidir.

Bu çalışmada Ni ve Cu metallerinin *Vicia faba*'da anatomik değişimlere ve anatomik hasarlara neden olduğu belirlenmiştir. Anatomik değişimler bitkinin ağır metale direnç göstermesini sağlamaktadır. Hücre duvarında kalınlaşma bu anatomik değişimlerden biridir. Anatomik hasarlar ise bitkide geri dönüşümsüz bozulmalardır. İletim demetinin belirginsizleşmesi ve madde birikimi Ni ve Cu metallerinin neden olduğu anatomik hasarlardandır. Hasar görmüş, ağır metal birikmiş dokulara sahip bitkilerin tüketimi, besin zinciri yoluyla ağır metallerin diğer organizmalara kontamine olmasını da sağlamaktadır. Bu nedenle ağır metallerin sınırlı ve belirli doz aralığında kullanımı ve bitkiler, hayvanlar gibi birçok canlı organizma üzerindeki etkilerinin araştırılması oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Ming-Ho, Y. Environmental Toxicology: Biological and Health Effects of Pollutants, CRC Press LLC, ISBN 1-56670-670-2, 2nd Edition, BocaRaton, USA. Chap. 12, 2005.
2. Malkoç, E., Nuhoglu, Y. Palamut meşesi (*Quercus ithaburensis*) atığı ile sabit yataklı kolonda Cr(VI) biyosorpsiyonu, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(2), 31-45, 2006.
3. Asati, A., Pichhode, M., Nikhil, K. Effect of heavy metals on plants: an overview, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, 5, 2319-4847, 2016.
4. Kasassi, A., Rakimbei, P., Karagiannidis, A., Zabaniotou, A., Tsiouvaras, K., Nastis, A., & Tzafeiopoulou, K. Soil contamination by heavy metals: Measurements from a closed unlined landfill, Bioresource Technology, 99(18), 8578-8584, 2008.
5. Yıldız, N. Toprak ve bitki ekosistemindeki ağır metaller, Yüksek Lisans Ders Notları, Erzurum, 2004.
6. Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O. C., Egwurugwu, J. N. Heavy metal pollution and human biotoxic effects, International Journal of Physical Sciences, 2(5), 112-118, 2007.
7. Bigersson, B., Sterner, O. ve Zimerson, E. Chemie und gesundheit, Eine Verst 2nd liche einführung in die toxikologie, VCH Verlagsgesellschaft, 1988.
8. Cempel, M., Nikel, G. A review of its sources and environmental toxicology, Polish Journal of Environmental Studies, 15(3), 375-382, 2006.
9. Duffus, J.H., Worth, H.G.J. Fundamental toxicology for chemists, Royal Society of Chemistry Information Services, London, 1996.
10. Mutluay, H., Demirak, A. Su Kimyası, Beta Basım Yayım Dağıtım Aş., İstanbul, 83-84, 1996.
11. Nriogo, J.O., Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere, Nature, 279, 409-411, 1979.
12. Kahvecioğlu, Ö., Kartal G., Güven A. Timur S. Metallerin çevresel etkileri –I, Metalurji Dergisi, 136, 47-53, 2003.
13. Langille, W.M., MacLean, K.S. Some essential nutrient elements in forest plants as related to species, plant part, season and location, Plant Soil, 45, 17-26, 1976.

14. Ernst, WHO., Verkleji, JAC., Schat, H., Metal tolerance in plants, *Acta Botanica Neerlandica*, 41, 229-248, 1992.
15. Gardea-Torresdey, J.L., Peralta-Videa, J.R., Rosa, G.D., Parsons, J.G. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by Xray absorption spectroscopy, *Coordination Chemistry Reviews*, 249(17-18), 1797-1810, 2005.
16. Roupshael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Colla, G. Grafiting of cucumber as ameans to minimize copper toxicity, *Environmental and Experimental Botany*, 63, 49-58, 2008.
17. John, G. R. Trace elements, *Clinical Chemistry*, 21(4), 476-500, 1975.
18. Srivastava, S., Mishra, S., Tripathi, R.D., Dwivedi, S., Gupta, D.K. Copperinduced oxidative stress and responses of antioxidants and phytochelatins in *Hydrilla verticilata* (L.f.) Royle, *Aquatic Toxicology*, 80, 405-415, 2006.
19. Coates, R.J. Cancer risk in relation to copper levels, *Cancer Research*, 49, 4343, 1989.
20. Calvallo, F. Zinc-copper in breast cancer, *Cancer*, 67, 738,1991.
21. Tezcan, R., Tezcan, H. Metaller kimyası, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 288, 2007.
22. Cutler, P. Nickel Everywhere, *Materials world*, 6(9), 542-544, 1998.
23. Tok, H.H. Çevre kirliliği, Anadolu Matbaacılık, İstanbul, 1997.
24. Allen, S.E. Chemical Analysis of Ecological Material, 2nd edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 368, 1989.
25. Uzunoğlu, O. Gediz nehrinde alınan su ve sediment örneklerinde bazı ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 76, 1999.
26. Duman, F. Sapanca ve Abant Gölü su, sediment ve sucul bitki örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
27. Ürey, E. Kırşehir Kılıçözü deresi su ve sediment örnekleriyle *Typha angustifolia* L. bitkisinde ağır metal düzeylerinin mevsimsel değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2014.
28. Baytop, T. Türkiye' de bitkilerle tedavi (Geçmişte ve Bugün), Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul, 232, 1999.

29. Özdemir, S. Yemeklik baklagiller, Hasat Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, 2002.
30. Vural, H., Eşiyok, D., Duman, İ. Kültür sebzeleri (Sebze Yetiştirme). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova, İzmir, 440, 2000.
31. Duc, G. Faba bean (*Vicia faba* L.), Field Crops Research, 53(1-3), 99-109, 1997.
32. Broad Bean growing series. Erişim tarihi: <https://www.warrenphotographic.co.uk/14971-broad-bean-growing-series>
33. Akgündüz, M. Ç., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. The potential risk assessment of phenoxyethanol with a versatile model system, Scientific Reports, 10 (1), 1-10, 2020.
34. Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K. et al. Determination of protective effect of carob (*Ceratonia siliqua* L.) extract against cobalt(II) nitrate-induced toxicity, Environmental Science and Pollution Research, 27, 40253–40261, 2020.
35. Dahl, K.N, Ribeiro, A.J., Lammerding, J. Nuclear shape, mechanics, and mechanotransduction, Circulation Research, 102, 1307–1318, 2008.
36. Dauer, W.T., Worman, H.J. The nuclear envelope as a signaling node in development and disease, Developmental Cell, 17, 626–638, 2009.
37. Asri, F.Ö., Sönmez, S. Ağır Metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri, DERİM, 23(2), 36-45, 2006.
38. Lacointe, A., Minchin, P. E. Modelling phloem and xylem transport within a complex architecture, Functional Plant Biology, 35(10), 772-780, 2008.
39. Pourrut, B., Shahid, M., Dumat, C., Winterton, P., Pinelli, E. Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants, In Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Springer, New York, NY, 2011.
40. Aaron, C.S., Sorg, R., Zimmer, D. The mouse bone marrow micronucleus test: evaluation of 21 drug candidates, Mutation Research, 223, 129–140, 1989.
41. Knasmüller, S., Gottman, E., Steinkellner, H., Formin, A., Pickl, C., Paschke, A., Göd, R., Kundi, M. Detection of genotoxic effects of heavy metal contaminated soils with plant bioassays, Mutation Research, 420, 37-48, 1998.
42. Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Yalçın, E. Protective role of grape seed against copper (II) chloride genotoxicity. Ubak Uluslararası Bilim Akademisi, 227-234, 2020.
43. Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Dönmez, S., Kaymaz, K., Özdemir, G., Özgörür, Z., et al. *Vicia faba* L. (fabaceae) kök ucu hücrelerinde fenol tarafından teşvik edilen

sitotoksisitenin belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi , 139-148, 2008.

44. Çavuşoğlu, K., Üstündağ, Ü., Yalçın, E., Acar, A., Yapar, K. *Allium cepa* L. (Soğan) 'da dithane'nin sebep olduğu toksisite: fizyolojik ve sitogenetik değerlendirme, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 10-19, 2019.
45. Macar, O., Kalefetoğlu, Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Protective Effects of Anthocyanin-rich Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) Extract Against Copper (II) Chloride Toxicity, *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (2), 1428-1435, 2020.
46. Doğan, M., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Acar, A., Çavuşoğlu, K., Yapar, K. Civil Dere suyunda bulunan ağır metal iyonlarının *Allium cepa* L. (*Amaryllidaceae*)'da teşvik ettiği fizyolojik, sitogenetik ve anatomik değişimlerin araştırılması, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 1-13, 2018.
47. Gomes, M. P., de S  e Melo Marques, T. C. L. L., Nogueira, M. O. G., Castro, E. M., Soares, A. M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *brachiaria decumbens*, *Scientia Agricola* (Piracicaba, Braz.), 68(5), 566 – 573, 2011.
48. Kalefetoğlu, Macar, T., Macar, O., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. *Allium Cepa* L.'da vanadyum (v) toksisitesinin fizyolojik ve anatomik etkilerinin araştırılması, *Ubak Uluslararası Bilimler Akademisi*, 158-162, 2019.
49. Verklaij, J.A.C., Schat, H. In: *Heavy Metal tolerance in plants: evolutuonary aspects*, Ed: A.J. Shaw, pp:179-193, CRC Press, Boca Raton, 1990.
50. Rauser, W.E. Structure and function of metal chelators produced by plants, *Cell Biochemistry and Biophysics* 31, 19-48, 1999.
51. Wagner, G.J. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health, *Advances in Agronomy*, 51,173-212, 1993.
52. Wang, W.S., Shan, X.Q., Wen B., Zhang S.Z. Relationship between the extractable metals from soils and metals takep up by maize roots and shoots, *Chemosphere*, 53, 523-530, 2003.
53. Acar, A., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Cıva (Hg) ağır metal iyonunun *Allium cepa* L. (soğan)'da Teşvik ettiği fizyolojiik, sitogenetik ve anatomik değişimlerin araştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 887-892, 2018.
54. Çavuşoğlu, K., Taşlı, B., Yalçın, E. *Allium cepa* (*Amaryllidaceae*) L.'da tartrazin uygulaması sonucu oluşan fizyolojik, sitogenetik ve anatomik değişimlerin araştırılması, *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 1-6, 2018.

55. Çavuşoğlu, K., Yapar, K., Kınalıoğlu, K., Türkmen, Z., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Protective role of Ginkgo biloba on petroleum wastewater-induced toxicity in Vicia faba L. (Fabaceae) root tip cells, Journal of Environmental Biology, 31 (3), 319–324, 2010.
56. Gırasun, N., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Çavuşoğlu, K., Acar, A. In Vivo Pb(NO₃)₂ toksisitenin fizyolojik, sitogenetik ve anatomik parametreler ile araştırılması, Tarım ve Doğa Dergisi, 702-707, 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Büşra Korkmaz İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2011 yılında Dünder Uçar Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Öğretmenliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2017 yılında Giresun Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2019 yılında İkitelli Ortaokuluna atandı. Fen Bilimleri Öğretmeni olarak çalışmaya başladı. Halen Fen Bilimleri Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.